



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E  
BIOTECNOLOGIA DA REDE BIONORTE**



**LOGÍSTICA E INFRAESTRUTURA DA PRODUÇÃO DE SOJA NO ESTADO DO  
MARANHÃO (BRASIL): AGRICULTURA DE PRECISÃO APLICADA PARA A  
SUSTENTABILIDADE**

**RICARDO NIEHUES BUSS**

**São Luís – MA  
Dezembro/2017**

**RICARDO NIEHUES BUSS**

**LOGÍSTICA E INFRAESTRUTURA DA PRODUÇÃO DE SOJA NO ESTADO DO  
MARANHÃO (BRASIL): AGRICULTURA DE PRECISÃO APLICADA PARA A  
SUSTENTABILIDADE**

Tese de doutorado apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia da Rede BIONORTE, na Universidade Federal do Maranhão, como requisito parcial para a obtenção do Título de Doutor em Biodiversidade e Conservação.

Orientador: Prof. Dr. Glécio Machado Siqueira.

**SÃO LUIS – MA**

**Dezembro/2017**

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).  
Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

Niehues Buss, Ricardo.

Logística e Infraestrutura da Produção de Soja no Estado do Maranhão Brasil: Agricultura de Precisão Aplicada para a Sustentabilidade / Ricardo Niehues Buss. - 2017.

255 f.

Orientador(a): Glécio Machado Siqueira.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Rede - Rede de Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia Legal/ccbs, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2017.

1. Agricultura de Precisão. 2. Agronegócio. 3. Atributos Biológicos, Físicos e Químicos do Solo. 4. Impacto Logístico. 5. Indicadores de Qualidade do Solo.  
I. Machado Siqueira, Glécio. II. Título.

**RICARDO NIEHUES BUSS**

**LOGÍSTICA E INFRAESTRUTURA DA PRODUÇÃO DE SOJA NO ESTADO DO  
MARANHÃO (BRASIL): AGRICULTURA DE PRECISÃO APLICADA PARA A  
SUSTENTABILIDADE**

Tese de doutorado apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia da Rede BIONORTE, na Universidade Federal do Maranhão, como requisito parcial para a obtenção do Título de Doutor em Biodiversidade e Conservação.

Orientador: Prof. Dr. GLÉCIO MACHADO SIQUEIRA.

**Banca examinadora**

---

Prof. Dr. Glécio Machado Siqueira  
Orientador- Presidente da banca

---

Prof. Dr. Ênio Farias de França e Silva  
Examinador 2

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Alana das Chagas Ferreira Aguiar  
Examinador 3

---

Prof. Dr. Khalil de Menezes Rodrigues  
Examinador 4

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Regia Maria Reis Gualter  
Examinador 5

**São Luís – MA**

**Dezembro/2017**

## DEDICATÓRIA

*Dedico esta tese às pessoas mais importantes de minha vida. Meus pais, Tarcísio Buss (in memoriam) e Julieta Niehues Buss, meus exemplos de força, caráter, trabalho, simplicidade, amor e amizade. Que sempre me inspiraram e incentivaram na busca pelos meus sonhos.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço acima de tudo a meus pais, por todo o amor e apoio incondicional, que sempre apostaram em mim mais do que ninguém e que seguramente são os que mais compartilham da minha alegria.

Ao meu orientador Prof. Dr. Glécio Machado Siqueira, pelos seus ensinamentos, preciosos conselhos, puxadas de orelha, e sua inestimável confiança, e que me fez crescer profissionalmente ao longo desses três anos.

A minha família, meu porto seguro, com quem sempre posso contar em todas as horas, Enoir, Viviane, Letício, Wilian, Pedro e meu afilhado Enzo. Em especial a minha sobrinha, irmã e confidente Letícia, que sempre me apoia, me ouve e incentiva, estando sempre ao meu lado.

Ao meu amigo Aguimaran das Neves Costa, grande companheiro, que segurou a barra nos momentos mais difíceis dessa jornada, me incentivando sempre a nunca desistir.

Meu muito obrigado a Giane Raguzo, pelo amor e fé contagiantes, conversas confortantes e paciência com mapas. As minhas amigas Dyenata, Simone, Vanessa, Ana e Gelva, pelo amor, força e incentivo ao longo de nossa amizade. Minhas amigas Elizabeth e Paola, por compartilharem tantos momentos especiais nestes anos de amizade.

Em especial, aos meus amores, Amora, Azula, Bradog, Brook, Duqueza, Eek, Korra, Tito, Totó, e aos que não estão mais nesse plano, Piaf, Nina e Darwin, que não são animais de estimação, são amigos, filhos, companheiros, que preenchem todos os dias de minha vida com muita alegria e amor.

A filosofia Budista, que me trouxe paz espiritual e equilíbrio, ensinando que “é capaz quem pensa que é capaz”. Buda.

A todos os membros do LABSOLOS – Laboratório de Solos e Meio Ambiente, pela ajuda na coleta de dados, análise e interpretação: Mayanna Karlla, Raimunda Silva, Antonio Gabriel, Nara Núbia, Clotilde Neta, Maria das Neves, Rafael Carvalho, Tayná, Wanderson. E aos parceiros do LABSOLOS em outras Instituições de Pesquisa e Ensino (UEMA, UFRPE, USC, UDC, UNESP, UC, UFPR).

Minhas companheiras de pesquisa, Raymunda e Mayanna, por toda cumplicidade, desabafo e amizade nessa jornada e as minhas amigas de doutorado, Vilena, Ana Luiza, Elba e Mayra, por me receberem desde o primeiro dia de aula, compartilharem alegrias e tristezas no doutorado, e se tornarem amigas tão preciosas ao longo destes anos.

Manifesto minha gratidão a todos os professores, funcionários do programa BIONORTE, UFMA e UFT, pela oportunidade da qualificação e crescimento profissional.

A FAPEMA – Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão, a CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior e ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo apoio financeiro.

Ao Sr. César Pedro Andreguto e Sra. Marinez Andreguto, proprietários da Fazenda Unha de Gato, por disponibilizarem à área para coleta de dados e contribuírem para a pesquisa acadêmica.

Há muito mais a quem agradecer... A todos aqueles que, embora não nomeados, me brindaram com seus inestimáveis apoios em distintos momentos, o meu reconhecido e carinhoso muito obrigado!

Todos vocês são co-autores deste trabalho.

*“Aqueles que passam por nós, não vão sós, não nos deixam sós.*

*Deixam um pouco de si, levam um pouco de nós.”*

*Antoine de Saint-Exupéry*



## RESUMO

O objetivo geral deste trabalho divide-se em duas linhas: a) Avaliar a logística e a infraestrutura da produção de soja do Estado do Maranhão (Brasil); b) Mapear a produtividade de soja (*Glicine max* L.) e de atributos biológicos, químicos e físicos do solo por meio de análises conjuntas entre geoestatística e técnicas multivariadas. A área de estudo localiza-se no município de Mata Roma (Maranhão, Brasil), e possui cerca de 44,75 ha, cultivados com soja (*Glicine max* L.) sob sistema de semeadura direta. Foram demarcados 70 pontos de amostragem para determinação da produtividade da soja ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e dos atributos biológicos (macrofauna e índices de diversidade), físicos [carbono orgânico ( $\text{g kg}^{-1}$ ), estoque de carbono ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ), condutividade hidráulica ( $\text{m dia}^{-1}$ ), densidade do solo ( $\text{Mg m}^{-3}$ ), macroporosidade ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ), microporosidade ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ), porosidade total ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ), areia total ( $\text{g kg}^{-1}$ ), areia grossa ( $\text{g kg}^{-1}$ ), areia fina ( $\text{g kg}^{-1}$ ), silte ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e argila ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e químicos [matéria orgânica (MO,  $\text{g dm}^{-3}$ ), pH em solução de  $\text{CaCl}_2$ , acidez potencial ( $\text{H}^+\text{Al}$ ,  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ), fósforo (P,  $\text{mg dm}^{-3}$ ), potássio (K,  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ), cálcio (Ca,  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ), magnésio (Mg,  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ), sódio (Na,  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ), capacidade de trocas catiônicas (CTC,  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ), soma de base (SB,  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ), porcentagem de saturação por bases (V%), cobre (Cu,  $\text{mg kg}^{-1}$ ), ferro (Fe,  $\text{mg kg}^{-1}$ ), manganês (Mn,  $\text{mg kg}^{-1}$ ) e cádmio (Cd,  $\text{mg kg}^{-1}$ )], nas camadas de 0.0-0.2 m e 0.2-0.4 m de profundidade. Os dados foram analisados por meio da estatística descritiva, ferramentas de geoestatística e de técnicas multivariadas (PCA – análise de componentes principais). As condições logísticas do agronegócio do Estado apontam diferentes situações que implicam no escoamento de produtos agrícolas por modais fragmentadas e desconexas. Em todo o processo relacionado ao transporte de grãos, pode ser percebido diversos prejuízos ambientais, seja de implantação, operação e manutenção das vias. Os custos ambientais do transporte evidenciam a falta de planejamento políticas e governança quanto a utilização dos modais voltadas a preservação ambiental. A análise dos atributos demonstrou que o uso e intensidade do solo influenciam a fauna edáfica, reduzindo ou eliminando grupos específicos. Os índices de diversidade que são obtidos a partir do número total de indivíduos, do logaritmo na base 10, ou natural, ou da raiz quadrada, apresentaram comportamento diferente dos índices comumente usados (Shannon e Simpson), podendo ser considerado uma alternativa incluí-los com mais frequência em estudos de fauna do solo. A interação múltipla de diferentes atributos do solo, indicaram zonas de manejo diferenciado nas camadas de 0.0-0.2 m e 0.2-0.4 m de profundidade. Os atributos químicos analisados, demonstraram que a área amostrada apresenta de baixa a média fertilidade. A análise variográfica dos scores dos autovalores da PCA demonstrou que em ambas as

camadas o semivariograma é mais estável e com maior dependência espacial entre as amostras. Os mapas de variabilidade espacial dos scores dos autovalores da análise de componentes principais demonstraram que é possível a determinação de zonas de manejo utilizando a PCA 1 nas duas profundidades em estudo, todavia, com estratégias de manejo diferentes.

**Palavras-Chave:** Agronegócio; Impacto Logístico; Indicadores de Qualidade do Solo, Atributos Biológicos, Físicos e Químicos do Solo; Agricultura de Precisão.

**ABSTRACT**

The general objective of this work is divided into two lines: a) To evaluate the logistics and infrastructure of soybean production in the State of Maranhão (Brazil); b) Map the yield of soybean (*Glicine max* L.) and biological, chemical and physical attributes of the soil by means of joint analyzes between geostatistics and multivariate techniques. The study area is located in the municipality of Mata Roma (Maranhão, Brazil), and has about 44.75 ha, cultivated with soybean (*Glicine max* L.) under a no-tillage system. A total of 70 sampling points were used to determine soybean yield ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) and biological attributes (macrofauna and diversity indices), physical [organic carbon ( $\text{g kg}^{-1}$ ), carbon stock ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ), hydraulic conductivity ( $\text{m day}^{-1}$ ), soil density ( $\text{Mg m}^{-3}$ ), macroporosity ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), microporosity ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), total porosity ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), total sand ( $\text{g kg}^{-1}$ ), coarse sand ( $\text{g kg}^{-1}$ ), fine sand ( $\text{g kg}^{-1}$ ), silt ( $\text{g kg}^{-1}$ ) and clay ( $\text{g kg}^{-1}$ )] and chemicals [organic matter (OM,  $\text{g dm}^{-3}$ ), pH in  $\text{CaCl}_2$  solution, potential acidity (H+Al,  $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), phosphorus (P,  $\text{mg dm}^{-3}$ ), potassium (K,  $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), calcium (Ca,  $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), magnesium (Mg,  $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), sodium (Na,  $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), cation exchange capacity (CTC,  $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), base sum (SB,  $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), percentage of saturation by bases (V%), copper (Cu,  $\text{mg kg}^{-1}$ ), iron (Fe,  $\text{mg kg}^{-1}$ ), manganese (Mn,  $\text{mg kg}^{-1}$ ) and cadmium (Cd,  $\text{mg kg}^{-1}$ )], in layers of 0.0-0.2 m and 0.2-0.4 m in depth. Data were analyzed through descriptive statistics, geostatistics tools and multivariate techniques (PCA - principal components analysis). The logistic conditions of state agribusiness point to different situations that imply the flow of agricultural products through fragmented and disconnected modes. In all the process related to the transportation of grains, it can be perceived several environmental damages, be it of implantation, operation and maintenance of the roads. The environmental costs of transport evidences the lack of planning policies and governance regarding the use of modalities aimed at environmental preservation. The analysis of the attributes demonstrated that the use and intensity of the soil influences the edaphic fauna, reducing or eliminating specific groups. Diversity indices that are obtained from the total number of individuals, from the base 10 logarithm, or natural, or from the square root, presented behavior different from the commonly used indexes (Shannon and Simpson), and it could be considered an alternative to include them more frequently in soil fauna studies. The multiple interaction of different soil attributes, indicated different management zones in the layers of 0.0-0.2 m and 0.2-0.4 m depth. The chemical attributes analyzed showed that the area sampled presented low to medium fertility. The variographic analysis of the eigenvalue scores of the PCA showed that in both layers the semivariogram is more stable and with greater spatial dependence between the samples. The spatial variability maps of the scores of

the eigenvalues of the principal component analysis showed that it is possible to determine management zones using PCA 1 in the two depths under study, however, with different management strategies.

**Keywords:** Agribusiness; Logistic Impact; Indicators of Soil Quality, Biological, Physical and Chemical Attributes of Soil; Precision Agriculture.

## LISTA DE FIGURA

### 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Figura 1: Elementos do diagnóstico ambiental .....	026
--	-----

### 4 INFRAESTRUTURA LOGÍSTICA DE TRANSPORTE E ARMAZENAGEM DA SOJA NO ESTADO DO MARANHÃO (BRASIL)

Figura 1: Classificação das características operacionais relativas por modal de transporte .....	068
Figura 2: Evolução da área plantada da soja no Estado do Maranhão .....	072
Figura 3: Evolução da produção da soja no Estado do Maranhão .....	072
Figura 4: Evolução da produtividade da soja no Estado do Maranhão .....	072
Figura 5: Distribuição da área plantada da soja e infraestrutura de armazenagem .....	074
Figura 6: Capacidade estática de armazenagem x produção de soja .....	075
Figura 7: Modal Aquaviário do Maranhão .....	078
Figura 8: Modal Rodoviário do Maranhão .....	080
Figura 9: Modal Ferroviário do Maranhão .....	083

### 5 IMPACTOS DO TRANSPORTE E INFRAESTRUTURA LOGÍSTICA DE GRÃOS DE SOJA NO ESTADO DO MARANHÃO (BRASIL)

Figura 1: Consumo de energia total de óleo diesel nos modais de transporte (rodoviário, ferroviário e hidroviário) .....	097
Figura 2: Percentual de consumo de energia por modal de transporte de óleo diesel .....	097
Figura 3: Impactos ambientais causados pela implantação e operação dos modais rodoviários e ferroviários .....	101
Figura 4: Biomas que compõem o estado do Maranhão e vias de escoamento da soja .....	102

### 6. DIVERSIDADE E VARIABILIDADE ESPACIAL DA FAUNA DO SOLO CULTIVADO COM SOJA SOB SEMEADURA DIRETA (MARANHÃO, BRASIL)

Figura 1: Esquema de amostragem na área de estudo para os 70 pontos .....	112
---	-----

Figura 2: Parâmetros geoestatísticos para os índices de diversidade do solo .....	122
Figura 3: Parâmetros geoestatísticos para os índices de dominância da diversidade do solo .....	123
Figura 4: Parâmetros geoestatísticos para os índices de Equidade de J (Pielou) e Riqueza de Jackknife da diversidade do solo .....	123
Figura 5: Mapas de variabilidade espacial para o carbono orgânico, estoque de carbono e os índices de diversidades da fauna do solo na área de estudo .....	125
Figura 6: Mapas de variabilidade espacial para os índices de dominância de Berger Parker e Simpson na área de estudo .....	126
Figura 7: Mapas de variabilidade espacial para os índices de equitabilidade de Pielou, riqueza Jackknife, abundância de Coleoptera, Diptera e Formicidae na área de estudo ..	127

## **7 ANÁLISE GEOESTATÍSTICA E MULTIVARIADA DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E DA PRODUTIVIDADE DE SOJA**

Figura 1: Mapa de diferença de nível na área de estudo e localização dos 70 pontos de amostragem .....	138
Figura 2: Semivariogramas escalonados para os atributos estudados que apresentaram dependência espacial nas camadas de (a) 0.0-0.2 m e (b) 0.2-0.4 m de profundidade .....	147
Figure 3: Mapa de variabilidade espacial da produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de soja na área de estudo .....	148
Figura 4: Mapas de variabilidade espacial do conteúdo de matéria orgânica (MO), pH, fósforo (P) e potássio (K) do solo cultivado com soja nas camadas de 0.0-0.2 m e 0.2-0.4 m de profundidade .....	149
Figura 5: Mapas de variabilidade espacial do conteúdo de cálcio (Ca), magnésio (Mg), acidez potencial (H+Al) e sódio (Na) do solo cultivado com soja nas camadas de 0.0-0.2 m e 0.2-0.4 m de profundidade .....	150
Figura 6: Mapas de variabilidade espacial da capacidade de trocas catiônicas (CTC), soma das bases (SB), porcentagem de saturação por bases (V%) e cobre (Cu) do solo cultivado com soja nas camadas de 0.0-0.2 m e 0.2-0.4 m de profundidade .....	151
Figura 7: Mapas de variabilidade espacial do conteúdo de ferro (Fe), manganês (Mn) e cádmio (Cd) do solo cultivado com soja nas camadas de 0.0-0.2 m e 0.2-0.4 m de profundidade .....	152
Figure 8: PCA – Análise de componentes principais para os atributos em estudo nas camadas de 0.0-0.2 m (a and b) e 0.2-0.4 m (c and d) de profundidade .....	153
Figura 9: Semivariograma escalonado para os componentes principais dos atributos em estudo nas camadas de 0.0-0.2 m [a: PCA 1 (46.01%), PCA 2 (22.22%) and PCA 3 (13.35%)] e 0.2-0.4 m [b: PCA 1 (26.51%), PCA 2 (22.69%) and PCA 3 (13.35%)] profundidade .....	156

Figura 10: Mapas de distribuição espacial dos componentes principais (PCA) para a camada de 0.0-0.2 m [PCA 1 (46.01%), PCA 2 (22.22%) and PCA 3 (13.35%)] e 0.2-0.4 m [PCA 1 (26.51%), PCA 2 (22.69%) and PCA 3 (13.35%)] de profundidade ..... 157

## **8. ANÁLISE ESPACIAL E MULTIVARIADA DA PRODUTIVIDADE DE SOJA E DE ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO SOB SEMEADURA DIRETA**

Figura 1: Mapa de diferença de nível na área de estudo e localização dos 70 pontos de amostragem ..... 165

Figura 2: Semivariogramas escalonados para os atributos estudados que apresentaram dependência especial nas camadas de 0.0-0.2 m e 0.2-0.4 m de profundidade ..... 174

Figura 3: Mapa de variabilidade espacial da produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de soja na área de estudo ..... 175

Figura 4: Mapas de variabilidade espacial para os atributos do solo cultivado com soja na camada de 0.0-0.2 m de profundidade ..... 176

Figura 5: Mapas de variabilidade espacial para os atributos do solo cultivado com soja na camada de 0.2-0.4 m de profundidade ..... 177

Figura 6: PCA – Análise de componentes principais para os atributos em estudo nas camadas de 0.0-0.2 m (a and b) e 0.2-0.4 m (c and d) de profundidade ..... 178

Figura 7: Semivariograma escalonado para os componentes principais dos atributos em estudo nas camadas de 0.0-0.2 m [a: PCA 1 (26.89%), PCA 2 (24.105) and PCA 3 (22.22%)] e 0.2-0.4 m [b: PCA 1 (31.95%), PCA 2 (22.84%) and PCA 3 (13.85%)] profundidade ..... 180

Figura 8: Mapas de distribuição espacial dos componentes principais (PCA) para a camada de 0.0-0.2 m [PCA 1 (26.89%), PCA 2 (24.105) and PCA 3 (22.22%)] e 0.2-0.4 m [PCA 1 (31.95%), PCA 2 (22.84%) and PCA 3 (13.85%)] de profundidade ..... 181

## LISTA DE TABELA

### 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Tabela 1: Efeitos nocivos dos principais poluentes de transporte .....	025
Tabela 2: Relação de estudos e impactos de fator natural .....	027
Tabela 3: Relação de estudos e impactos de fator antrópico .....	028
Tabela 4: Relação de estudos e danos ambientais logísticos e agrícolas .....	030
Tabela 5: Inovação sustentável na soja brasileira .....	034

### 4 INFRAESTRUTURA LOGÍSTICA DE TRANSPORTE E ARMAZENAGEM DA SOJA NO ESTADO DO MARANHÃO (BRASIL)

Tabela 1: Classificação do estado geral de conservação das rodovias do Maranhão .....	081
Tabela 2: Classificação do estado de conservação da infraestrutura por rodovias estaduais (MA) e federais (BR) no Maranhão .....	082

### 5 IMPACTOS DO TRANSPORTE E INFRAESTRUTURA LOGÍSTICA DE GRÃOS DE SOJA NO ESTADO DO MARANHÃO (BRASIL)

Tabela 1: Comparativo entre os modais .....	094
Tabela 2: Matriz de transporte da soja: principais produtores e exportadores (%) .....	095
Tabela 3: Custos ambientais ao ano .....	099
Tabela 4: Comparação de custos ambientais entre o modal rodoviário e ferroviário .....	103

### 6 DIVERSIDADE E VARIABILIDADE ESPACIAL DA FAUNA DO SOLO CULTIVADO COM SOJA SOB SEMEADURA DIRETA (MARANHÃO, BRASIL)

Tabela 1: Caracterização física e química do Latossolo Amarelo distrófico argissólico cultivado com soja sob semeadura direta em Mata Roma (Maranhão, Brasil) .....	111
Tabela 2: Grupos taxonômicos da fauna do solo em cultivo de soja sob sistema de plantio direto, Maranhão, Brasil .....	116
Tabela 3: Parâmetros estatísticos da fauna do solo em cultivo de soja sob sistema de plantio direto, Maranhão, Brasil .....	118



Tabela 4: Parâmetros ecológicos da fauna do solo em cultivo de soja sob sistema de plantio direto, Maranhão, Brasil .....	118
Tabela 5: Parâmetros estatísticos para os índices de diversidade do solo .....	119
Tabela 6: Parâmetros geoestatísticos para os índices de diversidade do solo .....	120

## **7 ANÁLISE GEOESTATÍSTICA E MULTIVARIADA DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E DA PRODUTIVIDADE DE SOJA**

Tabela 1: Parâmetros estatísticos para os atributos químicos do solo nas camadas de 0.0-0.2 m e 0.2-0.4 m de profundidade cultivado com soja .....	141
Tabela 2: Matriz de correlação linear dos atributos químicos do solo na camada de 0.0-0.2 m de profundidade cultivado com soja .....	143
Tabela 3: Matriz de correlação linear dos atributos químicos do solo na camada de 0.2-0.4 m de profundidade cultivado com soja .....	144
Tabela 4: Parâmetros de ajuste do semivariograma para os atributos do solo nas camadas de 0.0-0.2 m e 0.2-0.4 m de profundidade cultivado com soja .....	146
Tabela 5: Parâmetros de ajuste do semivariograma para os componentes principais dos atributos em estudo nas camadas de 0.0-0.2 m e 0.2-0.4 m de profundidade.....	155

## **8 ANÁLISE ESPACIAL E MULTIVARIADA DA PRODUTIVIDADE DE SOJA E DE ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO SOB SEMEADURA DIRETA**

Tabela 1: Parâmetros estatísticos para os atributos físicos do solo nas camadas de 0.0-0.2 m e 0.2-0.4 m de profundidade cultivado com soja .....	168
Tabela 2: Matriz de correlação linear dos atributos físicos do solo nas camadas de 0.0-0.2 m e 0.2-0.4 m de profundidade cultivado com soja .....	171
Tabela 3: Parâmetros de ajuste do semivariograma para os atributos do solo nas camadas de 0.0-0.2 m e 0.2-0.4 m de profundidade cultivado com soja .....	172
Tabela 4: Parâmetros de ajuste do semivariograma para os componentes principais dos atributos em estudo nas camadas de 0.0-0.2 m e 0.2-0.4 m de profundidade .....	179

## **APÊNDICE**

Tabela 1: Série histórica da área plantada da soja .....	189
Tabela 2: Série histórica da produção de soja .....	191
Tabela 3: Série histórica da produtividade de soja .....	193

Tabela 4: Consumo de energia de óleo diesel .....	195
Tabela 5: Dados amostrais da fauna epígea do solo nos 70 pontos de amostragem .....	196
Tabela 6: Índices de diversidade da fauna epígea do solo na área de estudo cultivada com soja .....	198
Tabela 7: Atributos químicos do solo na camada de 0.0-0.2 m de profundidade na área de estudo .....	201
Tabela 8: Atributos químicos do solo na camada de 0.2-0.4 m de profundidade na área de estudo .....	203
Tabela 9: Scores dos autovalores da análise de componentes principais para os atributos químicos do solo nas camadas de 0.0-0.2 m e 0.2-0.4 de profundidade .....	205
Tabela 10: Atributos físicos do solo na camada de 0.0-0.2 m de profundidade na área de estudo .....	208
Tabela 11: Atributos físicos do solo na camada de 0.2-0.4 m de profundidade na área de estudo .....	210
Tabela 12: Scores dos autovalores da análise de componentes principais para os atributos físicos do solo nas camadas de 0.0-0.2 m e 0.2-0.4 de profundidade .....	212

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	19
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
2.1 AGRONEGÓCIO E A LOGÍSTICA BRASILEIRA.....	23
2.2 IMPACTO AMBIENTAL.....	26
2.3 INOVAÇÃO PARA SUSTENTABILIDADE.....	30
2.4 INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO.....	34
2.5 REFERÊNCIAS.....	38
3 HIPÓTESE E OBJETIVOS.....	63
3.1 HIPÓTESE.....	63
3.2 GERAL.....	63
3.3 ESPECÍFICO.....	63
ÍNDICE DE CAPÍTULOS.....	64
4 INFRAESTRUTURA LOGÍSTICA DE TRANSPORTE E ARMAZENAGEM DA SOJA NO ESTADO DO MARANHÃO (BRASIL).....	65
4.1 INTRODUÇÃO.....	65
4.2 FUNDAMENTOS DA LOGÍSTICA.....	67
4.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	69
4.4 ANÁLISE DA LOGÍSTICA DO AGRONEGÓCIO NO MARANHÃO.....	71
4.4.1 ARMAZENAGEM.....	74
4.4.2 MODAL AQUAVIÁRIO.....	76
4.4.3 MODAL RODOVIÁRIO.....	79
4.4.4 MODAL FERROVIÁRIO.....	83
4.4.5 ANÁLISE DA MULTIMODALIDADE PARA A SOJA DO MARANHÃO.....	84
4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	86
4.6 REFERÊNCIAS.....	86

5 IMPACTOS DO TRANSPORTE E INFRAESTRUTURA LOGÍSTICA DE GRÃOS DE SOJA NO ESTADO DO MARANHÃO (BRASIL).....	92
5.1 INTRODUÇÃO .....	92
5.2 VISÃO GERAL DO IMPACTO LOGÍSTICO AMBIENTAL .....	93
5.2.1 MATRIZ ENERGÉTICA DOS TRANSPORTES.....	96
5.3 MATERIAL E MÉTODOS .....	98
5.3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	98
5.3.2 IMPACTOS, DANOS E CUSTOS AMBIENTAIS .....	98
5.4 IMPACTOS AMBIENTAIS DA CADEIA DE DISTRIBUIÇÃO DA SOJA.....	100
5.4.1 CUSTOS AMBIENTAIS .....	103
5.5 CONCLUSÃO .....	104
5.6 REFERÊNCIAS.....	104
6 DIVERSIDADE E VARIABILIDADE ESPACIAL DA FAUNA DO SOLO CULTIVADO COM SOJA SOB SEMEADURA DIRETA (MARANHÃO, BRASIL).....	108
6.1 INTRODUÇÃO .....	109
6.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	111
6.2.1 LOCAL DE ESTUDO .....	111
6.2.2 ÍNDICES DE BIODIVERSIDADE .....	113
6.2.3 ANÁLISE GEOESTATÍSTICA .....	115
6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	116
6.4 CONCLUSÃO .....	128
6.5 REFERÊNCIAS.....	128
7 ANÁLISE GEOESTATÍSTICA E MULTIVARIADA DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E DA PRODUTIVIDADE DE SOJA .....	134
7.1 INTRODUÇÃO .....	135
7.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	137
7.3 RESULTADO E DISCUSSÃO.....	140
7.5 CONCLUSÕES .....	158
7.6 REFERÊNCIAS.....	158

8 ANÁLISE ESPACIAL E MULTIVARIADA DA PRODUTIVIDADE DE SOJA E DE ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO SOB SEMEADURA DIRETA .....	162
8.1 INTRODUÇÃO .....	163
8.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	164
8.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	168
8.4 CONCLUSÕES .....	182
8.5 REFERÊNCIAS.....	182
9 CONCLUSÕES FINAIS .....	186
APÊNDICES .....	188
ANEXOS .....	215
ANEXO I - PRÁTICAS INOVADORAS DE GESTÃO AMBIENTAL PARA A SUSTENTABILIDADE DO AGRONEGÓCIO .....	216
ANEXO II - RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS E QUALIDADE DO SOLO .....	233
ANEXO III - VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO CULTIVADO COM SOJA .....	242

## 1 INTRODUÇÃO

O agronegócio brasileiro tem se destacado economicamente como um dos maiores e mais competitivos produtores agrícolas mundial. Parte deste sucesso advém de incentivos políticos, de avanços tecnológicos, inovação de produtos e métodos de produção, melhoria da infraestrutura e da integração de cadeias produtivas globais (RICHARDS et al., 2015; IORIS, 2015).

As demandas crescentes do agronegócio mundial por alimento, combustível, ração, além do crescimento populacional e da expansão do consumo, tem gerado uma enorme pressão por soluções e novas áreas de exploração, o que na maioria das vezes pode gerar conflitos, principalmente ambientais (KASTNER, et al., 2012).

O desafio então vem a ser o de atender as demandas cada vez maiores por alimento e energia, com sistemas e práticas agrícolas sustentáveis, sem alterar substancialmente a eficiência, produtividade e lucratividade (HORLINGS & MARSDEN, 2011). Nesse sentido, a incorporação de inovações tecnológicas e métodos de produção, devem considerar a conservação dos recursos hídricos, do solo, da biodiversidade, da redução da emissão de gases de efeito estufa, promovendo a resiliência dos ecossistemas afetados (RUVIARO et al., 2012; KOH & LEE, 2012).

Fatores como informação, consumo consciente, comportamento ambiental e, até mesmo, desastres ambientais associados a sociedade em geral e entidades governamentais pressionam para que as organizações voltem seus esforços para questões ambientais, adequando seus processos de produção, comercialização e consumo com medidas mais eficazes no controle do impacto ambiental e desenvolvimento sustentável (TOBLER et al., 2011; GHVANIDZ et al., 2016).

É fundamental para os participantes da cadeia de suprimentos do agronegócio, a inserção do conceito de sustentabilidade em seus processos gerenciais, criando um vínculo que desenvolva os fatores sociais, ambientais e econômicos (MARTINELLI et al., 2010; BESKE et al., 2014). O desenvolvimento sustentável quando implementado de forma correta, possibilita a construção de uma base para mudanças progressivas. Assim, a busca por processos inovadores, que apresentam resultados de produtividade, porém em consonância com a sustentabilidade, é fundamental para organizações que desejam uma gestão ambiental que realmente dê resultados positivos.

O estado do Maranhão tem se destacando no cenário nacional pelo aumento crescente da produção de grãos, principalmente da cultura da soja. Em dez anos a área

plantada da soja no estado aumentou 49%, passando de cerca de 383 mil hectares para mais de 780 mil hectares (CONAB, 2017). Parte desse crescimento se deve pelo aumento da densidade demográfica, da exploração pecuária e melhoria da infraestrutura na região nordeste do Brasil (VERA-DIAZ et al., 2008; ARNHOLD et al., 2010). Outro fator importante é a proximidade com o Porto de Itaqui, localizada na cidade de São Luís, que possibilita menor tempo de transporte de grãos para exportação quando comparado com outros estados. Contudo, as vantagens existentes nessa nova fronteira agrícola não impede que impactos ambientais afetem o bioma de cerrado, predominante nas regiões produtoras de soja do Estado (ALHO, 2011; DI MININ et al., 2017).

Os meios de transportes empregados para o escoamento da safra da soja, principalmente o modal rodoviário, e sua rede de infraestrutura são fontes poluidoras que geram impactos diretos ao meio ambiente. A eficiência logística, dificilmente entra em consonância com práticas sustentáveis e cuidados com fatores ambientais, principalmente pelos custos envolvidos (ISAKSSON & HUGE-BRODIN, 2013; D'AGOSTO, 2015).

A questão ambiental tornou-se fator de acréscimo ao agronegócio, onde os envolvidos no agronegócio necessitam incorporar-se ao sistema de gestão ambiental para assegurar sua sobrevivência nos mercados altamente competitivos, respeitando o paradigma de que o desenvolvimento sustentável virá como resultado da conservação da água, do ar, do solo e dos recursos genéticos animais e vegetais, economicamente viável e socialmente aceito (HORLINGS & MARSDEN, 2011).

O cultivo da soja no Estado do Maranhão, concentra-se no bioma do Cerrado, ao sul, na região de Balsas; e ao noroeste, na região de Chapadinha. Esse bioma é o mais afetado pela produção da cultura no Estado, onde grande parte do desmatamento é associado a abertura de novas áreas agrícolas e a construção de rodovias e ferrovias (ALHO, 2011; DI MININ et al., 2017). Os custos ambientais causados pela infraestrutura logística afetam negativamente o ecossistema, principalmente os impactos causados pela rodovias, que possibilitam a abertura de estradas vicinais em áreas antes isoladas, facilitando a exploração de novas áreas para agricultura, pecuária, extração ilegal de madeira e animais, entre outros danos ambientais (KARLSON & MÖRTBERG, 2015; FRIEDRICH, 2015; RITTER et al., 2017).

Nessa perspectiva, a gestão ambiental no agronegócio está intimamente relacionada ao uso consciente de matéria e de energia de modo a diminuir o impacto gerado ao meio ambiente. Segundo a Resolução 001/86 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, Art. 1º, impacto ambiental é qualquer alteração das propriedades físicas, químicas

ou biológicas do meio ambiente, por qualquer outra forma de matéria ou energia, lançados na água, no solo ou na atmosfera, que interfere direta ou indiretamente, nas condições de segurança, saúde e bem estar da população humana, da fauna, flora e dos recursos naturais.

As organizações que atuam no agronegócio, precisam, além de produzir com a máxima eficiência, necessitam também se preocupar com novos padrões ambientais, buscando alternativas que resultem em um menor impacto ambiental. Desse modo, a busca por processos inovadores, que apresentem resultados de produtividade, em consonância com a sustentabilidade, é fundamental para indústrias que desejam uma gestão ambiental que realmente dê resultados positivos.

A inovação no agronegócio é facilmente identificada pela implantação de novas tecnologias que melhoram significativamente o processo produtivo e os resultados da produção. O sistema operacional produtivo e as inovações, tanto de produto e de processo, ao atender as dimensões da sustentabilidade, devem promover ganhos para o meio ambiente em termos de redução no uso de recursos e de emissões de poluentes (OLIVEIRA & ROCHA, 2011; PINSKY et al., 2015). O aumento da produção por meio do estímulo à demanda por novos produtos pode neutralizar ou até superar esses ganhos. Esse é um dos maiores desafios para o alinhamento das empresas ao modelo de organização inovadora sustentável (KLERKX et al., 2010).

Ferramentas inovadoras, como a agricultura de precisão, fornecem informações primordiais para a melhoria dos resultados na produção de grãos, analisando o solo de modo heterogêneo. Essa perspectiva é possível por meio de dados geoespaciais, que possibilitam intervenções localizadas, diminuindo custos, insumos, desperdícios e impactos que possam ser gerados. Desse modo, a utilização da variabilidade dos atributos do solo auxilia na melhoria do manejo e melhor utilização dos recursos (SIQUEIRA et al.; 2008; ROSA FILHO et al., 2011; BOTTEGA, et al., 2013; ARZENO, et al., 2014).

O uso sustentável dos recursos naturais, especialmente do solo e da água, tem-se constituído em tema de crescente relevância, em razão do aumento das atividades antrópicas. Conseqüentemente, cresce a preocupação com o uso sustentável e a qualidade desses recursos. A qualidade do solo define-se como a capacidade desse recurso de exercer várias funções, dentro dos limites do uso da terra e do ecossistema, para sustentar a produtividade biológica, manter ou melhorar a qualidade ambiental e contribuir para a saúde das plantas, dos animais e humana (GIL-SOTRES et al., 2005; BATISTA et al, 2008; KASCHUK et al., 2010).



A conservação da qualidade do solo é essencial para garantir a sustentabilidade do meio ambiente e da biosfera. Desse modo é importante avaliar a qualidade do solo, que pode ser medida por meio da quantificação de alguns atributos, ou seja, de propriedades físicas, químicas e biológicas, que possibilitem o monitoramento de mudanças, a médio e longo prazo, no estado de qualidade desse solo (BATISTA et al., 2008; CHAER et al., 2009).

O monitoramento da qualidade do solo deve ser orientado para detectar tendências de mudanças que são mensuráveis num período relativamente longo. Esse monitoramento pode ser feito na propriedade agrícola ou em níveis mais abrangentes. As práticas de manejo e conservação do solo e da água devem ser planejadas e executadas procurando-se manter ou mesmo melhorar seus atributos, de modo a aumentar a capacidade do solo em sustentar uma produtividade biológica competitiva, sem comprometer a qualidade da água e do solo (CARNEIRO et al., 2009; BRASIL, 2012).

O estabelecimento de índices de qualidade do solo é ainda útil na tarefa de avaliação de impactos ambientais quando biomas são incorporados ao processo produtivo, seja de forma extensiva ou intensiva. Torna-se, assim, um instrumento importante nas funções de controle, fiscalização e monitoramento de áreas destinadas à proteção ambiental (SANTI et al., 2012). Para maximização dos resultados, os atributos de qualidade devem ser mensurados de forma conjunta para o melhor manejo do solo e lavouras, impulsionando a sustentabilidade do sistema agrícola (CARNEIRO et al., 2009; CUNHA et al. 2012).

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 AGRONEGÓCIO E A LOGÍSTICA BRASILEIRA

O Brasil é reconhecido mundialmente como um dos maiores produtores agrícola. Sua aptidão para o agronegócio é associada a atributos como disponibilidade de terras agriculturáveis, riqueza de água, clima favorável e utilização de tecnologias avançadas (ELIAS, 2012). O agronegócio é o setor com maior crescimento no Brasil, mesmo com a economia estagnada, atingiu mais de R\$ 1,4 trilhões, cerca de 23% do PIB em 2016, as exportações ultrapassaram os US\$ 84 bilhões (CNA, 2017; MAPA, 2017).

Parte deste sucesso advém da cultura da soja. A soja (*Glycine max* (L.) Merr.) é uma oleaginosa originária da Ásia Oriental e foi introduzida no Brasil em 1882 (LEE et al., 2011; OLIVEIRA, 2016). As condições edafoclimáticas propiciaram o desenvolvimento dessa espécie em escala de comercialização primeiramente no sul do país na década de 1960, alcançando importância econômica devido a sua versatilidade e custos baixos na indústria alimentícia humana e animal. Essa oleaginosa é amplamente utilizada como fonte de proteína e óleo vegetal, empregada na formulação de ração animal e no desenvolvimento de biodiesel (THANH et al., 2010; COSTA & SANTANA, 2013; FIGUEIREDO et al., 2015; SILVA et al., 2016).

Apenas seis países, Brasil, EUA, Argentina, China, Índia e Paraguai, são responsáveis por cerca de 93% da produção mundial da soja (STOLTON e DUDLEY, 2014). A produção de soja mundial (SAFRA 2016/2017) foi de 351,311 milhões de toneladas. Os EUA é o maior produtor de soja do mundo, com uma produção 117,208 milhões de toneladas, seguido pelo Brasil com 113,923 milhões de toneladas. O Brasil é o maior exportador de grãos de soja e projeções indicam que ele também deve se tornar o maior produtor, ultrapassando os EUA (USDA, 2017; CONAB, 2016; BOUCHER et al., 2011). Esse crescimento da soja iniciou-se em 1960, e em menos de duas décadas já era a safra de grãos mais importante do Brasil (SILVA et al., 2010).

Os principais estados produtores de grãos no Brasil são Mato Grosso, Paraná e Rio Grande do Sul. A soja chega ao Cerrado e Amazônia, locais com solos até então considerados fracos para agricultura intensiva, ao tempo em que o acesso ao calcário agrícola e fertilizantes químicos chegam aos produtores, bem como subsídios do governo e suporte tecnológico, permitiram sua exploração. (STOLTON e DUDLEY, 2014). As novas áreas de cultivo, auxiliaram o país a se solidificar como um dos líderes mundiais de produção e

produtividade de grãos de soja, tornando-se referência em tecnologia e processos (KUSSANO & BATALHA, 2012; COLLIER, 2008).

A ampliação contínua do agronegócio, principalmente para novas áreas, gera novas demandas para a cadeia produtiva agrícola, como abertura de áreas cultiváveis, ampliação e criação de novas estradas, aumento de suprimentos e tecnologias, mão de obra e toda a infraestrutura necessária para a integração produtiva (IORIS, 2015). Essa crescente conjectura acentua os problemas de infraestrutura e de logística, aumentando custos de produção e escoamento da soja. Estes custos podem representar até 25% do valor do produto, pleiteando ações que promovam a maximização de desempenho (BURDZIK et al., 2014; KUSSANO & BATALHA, 2012).

O papel da logística, está relacionada a geração de valor ao longo da cadeia de suprimentos, garantindo a disponibilidade do produto no tempo certo, com qualidade, com menores custos, promovendo rentabilidade na produção, distribuição e armazenagem entre os fornecedores, clientes e consumidores (BOWERSOX & CLOSS, 2010; CORRÊA, 2014; BEHRENS & PICARD, 2011).

Na perspectiva logística, os transportes, compostos pelos modais rodoviário, ferroviário, aquaviário, aéreo e dutoviário, são essenciais para a movimentação da produção, seja dentro ou fora da porteira, representando elemento imprescindível para composição do custo. A matriz de transporte brasileira é formada principalmente pelo modal rodoviário, com cerca de 65% de participação, seguida pelo modal ferroviário, com 26%, e pelo hidroviário, com apenas 9% de participação (CNT, 2015).

O transporte rodoviário é mais caro e com menor capacidade de carga, quando comparado com os demais modais (exceto aéreo), porém com maior disponibilidade (FLEURY et al., 2011; CNT, 2011). O modal hidroviário possui os menores custos de transporte, seu frete equivale a 40% do frete rodoviário e aproximadamente 70% do ferroviário. Ideal para a movimentação de grandes volumes (como grãos) em grandes distâncias (POMPERMAYER et al, 2014; CARIS et al., 2014).

A melhoria do desempenho logístico acontece sucessivamente a expansão das infraestruturas, com a melhoria dos processos e integração da cadeia de suprimentos. Nesse caso a atividade de armazenagem proporciona benefícios e facilidades em relação a produção e custos, principalmente quanto aos custos de transportes. O gerenciamento da armazenagem em *commodities* como a soja, podem influenciar positivamente fatores, como o equilíbrio sazonal, segurança na continuidade da produção; economia de transportes; regulagem de

custos e especulação; maior rendimento na colheita, entre outros fatores (MOURA, 2008; DAVID & STEWART, 2010; BURDZIK et al., 2014).

A ampliação dos transportes e da infraestrutura logística, puxada pela expansão do agronegócio, principalmente pelo cultivo da soja e sua cadeia de suprimentos tem sido relacionada com a degradação dos biomas Cerrado e Amazônia (LEHUGER et al., 2009). Além da degradação, outros impactos são gerados a fatores ambientais, sociais e econômicos, como segurança, poluição do ar e sonora, mudança climática, perda de habitats, poluição da água, competição pelo espaço urbano, entre outros (ITTMANN, 2011; LAI & WONG, 2012; ISAKSSON & HUGE-BRODIN, 2013; MACIAS & GADZIŃSKI, 2013).

O consumo de energia de cada modal varia de acordo com sua modalidade, assim como a emissão que o mesmo pode gerar ao meio ambiente. O transporte de cargas realizado por caminhões emite mais CO<sub>2</sub> por tonelada/quilômetro do que modais com alta capacidade de carga, como os modais aquaviário e ferroviário. Cerca de 23% das emissões de gases de efeito estufa, são realizadas pelo setor de transportes. Lançando na atmosfera materiais particulados (MP), os óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e enxofre (SO<sub>x</sub>), o monóxido de carbono (CO), os compostos orgânicos voláteis (COVs) e o chumbo (Pb) (TEIXEIRA et al., 2008; VEIGA, 2010; WU et al., 2013; LORA & LEME, 2013; OZEN & TUYDES-YAMAN, 2013).

Estes poluentes geram danos principalmente na área de abrangência do transporte. Alguns destes efeitos nocivos originados pela concentração de poluentes podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1: Efeitos nocivos dos principais poluentes de transporte.

<b>Poluente</b>	<b>Impacto</b>
<b>CO</b>	Atua no sangue reduzindo sua oxigenação, podendo causar a morte após determinado período de exposição.
<b>NO<sub>x</sub></b>	Formação de dióxido de nitrogênio e na formação do <i>smog</i> fotoquímico e da chuva ácida. É um precursor do O <sub>3</sub> , que causa vários problemas respiratórios.
<b>HC</b>	Combustíveis não queimados ou parcialmente queimados formam o <i>smog</i> e os compostos cancerígenos. É um precursor do O <sub>3</sub> .
<b>MP</b>	Pode penetrar na defesa do organismo, atingir os alvéolos pulmonares e causar irritações, asma, bronquite e câncer de pulmão. Sujeira e degradação de imóveis próximos aos corredores de transporte.
<b>SO<sub>x</sub></b>	Precursor do O <sub>3</sub> , formando a chuva ácida e degradação vegetal e imóveis.

Fonte: Carvalho (2011).

## 2.2 IMPACTO AMBIENTAL

O impacto ambiental é qualquer alteração no valor de uma determinada característica ambiental, natural e social, em um determinado período de tempo decorrente de ações humanas (BARBIERI, 2011; ADISSI & ALMEIDA NETO, 2013). Segundo a Resolução 0001/86 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (BRASIL, 1986), Art. 1º, o impacto ambiental é qualquer alteração das propriedades físicas, químicas ou biológicas do meio ambiente, por qualquer outra forma de matéria ou energia, lançados na água, no solo ou na atmosfera, acaba por interferir direta ou indiretamente, nas condições de segurança, saúde e bem estar da população humana, da fauna, flora e dos recursos naturais.

Para a melhor distinção dos impactos ambientais, divide-se em ambiente natural e ambiente antrópico. O ambiente natural é composto pelo meio físico e biológico, e o ambiente antrópico pelo meio socioeconômico (NETO et al., 2013; D’AGOSTO, 2015). A Resolução 0001/86 do CONAMA (BRASIL, 1986), apresenta os elementos de cada meio, conforme Figura 1.

Ambiente Natural		Ambiente Antrópico
Meio Físico	Meio Biológico	Meio Socioeconômico
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Subsolo;</li> <li>• Águas;</li> <li>• Ar;</li> <li>• Clima;</li> <li>• Recursos minerais;</li> <li>• Topografia;</li> <li>• Solo;</li> <li>• Corpos d’água;</li> <li>• Regime hidrológico;</li> <li>• Correntes marinhas;</li> <li>• Correntes atmosféricas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fauna;</li> <li>• Flora;</li> <li>• Espécies indicadoras de:               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ qualidade ambiental;</li> <li>○ valor científico;</li> <li>○ valor econômico;</li> <li>○ raras;</li> <li>○ ameaçadas de extinção;</li> </ul> </li> <li>• Áreas de preservação permanente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso e ocupação:               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ do solo;</li> <li>○ da água;</li> <li>○ socioeconômica;</li> <li>○ sítios</li> <li>○ monumentos históricos arqueológicos e culturais da comunidade;</li> </ul> </li> <li>• Relações de dependência entre:               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ sociedade local;</li> <li>○ recursos ambientais</li> <li>○ potencial utilização futura destes recursos.</li> </ul> </li> </ul>

Figura 1: Elementos do diagnóstico ambiental.

Adaptado: Brasil (1986).

Estes impactos, são utilizados como base para elaboração de Estudos de Impacto Ambiental – EIA e Relatório de Impacto Ambiental – RIMA. Estudos e relatórios imprescindíveis e obrigatórios para projetos que possam gerar alguma consequência para o meio ambiente (BRASIL, 1997). Nessa perspectiva, a infraestrutura logística é a responsável por grande parte do impacto gerado ao meio ambiente (ZIONI & FREITAS, 2015).

Desse modo, grandes obras de infraestrutura como ferrovias e rodovias, necessitam de estudos aprofundados quanto aos impactos que podem gerar ao ambiente natural e antrópico. Contudo, estas obras de infraestrutura podem causar impactos diferentes dependendo de sua localização, clima, bioma, e assim por diante. Foram identificados

impactos ambientais, com base em relatórios EIA e RIMA (2009), de alguns projetos de infraestrutura no Brasil, e ratificado o impacto por estudos nas áreas específicas, conforme Tabela 2 e 3.

Tabela 2: Relação de estudos e impactos de fator natural.

<b>Fator natural</b>	<b>Pesquisa</b>
Supressão Vegetal	Forman et al., 2003; Alvez e Homma, 2008; Silva et al., 2010; Macias e Gadzinsk, 2013; Richards et al., 2015; Barni et al., 2015.
Atropelamento de animais (silvestres e domésticos)	Jaeger et al., 2005; Hengemühle e Cademartori, 2008; Charry e Jones, 2009; Huijser et al., 2009; Holderegger e Di Giulio, 2010; Forman e Sperling, 2011; Friedrich, 2015.
Afugentamento de animais	Eigenbrod et al., 2009; Charry e Jones, 2009; Kohler et al., 2012; Friedrich, 2015.
Fragmentação e perda de habitats	Jaeger et al., 2005; Charry e Jones, 2009; Macias e Gadzinsk, 2013; Friedrich, 2015; Barni et al., 2015; Karlson e Mörtberg, 2015.
Aumento de ruídos e vibrações	Eigenbrod et al., 2009; Forman e Sperling, 2011; Kohler et al., 2012; Friedrich e Geldermann, 2013; Friedrich, 2015.
Redução da diversidade de espécies	Coffin, 2007; Forman e Sperling, 2011; Karlson e Mörtberg, 2015; Friedrich, 2015.
Levantamento de partículas e poeira	Mucelin e Bellini, 2008; Friedrich e Geldermann, 2013.
Emissão de gases poluentes e de efeito estufa	Silva et al., 2010. Friedrich e Geldermann, 2013.
Alteração da qualidade de águas superficiais e subterrâneas	Forman et al., 2003; Macias e Gadzinsk, 2013.
Interrupção ou desvio do fluxo natural dos recursos hídricos	Costa et al., 2009; Forman et al., 2003; Macias e Gadzinsk, 2013.
Acréscimo do risco de queimadas descontroladas	Oliveira et al., 2012; Huang et al., 2012.
Aumento de pressão atrofica sobre os recursos naturais dos remanescentes e áreas de preservação	van der Werf et al., 2005; Cavalet and Ortega, 2009.
Intensificação da pressão de caça	Alves e Homma, 2008; Souto et al, 2011
Facilitação ao tráfico ilegal de animais silvestres	Hernandez e Carvalho, 2006; Alves e Homma, 2008; Souto et al, 2011; Pires et al., 2015.
Proliferação de zoonoses	Reis et al., 2012; Kotviski e Barbola, 2013. Fonseca, 2013.
Incremento à densidade de animais domésticos e exóticos	Shochat et al., 2006; Shochat et al., 2010; Vilela e Lamim-Guedes, 2014.
Início ou aceleração de erosões	Forman et al., 2003; Carneiro e Adorno, 2010; Friedrich, 2015.
Assoreamento	Forman et al., 2003; Friedrich, 2015.
Acúmulo de água com alagamento indesejável	Macias e Gadzinsk, 2013; Capamum de Carvalho et al., 2012.
Compactação nas áreas envolvidas as ferrovias e rodovias	Mucelin e Bellini, 2008; Carneiro e Adorno, 2010.
Alteração do perfil das encostas por queda de barreiras e deslizamento	Weill e Pires Neto, 2007; Salvini et al., 2013; Pina et al., 2016.
Contaminação do solo	Mucelin e Bellini, 2008; Silva et al., 2010.
Degradação das áreas exploradas	Silva et al., 2010; Macias e Gadzinsk, 2013; Barni et al., 2015.
Alteração da paisagem natural	Silva et al., 2010. Macias e Gadzinsk, 2013; Karadag e Yildiz, 2013; Friedrich, 2015; Richards et al., 2015; Barni et al., 2015.
Alteração climática	Forman et al., 2003; Dalgaard et al., 2008; Lehuger et al., 2009; Friedrich, 2015.

Tabela 3: Relação de estudos e impactos de fator antrópico.

<b>Fator Antrópico</b>	<b>Pesquisa</b>
Desvalorização imobiliária	Sandemberg, 2001; Kohler et al., 2012.
Aumento de ruídos e vibrações	Eigenbrod et al., 2009; Kohler et al., 2012; Friedrich e Geldermann, 2013.
Acúmulo de águas e alagamento	Forman et al., 2003.
Interferência com comunidades indígenas	Ferreira et al., 2005; Alves e Homma, 2008; Silva et al. 2011; Ioris, 2015; Ritter et al., 2017.
Atropelamentos e ocorrência de acidentes	Hengemühle e Cademartori, 2008; Huijser et al., 2009; Silva et al. 2011; Freita e Barszcz, 2015.
Insegurança e interferência no direito de ir e vir	Costa et al., 2009; Silva et al. 2011.
Incômodos sonoros	Burguess, 1996; Fernandes, 2002; Kohler et al., 2012; Friedrich e Geldermann, 2013.
Interferência em processo de regularização fundiária	Velásquez et al., 2006.
Incêndios provocados para manutenção de vias	Costa et al., 2009.
Aumento do tráfego de veículos; isolamento de populações	Corlatti et al., 2009; Holderegger e Di Giulio, 2010; Macias e Gadzinsk, 2013.
Geração de resíduos	Friedrich e Geldermann, 2013; Forman et al., 2003; Mucelin e Bellini, 2008.
Problemas sociais pela ocupação irregular ao longo das vias	Ferreira et al., 2005; Velásquez et al., 2006; Alves e Homma, 2008; Mucelin e Bellini, 2008.

A não observação e cuidados com os potenciais prejuízos imediatos e os que podem ser ocasionados pelos impactos ao longo do tempo, são capazes de gerar danos substanciais e irreversíveis ao ecossistema (SANTOS, 2013). Compreender os diversos fatores, suas consequências e formas de mitigação são fundamentais para melhoria de processos, equidade e o cumprimento dos requisitos legais, visando a preservação e consecutiva sustentabilidade ambiental.

Nem sempre o impacto ambiental causa apenas prejuízos ao meio ambiente. Existem os impactos positivos, que cominam em sustentabilidade econômica, social e ambiental a atividade proposta (BARBIERI, 2011). Nesse sentido que o dano ambiental diferencia-se de impacto ambiental, por causar prejuízo e degradação aos recursos ambientais, gerando alteração adversa das funções, processos ou componentes ambientais, que comprometam o equilíbrio do ecossistema (NETO et al., 2013; MIRALÉ, 2015).

Um contrassenso é criado quando são realizadas a valoração de danos ambientais nos estudos e relatórios de empreendimentos. Evidencia-se uma lacuna, que em muitos casos não condizem com a realidade do local, focando em inventários rápidos e grupos específicos, de plantas de espécies raras, endêmicas e/ou ameaçadas (FERRAZ, 2012; RITTER et al., 2017). Essa probabilidade ratifica a falta ou falhas de mensurar e incorporar os danos ambientais como custos em projetos (SINISGALLI, 2005).

A valoração econômica ambiental busca inferir valor a utilização de recursos naturais e serviços ecossistêmicos, que não são estimados pelo mercado (PORTUGAL JÚNIOR et al., 2012; CARNOYE & LOPES, 2015). Desse modo, a valoração ambiental estima os custos que os danos ao meio ambiente decorrentes da ação humana possuem.

A abordagem metodológica de danos ambientais de Tolmasquim (2000), para empreendimentos hidrelétricos, e, posteriormente adaptada por (SINISGALLI, 2005), aponta que os principais danos seriam relativos a:

- a) Biodiversidade: Danos causados aos seres vivos de todas as origens e ecossistemas dos quais fazem parte (BARNI et al., 2015; KARLSON & MÖRTBERG, 2015);
- b) Ciclo Hidrológico: Refere-se às alterações realizadas no ciclo da água, ou seja, na circulação da água entre a superfície terrestre (superfície, solo e rocha) e a atmosfera, alimentado fundamentalmente pela energia solar, gravidade e rotação terrestre (BALBINOT et al., 2008; CARVALHO et al., 2012);
- c) Novas drogas: A supressão vegetal, causa prejuízos a plantas e animais com potencial medicinal, que possam ser utilizados com propósito terapêutico ou precursoras de composição de fármacos (GONÇALVES & PASA, 2015; PEREIRA et al., 2016);
- d) Produtos extrativos madeireiros: A extração ilegal causa danos ao material lenhoso beneficiado (BARBER et al., 2014; BARNI et al., 2015);
- e) Produtos extrativos e não madeireiros: Prejudicado pela extração ilegal e desmatamento, sendo estes produtos florestais não-lenhosos e de origem vegetal oriundos da manutenção da floresta (RIZEK & MORSELLO, 2012; IMPERADOR & WADT, 2014);
- f) Sequestro de carbono: Afetado diretamente pelo desmatamento e poluição. O sequestro de carbono é entendido como o processo de troca do gás carbônico por oxigênio, realizado principalmente nos oceanos e florestas (VIANNA & FEARNSSIDE, 2014; RISIO et al., 2014);
- g) Uso recreativo: As perturbações antrópicas afetam o meio ambiente alterando principalmente paisagem e habitat de animais, colocando em risco a biodiversidade e as funções ecológicas do ecossistema (MACIAS & GADZINSKI, 2013; BARNI et al., 2015);
- h) Valor monetário de existência: O maior problema gerado é a falta de valoração que as atividades econômicas geram ao meio ambiente, dificultando estimativas e



comparativos nas decisões de investimentos em atividades socioeconômicas. (DAVIDSON, 2013; LÓPEZ et al., 2014).

Estes danos, podem ser relacionados aos impactos ambientais causados pela infraestrutura logística e expansão da área agrícola (Tabela 2 e 3), conforme Tabela 4.

Tabela 4: Relação de estudos e danos ambientais logísticos e agrícolas.

<b>Danos Ambientais</b>	<b>Autores</b>
Biodiversidade	Jaeger et al., 2005; Coffin, 2007; Alves e Homma, 2008; Mucelin e Bellini, 2008; Charry e Jones, 2009; Silva et al., 2010; Forman e Sperling, 2011; Reis et al., 2012; Kotviski e Barbola, 2013. Fonseca, 2013; Friedrich, 2015; Macias e Gadzinsk, 2013; Barni et al., 2015; Karlson e Mörtberg, 2015; Friedrich, 2015.
Ciclo hidrológico	Forman et al., 2003; Capamum de Carvalho et al., 2012; Macias e Gadzinsk, 2013;
Novas drogas	Forman et al., 2003; Moura e Marques, 2008; Alves et al., 2009; Alvez e Homma, 2008; Silva et al., 2010; Souto et al, 2011; Macias e Gadzinsk, 2013; Richards et al., 2015; Barni et al., 2015.
Produtos extrativos madeireiros	Cronkleton et al, 2012; Fearnside, 2013; Vianna e Fearnside, 2014; Barber et al., 2014; Barni et al., 2015.
Produtos extrativos não madeireiros	Moura e Marques, 2008; Newton et al., 2012; Rizek e Morsello, 2012; Imperador e Wadt, 2014.
Sequestro de carbono	Cerri et al., 2010; Bellido et al., 2010; Aertsens et al., 2013; Vianna e Fearnside, 2014; Risio et al., 2014; Olsson et al., 2015.
Uso recreativo	Silva et al. 2011; Costa et al., 2009; Richards et al., 2015; Silva et al., 2010. Karadag e Yildiz, 2013; Friedrich, 2015; Macias e Gadzinsk, 2013; Barni et al., 2015.
Valor monetário da existência	Amirnejad et al., 2006; Fisher et al.; 2009; Groot et al., 2010; Salles, 2011; Davidson, 2013; López et al., 2014.

### 2.3 INOVAÇÃO PARA SUSTENTABILIDADE

O agronegócio vem se desenvolvendo por meio de mudanças de gestão, tecnologia e inovação. A inovação tornou-se uma condição importante para todas as organizações, em qualquer setor de atuação. Melhora significativamente a competitividade e produtividade, além de impulsionar o crescimento econômico de mercados, impactando em áreas sócio/econômicas como criação de emprego, diminuição da pobreza e desenvolvimento social (OECD, 2005, 2013; EU-SCAR, 2012; GALEGOS et al., 2016).

A inovação é percebida e conceituada de diversas formas, sendo equivocadamente associada apenas ao termo invenção (TIDD et al., 2008). A Lei 10.973/04 (BRASIL, 2004), Lei da inovação, define inovação como a inserção de novidade ou aprimoramento no ambiente produtivo ou social que suceda em novos produtos, processos ou serviços. Assim, a

inovação é uma vantagem empresarial, e pode ser compreendida como uma nova ideia ou técnica adotada em um processo ou em uma área da organização, capaz de proporcionar mudança, criar novos segmentos e posicionamento de mercado, além de gerar oportunidade e valor para a organização (TIDD et al., 2008; ANGELO et al., 2011; BITTENCOURT et al., 2016).

Nesse sentido, a inovação no agronegócio pode ocorrer de forma simples, como a compra de maquinário ou implementos novos, mudança de processos como irrigação, adubação e controle de pragas, desde que estas tecnologias, metodologias e técnicas constituam mudança na forma de produzir, e não apenas substitua a anterior.

As informações relacionadas à inovação podem fornecer dados sobre os tipos, as fontes e as interações de inovações implementadas pelas empresas, sendo importante a prática colaborativa ao longo da cadeia de suprimentos, principalmente pelo conhecimento e aprendizado que pode ser gerado. Desse modo, as interações acontecem em um sistema agroindustrial, entre agroindústrias, agricultores, instituições financeiras, instituições de ensino e pesquisa, governo, entre outros (HARTWICH, et al., 2007; KLERKX et al., 2009; KLERKX et al., 2010; DE ARTECHE et al., 2013).

Um sistema agroindustrial apresenta interdependência entre seus participantes, interagindo desde a produção de insumos até comercialização do produto final. Esse cenário, possibilita a troca e aperfeiçoamento de tecnologia e processos, cooperando para o desenvolvimento inovativo eficiente e eficaz (CALLADO & CALLADO, 2008; BATALHA, 2009).

Constantes investimentos realizados na produção da soja, demonstram como a inovação vem melhorando a produtividade do grão. Essas inovações são geradas pelo desenvolvimento científico e tecnológico, em áreas chave como, biotecnologia, genética, máquinas, implementos e insumos agrícolas, infraestrutura, gerenciamento agrícola, novas técnicas e práticas agrícolas, entre tantos outros fatores aprimorados constantemente (GONSALVES & LEMOS, 2011; COSTA & SANTANA, 2013).

Muitas das inovações proporcionadas pela indústria da soja, estão vinculadas e concentradas a grandes multinacionais, que monopolizam o mercado e dificultam o desenvolvimento de subsídios que sejam adaptadas a diferentes condições edafoclimáticas, principalmente em novas regiões com potencial produtivo (CORNEJO & JUST, 2007; MARIN & STUBRIN, 2015). Nesse processo, empresas como Monsanto, Syngenta, Novartis, Bayer, BASF e Dupont, controlam cerca de 65% do mercado mundial e mais de 80% das

patentes de sementes e outras tecnologias da área (SCHENKELAARS et al., 2011; SANTOS, 2014).

Quando a inovação e patentes estão relacionadas a defensivos, empresas como Syngenta, Bayer e Basf controlam a maior parcela do mercado (MAIA et al., 2013; SANTOS, 2014). Esse processo acontece também com fertilizantes, máquinas e implementos agrícolas, que apresentam oligopólio de multinacionais, destacando a Vale, Anglo American, Yara, Mosaic/ADM (ANDA, 2015), para atividade de fertilizantes; John Deere, Agco (Massey Ferguson e Valtra) e CNH (Case e New Holland) para máquinas e implementos, que juntas as três marcas controlam mais de 95% do mercado brasileiro (VIAN et al., 2014; COSTA & SANTANA, 2014).

Oportunidades de inovação aparecem nesse panorama, como a solidificação de empresas produtoras de semente e o desenvolvimento de transgênicos por empresas brasileiras (SOUSA & TONIN, 2013; MARIN & STUBRIM, 2015); o uso de agentes biológicos e substituição parcial de fontes convencionais de nutrientes (como adubação mineral) (THEODORO & LEONARDOS, 2011; RAMOS et al., 2014); o manejo integrado de pragas e o controle biológico (LIMA et al., 2011; SIMONATO et al., 2014); e a produção de máquinas e implementos, principalmente voltada a agricultura familiar, além do atendimento a nichos de mercado (CASTILHOS et al., 2008).

A agricultura de precisão, é outra ferramenta que vem ganhando cada vez mais destaque, principalmente para o processo de tomada de decisão. Ela desempenha papel importante e inovador para a produção de grãos, de modo que o solo deixa de ser tratado de modo homogêneo por fundamentar-se na coleta e análise de dados geoespaciais, viabilizando intervenções localizadas, com exatidão e a precisão adequada. Essa perspectiva, auxilia na maximização dos insumos e diminuição dos custos, por fazer inferências específicas nos locais que realmente necessitam, sem desperdícios em outras áreas que não necessitam de tratamento. Por isso, o conhecimento da variabilidade dos atributos do solo é importante para a melhoria do manejo e melhor utilização dos recursos (SIQUEIRA et al., 2008; ROSA FILHO et al., 2011; BOTTEGA, et al., 2013; ARZENO, et al., 2014).

Dentro desse panorama, a geoestatística tem se mostrado fundamental na agricultura (ALESSO, et al. 2012), por meio dessa ferramenta, é possível descrever e quantificar a variabilidade espacial de vários atributos de solo e planta. O uso de métodos de interpolação e de semivariogramas, possibilitam a descrição do comportamento de um atributo dentro da área estudada, permitindo um mapeamento detalhado e qualificado,

determinando o grau de dependência de uma grandeza medida e o domínio em cada amostragem (BOTTEGA, et al., 2013; VÁZQUEZ, et al., 2010).

Diante de tantos avanços no sistema produtivo da soja, é imprescindível que os investimentos em conhecimento científico e em tecnologia propiciem inovação produtiva juntamente com a manutenção aos recursos ambientais, garantindo sustentabilidade da atividade agrícola. O desenvolvimento sustentável provém de uma profunda reavaliação da interação entre homem e o meio ambiente, visando compatibilizar o atendimento das necessidades socioeconômicas do ser humano no presente, com as necessidades de preservação do ambiente, assegurando que gerações futuras possam atenderem as suas próprias necessidades (HANSMANN et al., 2012; BOFF, 2014; SERRANO et al., 2017).

O conceito de sustentabilidade está relacionado a três dimensões, social, econômica e ambiental, de modo que, a partir de ações eficientes em cada uma destas é que se atinge a sustentabilidade empresarial. A visão social diz respeito ao capital humano, comunidade/sociedade, que direta ou indiretamente, é influenciada pelas atividades desenvolvidas pela unidade produtiva. Já do ponto de vista econômico, a unidade produtiva deve estar apta a produzir e comercializar seus produtos/serviços, de modo competitivo, justo, com retorno do investimento mantendo a saúde organizacional. A dimensão ambiental preocupa-se com a eco-eficiência de seus processos, adotando práticas que minimizem qualquer impacto ao ambiente, direta ou indiretamente, a curto, médio ou longo prazo (DIAS, 2009; ZAMAN et al., 2016; GOMEZ et al., 2017; SERRANO et al., 2017).

Todas estas dimensões geram efeitos na dimensão ambiental, porém se as ações forem individuais em apenas uma dimensão, a mesma se torna sustentável apenas naquele âmbito. As organizações que atuam no agronegócio, precisam, além de produzir com a máxima eficiência, necessitam também se preocupar com novos padrões ambientalistas, buscando alternativas que resultem em um menor impacto ambiental.

A inovação no agronegócio é facilmente identificada pela implantação ou melhoria de tecnologias combinadas (cultivares, fertilizantes, práticas agrícolas, entre outros) e não-tecnologias (práticas sociais, melhoria trabalhista, configurações institucionais, entre outros) que melhoram significativamente o processo produtivo e os resultados da produção (STYGER et al., 2011; HOUNKONNOU et al., 2012; SCHUT et al., 2015). A amplitude destas mudanças acontece em níveis diferentes (campo, fazenda, região), e são adaptadas pelas interações entre as partes interessadas, direta ou indiretamente, do setor agrícola (KLERKX et al., 2010; OLIVEIRA & IPIRANGA, 2011; KILELU et al., 2013).

O sistema operacional produtivo e as inovações, tanto de produto e de processo, ao atender as três dimensões da sustentabilidade, devem promover ganhos para o meio ambiente em termos de redução no uso de recursos e de emissões de poluentes. A Tabela 5 apresenta algumas inovações sustentáveis nas dimensões social, econômica e ambiental.

Tabela 5: Inovação sustentável na soja brasileira.

Social	Econômico	Ambiental
<ul style="list-style-type: none"> <li>Interiorização do desenvolvimento e dinamização de cadeias produtivas</li> <li>Atenuação dos fluxos migratórios rumo às megalópoles</li> <li>Criação de fortes polos regionais</li> <li>Geração de empregos diretos e indiretos</li> <li>Modernização das relações trabalhistas no campo</li> <li>Treinamento, capacitação e valorização do trabalhador e de sua família</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Valor da produção primária</li> <li>Cadeias produtivas dinâmicas, modernas e sofisticadas</li> <li>Agregação de valor em carne e outros alimentos</li> <li>Liderança nas exportações</li> <li>Elevação de receita</li> <li>Responde positivamente pelo saldo comercial brasileiro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Conservação de solos</li> <li>Sequestro de carbono</li> <li>Dispensa da adubação nitrogenada</li> <li>Redução no uso de agrotóxicos</li> <li>Redução na taxa de desmatamento</li> </ul>

Adaptado: Gazzoni (2013).

Um dos maiores desafios para o alinhamento dos produtores agrícolas ao modelo de organização inovadora sustentável, encontra-se na resistência a mudanças de novos processos e produtos, a falta de investimentos e incentivos por parte do setor público, e a influência exercida por grandes corporações a área de atuação (KLERKX et al., 2009; HERMANS et al., 2013).

A interação entre os participantes da cadeia produtiva da soja, em primeira instância acontece por meio de processos e estrutura logística. A melhor governança da unidade produtiva e o gerenciamento voltado para uma produção mais limpa, propicia o surgimento de inovações em processos e produtos em benefício da sustentabilidade do setor (NASCIMENTO et al., 2008; OLIVEIRA & IPIRANGA, 2011).

## 2.4 INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO

O solo é primordial para o funcionamento, manutenção e estabilidade de todo o ecossistema terrestre, sendo definido como um sistema multifacetado, complexo, natural, vivo e dinâmico (CAPRONI et al., 2011; BOTTINELLI et al., 2015). A qualidade do solo tem assumido diversos conceitos ao longo dos anos, que vão desde um ponto de vista puramente

agrícola, até uma perspectiva mais ambiental, de modo que a maioria o relaciona com as atribuições do solo no meio agrícola e a ecossistemas (BATISTA et al., 2008; ARAÚJO et al., 2012), assumindo lugar estratégico importante para avaliar a sustentabilidade ambiental dos ecossistemas naturais e antropogênicos (CHERUBIN et al. 2015).

As definições de qualidade do solo em geral, fundamentam-se na capacidade de um solo funcionar em um sistema natural ou manejado, respeitando os limites do ecossistema e do uso da terra, mantendo a produtividade vegetal e animal, conservando a qualidade do ar e da água, bem como interagindo positivamente com o ser humano (KARLEN et al., 1997; KASCHUK et al., 2010; ARAÚJO et al., 2012; FERREIRO & FU, 2016). O termo qualidade do solo se refere à aptidão do solo para a realização de uma função específica, diferente de saúde do solo, que designam à sua condição geral (SOTRES et al., 2005).

A produtividade agrícola é profundamente influenciada pelas decisões e compreensões realizadas em relação a qualidade do solo. A qualidade do solo é medida por meio de sua competência de desempenhar funções de sustentação da biodiversidade, regulação dos fluxos de água e solutos, ciclagem de nutrientes, imobilização de compostos orgânicos, entre outros. Por não possuir um padrão estabelecido, a qualidade do solo é avaliada por indicadores do solo, que podem ser entendidos como um conjunto de parâmetros que, quando interagem, fornecem dados numéricos e mensuráveis sobre a propensão de um solo para realizar uma determinada função (BATISTA et al., 2008; TESFAHUNEGN et al., 2016; FERREIRO & FU, 2016).

Para analisar a qualidade do solo é importante a precisão em sua mensuração, sendo necessário indicadores que proporcionem uma visão do todo, que demonstrem sensibilidade e aplicação significativa aos usuários quanto a condição de saúde do solo. Assim, indicadores relacionados aos atributos químicos, físicos e biológicos do solo refletem o funcionamento do mesmo como um sistema (CARDOSO et al., 2013).

As análises físicas do solo podem ser verificadas por meio de técnicas de geoestatística, utilizando uma combinação de atributos físicos como densidade, compactação, teor de umidade, textura do solo, limites de consistência, resistência do solo a penetração das raízes, profundidade efetiva de enraizamento, capacidade de troca de íons, tipos e tamanhos de material particulado (areia, silte, argila), entre outros, que possibilitam uma avaliação da variabilidade espacial da qualidade física do solo em uma determinada área (ARZENO et al., 2014; RABBI et al., 2014; MONCADA et al., 2015; TAVARES et al., 2015). Indicadores como a condutividade hidráulica, curva de retenção de água no solo, porosidade, ponto de

inflexão, são alguns dos indicadores da qualidade física do solo, que toram este processo mais veloz, descomplicado e menos complexo (SANTOS et al., 2011; STEFANOSKI et al., 2013).

Os atributos químicos podem ser determinados por meio da análise do pH, do teor de macro e micronutrientes, da disponibilidade de fósforo (P), potássio (K), magnésio (Mg), cálcio (Ca), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), manganês (Mn), ferro (Fe), zinco (Zn), acidez, na quantidade de metais, pesticidas, hidrocarbonetos, do teor de matéria orgânica (MO), entre outros (DEMATTÊ et al., 2011; CUNHA et al., 2012; ARTUR et al., 2014; CHERUBIN et al. 2015). Entender como a distribuição espacial dos atributos físicos e químicos do solo funciona é fundamental para estabelecer adequadas práticas de manejo, não só em termos de maximizar a produção agrícola, como também reduzir possíveis danos ambientais (SOUZA et al., 2010).

O indicador biológico exerce forte influência na ciclagem de nutrientes, além da complexa interação com as plantas (SILVA et al., 2012). Quanto aos parâmetros biológicos, estes vão desde a diversidade e número das populações microscópica e macroscópica, respiração do solo, biomassa, capacidade de transformar substrato, entre outros (SANTOS et al., 2013; MAAB et al., 2015; HERRADA et al., 2016; FRANCO et al., 2017).

As ações antrópicas impactam diretamente nas populações biológicas do solo e sua diversidade da fauna, sensíveis a mudanças. Qualquer ação realizada no solo que auxilie no equilíbrio dos microorganismos presentes no solo, podem resultar em benefícios como a melhora das propriedades dos solos, o aumento da produtividade, menores custos, diminuição de fertilizantes minerais ou pesticidas, e a melhoria da sustentabilidade (KASCHUK et al., 2010; PEREIRA et al. 2012).

Monitorar as alterações nas propriedades químicas, físicas e biológicas fornecem informações que propiciam resultados importantes para agricultura de precisão, que sistematiza o gerenciamento agrícola da unidade produtiva, na busca de resultados sustentáveis nas esferas sociais, econômica e ambiental (CARNEIRO et al., 2009; BRASIL, 2012).

Os efeitos isolados dos atributos do solo no preparo e nas plantas são largamente reconhecidos, mas nem sempre eficientes para estabelecer uma relação de causa-efeito com a produtividade das culturas (SANTI et al., 2012). Indicadores modificados de modo isolado, podem ainda proporcionar alterações no solo, sem sua estrutura e atividade biológica, com possível reação na qualidade e rendimento das plantações. Nesse cenário, a estimativa conjunta e correlacionada dos atributos físicos, químicos e biológicos, são importantes para o melhor manejo do solo e lavouras, promovendo a sustentabilidade do sistema agrícola. O

exame conjunto dos indicadores é possível por meio de ferramentas de análise das informações (CARNEIRO et al., 2009; CUNHA et al. 2012).

São ferramentas com procedimentos estatísticos, como a análise multivariada dos dados, correlação simples, análise fatorial e dos principais componentes que propiciam informações relevantes sobre as relações complexas entre os atributos, e permite a melhor tomada de decisões quanto a estratégias de manejo, bem como de intervenções georeferenciadas na área produtiva (FREDDI et al., 2008; NOGARA NETO et al., 2011; SANTI et al., 2012).



## 2.5 REFERÊNCIAS

ADISSI, P. J.; ALMEIDA NETO, J. A. **Conceitos básicos de gestão ambiental**. In Adissi, P. J. *Gestão ambiental*. 1. ed., Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

AERTSENS, J.; DE NOCKER, L.; GOBIN, A. Valuing the carbono sequestration potential for European agriculture. **Land Use Policy**, march, v. 31, p. 584-594, 2013.

ALESSO, C. A., et al. Variabilidad espacial de atributos químicos y físicos en un suelo de la pampa llana santafesina. **CI. Suelo** (Argentina) v. 30 (1), 85-93, 2012.

ALHO, C. J. R. Concluding remarks: overall impacts on biodiversity and future perspectives for conservation in the Pantanal biome. **Brazilian Journal of Biology**, Apr., v. 71 (1), p. 337-41, 2011.

ALVES, R. N. B.; HOMMA, A. K. O. **Amazônia: do verde ao cinza**. 2.ed. rev. - Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2008.

ALVES, R. R. N.; LÉO NETO, N. A.; BROOKS, S. E.; ALBUQUERQUE, U. P. Commercialization of animal-derived remedies as complementary medicine in the semi-arid region of Northeastern Brazil. **Journal of ethnopharmacology**, v. 124, iss: 3, p. 600-609, 2009.

AMIRNEJAD, H.; KHALILIAN, S.; ASSAREH, M. H.; AHMADIAN, M.. Estimating the existence value of north forests of Iran by using a contingent valuation method. **Ecological Economics**, v. 58 (4), p. 665-675, 2006.

ANDA - Estatísticas: principais indicadores do setor de fertilizantes. Disponível em: <<http://www.anda.org.br/index.php?mpg=03.00.00>>. Acesso em: 04/10/2017.

ANGELO, F. D.; JABBOUR, C. J. C.; GALINA, S. V. R. Inovação ambiental: das imprecisões conceituais a uma definição comum no âmbito da gestão ambiental proativa. **Gepros: Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, v. 6(4), p.143-155, 2011.

ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 5, n. 1, p. 187-206, 2012.

ARTUR, A. G.; OLIVEIRA, D. P.; COSTA, M. C. G.; ROMERO, R. E.; SILVA, M. V. C.; FERREIRA, T. O. Spatial variability of soil chemical attributes associated with microrelief. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18 (2), p.141, 2014.

ARZENO, J. L.; VIEIRA, S. R.; SIQUEIRA, G. M.; GUEDES FILHO, O. Variabilidade espacial da resistência à penetração na superfície do solo em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 9, n. 3, p. 343-352, 2014.

BALBINOT, R.; OLIVEIRA, N. K.; VANZETTO, S. C.; PEDROSO, K.; VALÉRIO, A. F. O papel da floresta no ciclo hidrológico me bacias hidrográficas. **Ambiência**, v. 4, n. 1, p. 131-149, 2008.

BARBER, C. P.; COCHRANE, M. A.; SOUZA, C. M.; LAURANCE, W. F. Roads, deforestation, and the mitigating effect of protected areas in the Amazon. **Biological Conservation**, September, v. 177, p. 203-209, 2014.

BARBIERI, J. C. **Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos**. 3. Ed. São Paulo: Saraiva, 2011.

BARNI, P. E.; FEARNSIDE, P. M.; GRAÇA, P. M. L. A. Simulating deforestation and carbon loss in Amazonia: impacts in Brazil's Roraima state from reconstructing Highway BR-319 (Manaus-Porto Velho). **Environmental Management**, v. 55 (2), p. 259-278, 2015.

BATALHA, M. O. **Gestão agroindustrial**. São Paulo: Atlas, 2009.

BATISTA, F.; ZSOLNAY, A.; HERNÁNDEZ, T.; GARCÍA, C. Past, present and future of soil quality indices: A biological perspective. **Geoderma**, v. 147, p. 159–171, 2008.

BEHRENS, K.; PICARD, P. M. Transportation, freight rates, and economic geography. **Journal of International Economics**. v. 85, November, p. 280–291, 2011.

BELIDO, R. J. L.; LAL, R.; OWENS, L. B.; BELLIDO, L. L. Does North Appalachian agriculture contribute to soil carbon sequestration? **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 137 (3), p. 373-376, 2010.

BESKE, P.; LAND, A.; SEURING, S. Sustainable supply chain management practices and dynamic capabilities in the food industry: A critical analysis of the literature. **International Journal of Production Economics**. v. 152, June, p. 131-143, 2014.

BITTECOURT, B. A.; SALLES, A. C.; ALVES, A. P. Inovação no agronegócio: um estudo sobre o processo de desenvolvimento de produto no segmento de ovinocultura. **Revista de Empreendedorismo, Inovação e Tecnologia**, v. 3 (2), p. 3-15, 2016.

BOFF, L. **Sustentabilidade: o que é: o que não é**. 3 ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2014.

BOTTEGA, E. L., QUEIROZ, D. M., PINTO, F. A. C., SOUZA, C. M. A. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Revista de Ciência e Agronomia**, v. 44, n. 1, jan-mar, p. 1-9, 2013.

BOTTINELLI, N., JOUQUET, P., CAPOWIEZ, Y., PODWOJEWSKI, P., GRIMALDI, M., PENG, X. Why is the influence of soil macrofauna on soil structure only considered by soil ecologists? **Soil & Tillage Research**, v. 146, p. 118–124, 2015.

BOUCHER, D., ELIAS, P., LININGER, K., MAY-TOBIN, C., ROQUEMORE, S. AND E. SAXON. What's Driving Tropical Deforestation Today? **Union of Concerned Scientists**, Washington, DC, USA, 2011.

BOWERSOX, D.; CLOSS, D. **Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimentos**. São Paulo, Atlas, 2010.

BRASIL, Resolução CONAMA N° 001, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. **Publicado no D.O.U. de 17/02/86**.

BRASIL, Resolução CONAMA N° 237, de 22 de dezembro de 1997. Regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional do Meio ambiente. Publicado no **D.O.U. n° 247, de 22/12/1997**.

BRASIL. Lei 10.973, de 02 de dez. de 2004. incentivos à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo, Brasília, DF, 2004, dez.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria n° 852 - Art. 1° Criar a Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão – CBAP. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 21 set. 2012**. Seção 1, n. 184.

BURDZIK, R.; et al. Cargo loading and unloading efficiency analysis in multimodal transport. **Promet – Traf c&Transportation**, v. 26, n. 4, p. 323-331, 2014.

BURGESS, M. Trends in traffic noise research over 25 years. In: **Congresso Internacional de Engenharia de Controle de Ruído**, 1996, Liverpool. Anais. Liverpool: INTERNOISE'96, 371-376, 1996.

CALLADO, A. A. C.; CALLADO, L. C. **Sistemas agroindustriais**. In Callado, Antonio André Cunha (Org.). Agronegócio. São Paulo: Atlas, 2008.

CAMAPUM DE CARVALHO, J.; FARIAS, M. M.; REZENDE, L. R. **Infiltração em pavimento**: problemas e soluções. Livro Tópicos sobre infiltração: teoria e prática aplicadas a solos tropicais. Cap. 31, p. 607- 620, 2012.

CANOYE, L.; LOPES, R. Participatory environmental valuation: A comparative analysis of case studies. **Sustainability**, v. 7, 8, p. 9823 -9845, 2015.

CAPRONI, A.L., GRANHA, J.R.D.O., SOUCHIE, E.L., FIGUEIRA, A.F., OLIVEIRA, A.C.S. Diversidade da macrofauna do solo em ecossistemas no município de Rolim de Moura, RO. **Global Science and Technology**. v. 03, p. 48-57, 2011.

CARDOSO, E. J. B. N., VASCONCELOS, R. L. F., BINI, D., MIYAUCHI, M. Y. H., DOS SANTOS, C. A., ALVES, P. R. L., DE PAULA, A. M., NAKATANI, A. S., PEREIRA, J.

M., NOHUEIRA, M. A. Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health? **Scientia Agricola**. v. 70, p. 274-289, 2013.

CARIS, A.; LIMBOURG, S.; MACHARIS, C.; LIER, T. V.; COOLS, M. Integration of inland waterway transport in the intermodal supply chain: a taxonomy of research challenges. **Journal of Transport Geography**. v. 41, p. 126–136, 2014.

CARNEIRO, B. M.; ADORNO, L. F. M. A implantação de vias e o manejo de áreas protegidas na região do Jalapão: a rodovia TO 110 e o seu entorno. **Caminhos de Geografia**, v. 11, n. 33, mar, p. 120-137, 2010.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F., PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n.1, p.147-157, 2009.

CARVALHO, A. P. V.; BRUMATTI, D. V.; DIAS, H. C. T. Importância do manejo da bacia hidrográfica e da determinação de processos hidrológicos. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 2, n. 2, dezembro, p. 148-156, 2012.

CARVALHO, C. H. R. Emissões relativas de poluentes do transporte urbano. IPEA. **Boletim regional, urbano e ambiental**. 05. Jun. 2011.

CASTILHOS, C. C.; JORNADA, M. I. H.; STERNBERG, S. S. W.; GUILARDI, R. C. A indústria de máquinas e implementos agrícolas no RS: notas sobre a con guração recente. **Ensaio FEE**, v. 29(2), p. 467-502, 2008.

CAVALETT, O., ORTEGA, E. Energy, nutrients balance, and economic assessment of soybean production and industrialization in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, 8, p. 762-771, 2009.

CERRI, C. C., BERNOUX, M., MAIA, S. M. F.; CERRI, C. E. P.; JUNIOR, C. C.; FEIGL, B. J.; FRAZÃO, L. A.; MELLO, F. F. C.; GALDOS, M. V.; MOREIA, C. S.; CARVALHO,

J. L. N. Review: Greenhouse gas mitigation options in Brazil for land-use change, livestock and agriculture. **Scientia Agrícola**, v. 67, n. 1, p. 102-116, 2010.

CHAER, G. M.; MYROLD, D. D.; BOTTOMLEY, P. J.. A soil quality index based on the equilibrium between soil organic matter and biochemical properties of undisturbed coniferous forest soils of the Pacific Northwest. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 41, p. 822–830, 2009.

CHARRY, B., JONES, J. Traffic volume as a primary road characteristic impacting wildlife: a tool for land use and transportation planning. In: Wagner, P.J., Nelson, D., Murray, E. (Eds.), Proceedings of the International Conference on Ecology and Transportation. **Center for Transportation and the Environment**, Raleigh, p. 159–172, 2009.

CHERUBIN, M. R.; FRANCO, A. L. C.; CERRI, C. E. P.; OLIVEIRA, D. M. S.; DAVIES, C. A.; CERRI, C. C. Sugarcane expansion in Brazilian tropical soils—Effects of land use change on soil chemical attributes. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 211, December, p. 173-184, 2015.

CNA – Confederação da Agricultura e Pecuária Brasil. 2017. **PIB e performance do agronegócio**. Disponível em: <[http://www.cnabrazil.org.br/sites/default/files/sites/default/files/uploads/02\\_pib.pdf](http://www.cnabrazil.org.br/sites/default/files/sites/default/files/uploads/02_pib.pdf)>. Acesso em 15 de agosto de 2017.

CNT – Confederação Nacional do Transporte. **Entraves logísticos ao escoamento de soja e milho**. Brasília: CNT: 2015.

CNT – Confederação Nacional do Transporte. **Relatório Pesquisa CNT de Rodovias 2011**. Disponível em <[www.cnt.org.br](http://www.cnt.org.br)>. Acesso em 15 de agosto de 2016.

COLLIER, P. The politics of hunger: how illusion and greed fan the food crisis. **Foreign Aff**, v. 87, p. 67-79, 2008.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. 2016. **Séries históricas**. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=&Pagina\\_objcmsconteudos=3#A\\_objcmsconteudos](http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=&Pagina_objcmsconteudos=3#A_objcmsconteudos)>. Acesso em: 20 maio de 2016.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. 2017. **Séries históricas**. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=&Pagina\\_objcmsconteudos=3#A\\_objcmsconteudos](http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=&Pagina_objcmsconteudos=3#A_objcmsconteudos)>. Acesso em: 20 agosto de 2017.

CONAMA. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução do CONAMA n 001** de 23 de janeiro de 1986. Brasília, 1992.

CORLATTI, L.; HACKLÄNDER, K.; FREY-ROSS, F. Ability of wildlife overpasses to provide connectivity and prevent genetic isolation. **Conservation Biology**, v. 23, p. 548-556, 2009.

CORNEJO, J. F.; JUST, R. E. Researchability of modern agricultural input markets and growing concentration. **American Agricultural Economics Association**. v. 89. n° 5, p. 1269-1275, 2007.

CORRÊA, H. L. **Administração de cadeia de suprimento e logística**. São Paulo: Atlas, 2014.

COSTA, E. P.; FIELDER, N. C.; MEDEIROS, M. B.; WANDERLEY, F. B. Incêndios florestais no entorno de unidades de conservação – Estudo de caso na estação ecológica de Águas Emendadas, Distrito Federal. **Ciência Florestal**, v. 19, n. 2, Apr./June, 2009.

COSTA, N. L.; SANTANA, A. C. Poder de mercado e desenvolvimento de novas cultivares de soja transgênicas e convencionais: análise da experiência brasileira. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 56, n. 1, jan./mar, p. 61-68, 2013.

COSTA, N. L.; SANTANA, A. C. Estudo da concentração de mercado ao longo da cadeia produtiva da soja no Brasil. **Revista de Estudos Sociais**. v. 16, n° 32, p. 111-135, 2014.

CRONKLETON, P.; GUARIGUATA, M. R.; ALBORNOZ, M. A. Multiple use forest planning: Timber and Brazil nut management in the community forest of Northern Bolivia. **Forest Ecology and Management**, v. 268, march, p. 49-56, 2012.

CUNHA, E. Q.; STONE, L. F.; FERREIRA, E. P. B.; DIDONET, A. D.; MOREIRA, J. A. A. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.1, p. 56-63, 2012.

D'AGOSTO, M. A. **Transporte, uso de energia e impactos ambientais**: uma abordagem introdutória. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

DALGAARD, R., SCHMIDT, J., HALBERG, N., CHRISTENSEN, P., THRANE, M., PENGUE, W. LCA of soybean meal. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 3, 3, p. 240-254, 2008.

DAVID, P.; STEWART, R. **Logística Internacional**. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

DAVIDSON, M. D. On the relation between ecosystem services, intrinsic value, existence value and economic valuation. **Ecological Economics**, november, v. 95, p.171-177, 2013.

DE ARTECHE, M., SANTUCCI, M. Y WELSH, S. V. Redes y clusters para la innovación y la transferencia del conocimiento. Impacto en el crecimiento regional en Argentina. **Estudios Gerenciales**, v. 29, 127, p. 127–138, 2013.

DEMATTE, J. A. M.; GENÚ, A. M. Prediction of soil chemical attributes using optical remote sensing. **Acta Scientiarum: Agronomy**, October, v.33, 4, p.723-727, 2011.

DI MININ, E.; SOUTULLO, A.; BARTESAGHI, L.; RIOS, M.; SZEPHEGYI, M. N.; MOILANEN, A. Integrating biodiversity, ecosystem services and socio-economic data to identify priority areas and landowners for conservation actions at the national scale. **Biological Conservation**. v. 206. Feb. p. 56-64, 2017.

EIA/RIMA. Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental. 2009. **EIA/RIMA para Implantação da Ferrovia EF 354 – Trecho: Uruaçu/GO - Vilhena/RO**



EIGENBROD, F., HECNAR, ST.J., FAHRIG, L. Quantifying the road-effect zone: threshold effects of a motorway on anuran populations in Ontario, Canada. **Ecology Society**, v. 14, p. 1–18, 2009.

ELIAS, D. Les territoires de l'agrobusiness au Brésil. **Confins**, v. 01 June, Iss. 15, 2012.

EU-SCAR. Agricultural Knowledge and Innovation Systems in Transition—a reflection paper. **Brussels: European Commission**. 2012.

FEARNSIDE, P.M. **A exploração de áreas sob floresta amazônica e a ruptura do equilíbrio do ambiente**. p. 91-100 In: L.P.M. Plese, S.T. Teixeira, A.M.L. Garcia, C. Roweder, C.G. da Silva, C.S. de Farias, E.C.O. Sanchez, J.M.P.R. de Alcântara & M.A.C. Teixeira (eds.) *Áreas Degradadas da Amazônia: Perspectivas Sustentáveis para Exploração Econômica*. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Acre (IFAC), Rio Branco, Acre. 100 p., 2013.

FERNANDES, J. C. **O ruído ambiental: Seus efeitos e seu controle**. Faculdade de Engenharia Mecânica da UNESP . Campus de Bauru, São Paulo. 2002.

FERRAZ, G. Twelve guidelines for biological sampling in environmental licensing studies. **Nat Conservação** 10 (1), 20–26, 2012.

FERREIRA, L. V.; VENTICINQUE, E.; ALMEIDA, S. O desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 53, Jan./Apr., 2005.

FERREIRO, J. P.; FU, S. Biological indices for soil quality evaluation: perspectives and limitations. **Land Degrad. Develop.** 27, p. 14–25, 2016.

FIGUEIREDO, A. M.; SANTOS, M. L.; LÍRIO, V. S. Análise de market-share e fontes de variação das exportações brasileiras de soja. **Revista de Economia e Agronegócio**, v. 2, n. 3. p. 335-360, 2015.

FISHER, B.; TURNER, R. K.; MORLING, P. Defining and classifying ecosystem services for decision making. **Ecological Economics**, v. 68, Iss. 3, January, p. 643-653, 2009.

FLEURY, P. F.; et al. **Logística Empresarial**. São Paulo: Atlas, 2011.

FONSECA, E. S. **Visão geográfica integrada das estratégias de controle das leishmanioses no município de Teodoro Sampaio, SP, com o apoio do geoprocessamento**. 2013. xviii, 248 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2013.

FORMAN, R.T.T., SPERLING, D. The future of roads: no driving, no emissions, nature reconnected. **Solutions**, v. 5, p. 10–23, 2011.

FORMAN, R.T.T., SPERLING, D., BISSONETTE, J.A., CLEVINGER, A.P., CUTSHALL, C.D., DALE, V.D., FAHRIG, L., FRANCE, R., GOLDMAN, C.R., HEANUE, K., JONES, J.A., SWANSON, F.J., TURREN- TINE, T., WINTER, T.C. Road Ecology: Science and Solutions. **Island Press**, Washington, DC. 2003.

FRANCO, A. L. C.; CHERUBIN, M. R.; CERRI, C. E. P.; GUIMARÃES, R. M. L.; CERRI, C. C. Relating the visual soil structure status and the abundance os soil engineering invertebrates across land use change. **Soil & Tillage Research**, november, v. 173, p.49-52, 2017.

FREDDI, O. DA S.; FERRAUDO, A. S.; CENTURION, J. F. Análise multivariada na compactação de um Latossolo Vermelho cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 953-961, 2008.

FREITAS, S. R.; BARSZCZ, L. B. A perspectiva da mídia online sobre os acidentes entre veículos e animais em rodovias brasileiras: uma questão de segurança? **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 33, abr., p. 261-276, 2015.

FRIEDRICH, J. Integrating neglected ecological impacts of road transport into corporate management. **Ecological Indicators**, v. 54, p. 197–202, 2015.

FRIEDRICH, J., GELDERMANN, J. **Current practices of mitigating the ecologically harmful effects of roads—an assessment**. In: Friedrich, J., Halsband, A., Minkmar, L.

(Eds.), *Societal Dimensions of the Conservation and Utilization of Biological Diversity*. Goettingen University Press, Goettingen, p. 341–358, 2013.

GALLEGOS, N. A.; GONZÁLES, E. G. M.; ÁVILA, J. A.; CORTÉS, H. S.; RODRÍGUEZ, M. M.; SÁNCHEZ, E. I. G. Análisis de redes sociales para catalizar la innovación agrícola: de los vínculos directos a la integración y radialidad. **Estudios Gerenciales**, v. 32, p. 197-207, 2016.

GAZZONI, D. L. **A sustentabilidade da soja no contexto do agronegócio brasileiro e mundial**. Londrina: Embrapa Soja, 2013.

GHVANIDZE, S.; VELIKOVA, N.; DODD, T. H.; OLDEWAGE-THERON, W. Consumers' environmental and ethical consciousness and the use of the related food products information: The role of perceived consumer effectiveness. **Appetite**, v. 107, p.311-322, 2016.

GIL-SOTRES, F.; TRASAR-CEPEDA, C.; LEIRÓS, M. C.; SEOANE, S. Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 37, p. 877–887, 2005.

GÓMEZ, E. G.; SÁNCHEZ, J. A. A.; MESA, J. C. P.; MUÑOZ, L. P. Exploring synergies among agricultural sustainability dimensions: An empirical study on farming system in Almería (Southeast Spain). **Ecological Economics**, v.140, p.99-109, 2017.

GONÇALVES, K. G.; PASA, M. C. A etnobotânica e as plantas medicinais na Comunidade Sucuri, Cuiabá, MT, Brasil. **Revista Internacional de Desenvolvimento Local**, v. 16, n. 2, p. 245, 2015.

GONSALVES, E.; LEMOS, M. B. Padrão de inovação tecnológica na indústria de defensivos agrícolas brasileira. **Revista de Economia e Agronegócio**, v. 9, n. 1, p. 1-28, jan./abr, 2011.

GROOT, R. S.; ALKEMADE, R.; BRAAT, L.; HEIN, L. WILLEMEN, L. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. **Ecological Complexity**, v. 7, Iss. 3, p. 260-272, 2010.

HANSMANN, R.; MIEG, H.; FRISCHKNECHT, P. Principal sustainability components: empirical analysis of synergies between the three pillars of sustainability. **International Journal of Sustainable Development and World Ecology**, v. 19, 5, p. 451, 2012.

HARTWICH, F., MONGE PÉREZ, M., AMPUERO RAMOS, L. Y SOTO, J. L. Knowledge management for agricultural innovation: Lessons from networking efforts in the Bolivian Agricultural Technology System. **Knowledge Management for Development Journal**, v. 3, 2, p. 21–37, 2007.

HENGEMÜHLE, A.; CADEMARTORI, C. V. Levantamento de mortes de vertebrados silvestres devido a atropelamento em um trecho da estrada do mar (RS-389). **Biodiversidade Pampeana**, v. 6, n. 2., p. 4-10, dez. 2008.

HERMANS, F.; STUIVER, M.; BEERS, P. J.; KOK, K. The distribution of roles and functions for upscaling and outscaling innovations in agricultural innovation systems. **Agricultural Systems**, v.115, p.117 -128, 2013.

HERNANDEZ, E. F. T.; CARVALHO, M. S. O tráfico de animais silvestres no Estado do Pará. **Acta Scientiarum Human and Social Sciences**, v. 28, n. 2, p. 257-266, 2006.

HERRADA, M. R.; FERNÁNDEZ, R. R. G.; LEANDRO, W. M.; FERREIRA, E. P. B.; FERRARESI, T. M.; PÉREZ, J. J. R. Evaluation of biological attributes of soil type latossol under agroecological production. **Centro Agrícola**, v.43, 4, p.14-20, 2016.

HOLDEREGGER, R.; DI GIULIO, M. The genetic effects of roads: A review of empirical evidence. **Basic and Applied Ecology**, v. 11, p. 522-531, 2010.

HORLINGS, L. G.; MARSDEN, T. K. Towards the real green revolution? Exploring the conceptual dimensions of a new ecological modernisation of agriculture that could ‘feed the world’. **Global Environmental Change**, v. 21, p. 441–452, 2011.

HOUNKONNOU, D.; KOSSOU, D.; KUYPER, T. W.; LEEUWIS, C.; NEDERLOF, E. S.; RÖLING, N. An innovation systems approach to institutional change: smallholder development in West Africa. **Agricultural Systems**, v. 108, p. 74-83, 2012.

HUANG, X.; LI, M.; LI, J.; SONG, Y. A high-resolution emission inventory of crop burning in fields in China based on MODIS Thermal Anomalies/Fire products. **Atmospheric Environment**, v. 50, p. 9-15, 2012.

HUIJSER, M. P.; DUFFIELD, J. W.; CLEVINGER, A. P.; AMENT, R. J.; MCGOWEN, P. T. Cost-benefit analyses of mitigation measures aimed at reducing collisions with large ungulates in the United States and Canada: a decision support tool. **Ecology and Society**, v. 14, p. 15, 2009.

IMPERAODR, A.; WADT, L. Certification of non-timber forest products in the merchantability view of extractive associations in the state of Acre. **HOLOS**, v. 30, 1, p. 126-135, 2014.

IORIS, A. A. R. Cracking the nut of agribusiness and global food insecurity: In search of a critical agenda of research. **Geoforum**. v. 63, p. 1-4, 2015.

ITTMANN, H. W. Green Supply Chains – a new priority for supply chain managers. **CSIR Built Environment**, 2011.

IZAKSSON, K.; HUGE-BRODIN, M. Understanding efficiencies behind logistics service providers' green offerings. **Management Research Review**, v. 36, Iss. 3 p. 216 - 238, 2013.

JAEGER, J.A.G., BOWMAN, J., BRENNAN, J., FAHRIG, L., BERT, D., BOUCHARD, J., CHARBONNEAU, N., FRANK, K., GRUBER, B., TLUK VON, K., TOSCHANOWITZ. Predicting when animal populations are at risk from roads: an interactive model of road avoidance behavior. **Ecological Modelling**, v. 185, p. 329–348, 2005.

KARADAG, A. A.; YILDIZ, K. A research on the determination of the ecological effects of road networks: The example of Hendek, Turkey. **Journal of Applied Sciences**, v. 13, 5, p. 692-699, 2013.

KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, J. W.; CLINE, R. G.; HARRIS, R. F.; SCHUMAN, G. E. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, p. 4-10, 1997.

KARLSON, M.; MÖRTBERG, U. A spatial ecological assessment of fragmentation and disturbance effects of the Swedish road network. **Landscape and Urban Planning**, v. 134, p. 53-65, 2015.

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: Lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 42, p. 1-13, 2010.

KASTNER, T.M., IBARROLA-RIVAS, M.J., KOCH, W., NONHEBEL, S. Global changes in diets and the consequences for land requirements for food. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 109, p. 6868-6872, 2012.

KILELU C.W.; KLERKX L.; LEEUWIS C. Unravelling the role of innovation platforms in supporting co-evolution of innovation: contributions and tensions in a smallholder dairy development programme. **Agricultural Systems**, v. 118, p. 65-77, 2013.

KLERKX, L.; AARTS, N.; LEEUWIS, C. Adaptive management in agricultural innovation systems: The interactions between innovation networks and their environment. **Agricultural Systems**, v. 103, Iss. 6, p. 390-400, 2010.

KLERKX, L.; HALL, A.; LEEUWIS, C. Strengthening agricultural innovation capacity: are innovation brokers the answer? **International Journal of Agricultural Resources, Governance and Ecology**. v. 8, Iss. 5-6, p. 409-438, 2009.

KOH, L. P.; LEE, T. M. Sensible consumerism for environmental sustainability. **Biological Conservation**, v.151, 1, p.3-6, 2012.

KOHLER, R.; SPECHT, L. P.; BRONZATI, G. D. Ruído causado pelo transporte ferroviário em um segmento urbano: estudo do caso da cidade de Ijuí-RS. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**. n. 19, maio, p. 13-23, 2012.

KOTVISKI, B. M.; BARBOLA, I. F. Spatial distribution of scorpion stings in Ponta Grossa, Paraná State, Brazil. **Cad. Saúde Pública**, v. 29, n. 9, set. 2013.

KUSSANO, M. R.; BATALHA, M. O. Custos logísticos agroindustriais: avaliação do escoamento da soja em grão do Mato Grosso para o mercado externo. **Gestão & Produção**, v. 19, n. 3, p. 619-632, 2012.

LAI, KEE-HUNG ; WONG, CHRISTINA W.Y. Green logistics management and performance: Some empirical evidence from Chinese manufacturing exporters. **Omega**, June. V. 40, 3, p. 267-282, 2012.

LEE, G. A.; CRAWFORD, G. W.; LIU, L.; SASAKI, Y.; CHEN, X. Archaeological Soybean ( *Glycine max* ) in East Asia: Does Size Matter? **PLoS ONE**. v. 6, Iss. 11, p. 1-12, 2011.

LEHUGER, S., GABRIELLE, B., GAGNAIRE, N. Environmental impact of the substitution of imported soybean meal with locally-produced rapeseed meal in dairy cow feed. **Journal of Cleaner Production**. v. 17, 6, p. 616-624, 2009.

LIMA, M. S.; SILVA, D. M. P.; FALCÃO, H. M.; FERREIRA, W. M.; SILVA, L. D.; PARANHOS, B. A. J. Predadores associados á *Dactylopius Opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae) em palma forrageira no estado de Pernambuco, Brasil. **Revista Sociedad Chilena de Entomologia**. v. 36, p. 51-54, 2011.

LÓPEZ, B. M.; BAGGATHUN, E. G.; LLORENTE, M. G.; MONTES, C. Trade-offs across value-domains in ecosystem services assessment. **Ecological Indicators**, v. 37, part A, p. 220-228, 2014.

LORA, E. E. S.; LEME, M. M. V. **Processos produtivos e a poluição atmosférica**. In. ADISSI, P. J.; et al (Org.). *Gestão ambiental de unidades produtivas*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. p. 125-164.

MAAB, S.; CARUSO, T.; RILLIG, M. C. Functional role of microarthropods in soil aggregation. **Pedobiologia – Journal of Soil Ecology**, v. 58, p. 59-63, 2015.

MACIAS, A.; GADZIŃSKI, J. Assessment of road transport environmental impact as illustrated by a metropolitan area. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 22, 6, p. 1749-1758, 2013.

MAIA, G. B. S.; PINTO, A. R.; MARQUES, C. Y. T.; LYRA, D. D.; ROITMAN, F. B.. Panorama da armazenagem de produtos agrícolas no Brasil. **Revista do BNDES**. v. 40, p. 161-194, 2013

MAPA - **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Disponível em: <<http://indicadores.agricultura.gov.br/index.htm>>. Acesso em 25 de setembro de 2017.

MARIN, A.; STRUBIN, L. **Inovation in natural resources**: New opportunities and new challenges. United Nations University: The Netherlands. 2015.

MARTINELLI, L. A.; NAYLOR, R.; VITOUSEK, P. M.; MOUTINHO, P. Agriculture in Brazil: impacts, costs, and opportunities for a sustainable future. **Current Opinion in Environmental Sustainability**. v. 2, Iss.5–6, p. 431-438, 2010.

MIRALÉ, E. **Direito do ambiente**. São Paulo: Revista dos Tribunais. 2015.

MONCADA, M. P.; GABRIELS, D.; CORNELIS, W. LOBO, D. Comparing Aggregate Stability Tests for Soil Physical Quality Indicators. **Land degradation & development**. v. 26 Iss 8, p. 843 -852, 2015.

MOURA, R. A. **Armazenagem**: Do Recebimento à Expedição em Almoarifados ou Centros de Distribuição. São Paulo: IMAN, 2008.

MUCELIN, C. A.; BELLINI, M. Lixo e impactos ambientais perceptíveis no ecossistema urbano. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 20, n.1, p. 111-124, 2008.

NASCIMENTO, L. F.; LEMOS, A. D. C.; MELLO, M. A. **Gestão socioambiental estratégica**. Porto Alegre: Bookman, 2008.



NETO, J. A. A.; OLIVEIRA, L. B.; BRAGA, R. C. S. **Avaliação de impactos ambientais**. In. ADISSI, P. J.; et al (Org.). *Gestão ambiental de unidades produtivas*. Rio de Janeiro: Elsevier, p. 125-164. 2013.

NEWTON, P.; WATKINSON, A. R.; PERES, C. A. Spatial, temporal, and economic constraints to the commercial extraction of a non-timber forest product: Copaíba (*copaifera* spp.) oleoresin in Amazonian reserves. **Economic Botany**, v. 66, Iss. 2, p. 165-177, 2012

NOGARA NETO, F.; ROLOFF, G.; DIECKOW, J.; MOTTA, A. C. V. Atributos de solo e cultura espacialmente distribuídos relacionados ao rendimento do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1025-1036, 2011.

OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico. **Manual de Oslo**: Diretrizes para a coleta e interpretação de dados sobre inovação. Paris, OCDE, 2005.

OECD. **Regions and Innovation Collaborating across Borders**. Paris: OECD Publishing. 2013.

OLIVEIRA, G. L. T. The geopolitics of Brazilian soybeans. **The Journal of Peasant Studies**. v. 43, p. 348-372, 2016.

OLIVEIRA, L. G. L.; IPIRANGA, A. S. R. Evidences of the sustainable innovation in the cashew agribusiness contexto in Ceará – Brazil. **RAM, Rev. Adm. Mackenzie**. v. 12, n. 5, sept-oct. 2011.

OLIVEIRA, M.C.; FAGG, C.W.; CAMAPUM DE CARVALHO, J.; CORREIA, C.R.M.A. **Queimadas, práticas agrícolas, recuperação de áreas degradadas e a infiltração no Cerrado**. Livro Tópicos sobre infiltração: teoria e prática aplicadas a solos tropicais. Cap. 11, p. 207-234. 2012.

OLIVEIRA, L. G. L.; ROCHA, I. A. S. Evidences of the sustainable innovation in the cashewagribusiness in Ceara-Brazil. **Revista de Administracao Mackenzie**, v.12, 5, p.122, 2011.

OLSSON, A.; CAMPANA, P. E.; LIND, M.; YAN, J. PV water pumping for carbono sequestration in dry land agriculture. **Energy Conversion and Management**. v. 102, p. 169-179, 2015.

OZEN, M.; TUYDES-YAMAN, H. Evaluation of emission cost of inefficiency in road freight transportation in Turkey. **Energy Policy**. v. 62, p. 625–636, 2013.

PEREIRA, N. V.; MAGALHÃES, T. R.; MACEDO, T.; PASA, M. C. Recursos vegetais e o saber local: uso de plantas medicinais no Horto Florestal Toti Garcia. Cuiabá MT. **Biodiversidade**, v. 15, n 2, p. 124, 2016.

PEREIRA, R. DE C.; ALBANEZ, J. M.; MAMÉDIO, I. M. P. **Diversidade da meso e macrofauna edáfica em diferentes sistemas de manejo de uso do solo em Cruz das Almas – BA**. in: Semana Entomológica da Bahia (SINSECTA), Dezembro. 2012

PINA, N. V. M.; COSTA, D. H.; SANTOS, G. B. Caracterização geomorfológica e ocupação antrópica na encosta da serra do mimo no bairro morada da Lua em Barreiras –BA. **Caminhos de Geografia**, v. 17, n. 60, p. 197-210, 2016.

PINSKY, V. C.; MORETTI, S. L. A.; KRUGLIANSKAS, I.; PLONSKY, G. A. Inovação sustentável: uma perspectiva comparada da literatura internacional e nacional. **Revista de Administração e Inovação**, v. 12, n.3 p. 226-250, jul./set. 2015.

PIRES, G. A.; RODRIGUES, S. F. C.; MACEDO, K. R.; ANDRADE, A. M. F.; FARIKOSKI, I. O.; FREITAS, H. J.; RIBEIRO, V. M. F. Tráfico de animais silvestres e seus produtos no extremo oeste brasileiro. **Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia**, v. 18, n. 4, p. 241-245, out-dez. 2015.

POMPERMAYER, F. M.; CAMPOS NETO, C. A. S.; DE PAULA, J. M. P. **Hidroviás no Brasil: perspectiva histórica, custos e institucionalidade**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Rio de Janeiro: IPEA. 2014.

PORTUGAL JÚNIOR, P. S.; PORTUGAL, N. S.; ABREU, G. A. Valoração econômica ambiental: um estudo analítico e teórico dos métodos e suas multi-aplicabilidades. **Revista Catarinense da Ciência Contábil**, v. 11, n. 33, ago./nov, p. 22-34, 2012.

RABBI, S. M. F.; ROY, B. R.; MIAH, M. M.; AMIN, M. S.; KHANDAKAR, T. Spatial variability of physical soil quality index of an agricultural field. **Applied and Environmental Soil Science**, 2014.

RAMOS, C. G.; SILVA, G. S.; MELLO, A. G.; LEÃO, F. B.; KAUTZMANN, R. M. Caracterização de rocha vulcânica ácida para aplicação em rochagem. **Comunicações Geológicas**. v. 101, Especial III, p. 1161-1164. 2014.

REIS, J. R. G.; FERREIRA, S. R.; ANDRADE, J. H. N. B.; MARAFON, A. C. F.; MORRAYE, M. A. Vigilância em saúde ambiental: interferência do ambiente na saúde humana em um município de Minas Gerais. **Revista Investigação**, v. 12, n. 2, p. 24-29, 2012.

RICHARDS, P. D.; MYERS, R. J.; SWINTON, S. M.; WALKER, R. T. Exchange rates, soybean supply response, and deforestation in South America. **Global Environmental Change**, v. 22, p. 454-462, 2015.

RISIO, L.; HERRERO, C.; BOGINO, S. M.; BRAVO, F. Aboveground and belowground biomass allocation in native *Prosopis caldenia* Burkart secondaries woodlands in the semi-arid Argentinean pampas. **Biomass and Bioenergy**, v. 66, p. 249-260, 2014.

RITTER, C. D.; MCCRATE, G.; NILSSON, R. H.; FEARNSIDE, P. M.; PLAME, U.; ANTONELLI, A. Environmental impact assessment in Brazilian Amazonia: Challenges and prospects to assess biodiversity. **Biological Conservation**, v. 206, p. 161-168, 2017.

RIZEK, M. B.; MORSELLO, C. Impacts of trade in non-timber forest products on cooperation among caboclo households of the Brazilian Amazon. **Human Ecology**, v. 40, iss. 5, p. 707-719, 2012.

ROSA FILHO, G.; CARVALHO, M. P.; MONTANARI, R.; Silva, J. M.; SIQUEIRA, G. M.; ZAMBIANCO, E. C. Variabilidade espacial de propriedades dendrométricas do eucalipto e de atributos físicos de um Latossolo Vermelho. **Bragantina**, v. 70, n. 2, p. 439-446, 2011.

SALLES, J. M. Valuing biodiversity and ecosystem services: Why put economic values on Nature? **Comptes Rendus Biologies**, v. 334, Iss 5-6, p. 469-482, 2011.

SALVINI, R.; FRANCONI, M.; RICCUCCI, S.; BONCIANI, F.; CALLEGARI, I. Photogrammetry and laser scanning for analyzing slope stability and rock fall runout along the Domodossola–Iselle railway, the Italian Alps. **Geomorphology**. v. 185, 1, p. 110-122, 2013.

SANDEMBERG, U. **Tyre/road noise** – myths and realities. In: 2001 International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering. Anais. The Hauge, p. 01-22. 2001.

SANOS, G. R. **Características, sistemas de registros de produtos e concorrência no mercado de agrotóxicos no Brasil**. 2014.

SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; CHERUBIN, M. R.; MARTIN, T. N.; PIRES, J. L.; FLORA, L. P. D.; BASSO, C. J. Análise de componentes principais de atributos químicos e físicos do solo limitantes à produtividade de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 9, p. 1346-1357, 2012.

SANTOS, I. D. C. A avaliação de impacto ambiental e a responsabilidade do Brasil diante da degradação ao meio ambiente. **Interfaces Científicas – Direito**, v.1, n. 2, p. 67-74, 2013.

SANTOS, J. V.; RANGEL, W. M.; GUIMARÃES, A. A.; JARAMILLO, P. M. D.; RUFINI, M.; MARRA, L. M.; LÓPEZ, M. V.; SILVA, M. A. P.; SOARES, C. R. F. S.; MOREIRA, F. M. S. Soil biological attributes in arsenic-contaminated gold mining sites after revegetation. **Ecotoxicology**. v. 22, p. 1526-1537, 2013.

SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; SILVA, E. M.; SILVEIRA, P. M.; BECQUER, T. Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1339-1348, 2011.

SCHENKELAARS, P.; DE VRIEND, H.; KALAITZANDONAKES, N. **Drivers of consolidation in the seed industry and its consequences for innovation**. Amsterdam: Commission on Genetic Modification (COGEM), 2011.

SCHUT, M. KLERKX, L.; RODENBURG, J.; KAYEKE, J. HINNOU, L. C.; RABOANARIELINA, C. M.; ADEGBOLA, P. Y.; AST, A. V.; BASTIAANS, L. RAAIS: **Rapid Appraisal of Agricultural Innovation systems (Part I)**. A diagnostic tool for integrated analysis of complex problems and innovation capacity. *Agricultural Systems*, v. 132, p. 1-11, 2015.

SERRANO, I. R.; CALDÉS, N.; RÚA, C.; LECHÓN, Y.; GARRIDO, A. Using the framework for integrated sustainability assessment (FISA) to expand the multiregional input-output analysis to account for the three pillars of sustainability. **Environment, Development and Sustainability**, v. 19, 5, p.1981-1997, 2017.

SHOCHAT, E.; LERMAN, S. B.; ANDERIES, J. M.; WARREN, P. S.; FAETH, S. H.; NILON, C. H. Invasion, competition, and biodiversity loss in urbanecosystems. **BioScience**, v. 60, 3, p.199, 2010.

SHOCHAT, E.; WARREN, P. S.; FAETH, S. H.; MCINTYRE, N. E.; HOPE, D. From patterns to emerging processes in mechanistic urbanecology. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 21, 4, p. 186-191, 2006.

SILVA, J., JUCKSCH, I., FERES, C. I. M. A, TAVARES, R. C. Soil faunal in management systems with coffee. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**. v. 3, p. 59-71. 2012.

SILVA, M. L.; SILVA, R. A.; CONTE, B. P.; LERMEN, N. G.; CORONEL, D. A.; BENDER FILHO, R. Análise da competitividade dos principais complexos exportadores do agronegócio gaúcho. **SINERGIA**, Rio Grande, v. 20, 1, p. 9-18, 2016.

SILVA, S. C.; RIBEIRO JUNIOR, J. A. S.; SANT'ANA JÚNIOR, H. A. Projetos de desenvolvimento e conflitos territoriais no espaço amazônico maranhense: a duplicação dos trilhos da Estrada de Ferro Carajás e os impactos socioambientais nas comunidades quilombolas de Santa Rosa dos Pretos e Monge

Belo em Itapecuru-Mirim. In: **V Simpósio Internacional de Geografia Agrária/VI Simpósio Nacional de Geografia Agrária**, Anais. Belém: Açaí, 2011. p. 1-21. 2011.

SILVA, V. P.; VAN DER WERF, H. M. G.; SPIES, A.; SOARES, S. R. Variability in environmental impacts of Brazilian soybean according to crop production and transport scenarios. **Journal of Environmental Management**, v. 91, p. 1831-1839, 2010.

SIMONATO, J.; GRIGOLLI, J.; OLIVEIRA, H. **Controle biológico de insetos-praga na soja**. Embrapa Agropecuária Oeste-Capítulo em livro técnico-científico, 2014.

SINISGALLI, P. A. A. **Valoração dos danos ambientais de hidrelétricas**: estudo de caso. 211f. Tese (Doutorado em Economia) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2005.

SIQUEIRA, G. S.; VIEIRA, S. R.; CEDDIA, M. B. Variabilidade de atributos físicos do solo determinados por métodos diversos. **Bragantina**, Campinas, v. 67, n. 1, p. 203-211, 2008.

SOTRES, F. G.; CEPEDA, C. T.; LEIRÓS, M. C.; SEOANE, S.. Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 37, p. 877-887, 2005

SOUSA, R. H. M.; TONIN, J. M. **Análise da concentração na indústria de semente de soja brasileira no período de 1998 a 2013**. Maringá: Universidade Estadual de Maringá. In: Agricultura e agronegócio paranaense, 2013.

SOUTO, W. M. S.; VIEIRA, W. L. S.; MONTENEGRO, P. F. G.; ALVES, H. N.; ALVES, R. R. N. Breve revisão sobre uso de fauna medicinal no Brasil: aspectos históricos, farmacológicos e conservacionistas. **Sitientibus Série Ciências Biológicas**, v. 11, 2, p. 201-210, 2011.

SOUZA, Z. M.; CERRI, D. G. P.; MAGALHÃES, P. S. G.; SIQUEIRA, D. S. Spatial variability of soil attributes and sugarcane yield in relation to topographic location. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 14, n. 12, p. 1250-1256, 2010.

STEFANOSKI, D. C.; SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; PACHECO, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 12, p. 1301-1309, 2013.

STOLTON, S.; DUDLEY, N. The growth of soy: Impacts and Solutions. **WWF International**. Switzerland. 2014.

STYGER, E. ABOUBACRINE, G. ATTAHER, M. A.; UPHOFF, N. The system of rice intensification as a sustainable agricultural innovation: introducing, adapting and scaling up a system of rice intensification practices in the Timbuktu region of Mali. **International Journal of Agricultural Sustainability**, v. 9, 1, p. 67-75, 2011.

RUVIARO, C. F.; GIANEZINI, M.; BRANDAO, F. S.; WINCK, C. A.; DEWES, H. Life cycle assessment in Brazilian agriculture facing worldwide trends. **Journal of Cleaner Production**, v. 28, p. 9, 2012.

TAVARES, U. E.; ROLIM, M. M.; OLIVEIRA, V. S.; PEDROSA, E. M. R.; SIQUEIRA, G. M.; MAGALHÃES, A. G. Spatial dependence of physical attributes and mechanical properties of ultisol in a sugarcane field. **The Scientific World Journal**, v. 2015, p. 10 -10. 2015.

TEIXEIRA, E. C; et al. Estudo Das Emissões De Fontes Móveis Na Região Metropolitana De Porto Alegre, Rio Grande Do Sul. **Química Nova**, v. 31, p. 244, 2008.

TESFAHUNEGN, G. B.; TAMENE, L.; VLEK, P. L. G.; MEKONNEN, K. Assessing farmers' knowledge of weed species, crop type and soil management practices in relation to soil quality status in Mai-Negus Catchment, Northern Ethiopia. **Land Degradation & Development**, v. 27, 2, p. 120-133, 2016.

THANH, L. T.; OKITSU, K.; SADANAGA, Y.; TAKENAKA, N. Bioresource Technology Ultrasound-assisted production of biodiesel fuel from vegetable oils in a small scale circulation process. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 2, p. 639-645, 2010.

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. **Rochagem: uma questão de soberania nacional**. In: XIII Congresso Brasileiro de Geoquímica. Gramado, 2011.

TIDD, J., BESSANT, J., PAVITT, K. Managing innovation: integrating technological, market and organizational change. **Research Technology Management**, v. 48, iss 6, p. 61-62, 2005.

Tobler, C.; Visschers, V. H. M.; Siegrist, M. Eating green. Consumers' willingness to adopt ecological food consumption behaviors. **Appetite**. v. 57, Iss 3, p. 674-682, 2011.

TOLMASQUIM, M. T. (coord.). **Metodologias de Valoração de Danos Ambientais causados pelo Setor Elétrico**. UFRJ; COOPE. Rio de Janeiro. Programa de Planejamento Estratégico. 272 p. 2000.

USDA – United States Department of Agriculture. Disponível em: <<https://www.fas.usda.gov/>>. Acesso em 10 de setembro de 2017.

VAN DER WERF, H. M. G.; PETIT, J.; SANDERS, J. The environmental impacts of the production of concentrated feed: the case of pig feed in Bretagne. **Agricultural Systems**, v. 83, 2, p. 153 - 177, 2005.

VÁZQUEZ, E. V.; BERTOL, I.; SIQUEIRA, G. M.; PAZ-FERREIRO, J.; DAFONTE, J. D. Evolution of the soil surface roughness using geostatistical analysis. **Bragantia** (São Paulo, SP. Impresso), v. 69, p. 141-152, 2010.

VEIGA, J. E. **Mundo em transe**: Do aquecimento global ao ecodesenvolvimento. São Paulo: Autores Associados, 2010.

VELÁSQUEZ, C.; VILLAS BOAS, A.; SCHWARTZMAN, S. Desafio para a gestão ambiental integrada em território de fronteira agrícola no oeste do Paraná. **Revista de Administração Pública**, v. 40, n. 6, nov./dec. 2006.

VERA-DIAZ, M. C.; KAUFMANN, R. K.; NEPSTAD, D. C.; SCHLESINGER, P. An interdisciplinary model of soybean yield in the Amazon Basin: The climatic, edaphic, and economic determinants. **Ecological Economics**, v. 65, p. 420-431, 2008.



VIAN, C. E. F.; ANDRADE JÚNIOR, A. M.; BARICELO, L. G.; SILVA, R. P. Origens, evolução e tendências da indústria de máquinas agrícolas. **Revista de Economia e Sociologia Rural**. v. 51, n 04, p.719-744, 2013.

VIANNA, A. L. M.; FEARNSSIDE, P. M. Impact of community forest management on biomass carbon stocks in the Uatumã Sustainable Development Reserve, Amazonas, Brazil. **Journal of Sustainable Forestry**, v. 33, 2, p. 127-151, 2014.

VILELA, A. L. O.; LAMIM-GUEDES, V. Cães domésticos em unidades de conservação: impactos e controles. **HOLOS Environment**, v. 14, n. 2, p. 198, 2014.

WEILL, M. A. M.; PIRES NETO, A. G. **Erosão e Assoreamento**. In: Vulnerabilidade Ambiental. Santos, R. F (Org.), Brasília: MMA, 2007.

WU, X. M.; et al. Carbon footprint model for evaluating the global warming impact of food transport refrigeration systems . **Journal of Cleaner Production**. v. 54, p. 115-124, 2013.

ZAMAN, K.; ISLAM, T.; RAHMAN, Z.; GHAZALI, A.; HUSSAIN, S. MALIK, M. European countries trapped in food poverty and inequality: Agricultural sustainability is the promising solution. **Social Indicators Research**, v. 129, 1, p.181-194, 2016.

ZIONI, S.; FREITAS, S. R. Aspectos ambientais no Plano Nacional de Logística e Transporte do Brasil. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 35, p. 195-208, 2015.

### 3 HIPÓTESE E OBJETIVOS

#### 3.1 HIPÓTESE

A sustentabilidade da agricultura moderna se baseia na maximização da produtividade dos cultivos e na minimização dos insumos, processos de produção e distribuição. Nesse contexto, este estudo baseia-se nas seguintes hipóteses principais: a) a dinâmica e expansão da produção de soja no estado do Maranhão e suas respectivas estruturas de logística não são suficientemente eficazes para a distribuição e armazenagem da safra; b) a produtividade da soja é influenciada pelos atributos biológicos, químicos e físicos do solo.

#### 3.2 GERAL

O objetivo geral deste trabalho possui duas linhas distintas: a) Avaliar a logística e a infraestrutura da produção de grãos do Estado do Maranhão (Brasil); b) Mapear a produtividade de soja (*Glicine max* L.) e de atributos biológicos, químicos e físicos do solo por meio de análises conjuntas entre geoestatística e técnicas multivariadas.

#### 3.3 ESPECÍFICO

- Analisar a infraestrutura logística de transporte e armazenagem da soja no agronegócio do estado do Maranhão (Brasil).
- Determinar o escopo e o alcance dos principais impactos ambientais originários da infraestrutura e operações do transporte da soja diante do ecossistema do Estado do Maranhão – Brasil.
- Avaliar a diversidade da fauna do solo em um agrossistema de produção de soja, evidenciando o indicador biológico.
- Avaliar a variabilidade espacial da produtividade de soja e de atributos químicos de um Latossolo Amarelo Distrófico Argissólico, sob o sistema de semeadura direta por meio de análise multivariada e de ferramentas de geoestatística.
- Analisar a estrutura da variabilidade espacial da produtividade de soja e de atributos físicos do solo por meio de técnicas geoestatísticas e multivariadas no município de Mata Roma (Maranhão, Brasil).

## ÍNDICE DE CAPÍTULOS

4 INFRAESTRUTURA LOGÍSTICA DE TRANSPORTE E ARMAZENAGEM DA SOJA NO ESTADO DO MARANHÃO (BRASIL).....	065
Journal of Transport Geography - ISSN: 0966-6923	
5 IMPACTOS DO TRANSPORTE E INFRAESTRUTURA LOGÍSTICA DE GRÃOS DE SOJA NO ESTADO DO MARANHÃO (BRASIL).....	092
Environmental Impact Assessment Review - ISSN: 0195-9255	
6 DIVERSIDADE E VARIABILIDADE ESPACIAL DA FAUNA DO SOLO CULTIVADO COM SOJA SOB SEMEADURA DIRETA (MARANHÃO, BRASIL).....	108
Applied Ecology And Environmental Research - ISSN 1785 0037	
7 ANÁLISE GEOESTATÍSTICA E MULTIVARIADA DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E DA PRODUTIVIDADE DE SOJA.....	134
Precision Agriculture – ISSN: 1385-2256	
8 ANÁLISE ESPACIAL E MULTIVARIADA DA PRODUTIVIDADE DE SOJA E DE ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO SOB SEMEADURA DIRETA.....	162
Biosystems Engineering - ISSN: 1537-5110	

## **4 INFRAESTRUTURA LOGÍSTICA DE TRANSPORTE E ARMAZENAGEM DA SOJA NO ESTADO DO MARANHÃO (BRASIL)**

**Resumo:** O agronegócio representa um dos principais pilares da economia do estado do Maranhão (Brasil), e para que continue crescendo necessita de um sistema logístico que viabilize sua competitividade no mercado. Porém, a logística pode representar um grande entrave ao agronegócio, dificultando e encarecendo o processo produtivo e de distribuição. Nesse sentido, o presente estudo realizou uma análise da realidade da logística do agronegócio, com foco na cultura da soja no estado do Maranhão, por meio de pesquisa bibliográfica e documental. Este tema possibilita o direcionamento de estudos focais, por apresentar dados concisos e cruzados, que possam apresentar melhorias para a regiões, melhorando a eficiência do agronegócio e maximização dos custos logísticos. Os resultados relacionados aos modais de transporte e armazéns demonstram o potencial que o Estado possui se investimentos forem realizados na infraestrutura logística, possibilitando a integração entre eles. Gargalos como a falta de capacidade estática em armazéns e custos de transporte podem ser melhorados, proporcionando a maximização produtiva da soja e maior competitividade em mercados internacionais. Os subsídios apresentados possibilitam melhor estruturação de projetos, planejamento e principalmente direcionamento de investimentos público e privado.

**Palavras-Chave:** Agronegócio; Modais de Transporte; Armazenagem; Logística.

### **4.1 INTRODUÇÃO**

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais do agronegócios, sendo o segundo na produção de soja, batendo recordes consecutivos de produção, porém a competitividade brasileira é prejudicada no momento em que o produto agrícola, com custos mais baixos, passa da porteira para fora das propriedades rurais, chegando ao seu destino com custos mais elevados devido aos fatores logísticos, principalmente pela ineficiência dos mesmos. A infraestrutura logística deve ser provida pelo Estado, sendo responsável por um componente relevante dos custos com que as mercadorias chegam aos mercados internos e externos. Mas, a realidade é outra, onde concessões de ferrovias e portos para a iniciativa privada encarecem e dificultam o escoamento e a competitividade do setor (Batalha et al., 1997; Kussano e Batalha, 2012).

Para que a expansão da soja continue acontecendo, é necessário que as operações logísticas obtenham o melhor desempenho, além de uma infraestrutura capaz de promover o fluxo do produto por todos os integrantes da cadeia. A soja é importante gerador de renda e emprego, assim como impulsionador do processo de mecanização e da entrada de novas técnicas e métodos de plantio e colheita, bem como transporte, armazenagem, beneficiamento de grãos, e demais estruturas logísticas globais. (Vera-Diaz et al., 2008).

Desse modo, a competitividade do agronegócio está intimamente relacionada aos processos logísticos, não apenas nas atividades internas a propriedade, mas também no macroambiente em que estão inseridas. A logística atua no processo de planejamento, implementação e controle de procedimentos para o transporte eficiente e eficaz de recursos, além da armazenagem e estocagem de mercadorias, incluindo os serviços e informações ao longo da cadeia de suprimentos atendendo as necessidades dos clientes (Bowersox e Closs, 2010; Corrêa, 2014, CSCMP, 2016).

O transporte e a armazenagem da produção agrícola são fatores logísticos com maior influência no custo final do produto, no caso da soja podendo chegar a 25% do valor do produto, desempenhando assim papel crucial na cadeia de fornecimento. A melhoria de seu desempenho está relacionada a utilização de planejamento, métodos e ferramentas, que proporcionem a redução de velocidade, diminuição de custos e a garantia da qualidade dos produtos (Castillo, 2004; Behrens, Picard, 2011; Kussano e Batalha, 2012; Burdzik et al., 2014).

Nesse sentido, o Estado do Maranhão tem se transformado em um grande polo atrativo no cenário nacional, devido o desenvolvimento de um sistema multimodal de transporte (hidrovia, ferrovia, rodovia e porto). O Estado destaca-se como grande exportador de minérios por meio de seus portos com calados profundos o suficiente para receber os maiores navios do mundo. Já a estrutura da Ferrovia de Carajás, utilizada para o escoamento de minérios até os portos de São Luís - Ma e sua intersecção com a ferrovia Norte-Sul, vem se tornando alternativa para a produção do agronegócio gerado no Maranhão e estados vizinhos.

O agronegócio do Maranhão desenvolveu-se nos últimos anos, aumentando cerca de 49% a área plantada. Em 2006, a área plantada era de 383.248 ha em 29 municípios produtores, já em 2016, a área plantada cresceu para 780.520 ha, em 50 municípios (IBGE, 2017), concentradas principalmente em áreas de Cerrado aptas a agricultura, transformando-se em importante região agrícola na produção de grãos, principalmente a soja. Essa expansão exige maior eficiência do sistema logístico, principalmente no que diz respeito ao transporte e armazenagem.

A logística do Estado do Maranhão apresenta características que poucos estados da federação possuem, se destacando como uma das principais vias de escoamento do corredor centro/norte. Este corredor influencia o desenvolvimento da expansão da soja no sul Maranhão e da nova fronteira agrícola brasileira, chamada de MATOPIBA, formada pela região produtiva de 337 municípios que abrangem os estados do Maranhão (MA), Tocantins (TO), Piauí (PI) e Bahia (BA) (Spera et al., 2016; Medina e Santos, 2017). O corredor se destaca pela infraestrutura de portos preparados para cabotagem e exportação de grãos para grandes mercados como Europa e América do Norte, bem como Ásia (pelo Canal do Panamá), ferrovias que cortam o estado possibilitando fretes mais baixos e rodovias que interligam os principais modais, além da possibilidade de armazenagem de grãos.

A existência dos modais não significa que os mesmos funcionem e possibilitem a eficiência logística desejada. Diante deste contexto, o objetivo deste estudo é o de analisar a infraestrutura logística de transporte e armazenagem da soja no agronegócio do estado do Maranhão (Brasil).

## 4.2 FUNDAMENTOS DA LOGÍSTICA

Um sistema logístico eficiente, é imprescindível para as operações de produção e *marketing* em nível global, atendendo as necessidades exigidas pelos clientes, e ainda suprimir às crescentes dúvidas relacionadas a aspectos como: distância, demanda, diversidade e a documentação das operações, sendo que estes desafios alteram muito para cada região (Bowersox e Closs, 2010; Behrens e Picard, 2011; Corrêa, 2014).

A logística objetiva garantir a disponibilidade de produtos, materiais, informações e serviços ao longo da cadeia de suprimentos com a máxima eficiência, qualidade e rapidez a um custo justo, por meio da função de transporte e distribuição, proporcionando ao cliente os níveis de serviços desejados, ao menor custo, no lugar certo, no tempo certo e na condição desejada (Ballou, 2001; Hesse e Rodrigue, 2004; Rocha, 2008).

Outra importante função da logística está relacionada ao provimento da rentabilidade nos serviços de distribuição e armazenagem entre os fornecedores, clientes e consumidores, operando por todas as atividades que facilitem o fluxo de produtos ao longo da cadeia de suprimentos, desde o ponto de aquisição de matéria-prima até o ponto de consumo final. A função de armazenagem gera proteção as mercadorias quando em espera e durante o transito. A expansão das principais infraestruturas, como rodovias, terminais, portos, aeroportos tem sido essencial para o desenvolvimento logístico, principalmente na evolução de seus

processos até a sua integração na gestão da cadeia de suprimentos (Hesse e Rodrigue, 2004; David e Stewart, 2010; Burdzik et al., 2014).

A atividade de transporte é um dos elementos fundamentais na composição do custo logístico para o agronegócio e refere-se aos métodos utilizados para a movimentação de produtos, sendo eles: o modal rodoviário, ferroviário, aquaviário, aéreo e o dutoviário. A seleção destes modais relacionam-se a: característica e natureza do produto; as restrições de cada modal; o tamanho do lote; a disponibilidade e frequência do transporte; o tempo de transito; valor de frete; taxa de falta ou avaria e o nível de serviço prestado (Rodrigues, 2007; Ballou, 2010).

A Figura 1 apresenta uma comparação entre os modais e suas características operacionais, sendo que a maior pontuação indica a melhor classificação. Verifica-se que o modal rodoviário possui melhor pontuação perante as demais, sendo que este modal absorve 61,1% do transporte total de cargas no país, seguido pelo ferroviário com apenas 20,7%, o aquaviário com 13,6%, dutoviário com 4,2%, e o aeroviário com 0,4% (CNT, 2011).

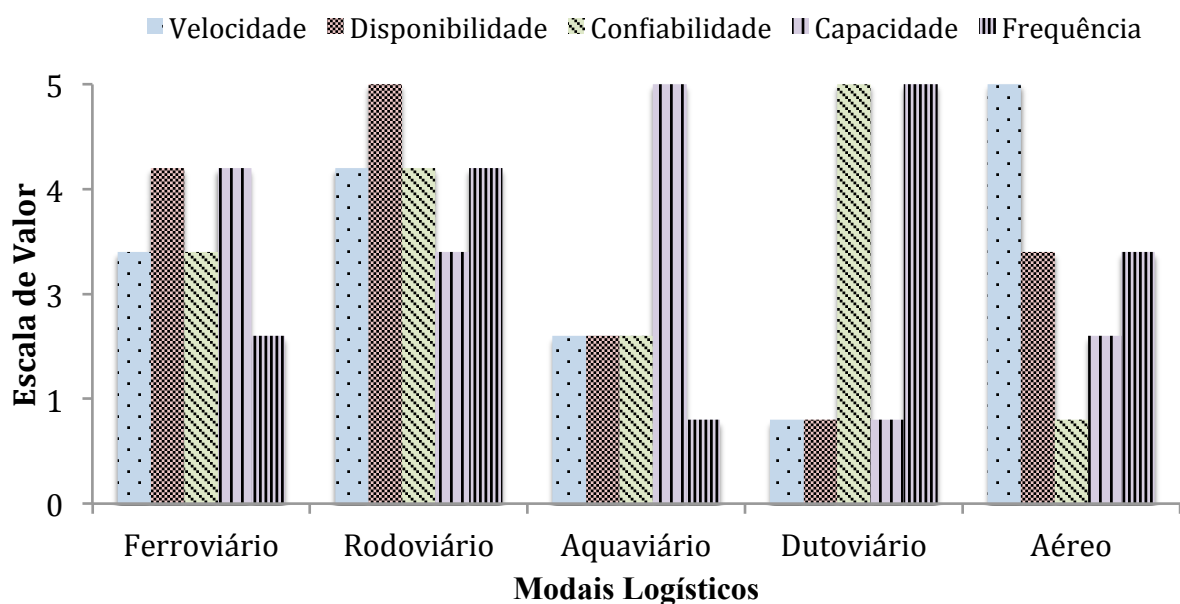


Figura 1: Classificação das características operacionais relativas por modal de transporte. Legenda: A escala de valor vai de 1 a 5, sendo que 1 representa a pior classificação e 5 a melhor classificação do modal quanto aos atributos analisados.

O modal rodoviário, é o segundo mais caro, perdendo apenas para o aéreo, e destaca-se nesse panorama por uma série de conjunturas, entre elas de maior investimentos ao longo dos anos pelo Estado e pela ineficiência estrutural dos demais modais (Fleury et al., 2011). À competitividade e vantagens de cada um dos modais são inerentes a suas características, sendo que para longas distâncias, o frete unitário (U\$/t x km) do modal ferroviário é cerca de

36% menor do que o modal rodoviário, já o hidroviário é aproximadamente 58% inferior ao modal rodoviário. Neste caso, a vantagem do modal rodoviário encontra-se na sua utilização em distâncias inferiores a 500 km; o ferroviário para distâncias entre 500 e 1.200 km; e o hidroviário para distâncias acima de 1.200 km (Caixeta Filho, 2006).

#### 4.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O Estado do Maranhão possui uma área de 331.937, 450 km<sup>2</sup>, localizado no extremo oeste da região nordeste do Brasil. O Estado possui grande importância no escoamento da produção do agronegócio nas áreas de influência do corredor Centro-Norte, seja com destino a exportação, ou ao mercado interno por meio da cabotagem (CONAB, 2005). A Infraestrutura de transporte de cargas no estado do Maranhão destaca-se por integrar os modais rodoviário, aquaviário e ferroviário.

A malha rodoviária do Estado contempla cerca 55.683 km, que permite a ligação entre os diversos municípios do estado e entre os estados vizinhos (Pará, Bahia, Tocantins e Piauí). Desses, apenas 7.306 km são pavimentados e 48.377 km não pavimentados, tendo seu estado de conservação regular/ruim de aproximadamente 79% da malha rodoviária (ETENE, 2010). Com relação ao modal ferroviário, o Brasil possui uma malha desproporcional a sua dimensão territorial, com apenas 29.817 km. Nesse quesito o Maranhão se destaca por ser atendido por três ferrovias (VALEC, 2016; ANTF 2016):

- A Estrada de Ferro de Carajás (EFC), com extensão total de 892 km, ligando São Luís (MA) a Carajás (PA), sendo que 685 km estão dentro do estado do Maranhão;
- A Ferrovia Norte Sul (FNS), que quando concluída terá uma extensão de 4.155 km percorrendo os estados do Pará, Maranhão, Tocantins, Goiás, Minas Gerais, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. O trecho da Ferrovia no Estado do Maranhão é de 200 km e liga Açailândia (MA) a Porto Franco (MA), já em atividade;
- Companhia Ferroviária do Nordeste (CFN), com uma extensão de aproximadamente 4.207 km, passando pelos estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas até Sergipe. No Estado do Maranhão a ferrovia estende-se de São Luís ao município de Timon, com 450 km.

Quanto a infraestrutura aquaviária, a cidade de São Luís (capital do Estado) possui três portos de águas profundas (Terminal Marítimo de Ponta da Madeira, Porto de Itaqui, Porto da



Alumar), interligado pelo ramal ferroviário, sendo de grande importância para o Estado, assim como para o Brasil.

- Terminal Marítimo de Ponta Madeira (TMPM) é um dos maiores portos privados de cargas no país, sendo operado pela Companhia Vale, ocupa uma área de 600 mil m<sup>2</sup>, possui calado de 23 metros podendo atracar navios de até 420 mil toneladas. De janeiro a setembro de 2015, Ponta da Madeira foi responsável pelo embarque de 87,9 milhões de toneladas de minério de ferro. Exporta minério de ferro, minério de manganês, ferro gusa e soja (ANTAQ, 2015).
- O Porto de Itaqui movimentou a maior quantidade de cargas entre os portos da região, sobretudo quando se leva em consideração os terminais privados da Vale do Rio Doce e da Alumar, que fazem parte do complexo portuário. Destaca-se na exportação de agronegócio do Matopiba (Maranhão, Piauí, Tocantins e Bahia) e grãos provenientes do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Pará, além de sua localização próxima aos grandes mercados da Europa, América do Norte e Canal do Panamá. Movimentou em 2015, 21.824.776 toneladas entre cargas em geral (alumínio, celulose, cimento, outros), granéis sólidos (ferro-gusa, fertilizantes, carvão, soja, milho, outros) e granéis líquidos (derivados, álcool/etanol, GLP, outros). A região portuária ainda leva em conta a bacia hidrográfica do Itaqui e do Bacanga, junto as principais ligações fluviais do estado (EMAP, 2015a, b).
- O Porto da ALUMAR é um terminal privado do Consórcio Alumínio do Maranhão, formado entre ALCAN e ABALCO, ALCOA, BILLINGTON. No Porto acontece o desembarque dos insumos e das matérias-primas utilizados na produção do Alumínio (bauxita, carvão mineral, soda-cáustica, óleo combustível, coque e piche). O porto deve fechar 2015 com movimentação próxima dos 14 milhões de toneladas (ALUMAR, 2016).

Os mapas referentes a área plantada da soja, infraestrutura de armazenagem, rodovias, ferrovia e hidrovias do estado do Maranhão, bem como tabelas sobre estado de conservação, foram construídos por meio do banco de dados e informações extraídos de diversos órgãos relevantes de cada setor, como: Confederação Nacional de Transportes - CNT, Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes - DNIT, Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB, Banco do Nordeste - ETENE, VALEC Engenharia, Construções e Ferrovias S.A., Associação Nacional dos Transportes Ferroviários - ANTF, Companhia Ferroviária do

Nordeste - CFN, Agência Nacional de Transportes Aquaviário - ANTAQ, Empresa Maranhense de Administração Portuária - EMAP, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. A partir dos dados, estes foram cruzados possibilitando a visualização de informações importantes, bem como a elaboração de mapas relevantes ao estudo.

Conveniu-se para a comparação entre produção e capacidade estática de armazenamento, que a produção intermediária entre dois anos, conforme utilizada pela CONAB (2016, 2017), será comparada com a capacidade estática do ano final da safra. A produção referente a safra de 2014/2015 foi comparada com a capacidade estática relativa ao ano de 2015.

#### **4.4 ANÁLISE DA LOGÍSTICA DO AGRONEGÓCIO NO MARANHÃO**

O agronegócio é um sistema integrado entre as operações ao longo da cadeia produtiva, sendo a união dos processos de produção e de distribuição dos suprimentos agrícolas somadas com as operações produtivas na propriedade agrícola e o armazenamento, processamento e distribuição dos produtos agrícolas e derivados. (Davis e Goldberg, 1957).

Devido o aumento da densidade demográfica e da exploração pecuária (aves, bovinos e suínos) a procura por produtos agrícolas tem aumentado consideravelmente no Nordeste brasileiro, sendo necessário a importação destes produtos de outras regiões do país e do exterior para suprir esta demanda. Esse foi um dos principais impulsionadores à expansão das áreas cultivadas e aumento da produção das região do Cerrado no sul do Maranhão e sudoeste do Piauí, que possuem uma extensa fronteira agrícola. (Arnhold et al., 2010).

As principais cultivares do Estado são arroz, cana-de-açúcar, feijão, mandioca, milho e soja, sendo que todas obtiveram crescimento de produtividade expressiva desde o censo agropecuário de 2006 (IBGE, 2006), retirando o arroz, que as informações não estão disponíveis, todas as outras culturas tiveram bons índices de crescimento. A quantidade produzida da soja passou de 786.174 t em 2006 para 1.875.792 t em 2014, apresentando um crescimento da produção de 138,60%. Hoje, a maior área plantada de lavoura no estado do Maranhão é da soja, sendo 677.540 hectares em 2014 (IBGE, 2006, 2014). A Figura 2, 3 e 4 apresentam o histórico da área plantada, produção e produtividade da soja no estado (CONAB, 2017).

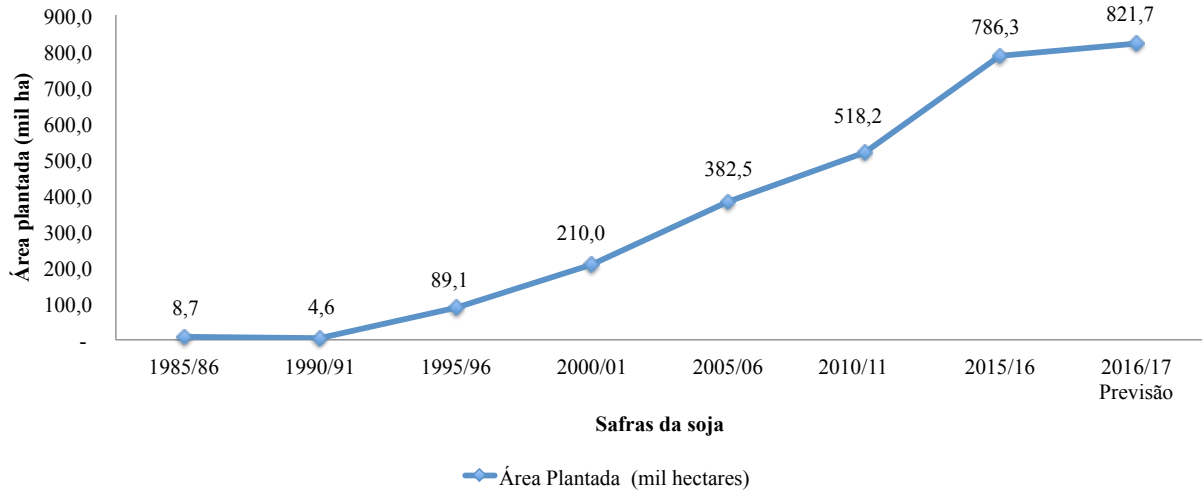


Figura 2: Evolução da área plantada da soja no Estado do Maranhão.

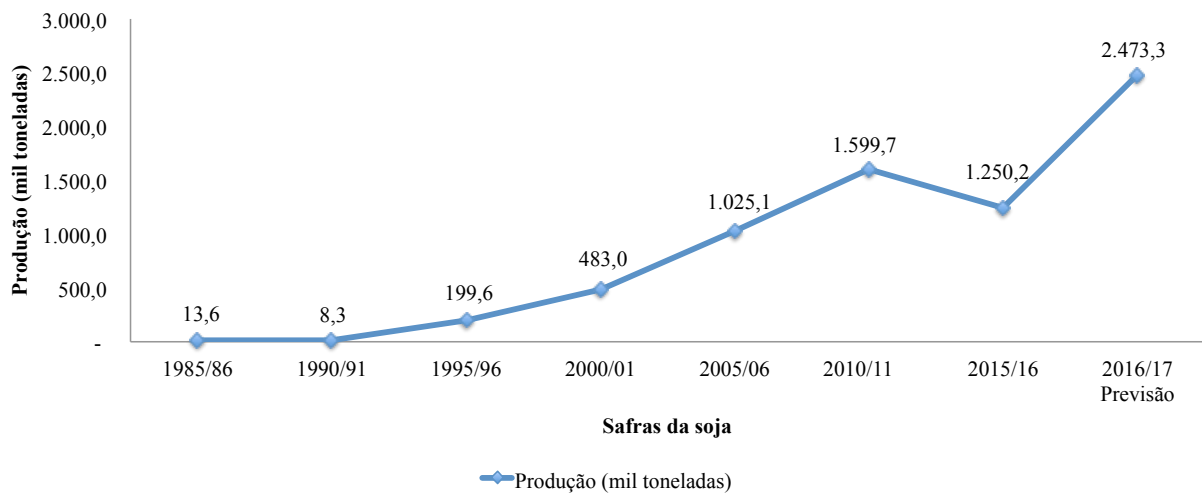


Figura 3: Evolução da produção da soja no Estado do Maranhão.

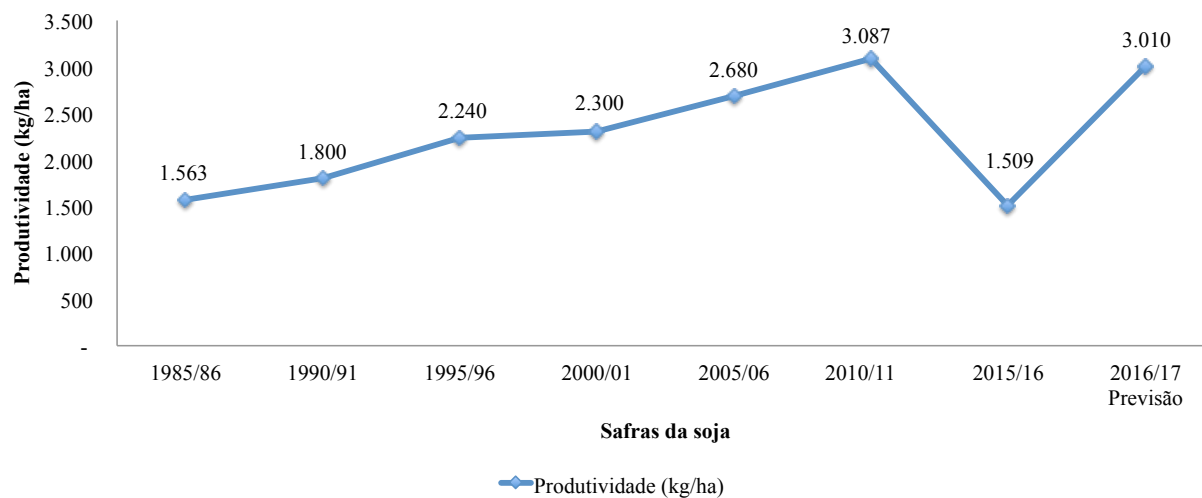


Figura 4: Evolução da produtividade da soja no Estado do Maranhão.

Esses resultados estão relacionados em parte a melhoria da produtividade pelo uso de tecnologias, terras mecanizáveis e o desenvolvimento de sistemas de produção mais eficientes, além da região estar em uma área estratégica e promissora para expansão agrícola, ela ainda facilita a exportação de grãos para países da Europa e Estados Unidos (Arnhold et al., 2010).

A figura 5 apresenta a distribuição da área plantada da soja no estado do Maranhão, a distribuição de pontos de armazenagem de grãos, bem como a interação entre os modais rodoviário, ferroviário e aquaviário existentes no estado. A figura mostra que a região sul é responsável pela maior produção do Estado, concentrando maior percentual de área plantada e capacidade de armazenagem. Mesmo a região sul sendo a mais produtiva, outras mesorregiões, principalmente no leste maranhense, vem ampliando a produtividade e ganhando destaque no Estado, em parte, devido a valorização fundiária acelerada na região sul, além de incentivos realizados por outras regiões e custos logísticos menores.

A competitividade do agronegócio está diretamente relacionada a comercialização e o escoamento de sua produção. A exemplo, percebe-se que a soja brasileira vem perdendo competitividade no mercado mundial devido aos altos custos logísticos a jusante da cadeia de produção da soja, transpondo avanços econômicos oriundos dos baixos custos de produção do grão (Dubke e Pizzolato, 2011; Garcia et al., 2015). Grandes investimentos são direcionados para melhorar a integração entre os processos logísticos, principalmente movimentação e armazenagem, visando atender o mercado interno e externo.

Nesse sentido, o estado do Maranhão possui grande aptidão para desenvolver um sistema cada vez mais complexo, de modo que as áreas de produção, armazenagem e distribuição proporcionem maior competitividade, atendendo estrategicamente os estados vizinhos no escoamento de grãos. Esse grande potencial logístico do Maranhão é perceptível, já que os polos produtores estão próximos a principais vias de circulação e de multimodalidade. Isso contribui com maior acessibilidade do produtor a fornecedores, insumos, armazéns, indústrias de processamento entre outros (CONAB, 2005).

O Maranhão torna-se um estado estratégico no escoamento de grãos para exportação, pela sua maior proximidade com mercados externos como Estados Unidos, países europeus e o Canal do Panamá, que possibilita o acesso ao mercado asiático. As perspectivas são muito boas, porém a realidade encontrada no estado indica um longo caminho a ser percorrido, estradas precárias, hidrovias com obstáculos, e escassez de armazéns fazem parte dos desafios de infraestrutura necessários.

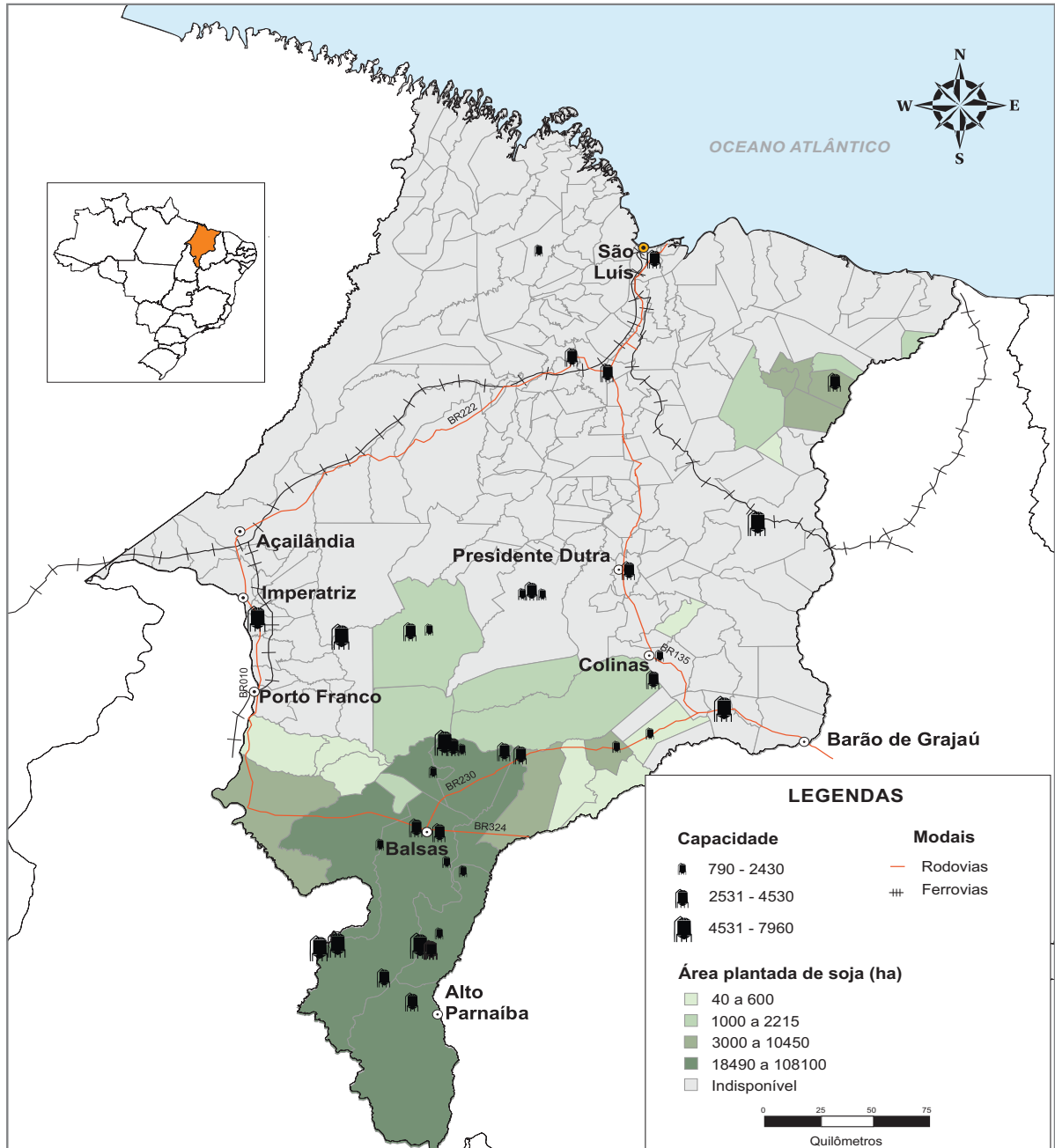


Figura 5: Distribuição da área plantada da soja e infraestrutura de armazenagem.

#### 4.4.1 ARMAZENAGEM

A armazenagem na logística possibilita maior integração entre a produção e a distribuição, fornecendo benefícios quanto a visibilidade da produção e redução de custos, principalmente dos transportes. A necessidade de armazenagem, principalmente para *commodities* como a soja, é influenciada por diversos fatores, entre eles a necessidade de manter o equilíbrio sazonal (tanto de insumos quanto no escoamento da produção); segurança na continuidade da produção; atua ainda como regulador de custos e especulação; economia de transportes, maior rendimento na colheita, entre outros fatores (Moura, 2008; Gitonga et

al., 2013). Dentre as principais condições que afetam a armazenagem da soja estão a umidade relativa do ambiente, o teor de umidade inicial do grão, a temperatura e o tempo de armazenamento (Kong & Chang, 2009; Alencar et al., 2010).

Os problemas gerados pela má armazenagem pós colheita, geram perdas de grãos de cerca de 20 a 30% (Tefera, et al.; 2011). Perdas que podem ter várias origens, como pragas de insetos, fungos, práticas inadequadas e falta de tecnologia de gerenciamento de armazenamento. As perdas do pós colheita ainda proporcionam impactos ambientais e na mudança climática, já que todo o esforço humano, energia e suprimentos utilizados se perdem nesse processo (Tefera, et al.; 2011; Gitonga et al., 2013).

O Maranhão possui pouca capacidade de armazenagem de grãos, quando levado em conta a produção de milho, arroz e soja, concentrando seus silos nas principais regiões produtoras de grãos. A capacidade estática dos armazéns do Estado é suficiente para a produção da soja, conforme a comparação demonstrada na figura 6, chegando quase atender a capacidade de armazenamento ideal, de 20% superior à produção agrícola (Mendes & Padilha, 2007). Essa capacidade excedente é importante para possíveis imprevistos, como acomodação de aumentos não previstos de safra e possíveis importações.

As propriedades armazenadoras do Estado concentram-se na iniciativa privada, com 54 estabelecimentos, enquanto que o governo e economia mista possuem 5 e 1 estabelecimentos, respectivamente. Dessa quantidade de silos, uma pequena parcela é reservada para a produção agropecuária, 6.547 t para milho em grãos, 14.800 t para soja em grãos, 1.660 t para semente de soja, conforme pesquisa de estoque realizada pelo IBGE (2016) no segundo semestre do ano de 2016.

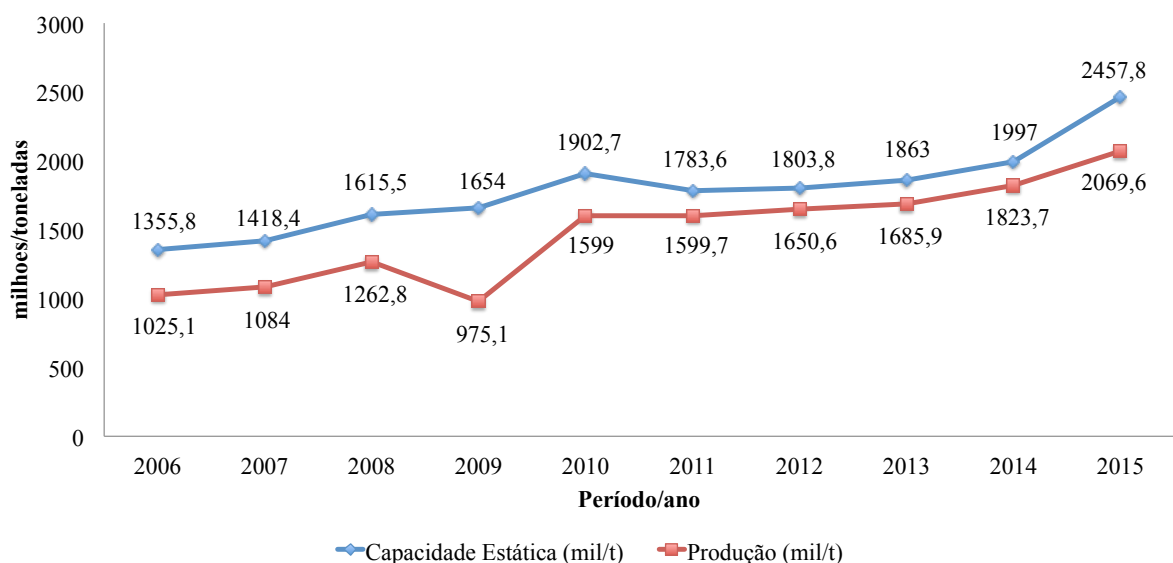


Figura 6: Capacidade estática de armazenagem x produção de soja.

Em geral os silos no Estado são utilizados para estocar a produção para o consumo local. A dificuldade de armazenamento de grãos próximos as áreas produtivas, obriga a venda da safra na época da colheita, impossibilitando a comercialização da soja na entressafra com preços melhores. A má armazenagem dos grãos de soja podem afetar as características proteicas do grão, possibilitando a redução de rendimento e qualidade dos produtos derivados da soja (Kong & Chang, 2013; Gitonga, et al., 2013).

A ausência e inadequação das estruturas de armazenagem, em aspectos como qualidade e localização geográfica, caracteriza-se em um vazio logístico. Esse vazio associado a migração das lavouras faz com que muitas regiões apresentem superávit e outras careçam de armazéns (IEA, 2011). Não obstante da estrutura existente, o Maranhão possui um grande déficit em espaços para o acondicionamento das safras em cidades estratégicas, produtoras e que possuem estrutura multimodal, principalmente em cidades cortadas pela ferrovia, conforme Figura 5 (CONAB, 2005).

Os silos no Estado estão divididos em cinco regiões, de modo que para a região central a capacidade é de 2.408 t; 71.092 t para o leste; 222.437 t para o norte; 19.500 para o oeste; e 119.460 t para o sul maranhense (IBGE, 2016). O que justifica o maior percentual de capacidade de armazenagem estar no norte (região não produtora de grãos) é o Tegram - Terminal de Grãos do Maranhão, que encontra-se em funcionamento no Porto de Itaqui e tem capacidade estática de armazenamento de 500 mil toneladas (base soja), com projeção de chegar a movimentação final de 10 milhões de toneladas/ano (EMAP, 2015b).

Com a implantação do Tegram, diminuiu o tempo de espera e o congestionamento de carretas carregadas de grãos no Porto de Itaqui, proporcionando vantagens importantes aos produtores, principalmente na época da colheita, com capacidade de armazenamento no ponto de destino para a exportação, diminuindo muitos custos logísticos inerentes a este processo. Assim, fica evidente a falta de capacidade de estocagem da produção nas propriedades e cidades com potencial para intermodalidade.

#### 4.4.2 MODAL AQUAVIÁRIO

O modal aquaviário é o meio de transporte com os menores custos e que consome menos energia, indicado principalmente para a movimentação de grandes volumes (como grãos) em grandes distâncias. O frete, quando comparado com os demais modais, custa cerca de 40% do frete rodoviário e 70% do ferroviário (Pompermayer et al, 2014; Caris et al.,

2014). Mesmo sendo muito vantajoso e com grande potencial, este modal participa com menos de 15% no território brasileiro (Brasil, 2010).

A Hidrovia do Parnaíba, possui grande potencial de movimento de cargas, principalmente agrícolas dos estados do Maranhão, Piauí, Tocantins e Bahia, sendo constituídos pelos Rios Parnaíba e Balsas (Figura 7), com cerca de 1.260 km de extensão. O município de Balsas é um dos grandes produtores de grãos do Maranhão, sendo que o Rio Balsas é navegável e encontra-se com o Rio Parnaíba formando uma ótima alternativa para o escoamento da produção. A Figura 7 apresenta uma representação hidrográfica do estado do Maranhão, indicando os principais obstáculos encontrados pelo modal aquaviário. Verifica-se que a maioria das barragens e eclusas apontadas na figura, estão em fase de projeto ou de planejamento.

A navegação no Rio Parnaíba, é praticada por embarcações de pequeno e médio porte de madeira autopropulsadas, com capacidade de carga entre 1,0 e 12,0 t. no transporte de carga geral como: arroz, milho, feijão, babaçu, carnaúba, cana de açúcar, algodão, mandioca, farinha de mandioca, pescados, crustáceos e gêneros diversos, para abastecimento das populações ribeirinhas e transporte de pessoas entre as cidades e povoados ao longo da via (MT, 2014).

Caso fosse melhor estruturada, a hidrovia poderia comportar barcaças para transportar grandes quantidades de grãos. A barragem de Boa Esperança, no Rio Parnaíba, município de Guadalupe - PI, possui um sistema de duas eclusas para romper o desnível de aproximadamente 50 m da barragem, com obras concluídas desde 1982. Porém, os equipamentos eletromecânicos ainda não tem data prevista para instalação. Além disso, o rio possui pedreiras e bancadas de areia que dificultam a navegação (DNIT, 2011). Outro fator que contribui para o risco de assoreamento dos rios se deve pelo desmatamento acelerado de nascentes e mata ripária e da abertura de novas áreas de produção agrícola, incentivando o escoamento e a possibilidade de erosão (Boardman et al., 2003)

O Rio Tocantins que faz divisa entre Tocantins e Maranhão, é excelente para navegação de cargas, porém encontra desafios semelhantes, a falta de eclusas na Barragem de Estreito e pedreiras ao longo de seu curso. E assim, demais rios no interior do Maranhão, como o Rio Grajaú, Rio Mearim, que desembocam na Bahia de São Marcos e o Rio Itapecuru na Bahia de São José, todos com acesso ao Porto de Itaqui, seriam ideais para o escoamento de grãos com fretes baixos e competitivos



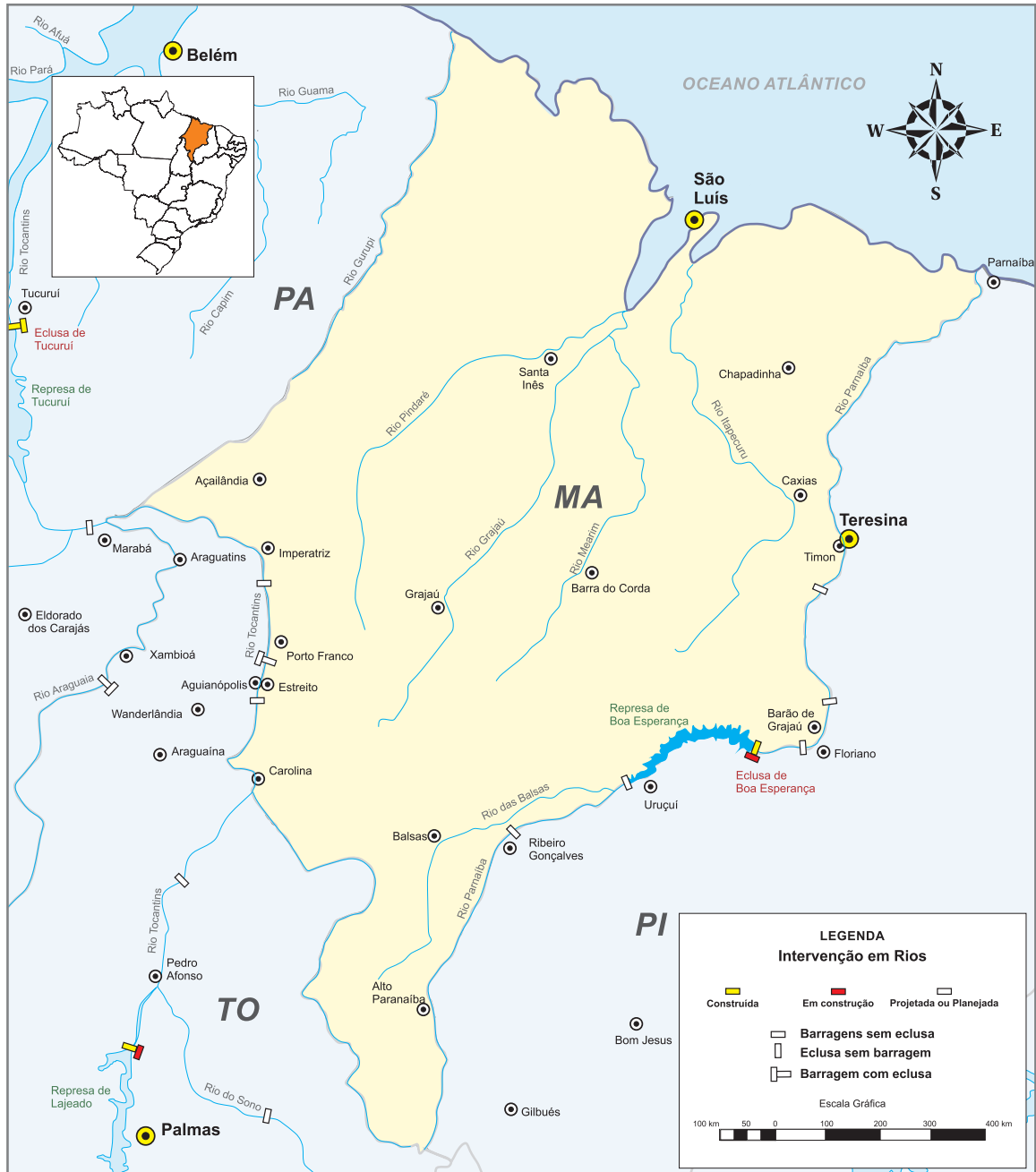


Figura 7: Modal Aquaviário do Maranhão.

O transporte aquaviário no estado do Maranhão possui grande potencial de carga e de fretes mais baratos, além do acesso de hidrovias ao mar e ao porto de Itaqui. Uma das maiores vantagens do Estado é o fácil acesso aos principais mercados externos por meio de seu porto com calados profundos. A infraestrutura portuária vem recebendo constante investimentos e ampliação, diferente das hidrovias, que não possuem eclusas, além de pedreiras e bancadas de areia ao longo da extensão de seus rios. Desse modo, investimentos neste modal poderiam proporcionar uma série de benefícios socioeconômicos para o Estado e meio ambiente,

principalmente pela conservação e manutenção dos rios, nascentes e o desenvolvimento das comunidades ribeirinhas.

#### 4.4.3 MODAL RODOVIÁRIO

A utilização do modal rodoviário para cargas consiste em distâncias consideradas curtas, ou seja, inferiores a 500 km, da fazenda produtora (local de origem) até armazéns ou terminais intermodais (ferrovias e hidrovias), que ficariam responsáveis pelas longas distâncias, reduzindo custos e perdas. Entretanto no Brasil, predomina o modal rodoviário, onde a produção agrícola enfrenta grandes distâncias por rodovias.

O Maranhão possui rodovias que perpassam pelas principais regiões (Balsas e Chapadinha) produtoras agrícolas de soja (Figura 8), o que seria uma vantagem competitiva se não fosse a precariedade das rodovias. Estas não são duplicadas, apresentam falta de manutenção, problemas com acostamento, buracos, sem contar que a maioria (principalmente estadual) não apresentam pavimentação (DNIT, 2013; CNT, 2015). As principais rodovias para escoar mercadorias para o porto de Itaqui no Maranhão são a BR-010, BR-222, BR-135 e MA006, sendo destacadas as rodovias federais no mapa.

O problema da falta de investimentos em rodovias poderia ser contornado em parte, pela proximidade das regiões produtoras, principalmente de soja e milho (mais ao sul), da ferrovia norte sul. Esta proximidade, poderia facilitar o escoamento da produção até o Porto de Itaqui, pelo modal ferroviário, sem precisar contar com a existência de rios navegáveis na região. Parte do transporte das lavouras no estado acaba se concentrando em armazéns próximos a fazenda, de acordo com a figura 5, o que costuma ser realizado por carretas, tendo seu custo elevado pela ausência de pavimentação nas estradas rurais (Coeli, 2004, CNT, 2015). A tabela 1 e 2 apresentam o estado geral das rodovias estaduais e federais, bem como sua classificação de infraestrutura por trecho.



Figura 8: Modal Rodoviário do Maranhão.

Ao analisar apenas as rodovias de esfera federal e estadual do Maranhão quanto a sua conservação, verifica-se que apenas 29,4% encontram-se em bom estado de conservação, com predominância das rodovias federais. A maior parcela das rodovias, 70% tem em sua extensão algum tipo de deficiência, sendo classificada com regular, ruim e péssima, predominando as rodovias estaduais, que dos 1.429 km de rodovias analisadas, 1.363 km apresentam algum tipo de problema.

Tabela 1: Classificação do estado geral de conservação das rodovias do Maranhão.

	Federal		Estadual		Total	
	km	%	km	%	km	%
<b>Extensão</b>	3.218	100	1.429	100	4.647	100
<b>Ótimo</b>	30	0,9	-	-	30	0,6
<b>Bom</b>	1.302	40,5	66	4,6	1.368	29,4
<b>Regular</b>	1.152	35,8	55	3,8	1.207	26,0
<b>Ruim</b>	661	20,5	378	26,5	1.039	22,4
<b>Péssimo</b>	73	2,3	930	65,1	1.003	21,6

Adaptado: CNT (2017)

A análise por trechos da infraestrutura das rodovias do Maranhão evidencia ainda mais suas deficiências. Ao verificar o estado de conservação destas rodovias, apenas 0,6 e 29,4% apresentam-se em ótimo e bom estado respectivamente, sendo sua grande maioria regular, ruim e péssimo, possuindo trechos com erosões e muitos buracos. 57% da pavimentação encontra-se regular, ruim ou em péssimo estado. Quanto a condição da superfície deste pavimento, o número é extremamente alarmante, estando mais de 85% desta extensão com a superfície do pavimento desgastada, trincada/remendada, com afundamentos, buracos e ondulações, e totalmente destruído. O exame da sinalização, demonstra que mais de 83% das rodovias apresentam problemas, como a falta de placas e a visibilidade e legibilidade destas, além de deficiência nas faixas centrais e laterais ao longo da rodovia. Já a variável geometria (tipo de rodovia, presença de pontes, faixa adicional de subida, acostamento, entre outros) indica que 64,8% das rodovias do Estado não possuem condições satisfatórias de geometria (CNT, 2017).

Para o escoamento do agronegócio do Maranhão, é evidente a predominância do modal rodoviário. Estradas ruins e falta de armazéns, propiciam o congestionamento de caminhões nas estradas e no Porto de Itaqui, enquanto aguardam o descarregamento da produção no porto. As deficiências nas rodovias reduzem a segurança de quem a utiliza, bem como aumenta significativamente os custos de manutenção dos veículos e o consumo de combustíveis. No Estado, estes acréscimos de custos para recuperação do pavimento das rodovias podem passar da soma de 2,75 bilhões de reais, sem contar o valor necessário para a conservação das demais rodovias (CNT, 2017).

Este modal, ainda apresenta vantagens em relação aos demais, principalmente no que diz respeito a disponibilidade, agilidade de tempo e até mesmo o custo do frete, similar ao transporte ferroviário no estado. A similaridade dos fretes, deve-se a prioridade do transporte

ferroviário estar voltada ao transporte do minério de ferro, estando o transporte de grãos a mercê de disponibilidade de vagões.

Tabela 2: Classificação do estado de conservação da infraestrutura por rodovias estaduais (MA) e federais (BR) no Maranhão.

Rodovia	Ext. Total (km)	Estado Geral	Pavimento	Sinalização	Geometria
MA-006	562	Péssimo	Ruim	Péssimo	Péssimo
MA-006/BR-308	48	Péssimo	Ruim	Péssimo	Ruim
MA-006/BR-330	145	Péssimo	Ruim	Péssimo	Péssimo
MA-034	139	Péssimo	Ruim	Péssimo	Péssimo
MA-034/BR-222	23	Péssimo	Ruim	Péssimo	Ruim
MA-106	200	Ruim	Ruim	Péssimo	Ruim
MA-106/BR-308	44	Ruim	Ruim	Péssimo	Ruim
MA-110/BR-402	38	Regular	Regular	Ruim	Regular
MA-225	17	Regular	Regular	Ruim	Regular
MA-230/BR-222	20	Ruim	Ruim	Péssimo	Ruim
MA-234/BR-222	24	Ruim	Ruim	Péssimo	Ruim
MA-303/BR-308	30	Péssimo	Regular	Péssimo	Ruim
MA-315	30	Ruim	Ruim	Ruim	Péssimo
MA-345	21	Péssimo	Péssimo	Péssimo	Péssimo
MA-345/BR-402	6	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim
MA-346/BR-402	16	Ruim	Ruim	Péssimo	Ruim
MAT-402/BR-402	66	Bom	Ótimo	Regular	Bom
BR-010	352	Regular	Regular	Regular	Regular
BR-135	610	Regular	Bom	Regular	Regular
BR-222	673	Regular	Bom	Regular	Regular
BR-226	514	Regular	Regular	Regular	Ruim
BR-230	679	Regular	Regular	Ruim	Ruim
BR-316	629	Bom	Ótimo	Regular	Bom
BR-402	78	Bom	Ótimo	Regular	Bom

Fonte: CNT (2017)

O modal rodoviário possui maior importância no Estado, seja pela sua predominância e alcance, bem como seus custos serem ainda competitivos perante os demais. O tempo e os custos relacionados a distâncias enfrentadas pelo transporte rodoviário, são em parte compensados pela falta de serviços relacionados aos terminais de multimodalidade, como demora de transbordo, custos e falta de armazéns (Zhang, 2013; Isan, 2014).

#### 4.4.4 MODAL FERROVIÁRIO

A ferrovia no Maranhão é o modal melhor estruturado, por possibilitar o trânsito de produtos ao longo do estado pela ferrovia Norte-Sul e Estrada de Ferro Carajás, que se ligam em Açailândia, com destino final ao Porto de Itaqui (Figura 9).

O funcionamento da ferrovia no sul do estado entre Estreito, Imperatriz e Açailândia, já desenvolveu uma nova perspectiva para a região quanto ao escoamento, principalmente de grãos. Os municípios de Balsas, Tasso Fragosos, Riachão, Carolina Alto Parnaíba, São Raimundo das Mangueiras, Loreto, Fortaleza dos Nogueiras já destacam-se na produção estadual de grãos, principalmente milho e soja, tendo melhor acesso a Ferrovia Norte-Sul para escoar a produção (CONAB, 2005).

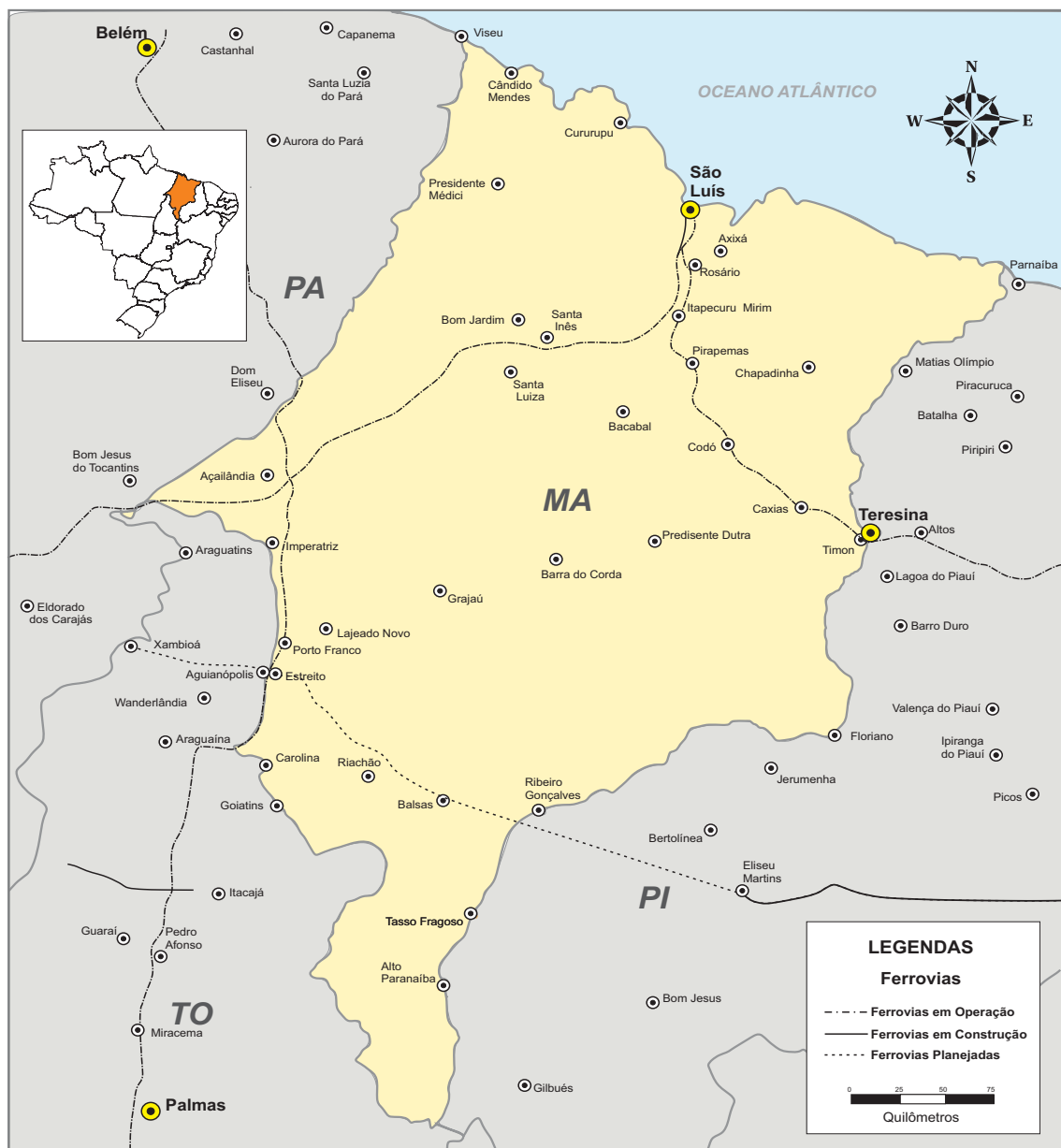


Figura 9: Modal Ferroviário do Maranhão.

A ferrovia não tem contribuído muito com o escoamento de grãos até o porto de Itaqui, já que a falta de capacidade de vagões (com predominância do minério pela Estrada de Ferro Carajás) e o frete similar ao rodoviário inibem a utilização do modal. A duplicação da Estrada de Ferro de Carajás, em andamento, deve modificar esta realidade, abrindo mais espaço ao transporte de grãos (ANTF, 2016).

A eficiência competitiva que pode vir a ser gerada entre o transporte de grãos do sul do Maranhão até o terminal de grãos no Porto de Itaqui, coloca o Maranhão em evidência quanto a eficiência e custos logísticos. Entretanto esta realidade ainda encontra-se distante de se concretizar, necessitando transpor diversos obstáculos como a de infraestrutura e demais incentivos para serem compensadores aos produtores.

#### 4.4.5 ANÁLISE DA MULTIMODALIDADE PARA A SOJA DO MARANHÃO

A infraestrutura para a movimentação e armazenagem de grãos no Brasil geram impactos negativos diretos nos custos dos produtos, superando vantagens econômicas obtidas por meio dos baixos custos de produção, que fazem com que o país atinja constantes recordes de produção de grãos (Kussano e Batalja, 2012; Dubke e Pizzolato, 2011).

*Commodities* como a soja ficam menos competitivas ao longo da cadeia de suprimentos, principalmente no momento do escoamento e de armazenamento do grão. A multimodalidade, possibilita utilizar o melhor desempenho de cada modal, como a flexibilidade de rota e disponibilidade do transporte rodoviário; e a movimentação de cargas com baixo valor agregado, fretes menores e a maior capacidade de peso a cargo dos transportes hidroviários e ferroviários (Burdzik et al., 2014).

A maior dificuldade do funcionamento da multimodalidade é a falta de investimento nos modais de transporte. O transporte rodoviário ainda é prioridade na destinação de recursos no país, e mesmo assim, continua deficitário, dificultando a integração com ferrovias e hidrovias. Esse cenário diverge de uma tendência mundial, inovadora, sustentável, competitiva e com menores custos (Garcia et al., 2015).

O Maranhão é um dos poucos estados com capacidade multimodal, possui rios navegáveis, ferrovias e rodovias que cortam o estado, porém a falta de investimento em infraestrutura e de políticas públicas de incentivo a sua utilização descaracterizam sua eficiência. Na atualidade, o transporte por rios no Maranhão, só é possível por meio de pequenas embarcações, encontrando problemas como a falta de eclusas, pedreiras e trechos assoreados de rios, mantendo sua eficiência apenas na região portuária da capital São Luís,

que vem crescendo e se destacando nacionalmente pela infraestrutura do porto, proximidade com maiores mercados internacionais e pelas águas profundas, podendo receber os maiores navios do mundo. Caso fosse bem estruturado, o modal traria enormes benefícios, como segurança, capacidade, custos e até mesmo de armazenagem. As barcaças serviriam como armazéns flutuantes, respondendo ao déficit de estocagem disponível no estado (Caris et al., 2014; Verma et al.; 2012).

O transporte rodoviário é o mais utilizado no escoamento da soja no estado, seja na região de Balsas ao sul e na região de Chapadinha ao noroeste. Na região sul, há possibilidade de integração entre os modais rodoviário e ferroviário na cidade de Porto Franco, Imperatriz e Açailândia. A proximidade destas cidades com a maior região produtora de soja possibilita a utilização da ferrovia para levar a soja até o porto de Itaqui e utilizar o Tegrã para armazenagem de grãos.

Os terminais de carga, onde são realizados o transbordo devem possuir características e equipamentos específicos quando se trata do transporte de grãos (Islan, 2014), porém a falta de disponibilidade de vagões e terminais equipados para grãos, problemas de estratégia, rede e planejamento de linha para grãos, a espera em terminais de carga para transbordo, horários, agendamento de trem, capacidade e restrições operacionais da linha, bem como fretes ainda similares ao transporte rodoviário e falta de armazéns fazem com que a multimodalidade não aconteça (Lusby et al., 2011; Nogueira et al., 2015). E desse modo, fica praticamente em sua totalidade a cargo do modal rodoviário, o transporte de grãos do Estado.

Se os armazéns existentes fossem destinados apenas para soja, estes seriam suficientes para a produção atual. A falta de capacidade estática de armazenagem prejudica toda a possível integração entre os modais, ao tempo que na colheita da soja, deveria ser armazenada adequadamente próxima a área produtiva ou terminal de integração, possibilitando uma série de benefícios, principalmente de custos e oportunidade, que conferem a comercialização de *commodities*.

Os resultados apontam grandes possibilidades de integração entre os modais, bem como a maximização da utilização de cada um, seja na velocidade, capacidade e preços. Entretanto, os investimentos para estas atividades, na maioria dos casos é insuficiente e limitado por vontade política. Em geral, os investimentos acontecem apenas quando estas infraestruturas atingem seu limite de capacidade, tornando-se um gargalo por um bom período de tempo, encontrando limitações de recursos. Outra dificuldade encontrada, é que a expansão das infraestruturas são, na grande maioria das vezes, realizadas adaptando o *layout* já



existente, corrigindo possíveis falhas, mas impossibilitando alterações no projeto anterior, se incorreto (Burdett, 2016).

O Maranhão, assim como o Brasil, deve redesenhar sua infraestrutura de transporte agrícola, como meio de melhorar a competitividade interna e externa. Hoje, o Estado participa da rede de transporte em todos os tipos de modais, faltando investimentos e incentivos para a integração e melhor eficiência destes. Priorizar o desenvolvimento da via férrea e fluvial para expandir a capacidade do sistema seria a saída para sanar gargalos existentes na logística do Estado.

#### **4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A análise das condições logísticas do agronegócio do Estado do Maranhão, indicam diferentes situações que implicam no escoamento de produtos agrícolas pelo estado, por meio das rodovias, ferrovias e hidrovias fragmentadas e desconexas. Outra questão importante é a falta de estrutura para armazenagem de grãos, que aumentam os custos e dificulta sua comercialização em determinados períodos mais rentáveis.

Quanto aos modais, o mais utilizado ainda é o rodoviário, que apresenta grandes dificuldades de infraestrutura. Já o modal ferroviário, cria grandes possibilidades de integrar com outros modais no estado, principalmente o rodoviário, sendo uma alternativa viável para escoar a produção pelo porto de Itaqui.

Diante do aumento da produção agrícola no Estado, acredita-se que investimentos são necessários para garantir maior integração e eficiência entre os modais, de modo a tornar o Estado do Maranhão uma das principais rotas de escoamento da produção agrícola do estado e do Brasil. É evidente o potencial competitivo do Estado para o escoamento da produção agrícola, que esbarra em problemas graves de infraestrutura e integração logística ineficientes. A pesquisa pode apoiar governo e iniciativa privada na escolha sobre quais colaborações estratégicas e investimentos logísticos devem ser priorizados no Maranhão.

#### **4.6 REFERÊNCIAS**

Alencar, E. R.; Faroni, L. R. D.; Peternelli, L. A.; Silva, M. T. C.; Costa, A. R. 2010. Influence of soybean storage conditions on crude oil quality. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e ambiental*, v. 14, n. 3, p. 303-308.

ALUMAR – Consórcio de Alumínio do Maranhão. Disponível em: <[http://www.alumar.com.br/internas\\_template4.aspx?tbsid=17](http://www.alumar.com.br/internas_template4.aspx?tbsid=17)>. Acesso em 18 de fev. de 2016.

ANTAQ - Agência nacional de transportes aquaviário. Boletins portuários 2015. <[http://www.antaq.gov.br/portal/Estatisticas\\_BoletimPortuario.asp](http://www.antaq.gov.br/portal/Estatisticas_BoletimPortuario.asp)>. Acesso em 07 de fev. de 2016.

ANTF – Associação Nacional dos Transportes Ferroviários. Disponível em: <<http://www.antf.org.br/index.php>>. Acesso em 19 de fev. de 2016.

Arnhold, E.; et al. Produtividade de híbridos de milho em região de fronteira agrícola no nordeste do Maranhão. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.5, n.4, p. 468-473, 2010.

Ballou, R. H. Gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial. 4a ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

Ballou, R. H. Logística Empresarial: transportes, administração de materiais e distribuição física. São Paulo: Atlas, 2010.

Banco do Nordeste, 2012. Caracterização e análise dos sistemas produtivo e macrologístico na região nordeste enquanto suporte à localização de empreendimentos: foco no papel da ferrovia transnordestina. Disponível em: <[http://www.bnb.gov.br/documents/88765/89729/analise\\_sistemas\\_produtivo\\_macrologistico\\_tomoIV\\_MA.pdf/9ef5a343-0a0c-4ac5-a080-8ad63d8e43df](http://www.bnb.gov.br/documents/88765/89729/analise_sistemas_produtivo_macrologistico_tomoIV_MA.pdf/9ef5a343-0a0c-4ac5-a080-8ad63d8e43df)>. Acesso em 07 de fev. de 2016.

Behrens, K.; Picard, P. M. Transportation, freight rates, and economic geography. *Journal of International Economics*, v. 85, November 2011, 280–291.

Boardman, J.; Poesen, J.; Evans, R. 2003. Socio-economic factors in soil erosion and conservation. *Environmental Science & Policy*, v. 6, 1–6.

Bowersox, D.; Closs, D. Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimentos. São Paulo, Atlas, 2010.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Diretrizes da Política Nacional de Transporte Hidroviário. Brasília: Ministério dos Transportes, 2010 (Edição Revisada).

Burdett, R. L. 2016. Optimisation models for expanding a railway's theoretical capacity. *European Journal of Operational Research*. 251, 783–797

Burdzik, R.; et al. 2014. Cargo loading and unloading efficiency analysis in multimodal transport. *Promet – Traffic & Transportation*, v. 26, n. 4, 323-331.

Caixeta Filho, J. V. 2006. Novos corredores devem mudar matriz do transporte. *Visão Agrícola*, São Paulo, ano 3, n. 5, p. 127-129.

Caris, A.; Limbourg, S.; Macharis, C.; Lier, T. V.; Cools, M. 2014. Integration of inland waterway transport in the intermodal supply chain: a taxonomy of research challenges. *Journal of Transport Geography*, 41, 126–136.

Castillo, R. 2004. Transporte e logística de granéis sólidos agrícolas: componentes estruturais do novo Sistema de movimentos do território brasileiro. *Investigaciones Geográficas*, v. 55, p. 79-96.

CNT – Confederação Nacional do Transporte. Relatório Pesquisa CNT de Rodovias 2011. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br>>. Acesso em 11 de fev. de 2016.

CNT – Confederação Nacional do Transporte. Plano CNT de Transporte e Logística. 2017. Pesquisa CNT de rodovias 2017. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br>>. Acesso em 10 de novembro de 2017.

Coeli, C. C. M. Análise da demanda por transporte ferroviário: o caso do transporte de grãos e farelo de soja na ferronorte. Dissertação da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto COPPEAD de Administração, 2004.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. 2017. Evolução da capacidade estática dos armazéns cadastrados. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17\\_03\\_22\\_14\\_16\\_28\\_serie\\_historica\\_cadastro\\_por\\_uf1.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_03_22_14_16_28_serie_historica_cadastro_por_uf1.pdf)>. Acesso em: 10 de agosto de 2017.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. 2017. Séries históricas. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=&Pagina\\_objcmsconteudos=3#A\\_objcmsconteudos](http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=&Pagina_objcmsconteudos=3#A_objcmsconteudos)>. Acesso em: 20 agosto de 2017.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. 2005. Corredores de escoamento da Produção Agrícola.

CSCMP - Council Of Supply Chain Management Professionals. 2016. Glossary [online publication]. <Disponível em: <http://cscmp.org/digital/glossary/document.pdf>>. Acesso em 14 de abr. de 2016.

Corrêa, H. L. Administração de cadeia de suprimento e logística. São Paulo: Atlas, 2014.

David, P.; Stewart, R. Logística Internacional. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

Davis, J.; Goldberg, R. A concept of agribusiness. Boston: Harvard University, 1957.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. 2011. Eclusa Boa Esperança. <<http://www.dnit.gov.br/hidroviarias/obras-da-diretoria-aquaviaria/eclusas/eclusa-de-boa-esperanca-pi>>. Acesso em 10 de fev. de 2016.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. 2013. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/download/mapas-multimodais/mapas-multimodais/ma.pdf>>. Acesso em 06 de fev. de 2016.

Dubke, A. F.; Pizzolato, N. D. 2011. Location model of specialized terminals for soybean exports in Brazil. Pesquisa Operacional, v. 31(1): 21-40.

EMAP – Empresa Maranhense de Administração Portuária. 2015a. Disponível em: ><http://www.emap.ma.gov.br/porto-do-itaqui/infraestrutura>>. Acesso em 10 de fev. de 2016.

EMAP - Empresa Maranhense de Administração Portuária . 2015b. Relatório de Movimentação de cargas. Disponível em: <[http://www.emap.ma.gov.br/public/\\_files/arquivos/Movimenta%C3%A7%C3%A3o%20de](http://www.emap.ma.gov.br/public/_files/arquivos/Movimenta%C3%A7%C3%A3o%20de)>

%20cargas%20-%20JAN%20a%20DEZ\_5697dfe635529.pdf>. Acesso em 13 de fev. de 2016.

ETENE – Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste. 2010. Disponível em: <[http://www.bnb.gov.br/documents/88765/89729/iis\\_infraestrutura\\_transportes.pdf/40d70c80-b132-4b06-bf8f-0bfc9fce8874](http://www.bnb.gov.br/documents/88765/89729/iis_infraestrutura_transportes.pdf/40d70c80-b132-4b06-bf8f-0bfc9fce8874)>. Acesso em: 08 de fev. de 2016

Fleury, P. F.; et al. Logística Empresarial. São Paulo: Atlas, 2011.

Garcia, S.; Vicens-Salort, E.; Nääs, I. A. 2015. Investment in intermodal transportation in Brazil could benefit the country's agribusiness gdp growth. Brazilian Journal of Biosystems Engineering, v. 9, 1, 90-98.

Gitonga, Z. M.; De Groote, H.; Kassie, M.; Tefera, T. 2013. Impact of metal silos on households' maize storage, storage losses and food security: An application of a propensity score matching. Food Policy, 43, p. 44-55.

Hesse, M.; Rodrigue, J. P. 2004. The transport geography of logistics and freight distribution. Journal of Transport Geography, v. 12, 171-184.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades – 2017 Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/xtras/uf.php?lang=&coduf=21&search=maranhao>>. Acesso em 15 de agosto de 2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. CENSO – 2006. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/temas.php?sigla=ma&tema=censoagro>>. Acesso em 06 de fev. de 2016.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Lavoura temporária 2014 Maranhão. 2014. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/temas.php?sigla=ma&tema=lavouratemporaria2014>>. Acesso em 10 de fev. de 2016.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2016. Pesquisa de estoques. Disponível em: <[ftp://ftp.ibge.gov.br/Estoque/Pesquisa\\_de\\_Estoques\\_\[semestral\]/MA\\_2\\_semestre2016.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Estoque/Pesquisa_de_Estoques_[semestral]/MA_2_semestre2016.pdf)>. Acesso em 08 de outubro de 2017.

IEA – Instituto de Economia Agrícola – Pontos críticos da armazenagem de grãos no Brasil. 2011. Disponível em: <<ftp://ftp.sp.gov.br/ftpiea/AIA/AIA-12-2011.pdf>>. Acesso em: 11 de setembro de 2017.

Islan, D. M. D. Z. 2014. Barriers to and enablers for european rail freight transport for integrated door-to-door logistics service. Part 2: enablers for multimodal rail freight transport. Transport Problems, v. 9, Issue 4, 5-13.

Kong, F.; Chang, S. K. C. 2009. Statistical and kinetic studies of the changes in soybean quality during storage as related to soymilk and tofu making. Journal of Food Science, v. 74, n. 2, 81-89.

Kong, F.; Chang, S. K. C. 2013. Changes in protein characteristics during soybean storage

under adverse conditions as related to tofu making. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 2013, v. 61, 387–393.

Kussano, M. R.; Batalha, M. O. Custos logísticos agroindustriais: avaliação do escoamento da soja em grão do Mato Grosso para o mercado externo. *Gestão & Produção*, v. 19, n. 3, 619-632, 2012.

Lusby, R. M.; Larsen, J.; Ehrgott, M.; Ryan, D. 2011. Railway track allocation: models and methods. *OR Spectrum*, v. 33, 4, 843–883.

Medina, G.; Santos, A. P. 2017. Curbing enthusiasm for Brazilian agribusiness: The use of actor-specific assessments to transform sustainable development on the ground. *Applied Geography*, v. 85, 101-112.

Mendes, J. T. G.; Padilha Junior, J. B. *Agronegócio: uma abordagem econômica*. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

Moura, R. A. *Armazenagem: Do Recebimento à Expedição em Almoarifados ou Centros de Distribuição*. São Paulo: IMAN, 2008.

MT - Ministério dos Transportes. 2014. *Bacia do Nordeste*. <<http://www.transportes.gov.br/editoria-d/2-uncategorised/1441-bacia-nordeste.html>>. Acesso em 09 de fev. 2016.

Nogueira, T. H.; Carvalho, C. R. V.; Santos, G. P. A.; Camargo, L. C. 2015. Mathematical model applied to single-track line scheduling problem in Brazilian railways. *J Oper Res*. 13:403–441.

Pompermayer, F. M.; Campos Neto, C. A. S.; De Paula, J. M. P. *Hidroviás no Brasil: perspectiva histórica, custos e institucionalidade*. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Rio de Janeiro: IPEA. 2014.

Rocha, P. C. A. *Logística & Aduana*. São Paulo: Editora Aduaneiras, 3ª edição, 2008.

Rodrigues, P. R. A. *Introdução aos Sistemas de Transporte no Brasil e à Logística Internacional*. 4ª edição, São Paulo: Editora Aduaneiras, 2007.

Spera, S. A.; Galford, G. L.; Coe, M. T.; Macedo, M. N.; Mustard, J. F. 2016. Land-use change affects water recycling in Brazil's last agricultural frontier. *Global Change Biology*, v. 22, 3405 -3413.

Tefera, T.; Kanampiu, F.; De Groote, H.; Hellin, J.; Mugo, S.; Kimenju, S.; Beyene, Y.; Boddupalli, P. M.; Shiferaw, B.; Banziger, M. 2011. The metal silo: An effective grain storage technology for reducing post-harvest insect and pathogen losses in maize while improving smallholder farmers' food security in developing countries. *Crop Protection*, v. 30, 240-245.

VALEC. 2016. Disponível em: <[http://www.valec.gov.br/acoes\\_programas/index.php](http://www.valec.gov.br/acoes_programas/index.php)>. Acesso em 18 de fev. 2016.

Vera-Diaz, M. C.; Kaufmann, R. K.; Nepstad, D. C.; Schlesinger, P. 2008. An interdisciplinary model of soybean yield in the Amazon Basin: The climatic, edaphic, and economic determinants. *Ecological Economics*, v. 65, 420-431.

Verma, M., Verter, V., Zufferey, N., 2012. A bi-objective model for planning and managing rail-truck intermodal transportation of hazardous materials. *Transportation Research Part E*, v. 48, 1, 132–149.

ZHANG, M.; et al. 2013. Optimization of multimodal networks including environmental costs: A model and findings for transport policy. *Computers in Industry*, v. 64, 136–145.

## **5 IMPACTOS DO TRANSPORTE E INFRAESTRUTURA LOGÍSTICA DE GRÃOS DE SOJA NO ESTADO DO MARANHÃO (BRASIL)**

**Resumo:** A soja em grãos vem batendo recordes de produção e de exportação, ao tempo em que ressalta os problemas de infraestrutura de transporte, ineficiente e poluidor. Os meios de transportes mais utilizados para o escoamento da safra da soja são os modais rodoviário e ferroviário que geram impactos diretos ao meio ambiente. As emissões originárias dos transportes e de sua rede de infraestrutura colaboram com a elevação dos níveis poluentes atmosféricos entre outros impactos ambientais negativos. No estado do Maranhão, o escoamento da soja acontece principalmente pela utilização de caminhões, que utilizam combustível poluente, contribuindo com o aumento do impacto na biodiversidade regional. Esta pesquisa pretende determinar o escopo e o alcance dos principais impactos ambientais originários da infraestrutura e operações do transporte da soja diante do ecossistema do Estado do Maranhão - Brasil. Os efeitos gerados pela ação dos transportes e sua infraestrutura impactam diretamente ao ambiente natural e antrópico, bem como ao bioma Cerrado. Estes impactos podem gerar desequilíbrio ao meio ambiente, bem como problemas socioeconômicos as cidades circunvizinhas das principais vias de escoamento de grãos.

**Palavras-chave:** Infraestrutura Logística; Impactos Ambientais; Danos Ambientais.

### **5.1 INTRODUÇÃO**

A produção da soja no Brasil tem batidos recordes de produção e de exportação, colocando o país atrás apenas dos Estados Unidos como maior produtor mundial. Entre 1995 e 2015 a área plantada brasileira cresceu mais de 170%, e o estado do Maranhão mais de 700%, indicando o crescimento exponencial do cultivo da soja. Essa cultivar apresenta forte influência no desenvolvimento social e econômico. Sua produção e competitividade é altamente dependente de sistemas logísticos eficientes voltados para o agronegócio, com participação acima de 85% no volume total de grãos produzidos (CNT, 2015; CONAB, 2016; EMBRAPA, 2017).

O setor de transporte destaca-se como importante força motriz do desenvolvimento da economia mundial, de modo que a infraestrutura de transporte possibilitou a redução das fronteiras agrícolas, proporcionando aumento da produtividade e a lucratividade do setor. A aproximação das regiões produtoras de soja com fornecedores de insumos, armazenadores, zonas de exportação e processamento reduzem os custos do processo e aumentam a competitividade dos produtores. A soja em grãos vem crescendo consideravelmente, sendo

que em 2015 o volume exportado cresceu 19% em relação ao ano anterior no Brasil, passando dos 54 milhões de toneladas (Brasil, 2016; CONAB, 2016).

Esse crescimento, ressalta os problemas de infraestrutura e de transporte, que encontra dificuldades em acompanhar com eficiência o setor, todavia os meios de transportes utilizados para o escoamento da safra da soja (principalmente os modais rodoviário e ferroviário) são fontes poluidoras que geram impactos diretos ao meio ambiente. Na maioria dos casos, a eficiência da logística anda na contramão das práticas sustentáveis e cuidados com fatores ambientais, sendo que estes cuidados elevam consideravelmente os custos das operações (Isaksson e Hüge-Brodin, 2013).

As emissões originárias dos transportes e de sua rede de infraestrutura contribuem com a elevação dos níveis poluentes atmosféricos, por carregarem diversas substâncias tóxicas como CO, NOx, hidrocarbonetos, dióxidos de enxofre, sem contar a poluição sonora, perda de habitats, entre outros prejuízos ambientais. No caso da soja, predomina a utilização de caminhões, que utilizam o diesel como combustível, sendo este altamente poluente e economicamente mais dispendioso quando analisados as perdas ambientais, de infraestrutura e governamental de seu uso (Teixeira et al., 2008; D'Agosto, 2015).

No estado do Maranhão o fluxo intenso dos caminhões nas rodovias e a pouca utilização da ferrovia para o transporte de grãos, além da inexistência de transporte fluvial para a soja impulsionam o aumento do impacto na biodiversidade regional, em parte, devido o modal rodoviário ser o principal emissor de gases nocivos, e a sua infraestrutura precária potencializa o impacto negativo ao meio ambiente. Neste sentido, o objetivo desta pesquisa foi o de determinar o escopo e o alcance dos principais impactos ambientais originários da infraestrutura e operações do transporte da soja diante do ecossistema no Estado do Maranhão - Brasil. Estas informações podem direcionar debates e medidas preventivas e/ou corretivas, assegurando a melhoria e manutenção dos impactos ambientais gerados.

## **5.2 VISÃO GERAL DO IMPACTO LOGÍSTICO AMBIENTAL**

Os processos logísticos exercem importante papel em toda a cadeia de abastecimento, sendo os transportes um elo fundamental desse processo que vêm sendo evidenciado cada vez mais pelo seu impacto negativo ao meio ambiente. O setor de transportes no Brasil, é responsável por mais de 15% do PIB (produto interno bruto). Os modais de transportes estão divididos entre rodoviário, ferroviário, aquaviário, aeroviário e dutoviário, de modo que os três primeiros são os mais utilizados para o transporte de grãos pela sua capacidade de carga.



No Brasil o modal rodoviário é o principal meio de transporte de grãos, seguido pelo ferroviário e com menos expressividade o aquaviário. Cerca de 65% da soja é transportada por rodovias no Brasil, contra apenas 20% dos EUA, que utiliza de modo mais eficaz a multimodalidade para o escoamento de grãos (CNT, 2015).

A melhor escolha e utilização do transporte depende da disponibilidade, tonelage, distância ser percorrida e os tipos de mercadorias (D'Agosto, 2015; CNT, 2015). Quando comparado os modais de transporte (Tabela 1), evidencia-se a maior capacidade do transporte hidroviário e ferroviário, ideais para o transporte de mercadorias com menor valor agregado.

Tabela 1: Comparativo entre os modais.

	Hidroviário	Ferrovário	Rodoviário
Equivalência	1 comboio Duplo Tietê (4 chatas e 1 empurrador)	2,9 comboios Hopper (86 vagões de 70 t)	172 carretas 35 t (Bitrens graleiros)
Comprimento (Ocupação da via)	150 m	1,7 km	3,5 km (26 km em movimento)
Tonelage	Alta	Alta	Média
Distância	Média/Grande	Média/Grande	Pequena
Produto	Médio valor agregado	Baixo/médio valor agregado	Baixo/médio valor agregado
Consumo de combustível (1t / 1.000 km)	4 litros	6 litros	15 litros
Consumo de CO <sub>2</sub> (1t / 1.000 km)	74 gramas	104 gramas	219 gramas

Adaptado: São Paulo (2017), David (2017), Marad (2017).

O consumo de combustível utilizado para transportar as 6.020 t a uma distância de 1.000 km conforme a equivalência apresentada na Tabela 1, demonstra que seria necessário mais de 90.000 litros de combustível para o modal rodoviário, 2,5 vezes a mais que o modal ferroviário e quase quatro vezes mais que o hidroviário. Quanto ao consumo de CO<sub>2</sub>, o rodoviário consome mais que o dobro do ferroviário e mais que o triplo do hidroviário, não deixando dúvidas quanto de seu consumo e impacto comparado com os demais modais.

Uma modalidade de transporte nem sempre representa a eficiência e custos desejados. Ao comparar as três maiores potências na produção e exportação da soja, EUA, Brasil e Argentina, evidencia-se o contraste existente entre os meios de transporte existentes, conforme Tabela 2.

Tabela 2: Matriz de transporte da soja: principais produtores e exportadores (%).

Participação aproximada por modal em %	Brasil	Argentina	Estados Unidos
Transporte hidroviário	9,0	3,0	49,0
Transporte ferroviário	26,0	13,0	31,0
Transporte rodoviário	65,0	84,0	20,0
Distância média ao porto (km)	+/- 1.000	+/- 300	+/- 1.000

Fonte: CNT (2015).

A matriz de transporte da Argentina, possui cerca de 84% de participação do modal rodoviário, porém este se torna eficiente devido a pequena distância média entre a área de produção e o porto, diferente do Brasil e EUA, que possuem uma distância média de 1.000 km. A distância ideal para o modal rodoviário ser eficiente é de até 500 km (Caixeta Filho, 2006). De qualquer modo o Brasil ainda sofre nesse comparativo com um modal mais caro e menos eficiente para grandes distâncias, além da falta de infraestrutura e integração entre eles.

No estado do Maranhão predomina o modal rodoviário para o escoamento de grãos, devido principalmente a sua disponibilidade e preço do frete. A utilização do modal ferroviário é utilizada em menor escala, devido a baixa oferta de vagões para o transporte de grãos (prioridade é o transporte de minérios) que acarreta em maior tempo de espera e fretes similares ao transporte rodoviário. Por mais que possua rios aptos a navegação, o Estado necessita de grandes investimentos para que o modal aquaviário se torne realidade. A falta de eclusas em barragens, pedreiras e bancadas de areias ao longo dos rios estão entre os principais desafios.

Os impactos gerados pelos transportes e sua infraestrutura atingem fatores econômicos, ambientais e sociais, estando associados a externalidades como mudança climática, poluição do ar, barulho, perda de habitats, vibrações, acidentes, entre outros. Estes problemas são evidenciados pela poluição, que expõe a utilização ineficiente dos insumos e das atividades logísticas (Ittmann, 2011; Lai e Wong, 2012; Isaksson e Hüge-Brodin, 2013; Macias e Gadziński, 2013).

Assim, os impactos ambientais são caracterizados como alterações resultantes das atividades humanas que causam alterações das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente CONAMA (1986), e desenvolve-se sobretudo pela utilização acentuada e crescente de energias, principalmente de recursos fósseis, que são limitados.

Nessa perspectiva é necessário conhecer e melhorar o desempenho ambiental, proporcionando a redução de emissões, resíduos e poluição geradas pelas atividades

logísticas. O transporte (fontes móveis), juntamente com os processos industriais (fontes estacionárias) são as duas principais fontes de poluição atmosférica, e tendem a serem mais complexas na redução de suas emissões de gases de efeito estufa - GEE. O setor de transportes é uma das principais fontes de emissão de GEE, representando cerca de 23% das emissões globais. Os principais poluentes emitidos por estas fontes são os materiais particulados (MP), os óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) e enxofre ( $\text{SO}_x$ ), o monóxido de carbono (CO), os compostos orgânicos voláteis (COVs) e o chumbo (Pb) (Veiga, 2010; Teixeira et al., 2008; Wu et al., 2013; Lora e Leme, 2013; Ozen e Tuydes-Yaman, 2013).

### 5.2.1 MATRIZ ENERGÉTICA DOS TRANSPORTES

A principal matriz energética dos transportes de carga ainda é a derivada do petróleo (óleo diesel e óleo combustível), sendo que esta apresenta características mais favoráveis como compactidade, robustez, alta potência em baixas rotações e elevado torque de partida na tração de veículos rodoviários e locomotivas em detrimento de energias alternativas, como o vapor (D'Agosto, 2015).

A dependência a esse tipo de combustível gera problemas sociais/econômicos e principalmente ambientais. Esse é um tipo de recurso esgotável que gera diversos conflitos desde a sua extração até a comercialização. Já o impacto ambiental, está diretamente ligado a queima de combustíveis, que geram poluentes atmosféricos e gases de efeito estufa. As principais fontes convencionais de energia para o transporte de grãos, são:

- Transporte rodoviário: óleo diesel, recurso não renovável;
- Transporte ferroviário: óleo diesel, recurso não renovável;
- Transporte aquaviário: óleo diesel e óleo combustível, recurso não renovável.

O modal rodoviário consome a maior parcela de óleo diesel utilizado pelo transporte, tendo seu consumo ampliado ao longo dos anos (BRASIL, 2015). Em dez anos, conforme Figura 1, o consumo de energia de óleo diesel pelos modais rodoviário, ferroviário e hidroviário, aumentaram de  $26.945 \cdot 10^3$  tep (tonelada equivalente de petróleo) para mais de  $39.000 \cdot 10^3$  tep, um crescimento de aproximadamente 44%. A matriz de consumo de energia de óleo diesel de cada modal, Figura 2, demonstra que o modal rodoviário teve um crescimento neste mesmo período de 46%, o ferroviário de 22% e o hidroviário de 10%. O modal rodoviário quando comparado com os demais, tem sua média de consumo em cerca de

96%, o ferroviário participa com 3% e o hidroviário com apenas 1%, em um período de dez anos.

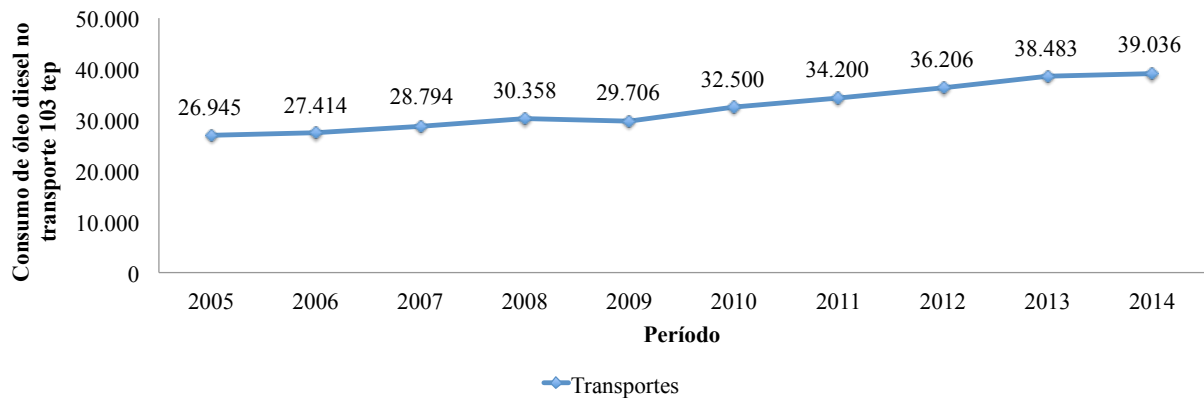


Figura 1: Consumo de energia total de óleo diesel nos modais de transporte (rodoviário, ferroviário e hidroviário).

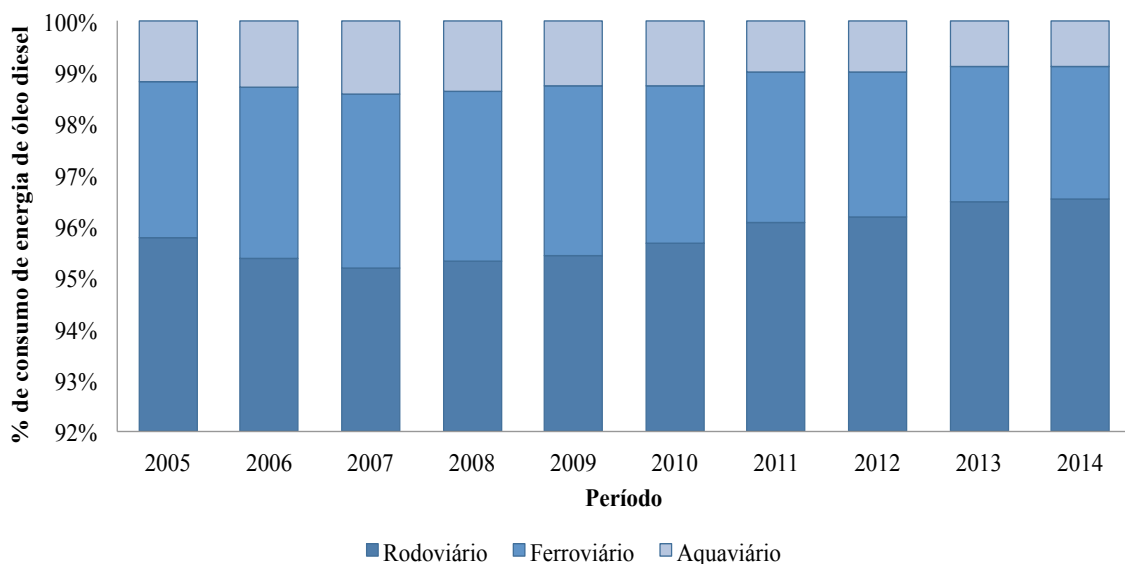


Figura 2: Percentual de consumo de energia por modal de transporte de óleo diesel.

Estes números (Figura 1 e 2) demonstram a forte dependência dos combustíveis fósseis da matriz de transporte brasileira ao longo dos anos. O modal ferroviário e aquaviário, tidos como mais eficientes, tiveram mudanças pouco expressivas, mas não menos dependente dessa matriz energética. Já o transporte rodoviário, apresenta-se como maior e crescente consumidor das fontes fósseis de energia, fator preocupante pela sua relação com aumento da emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera.

## 5.3 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.3.1 ÁREA DE ESTUDO

O Estado do Maranhão está localizado no extremo oeste da região nordeste do Brasil, fazendo limite com três estados e o Oceano Atlântico. O Estado possui 217 municípios distribuídos em uma área de 331.936,955 km<sup>2</sup>, com população estimada em 6.904.241 habitantes (IBGE, 2016).

A infraestrutura de transporte de cargas no estado destaca-se por integrar os modais Rodoviário, Aquaviário e Ferroviário. A malha rodoviária contempla cerca 55.683 km, sendo que desses apenas 7.306 km são pavimentados, estando aproximadamente 79% da malha rodoviária em estado de conservação regular/ruim. Estima-se que a frota de veículos circulantes no estado é de 1.460.158 veículos, sendo que destes 37.620 são caminhões e 3.874 caminhões trator (IBGE, 2016, ETENE, 2010). Com relação ao modal ferroviário o Maranhão se destaca por ser atendido por três ferrovias, a Estrada de Ferro de Carajás (EFC) com 685 km de extensão dentro do estado. A Ferrovia Norte Sul (FNS), que percorre os estados do Pará, Maranhão, Tocantins, Goiás, Minas Gerais, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (quando concluída), sendo que o trecho da Ferrovia no Maranhão é de 200 km. A Companhia Ferroviária do Nordeste (CFN), que liga o Maranhão com os estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas até Sergipe. No Estado do Maranhão a ferrovia estende-se de São Luís ao município de Timon, com 450 km (VALEC, 2016; ANTF 2016).

Quanto a infraestrutura aquaviária, a cidade de São Luís (capital do Estado) possui três portos de águas profundas, o Terminal Marítimo de Ponta da Madeira, Porto de Itaqui, Porto da Alumar, interligado pelo ramal ferroviário, sendo de grande importância para o Estado, assim como para o Brasil.

### 5.3.2 IMPACTOS, DANOS E CUSTOS AMBIENTAIS

Os impactos ambientais são alterações inferidas pelas ações humanas, que proporciona alteração no valor de um determinado parâmetro ambiental no decorrer do tempo. Estes impactos podem ainda estar vinculados a fatores de ordem social ou cultural, podendo apresentar efeitos benéficos, diferentes da poluição. Os aspectos positivos em geral não são

destacados, porém, são fundamentais para a sustentabilidade econômica, social e ambiental da atividade ou empreendimento a que se destinam (Adissi & Neto, 2013; Barbieri, 2011).

Para a construção dos impactos ambientais causados pela infraestrutura rodoviária e ferroviária, utilizou-se de pesquisa em documentos, literatura técnica, estudos e relatórios de impactos ambientais. Para a avaliação dos impactos ambientais, empregou-se os conceitos de ambiente natural, composto pelos meios físicos (água, ar, solos, rochas) e biológico (fauna, flora, microrganismos). E pelo ambiente antrópico, que diz respeito ao meio socioeconômico (uso e ocupação do solo, patrimônio histórico, cultural e arqueológico, organização social, entre outros) (Neto, Oliveira, Braga, 2013; D'Agosto, 2015).

Para a construção dos custos ambientais, utilizou-se dos danos ambientais propostos por Sinisgalli (2005). Dano ambiental difere-se de impacto ambiental, constituindo dano, o prejuízo aos recursos ambientais, com consequente degradação, ou seja, qualquer alteração adversa dos processos, funções ou componentes ambientais, que afetem o equilíbrio ecológico e da qualidade de vida (Miralé, 2015; Neto, Oliveira, Braga, 2013).

Para efeito de comparação, entre o modal rodoviário e o ferroviário, utilizou-se a tabela de custos ambientais, com valores para cada serviço ecossistêmico a ser considerado na análise de valoração ambiental definidos por Sinisgalli (2005). A faixa de valor utilizada para o cálculo dos custos foi a média de cada serviço ecossistêmico, devido a grande variação entre alguns valores e de alguns estudos utilizados serem defasados, conforme Tabela 3.

Tabela 3: Custos ambientais ao ano.

Dano Ambiental	Faixa de valor (US/ha/ano)		
	Mínimo	Máximo	Média
Biodiversidade	20,00	30,60	25,30
Ciclo hidrológico	19,00	67,60	43,30
Novas drogas	30,00	30,00	30,00
Produtos extrativos madeireiros	29,25	1.000,78	515,02
Produtos extrativos não madeireiros	4,80	2.830,00	1.417,40
Sequestro de carbono	198,00	203,00	200,50
Uso recreativo	1,55	1,55	1,55
Valor monetário da existência	6,40	339,00	172,70
<b>Total</b>	<b>309,00</b>	<b>4.502,53</b>	<b>2.405,77</b>

Fonte: Adaptado Sinisgalli (2005).

Determinou-se como sendo 700 km a distância de transportes a ser analisada, sendo um pouco acima da distancia ideal para utilização do transporte rodoviário (até 500 km).

Levou-se em consideração a distância aproximada de 700 km do escoamento de soja do polo de produção de Balsas à São Luís pelo modal rodoviário e a distância do terminal multimodal de Porto Franco à São Luís pela ferrovia. Para o cálculo, utilizou-se da estimativa proposta por Jaime (2008), em que a previsão de desmatamento em torno de 1 km de rodovia é de 8,56 km<sup>2</sup>.

Para o cálculo dos danos ambientais de uma ferrovia, conveniu-se a utilização de um parecer do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA (2009), sobre a análise de viabilidade ambiental das obras da rodovia BR-319, do estado do Amazonas, que indica que a construção de uma ferrovia conteria em 80% do processo de desmatamento esperado pela rodovia, ou seja, a área desmatada pela ferrovia é estimada em 20% da área de desmatamento para a rodovia. Outro comparativo é apresentado por Viana (2007) sobre o incremento do desmatamento e emissão de CO<sub>2</sub> para um prazo de 50 anos, é de 34% para a rodovia, enquanto que a ferrovia teria participação moderada de 7%, o que certificaria os 20% adotados para a ferrovia.

#### **5.4 IMPACTOS AMBIENTAIS DA CADEIA DE DISTRIBUIÇÃO DA SOJA**

A infraestrutura de transportes é fundamental para o desenvolvimento econômico das regiões produtoras, além de proporcionar inúmeros benefícios em relação a redução de custos e competitividade. Entretanto, a utilização dos modais de transportes e investimentos em sua infraestrutura são um dos principais responsáveis pela destruição dos ecossistemas brasileiros (Reid & Sousa Júnior, 2005; Jaime, 2008).

Os diversos impactos encontrados oriundos dos transportes de cargas e de suas infraestruturas interferem nos meios biótico e antrópico, causando desequilíbrio ao meio ambiente e proporcionando problemas socioeconômico as cidades circunvizinhas das principais vias de escoamento de grãos. Estes impactos são gerados no momento da implantação das vias (rodoviárias e ferroviárias) durante a sua manutenção e continuamente na operação do modal. Esses impactos ampliam a visão de sustentabilidade tanto debatida e defendida, que deixa de se concentrar apenas no meio ambiente, ampliando sua complexidade e abordagem para os meios econômicos e sociais conhecida como *triple bottom line* (Curi, 2009; EIA/RIMA, 2009; D'Agosto, 2015; Ahi e Searcy, 2013).

Os efeitos causados pela atuação dos transportes e sua infraestrutura impactam diretamente ao ambiente natural e antrópico, conforme demonstrados na figura 3. Todos estes impactos identificados, podem ocasionar maiores consequências para determinado meio

dependendo de sua frequência, do estado de conservação das vias e dos veículos que transitam por estas, bem como a região e o ecossistema afetado. O processo de implantação de rodovias e ferrovias provoca a modificação da cobertura do solo, proporcionando a perda de sua consistência, gerando problemas como instabilidade do solo e consecutiva erosão.

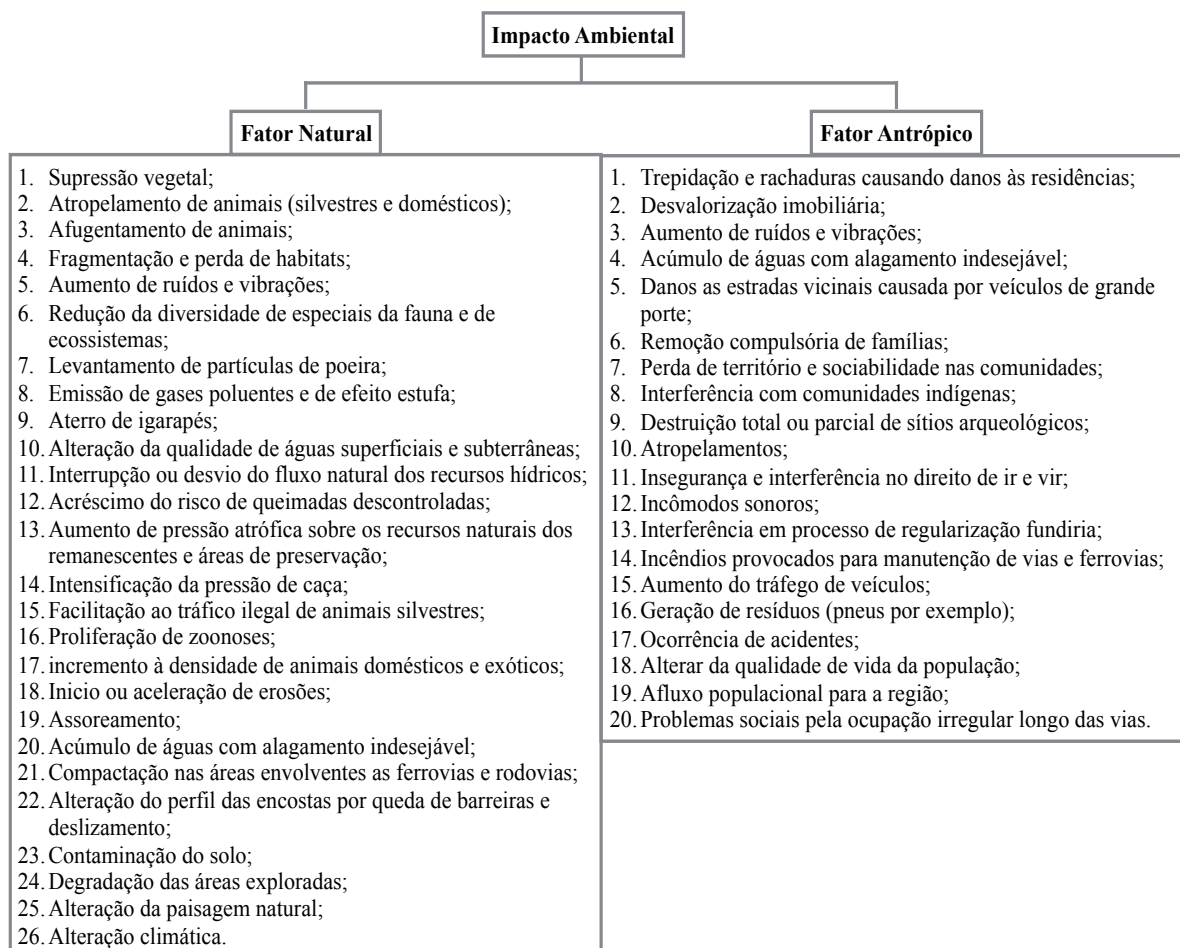


Figura 3: Impactos ambientais causados pela implantação e operação dos modais rodoviários e ferroviários.

Estes impactos estão associados a infraestrutura rodoviária e ferroviária, utilizada pela cadeia de distribuição da soja, principalmente pela ampliação constante das fronteiras de desenvolvimento agrícola, assim como, da infraestrutura de transportes para a circulação de caminhões em estradas vicinais e não pavimentadas, agravando ainda mais alguns destes impactos IBAMA (2009).

A expansão da monocultura intensiva de grãos, é uma das principais ameaças à biodiversidade do cerrado (WWF, 2017). O estado do Maranhão é composto pelos biomas Amazônia, Cerrado e Caatinga. O cultivo da soja no Estado do Maranhão concentra-se no bioma do Cerrado, ao sul, na região de Balsas; e ao noroeste, na região de Chapadinha. Esse



bioma é afetado pela produção da soja, que utiliza das vias (ferrovia e rodovia) para o escoamento do grão até o porto na cidade São Luís, conforme Figura 4.

Grande parte do desmatamento do Cerrado, assim como de outras regiões do Brasil associadas a construção de rodovias e ferrovias estão relacionadas a falta de planejamento, governança e da criação e fiscalização de áreas de preservação ambiental (Alho, 2011; Di Minin et al., 2017).



Figura 4: Biomas que compõe o estado do Maranhão e vias de escoamento da soja.

#### 5.4.1 CUSTOS AMBIENTAIS

Os custos ambientais gerados pela implantação e operação dos modais rodoviários e ferroviários, foram estudados e projetados por Sinisgalli (2005) e Jaime (2008), tendo como base o impacto ambiental gerado pelo desmatamento, incluindo custos de biodiversidade, ciclo hidrológico, novas drogas, produtos extrativos madeireiros e não madeireiros, sequestro de carbono, recreativo e valor monetário de existência, Tabela 4.

A comparação percentual evidencia que o modal rodoviário provoca ao logo do tempo um maior custo ambiental em comparação ao modal ferroviário. Diversos estudos apresentam as estradas como grandes fontes de desmatamento, emissões de CO<sub>2</sub> e perda de biodiversidade (Fearnside, 2015; Graça et al., 2014; Barni et al., 2015)

Tabela 4: Comparação de custos ambientais entre o modal rodoviário e ferroviário.

Dano Ambiental	Custo médio US\$/ha/ano	Rodoviário	Ferrovário
		Custo (US\$/ano)	Custo (US\$/ano)
Biodiversidade	25,30	15.159.760,00	3.031.952,00
Ciclo hidrológico	43,30	25.945.360,00	5.189.072,00
Novas drogas	30,00	17.976.000,00	3.595.200,00
Produtos extrativos madeireiros	515,02	308.599.984,00	61.719.996,80
Produtos extrativos não madeireiros	1.417,4	849.306.080,00	169.861.216,00
Sequestro de carbono	200,50	120.139.600,00	24.027.920,00
Uso recreativo	1,55	928.760,00	185.752,00
Valor monetário da existência	172,70	103.481.840,00	20.696.368,00
Valor econômico total	2.405,77	1.441.537.384,00	288.307.476,80

Os custos ambientais da rodovia e ferrovia são estimados em US\$ 1.441.537.384,00 e US\$ 288.307.476,80 respectivamente, em um ambiente com pouca ou nenhuma governança. A rodovia possui um custo ambiental muito maior, já que seu impacto no meio antrópico desencadeia muitos outros que afetam o meio natural. O transporte influencia negativamente o ambiente natural, principalmente em áreas com maior densidade populacional por desencadear uma série de fatores que, ao longo do tempo, podem tornar-se irreversíveis. Em geral, os impactos negativos gerados pelas rodovias e ferrovias, são de algum modo

transferidos à sociedade, que arca com possíveis danos. Estes impactos geram novas dinâmicas sociais, culturais e políticas nas regiões afetadas (Macias e Gadziński, 2013; Meirelles Filho, 2006).

A ferrovia possui custos de manutenção menores quando comparados a outros modais de transporte e seus custos ambientais também são significativamente menores que o rodoviário, já que sua construção indubitavelmente perpassa por espaços ambientais. No caso das rodovias, esse impacto é muito maior, por possibilitar abertura de vias vicinais a áreas antes isoladas, facilitando a exploração de novas áreas para agricultura, pecuária e extração de madeira ilegal (Ritter et al., 2017).

## 5.5 CONCLUSÃO

Os impactos originados dos transportes de cargas e de suas infraestruturas, causam uma série de desequilíbrios nos meios biótico e antrópico, gerando não apenas problemas ambientais, como socioeconômicos. Todo o processo relacionado ao transporte de grãos pode desencadear prejuízos ambientais, seja de implantação, operação e manutenção das vias, como impactos cíclicos ou em constante crescimento.

O Maranhão possui ainda problemas sérios de infraestrutura, fazendo com que o principal meio de transporte e o mais poluente, o rodoviário, cause maiores danos ambientais. Os custos ambientais do transporte rodoviário é muito superior ao ferroviário ou aquaviário, evidenciando a falta de planejamento e governança quanto a utilização dos modais, assim como políticas mais eficientes e voltadas a preservação ambiental.

## 5.6 REFERÊNCIAS

Adissi, P. J.; Neto, J. A. A. Conceitos básicos da gestão ambiental. In: ADISSI, P. J.; et al (Org.). Gestão ambiental de unidades produtivas. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. 125-164.

Ahi, P.; Searcy, C. 2013. A comparative literature analysis of definitions for green and sustainable supply chain management. *Journal of Cleaner Production*. v. 52. 329 e 341.

Alho, C. J. R. 2011. Concluding remarks: overall impacts on biodiversity and future perspectives for conservation in the Pantanal biome. *Brazilian Journal of Biology*, v. 71, 1, 337-41.

ANTF – Associação Nacional dos Transportes Ferroviários. Disponível em: <<http://www.antf.org.br/index.php>>. Acesso em 19 de julh. de 2016.

Barbieri, J. C. Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos. 3.ed. São Paulo: Saraiva, 2011.

Barni, P.E., Fearnside, P.M., Graça, P.M.L.A., 2015. Simulating deforestation and carbon loss in Amazonia: impacts in Brazil's Roraima state from reconstructing highway BR-319 (Manaus-Porto Velho). *Environmental Management*. v. 55, 2, 259–278.

Barreto, et al. 2010. Exploring effective conservation networks based on multi-scale planning unit analysis. A case study of the Balsas sub-basin, Maranhão State, Brazil. *Ecological Indicators*, v. 10, Issue 5, September. 1055-1063.

BRASIL. Ministério Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2016. - <http://www.agricultura.gov.br/comunicacao/noticias/2016/01/volume-exportado-de-soja-em-grao-milho-cafe-frango-e-celulose-bate-recorde-em-2015>.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia 2015. Balanço Energético Nacional 2015: Ano base 2014 / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro : EPE, 2015.

Caixeta Filho, J. V. 2006. Novos corredores devem mudar matriz do transporte. *Visão Agrícola*. São Paulo, ano 3, n.5, 127-129.

CNT. 2015. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br/estudo/transporte-desenvolvimento>>. Acesso em: 15 outubro de 2016.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. 2016. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&&Pagina\\_objcmsconteudos=3#A\\_objcmsconteudos](http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&&Pagina_objcmsconteudos=3#A_objcmsconteudos)>. Acesso em 16 setembro de 2016.

CONAMA. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução do CONAMA n 001 de 23 de janeiro de 1986. Brasília, 1992.

David, P. A. Logística internacional: gestão de operações de comercio internacional. 4a ed. São Paulo: Cengage Learning, 2017.

D'Agosto, M. A. Transporte, uso de energia e impactos ambientais: uma abordagem introdutória. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

Di Minin, E.; Soutullo, A.; Bartesaghi, L.; Rios, M.; Szephegyi, M. N.; Moilanen, A. 2017. Integrating biodiversity, ecosystem services and socio-economic data to identify priority areas and landowners for conservation actions at the national scale. *Biological Conservation*. v. 206, 56-64.

EIA/RIMA. Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental. 2009. EIA/RIMA para Implantação da Ferrovia EF 354 – Trecho: Uruaçu/GO - Vilhena/RO.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Soja em numeros: safra 2016/2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>>. Acesso em 15 de setembro de 2017.

ETENE – Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste. 2010. Disponível em: <[http://www.bnb.gov.br/documents/88765/89729/iis\\_infraestrutura\\_transportes.pdf/40d70c80-b132-4b06-bf8f-0bfc9fce8874](http://www.bnb.gov.br/documents/88765/89729/iis_infraestrutura_transportes.pdf/40d70c80-b132-4b06-bf8f-0bfc9fce8874)>. Acesso em: 09 de ago. de 2016

Fearnside, P. M. 2015. Highway construction as a force in destruction of the Amazon forest. In: van der Ree, R., Smith, D.J., Grilo, C. (Eds.), *Handbook of Road Ecology*. John Wiley and Sons Publishers, Oxford, UK, 414–424 (552 pp.).

Graça, P. M. L. A.; dos Santos Jr., M. A.; Rocha, V. M.; Fearnside, P. M.; Emilio, T.; Menger, J. S.; Marciente, R.; Bobrowiec, P. E. D.; Venticinque, E. M.; Antunes, A. P.; Bastos, A. N.; Rohe, F. 2014. Cenários de desmatamento para região de influência da rodovia BR-319: perda potencial de habitats, status de proteção e ameaça para a biodiversidade. In: Emilio, T., Luizão, F. (Eds.), *Cenários para a Amazônia: Clima, Biodiversidade e Uso da Terra*. Editora-INPA. Manaus, Amazonas, Brazil, pp. 91-101 (194 pp).

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Parecer N.º 078/2009 - COTRA/CGTMO/DILIC/IBAMA. Disponível em : <[http://philip.inpa.gov.br/publ\\_livres/Dossie/BR-319/Documentos%20Oficiais/IBAMA-Parecer-Tecnico-BR-319.pdf](http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/Dossie/BR-319/Documentos%20Oficiais/IBAMA-Parecer-Tecnico-BR-319.pdf)>. Acesso em 15 de setembro de 2017.

IBGE, 2016. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em 10 de maio de 2017.

Ittmann, H. W. 2011. *Green Supply Chains – a new priority for supply chain managers*. CSIR Built Environment.

Izaksson, K.; Huge-Brodin, M. 2013. Understanding efficiencies behind logistics service providers' green offerings, *Management Research Review*, v. 36, Iss 3, 216 – 238.

Jaime, A. L. G. *Análise de impactos socioambientais da infraestrutura de transportes na bacia do Purus-AM*. 2008. 173f. Tese (Mestrado em Engenharia de Infra-Estrutura Aeronáutica) Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

Lai, Kee-Hung ; Wong, Christina W.Y. 2012. Green logistics management and performance: Some empirical evidence from Chinese manufacturing exporters. *Omega*, June. v. 40, 3, 267-282.

Lora, E. E. S.; Leme, M. M. V. *Processos produtivos e a poluição atmosférica*. In. ADISSI, P. J.; et al (Org.). *Gestão ambiental de unidades produtivas*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. 125-164.

Macias, A. ; Gadziński, J. 2013. Assessment of road transport environmental impact as illustrated by a metropolitan área. *Polish Journal of Environmental Studies*, v. 22, 6, 1749-1758.

MARAD – Maritime Administration. Disponível em: <<https://www.marad.dot.gov>>. Acesso em 15 de setembro de 2017.

Meirelles Filho, J. *O livro de ouro da Amazônia*. 5. ed. Rio de Janeiro: Ediouro, 2006.

Miralé, E. *Direito do ambiente*. São Paulo: Revista dos Tribunais. 2015.

Neto, J. A. A.; Oliveira, L. B.; Braga, R. C. S. Avaliação de impactos ambientais. In. ADISSI, P. J.; et al (Org.). Gestão ambiental de unidades produtivas. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. P. 125-164.

Ozen, M.; Tuydes-Yaman, H. 2013. Evaluation of emission cost of inefficiency in road freight transportation in Turkey. *Energy Policy*, v. 62, 625–636.

Pereira, A. P. O. Subsídios para o Gerenciamento Ambiental na Implantação e Operação de Ferrovias, 147 p., Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Instituto Militar de Engenharia - IME, Rio de Janeiro, 2000.

Reid, J.; Sousa Júnior, W. C. 2005. Infrastructure and conservation policy in Brazil. *Conservation Biology*, v. 19, n. 3, 740-746.

Ritter, C. D.; McCrate, G.; Nilsson, R. H.; Fearnside, P. M.; Palme, U.; Antonelli, A. 2017. Environmental impact assessment in Brazilian Amazonia: Challengers and prospects to assess biodiversity. *Biological Conservation*, v. 206, 161–168.

SÃO PAULO. Secretaria de Logística e Transporte. Departamento Hidroviário. Disponível em: <<http://www.dh.sp.gov.br/meio-ambiente/>>. Acesso em 18 de setembro de 2017.

Sinisgalli, P. A. A. Valoração dos danos ambientais de hidrelétricas: estudo de caso. 2005. 211f. Tese (Doutorado em Economia) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

Teixeira, E. C; et al. Estudo Das Emissões De Fontes Móveis Na Região Metropolitana De Porto Alegre, Rio Grande Do Sul. *Química Nova*, v. 31, 244, 2008.

VALEC. 2016. Disponível em: <[http://www.valec.gov.br/acoes\\_programas/index.php](http://www.valec.gov.br/acoes_programas/index.php)>. Acesso em 18 de fev. 2016.

Viana, V. 2007. Ferrovia é opção para substituir BR-319. Disponível em: <<http://portal.inpa.gov.br>>. Acesso em 10 de setembro de 2017.

Veiga, J. E. da. Mundo em transe: Do aquecimento global ao ecodesenvolvimento. São Paulo: Autores Associados, 2010.

WWF. 2017. Ameaças ao Cerrado. Disponível em: <<http://www.wwf.org.br>>. Acesso em 14 de setembro de 2017.

Wu, X. M.; et al. 2013. Carbon footprint model for evaluating the global warming impact of food transport refrigeration systems . *Journal of Cleaner Production*, v. 54, 115-124.

## 6 DIVERSIDADE E VARIABILIDADE ESPACIAL DA FAUNA DO SOLO CULTIVADO COM SOJA SOB SEMEADURA DIRETA (MARANHÃO, BRASIL)

**Resumo:** O solo é um sistema natural que abriga vários organismos vivos. A interação mantida no solo possibilita o equilíbrio do ambiente, manutenção e estabilidade do ecossistema terrestre. Assim, objetivou-se neste trabalho avaliar a diversidade da fauna edáfica sob sistema de plantio direto de soja no Estado do Maranhão. A área estudada compreende cerca de 44,75 hectares de plantio de soja (*Glicine max* L.) cultivados a nove anos. Foram feitas coletas de solo em duas profundidades (0.0-0.2 m e 0.2-0.4 m) em 70 pontos. Posteriormente, foram alocadas 70 armadilhas do tipo pitfall ao longo da área. Cada armadilha permaneceu por um período de 7 dias, sendo retiradas, georreferenciadas e identificado o conteúdo. Coletou-se 1.009 espécimes distribuídos em 15 grupos e uma família. Os grupos com maiores abundâncias foram Larva de Coleoptera (318 espécimes), Coleoptera (299 espécimes), Diptera (121 espécimes), Formicidae (109 espécimes) e Acari (102 espécimes). A diversidade de Shannon-Wiener e equitabilidade de Pielou foi de  $H' = 2.482$  e  $U' = 0.620$ , respectivamente. A elevada diversidade em sistema de plantio direto está relacionada a maior oferta de alimento, ausência de predador, amplitude térmica e umidade do solo. A maior abundância de Coleoptera, Formicidae e Acari podem indicar o potencial desses grupos como bioindicadores de qualidade ambiental. O modelo geoestatístico esférico foi o que mais ajustou-se aos índices de diversidade, com variação de efeito pepita de ( $C_0$ ) de 0.036 para diversidade de Simpson á 24 para diversidade de Menhinick. Para os valores de variância estrutural ( $C_1$ ) a variação foi 0.04 para a dominância de Simpson á 35 para a diversidade Menhinick. O grau de dependência espacial para os índices foi moderado, com alcance (m) variando de 150 a 235 m. Os mapas de variabilidade apresentam padrões semelhantes para a diversidade de Shannon e Simpson, uma vez que são considerados parâmetros iguais. A equitabilidade apresentou maiores valores na parte superior e inferior a direita, esclarecendo que a distribuição de grupos não foi homogênea na área. O manejo adotado na área com semeadura direta, favoreceu a presença de fauna edáfica, principalmente Acari, Coleoptera, larva de coleoptera e Fomicidae.

**Palavras chave:** Fauna Edáfica, Invertebrados do Solo, Bioindicadores, Agricultura de Precisão.

## 6.1 INTRODUÇÃO

O solo é um sistema complexo, natural, vivo e dinâmico, imprescindível para o funcionamento, manutenção e estabilidade do ecossistema terrestre (Caproni et al., 2011; Bottinelli et al., 2015; Corbo et al., 2017). Sua compreensão retrata um equilíbrio entre os aspectos biológicos, físicos e químicos (Araújo, Monteiro, 2007; Tesfahunegn et al., 2016; Ferreiro e Fu, 2016).

Sob a perspectiva biológica, a macrofauna edáfica (invertebrados de solo maiores que 2 mm de diâmetro), exerce importante papel no ecossistema e no estado de conservação e alteração do solo (Silva et al., 2008; Alves et al., 2014). Muitos organismos da macrofauna são fundamentais para transformação das propriedades do solo, atuando na ciclagem de nutrientes (Silva et al., 2012, de Vries et al., 2013; Wagg et al., 2016, de Oliveira et al., 2014), mineralização e humificação da matéria orgânica, bem como, melhoria da estrutura, condutividade hidráulica, estabilidade de agregados e porosidade total (Carrillo et al., 2011; Bernard et al., 2012; Cabrera, 2012).

A agricultura intensiva e o manejo inadequado do solo impactam drasticamente na estrutura da comunidade de macroinvertebrados do solo, promovendo alterações significativas na biomassa e na quantidade de macrofauna edáfica, gerando degradação, deterioração de terras, redução ou perda de nutrientes e da capacidade produtiva agrícola, além do aumento de pragas (Wolters, 2001; Marchão et al., 2009; Caproni et al., 2011; Siqueira et al., 2014; Domingues et al., 2014).

O manejo produz efeitos que interferem direta e indiretamente na macrofauna do solo, em diversos aspectos, como mudança de habitat, disponibilidade de alimentos, desenvolvimento de microambientes, entre outros (Marques et al., 2014; Terry et al., 2015). Dessa maneira, sistemas conservacionistas do solo, como a semeadura direta, promovem o aumento do conteúdo de matéria orgânica, a melhora da estrutura do solo, e ainda geram benefícios à macrofauna. Este tipo de sistema promove menor impacto na complexidade e equilíbrio da comunidade biológica do solo, pois ele não é revolvido (aração ou gradagem), preservando a cobertura do solo, alimentos e nichos ecológicos (Cunha et al., 2014; Bottinelli et al., 2015; Corbo et al., 2017).

Os indicadores ecológicos permitem quantificar a diversidade de uma área (Shannon-Wiener), a uniformidade, riqueza e dominância. O índice de Shannon é o mais utilizado para diversidade e foi desenvolvido em 1949. Ele expressa a incerteza de quais espécies pertencem a um indivíduo tirado aleatoriamente de uma comunidade, contendo espécies "S" e indivíduos



"N". Nesse caso, quanto maior o valor do índice, mais diversificada é a amostra em questão (Magurran, 1988; Zanzini, 2007), isso vale para outros índices de diversidade. A equitabilidade de Pielou expressa a distribuição de indivíduos entre diferentes espécies de uma amostra. Os valores de Pielou variam de 0 a 1 e valores próximos de 1 indicam que as espécies estão bem distribuídas, sem predominância de um grupo na amostra (Zanzini, 2007). A riqueza é baseada na quantidade de grupos de uma área e torna-se importante a medida que possibilita estabelecer a influência que a área sofre.

Assim, o estudo da fauna edáfica do solo e de seus índices de diversidade, corroboram para o conhecimento da qualidade do solo. O uso da macrofauna como um indicador da qualidade do solo, se faz necessário devido à sua rápida resposta as mudanças ambientais (Siqueira et al., 2014). Com isso, a qualidade do solo exprime a sua capacidade de funcionar, em um local manejado ou em um sistema natural, de modo a manter a produtividade vegetal e animal, bem como gerar benefício humano (Karlen et al., 1997; Araújo et al., 2012). Para mensurar a qualidade do solo, são necessários indicadores que proporcionem uma visão do todo, que apresentem sensibilidade e aplicação expressiva aos usuários quanto a avaliação da saúde do solo. Assim, indicadores relacionados aos atributos químicos, físicos e biológicos do solo refletem o funcionamento deste como um sistema (Cardoso et al., 2013).

A geoestatística permite conhecer a compreensão, observação e mapeamento da variabilidade espacial de diferentes atributos (Siqueira et al., 2015). É uma ferramenta importante na análise detalhada de atributos físicos, químicos e biológicos (Vieira, 2000). Esta abordagem resulta em menos erros aleatórios porque abrange um conjunto de métodos estatísticos para análise e mapeamento de dados distribuídos no tempo e/ou espaço.

Ultimamente, a geoestatística tem sido usada na agricultura em uma série de propósitos diferentes. Sendo aplicada para compreender os atributos do solo, como sua resistência à penetração (Souza et al., 2009; Tavares et al., 2015); sua condutividade elétrica (Siqueira et al., 2014, 2015, 2016); teor de água (Siqueira et al., 2008; Siqueira et al., 2015); densidade e porosidade (Siqueira et al., 2009); e aspereza. A geoestatística também tem sido usada na estimativa dos atributos químicos do solo tais como micronutrientes (Dafonte Dafonte et al., 2010); pH (Morales et al., 2010); nitrogênio, fósforo e potássio (Morales et al., 2014); (Guedes Filho et al., 2010) e atributos biométricos das plantas (Grego et al., 2010, Filho et al., 2011). Em relação a variabilidade da fauna do solo, os primeiros estudos relacionam a fauna a presença de espécies arbóreas, como estudo realizado em Zagro Irã (Gholami et al., 2017) e correlações da fauna do solo a atributos físicos (Gholami et al., 2014).

Em um agrossistema de produção de soja, evidenciando o indicador biológico, qualquer ação realizada no solo que auxilie no equilíbrio dos microorganismos presentes no solo, pode resultar em benefícios como aumento da produtividade, menores custos, diminuição do uso de fertilizantes minerais ou pesticidas, e a melhoria da sustentabilidade. Assim, o objetivo deste trabalho é avaliar a diversidade e variabilidade espacial da macrofauna do solo sob cultivo de soja com semeadura direta, por meio do uso de ferramentas de geoestatística.

## 6.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 6.2.1 LOCAL DE ESTUDO

A área experimental está localizada no município de Mata Roma, Estado do Maranhão, Brasil, cujas as coordenadas são 3° 70' 80.88'' S e 43° 18' 71.27'' W. O clima da região é do tipo AW, quente e úmido, segundo a classificação de Köppen. A região apresenta duas estações bem definidas, uma chuvosa (dezembro a maio) e outra seca (junho a novembro).

O solo da área experimental, é classificado como Latossolo Amarelo Distrófico Argissólico conforme SBCS (2013) e de acordo com a classificação USDA (2010) é um Oxisol. As características físicas e químicas foram determinadas de acordo com metodologias descritas Camargo et al. (1986) para as profundidades do solo de 0.0-0.2 m e 0.2-0.4 m (Tabela 1). A área apresenta por volta de 44,75 ha cultivados a nove anos com soja (*Glicine max* L.), sob sistema de semeadura direta.

Tabela 1: Caracterização física e química do Latossolo Amarelo Distrófico Argissólico cultivado com soja sob semeadura direta em Mata Roma (Maranhão, Brasil)

0.0-0.2 m deep													
Sand	Silt	Clay	BD	Macro	Micro	TP	OM	pH	P	K	Ca	Mg	CEC
----- g kg <sup>-1</sup> -----			Mg m <sup>-3</sup>	----- m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----			g dm <sup>3</sup>	-	mg dm <sup>3</sup>	----- mmolc/dm <sup>3</sup> -----			
745.258	138.214	117.143	1.268	0.169	0.378	0.547	22	5.0	49	0.7	18	3	46.7
0.2-0.4 m deep													
Sand	Silt	Clay	BD	Macro	Micro	TP	OM	pH	P	K	Ca	Mg	CEC
----- g kg <sup>-1</sup> -----			Mg m <sup>-3</sup>	----- m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----			g dm <sup>3</sup>	-	mg dm <sup>3</sup>	----- mmolc/dm <sup>3</sup> -----			
737.772	141.700	120.629	1.291	0.160	0.372	0.532	19	4.7	47	0.5	17	3	45.6

BD: soil bulk density; Macro: macroporosity; Micro: microporosity; TP: total porosity; OM: organic matter; CEC: Cation exchange capacity.

A coleta da fauna do solo foi realizada no ano agrícola de 2015/2016 durante o ciclo da cultura da soja. Para isso, foram instaladas armadilhas do tipo “pitfall” traps em 70 pontos de amostragem distribuídos na área de estudo seguindo as linhas de plantio. As coordenadas geográficas dos pontos de amostragem foram determinadas por meio de um GPS com correção diferencial pós processada (DGPS) (Figura 1).

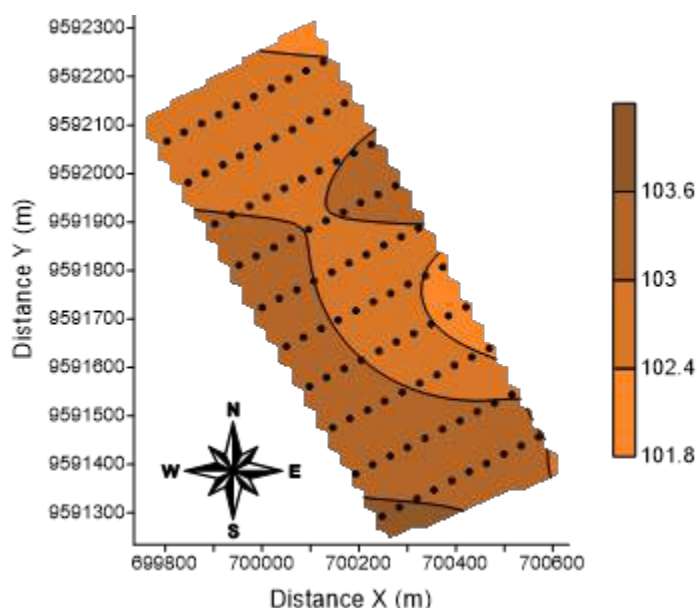


Figura 1: Esquema de amostragem na área de estudo para os 70 pontos.

As armadilhas do tipo “pitfall traps”, consiste de potes de plástico com aproximadamente 9 cm de altura e 8 cm de diâmetro, alocados ao nível do solo (Aquino et al., 2001; Siqueira et al., 2014). Os animais quando se locomovem caem acidentalmente nas armadilhas e durante o período amostral permanecem conservados pela solução de 200ml de formol a 4% depositada no pote (Aquino et al., 2001; Siqueira et al., 2014). As 70 armadilhas permaneceram em campo por um período de sete dias, posterior a esse período foram retiradas do campo e todo conteúdo foi transferido para potes contendo álcool 70%.

Em laboratório, o conteúdo de cada pote foi transferido para placa de Petri e identificado com auxílio de pinça, lupa binocular e chave de identificação em grupos funcionais (ordem, família e larva). Nesse estudo a família Formicidae foi separada da Ordem Hymenoptera á importância ecológica exercida no ecossistema. Após identificação, todo conteúdo foi devolvido para seus respectivos potes e armazenados em laboratório como material controle.

A mensuração do carbono orgânico ( $\text{g kg}^{-1}$ ) foi determinada por espectrofotometria (Raij et al., 2001). Já para o estoque de carbono ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) utilizou-se o cálculo sugerido por

Veldkamp (1994), onde:  $EstC = CO \times Ds \times E / 10$ ; sendo  $EstC$  é o estoque de carbono ( $Mg\ ha^{-1}$ ),  $CO$  é o teor de carbono orgânico ( $g\ kg^{-1}$ ),  $Ds$  refere-se a densidade do solo ( $Mg\ m^{-3}$ ) e  $E$  é a espessura da camada estudada (0,20 m).

### 6.2.2 ÍNDICES DE BIODIVERSIDADE

Foram determinados os índices de biodiversidade: Índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ), Equitabilidade de Pielou e riqueza média e total. O índice de Shannon-Wiener quantifica a diversidade de uma área, mediante o número de espécies e abundância relativa, e é expresso pela seguinte fórmula:

$$H' = - \sum p_i \cdot \text{Log} \cdot P_i \quad (1)$$

onde,  $H'$  a diversidade,  $p_i: ni / N$  é o número de frequência relativa da espécie  $i$ ,  $N$  o número máximo de espécies. Nesse caso, quanto maior o valor de  $H'$  maior será a diversidade.

A diversidade de Simpson foi proposta em 1949 e considera o número total de espécies ( $s$ ), total de indivíduos ( $N$ ) e a proporção total de ocorrência de cada espécies.

$$D_s = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n ni \times (ni-1)}{N(n-1)} \quad (2)$$

sendo:  $ni$  é o número de indivíduos de cada espécie;  $N$  é o número de indivíduos.

A diversidade de Margalef é considerada um índice simples de diversidade, pois leva em consideração apenas o número de espécies ( $s-1$ ) e o logaritmo (na base 10 ou natural) do número total de indivíduos.

$$D_\alpha = \frac{s-1}{\text{Log}_b N} \quad (3)$$

onde:  $s$  é o número de espécies amostradas;  $N$  é o número total de indivíduos em todas as espécies;  $\text{Log}_b$  = logaritmo na base  $b$  (2 ou 10)

O índice de Gleason é um índice que leva em consideração apenas somente o número de espécies ( $s$ ) e o logaritmo (base 10 ou natural) do número total de indivíduos. Sendo estimado pela equação.

$$D_g = \frac{s}{\text{Log}_b N} \quad (4)$$

Em que:  $s$  é o número de espécies amostradas;  $N$  é o número total de indivíduos em todas as espécies;  $\text{Log}_b$  = logaritmo na base  $b$  (2 ou 10).

A Diversidade de Menhinick foi proposto em 1964, é um índice simples de diversidade considerando somente o número de espécies ( $s$ ) e a raiz quadrada do número total de indivíduos.

$$D_b = s\sqrt{n} \quad (5)$$

sendo:  $s$  é o número de espécies amostradas;  $N$  é o número total de indivíduos em todas as espécies;  $\text{Log}_b =$  logaritmo na base  $b$  (2 ou 10).

A diversidade de Brillouim é recomendado o uso quando a aleatoriedade da amostra não pode ser garantida, sendo aconselhável o uso em armadilhas luminosa ou para contagem de comunidade totalmente identificada.

$$HB = \frac{\ln N! - \sum_{i=1}^n \ln ni!}{N} \quad (6)$$

em que:  $\ln$  é o logaritmo natural;  $N!$  = fatorial do número total de indivíduos da amostra;  $n$  = número de indivíduos da espécie.

A diversidade de McIntosh é um índice mais complexo que os demais índices, pois considera o número total de indivíduos ( $N$ ) e o valor de  $U$ , que é a raiz quadrada do somatório dos indivíduos ao quadrado de cada espécie.

$$D = \frac{N-U}{N-\sqrt{N}} \quad (7)$$

$$U = \sqrt{\sum_{i=1}^n n_i^2} \quad (8)$$

onde:  $N$  é o número total de indivíduos da(s) amostra(s); e  $U$ . Onde:  $n_i$  é o número de indivíduos pertencente a  $i$ ésima espécie.

A diversidade total é a estimativa de diversidade de uma região em função da variação de espécies  $SV(i)$ .

$$TD = \sum_{i=1}^n w_i [p_i(1 - p_i)] \quad (9)$$

Onde:  $w_i$  é peso dado à função, que expressa a importância que se quer dar a espécie  $i$  na quantificação global da diversidade regional;  $p_i$  é a frequência relativa.  $w_i = 1/p_i$ .

A dominância de Berger-Parker é um índice, porém muito eficiente. Considera a maior proporção da espécie com maior número de indivíduos.

$$d = \frac{N_{max}}{N_t} \quad (10)$$

onde:  $N_{max}$  é o número de indivíduos da espécie mais abundante e  $N_t$  é o número total de indivíduos na amostra.

A dominância de Simpson é determinado em função do índice de diversidade de Simpson (Simpson, 1949).

$$D_s = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n n_i x (n_i - 1)}{N(n-1)}$$

(11)

onde:  $n_i$  é o número de indivíduos de cada espécies;  $N$  é o número de indivíduos.

O índice de Pielou indica a uniformidade da fauna em cada área, ou seja, indica como os indivíduos estão distribuídos entre as diferentes espécies presentes na amostra, e é calculada pela seguinte fórmula:

$$U = \frac{H'}{\text{Log}_2 S} \quad (12)$$

onde,  $H'$  representa o índice de Shannon-Wiener,  $S$  número de grupos presente em cada área. Nesse caso, valores próximos a 0 indica que algum grupo mantém dominância e valores próximos de 1 indicam que a abundância relativa dos grupos se apresentam de forma semelhante.

O estimador de riqueza Jackknife primeira ordem é uma função do número de espécies que ocorrem em uma amostra, denominadas de espécies únicas, assim quanto maior o número de espécies que ocorrem em somente uma amostra, entre todas amostras coletadas na comunidade estudada, maior será o número total de espécies presente na comunidade.

$$E_D = S_{obs} + S_1 \left( \frac{f-1}{f} \right) \quad (13)$$

em que,  $S_{OBS}$  é o número de espécies observadas,  $S_1$  número de espécies que está presente em agrupamento e  $f$  número de amostras.

### 6.2.3 ANÁLISE GEOESTATÍSTICA

Ferramentas de geoestatística foram utilizadas para determinar a variabilidade espacial da fauna do solo e construção de semivariogramas experimentais por meio do software Surfer 13, de acordo com metodologias de Vieira et al. (1983), levando em consideração a hipótese intrínseca da geoestatística, onde não há nenhuma exigência para a existência de variação finita, requer apenas a estacionariedade da média e estacionariedade da segunda ordem das diferenças  $[z(x)-z(x+h)]$ , conforme Journel & Huijbregts (1978). O semivariograma,  $\gamma(h)$ , de uma variável distribuída espacialmente,  $z(x_i)$ , é calculado conforme equação abaixo:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i - h)]^2 \quad (14)$$

onde:  $N(h)$  é o número de observações separadas por uma distância  $h$ .

Uma vez detectada a variabilidade espacial, os índices foram ajustados ao um modelo geoestatístico (exponencial, esférico ou gaussiano) e evidenciado os parâmetros de efeito pepita ( $C_0$ ), variância estrutural ( $C_1$ ) e alcance ( $a$ ). O grau de dependência (GD) foi calculado de acordo com os intervalos propostos por Cambardella et al. (1994), em  $GD < 25\%$ - forte

dependência espacial;  $< 25\%$   $GD < 75\%$  - dependência moderada;  $GD > 75\%$  - fraca dependência espacial.

### 6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram coletados 1.009 espécimes distribuídos em 15 grupos (Acari, Araneae, Coleoptera, Dermaptera, Diplura, Diptera, Entomobryomorpha, Heteroptera, Hymenoptera, Larva de Coleoptera, Larva de Diptera, Larva de Formicidae, Lepidoptera, Opillionida e Orthoptera) e uma família (Formicidae) (Tabela 2). Os grupos com maiores abundâncias foram Larva de Coleoptera (318 espécimes), Coleoptera (299 espécimes), Diptera (121 espécimes), Formicidae (109 espécimes) e Acari (102 espécimes). Os grupos que apresentaram menores abundâncias foram Dermaptera, Entomobryomorpha e Hymenoptera (1 espécime), Heteroptera e Larva de Diptera (2 espécimes), Diplura e Larva de Formicidae (3 espécimes) (Tabela 2).

Tabela 2: Grupos taxonômicos da fauna do solo em cultivo de soja sob sistema de plantio direto, Maranhão, Brasil.

Grupos taxonômicos	Espécimes por grupo
Acari	102
Araneae	8
Coleoptera	299
Dermaptera	1
Diplura	3
Diptera	121
Entomobryomorpha	1
Formicidae	109
Heteroptera	2
Hymenoptera	1
Larva Coleoptera	318
Larva Diptera	2
Larva Formicidae	3
Lepidoptera	10
Opillionida	1
Orthoptera	28
<b>TOTAL</b>	<b>1.009</b>

Os diversos sistemas de preparo e manejo do solo afetam diretamente a comunidade edáfica, reduzindo ou selecionando alguns grupos mais sensíveis ao manejo do solo,

principalmente pelo revolvimento do solo, sucessão de cultura, aplicação de agroquímicos e cobertura do solo (Baretta et al., 2003). A maior abundância de Coleoptera pode estar relacionada a matéria orgânica presente no solo no início do ciclo da soja, nesse caso, os resíduos oferecem alimento e abrigo para o grupo. Com relação a decomposição de matéria orgânica, a atividade enzimática é realizada por fungos e bactérias, no entanto, grupos como acari, milípedes, minhocas e isoptera são os facilitadores da trituração de resíduos de plantas e animais no ambiente.

Baretta et al. (2003) avaliando o efeito do cultivo sob diversidade da fauna edáfica observou maior diversidade e equitabilidade nos sistemas de cultivo mínimo e sistema de semeadura direta com sucessão de culturas, isso devido à maior oferta de alimento, amplitude térmica e umidade do solo em sistemas conservacionistas. A elevada abundância de Acari (102 espécimes), Formicidae (109 espécimes) e Coleoptera (299 espécimes) nos mais diversos sistemas agrícolas tem demonstrado que esses grupos possuem grande potencial para bioindicadores de perturbações no ambiente. As formigas, realizam forte impacto sobre os atributos físicos do solo, por meio do transporte de material vegetal, construção de estruturas e agregados e na formação de poros. Alterando assim, a porosidade e a textura dos solos e agindo no controle de outros grupos biológicos (Ayuke et al., 2011). Vale ressaltar que a fauna do solo apresenta todas as fases de desenvolvimento dos artrópodes, nesse caso, estão presentes todos os níveis tróficos da cadeia alimentar no solo, o que afeta diretamente a produção primária do ambiente, agindo como integrantes ativos e integrais do solo (Bardgett e Putten, 2014).

Alguns grupos de Acari alimentam-se de material vegetal ou podem apresentar comportamento predador, sendo importantes componentes integrantes da biota do solo, pois agem como reguladores na decomposição e na ciclagem de nutrientes (Correia, 2002). Aspectos como diversidade, composição e abundância são determinantes para utilizá-los como indicadores de saúde de solo.

Os parâmetros estatísticos apresentados na Tabela 3, ressaltam um alto coeficiente de variação ( $CV=166.211$ ), segundo classificação de Warrick e Nielsen (1980). Altos Valores de CV estão relacionados elevados valores de desvio padrão, que pode ser explicado pelo comportamento agregado da fauna do solo e por processos intrínsecos, como reprodução, alimentação, migração e dispersão dos organismos. Assim, nos atributos do solo podem ser observados CV alcançando 1000% (Warrick e Nielsen 1980). Os valores de mínimo e máximo variando de 1 a 318. O teste de normalidade de Kolmogorov-Sminorv a 1% revela



dados normais, o que é corroborado pelos baixos valores de assimetria (1.843) e curtose (2.459) (Tabela 3).

Tabela 3: Parâmetros estatísticos da fauna do solo em cultivo de soja sob sistema de plantio direto, Maranhão, Brasil.

N	Soma	Min	Max	Média	Variância	DP	CV	Assimetria	Curtose	D
16	1009	1	318	63.062	10986.595	104.816	166.211	1.843	2.459	0.319n

N: número de grupos; Min: número mínimo de espécime no grupo; max: número máximo de espécime no grupo; DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação (%); D: teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov à 1%.

A abundância de indivíduos por armadilha dia e desvio padrão ( $\text{Ind.arm.dia}^{-1} \pm \text{desvio padrão}$ ) foi de  $144.142 \pm 14.973$  indivíduos coletados por dia. A diversidade de Shannon-Wiener foi de  $H' = 2.482$  e a equitabilidade de Pielou foi de  $U' = 0.620$ . A riqueza total e média foi de 16 e 4.08 grupos coletados respectivamente (Tabela 4).

Tabela 4: Parâmetros ecológicos da fauna do solo em cultivo de soja sob sistema de plantio direto, Maranhão, Brasil.

Indivíduos armadilha dia <sup>-1</sup> $\pm$ desvio padrão	CV (%)	Diversidade de Shannon	Índice de Pielou	Riqueza média	Riqueza total
$144.142 \pm 14.973$	10.388	2.482	0.620	4.08	16

$\text{Ind.arm.dia}^{-1}$ : Indivíduos por armadilha ao dia; CV: coeficiente de variação.

O valor médio de diversidade de Shannon foi superior a 1. Isso indica que a diversidade da fauna nessas áreas é elevada (Magurran, 1988). A diversidade de espécies está interligada a uma relação entre o número de espécies e a distribuição do número de indivíduos entre as espécies, assim quando as amostragens apresentarem o mesmo número de indivíduos o índice assumirá seu valor máximo (Zanzini, 2007). Em termos práticos, os valores assumidos pelo índice de Shannon situam-se entre 1,5 e 3,5 e só raramente ultrapassam o valor de 4,5 (Magurran, 1988).

A intensidade do uso do solo leva a redução na abundância e na riqueza de predadores, interferindo nas funções ecológicas do solo, é necessário décadas para que haja recuperação desses ambientes (Rousseau et al., 2014; Bedano et al., 2016). Ainda para Rousseau et al. (2014), as alterações na comunidade edáfica são perceptíveis a medida que intensifica o uso do solo, principalmente alterações na abundância e diversidade de predadores, modificando assim o equilíbrio da área.

Os parâmetros estatísticos para cada índice estão apresentados na tabela 5. A variação dos valores de mínimo e máximo se manteve entre 0.000 a 126.233 para o índice de diversidade de Gleason. A diversidade e densidade da fauna do solo em sistemas agrícolas

podem ser influenciadas pelo preparo do solo, tipo de cultivo, condições edafoclimáticas e recursos alimentares (Batista et al., 2014; Gholami et al., 2014; Franco et al., 2016).

De igual modo, valores de média foram maiores para o índice de diversidade de Gleason. De acordo com a classificação de Warrick & Nielsen (1980), os valores de CV se mantiveram altos para os índices de diversidade de Shannon-Wiener, Diversidade de Margalef, Diversidade de Gleason, Diversidade Menhinick, Diversidade de Brillouim, Diversidade de McIntosh, Dominância de Parker-Berger, Dominância de Simpson, Equidade de J (Pielou) e Riqueza de Jackknife. Apenas o índice de Diversidade de Simpson obteve CV moderado. Para os índices de diversidade de McIntosh, Dominância de Parker-Berger e Indivíduos armadilha dia os valores de CV foram superiores a 100%. Valores superiores a 100% para variáveis do solo são considerados normais (Warrick e Nielsen, 1980; Machado et al., 2007; Schaffrath et al., 2007; Siqueira et al., 2015).

A hipótese de normalidade dos dados pelo teste de Kolmogorov-Smirnov obteve distribuição normal para os índices de diversidade de Simpson, Margalef, Gleason, Menhinick, Brillouim, Dominância de Simpson e Riqueza de Jackknife. Para os demais índices a distribuição foi lognormal.

Tabela 5: Parâmetros estatísticos para os índices de diversidade do solo.

	Mínimo	Máximo	Média	Variância	Desvio Padrão	CV	Assimetria	Curtose	D*
Ind. arm. dia <sup>-1</sup>	0.000	45.428	3.793	111.217	10.545	278.021	3.281	10.545	0.431Ln
Shannon Wiener	0.000	2.380	0.941	0.664	0.815	86.577	0.033	-1.548	0.233Ln
Diversidade Simpson	0.000	1.000	0.551	0.078	0.280	50.740	-0.987	-0.218	0.204n
Diversidade Margalef	0.000	122.911	30.404	541.146	23.263	76.512	0.774	2.410	0.161n
Diversidade de Gleason	0.000	126.233	31.229	570.889	23.893	76.510	0.774	2.408	0.161n
Diversidade de Menhinick	0.000	38.000	9.882	55.867	7.474	75.634	0.653	1.690	0.150n
Diversidade de Brillouim	0.000	1.863	0.928	0.327	0.572	61.607	-0.365	-1.008	0.118n
Diversidade McIntosh	0.000	12.219	2.126	8.897	2.983	140.312	1.759	2.365	0.245Ln
Diversidade total	0.000	0.994	0.509	0.163	0.403	79.150	-0.376	-1.729	0.254Ln
Dominancia de Parker-Berger	0.000	5.000	0.544	0.417	0.646	118.675	4.852	32.936	0.200Ln
Dominancia de Simpson	0.000	1.000	0.449	0.078	0.280	62.295	0.987	-0.218	0.204n
Equidade de J (Pielou)	0.000	3.322	1.846	1.879	1.371	74.242	-0.507	-1.618	0.240Ln
Riqueza Jackknife	0.000	6.000	2.414	3.406	1.845	76.438	0.090	-1.172	0.153n

Ind.arm.dia<sup>-1</sup>: Indivíduos por armadilha ao dia; CV: coeficiente de variação; D: teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov à 1%.

Na Tabela 6 e Figuras 2, 3 e 4 estão os parâmetros geoestatísticos para os índices. Os índices diversidade de Shannon-Wiener, Simpson, Menhinick, Brillouim, Dominância de Simpson, Equidade de J (Pielou) e Indivíduos armadilha dia foram ajustados ao modelo esférico. O modelo esférico é o que mais se ajusta aos atributos de solo e planta (Cambardella et al., 1994; Vieira, 2000; Siqueira et al., 2008; Siqueira et al., 2009; Chiba et al., 2010; Silva et al., 2014; Siqueira et al., 2015; Gholami et al., 2017).

Os demais índices, Diversidade de Margalef, Gleason, McIntonsh, diversidade total e Riqueza de Jackknife obtiveram efeito pepita puro. O efeito pepita puro indica que as variáveis em questão são espacialmente independentes, que apresentam distribuição casual ou que o espaçamento amostral não foi suficiente para detectar variabilidade espacial dos índices (Machado et al., 2007; Siqueira et al., 2015; Siqueira et al., 2016).

Gholami et al. (2017) avaliando a variabilidade espacial em sistemas de florestal ajustaram a diversidade da macrofauna e abundância da macrofauna ao modelo exponencial, com largas distâncias de alcance (m), o que pode ser resultado da heterogeneidade em grande escalas, refletindo assim, a influência da cobertura do solo.

Tabela 6: Parâmetros geoestatísticos para os índices de diversidade do solo.

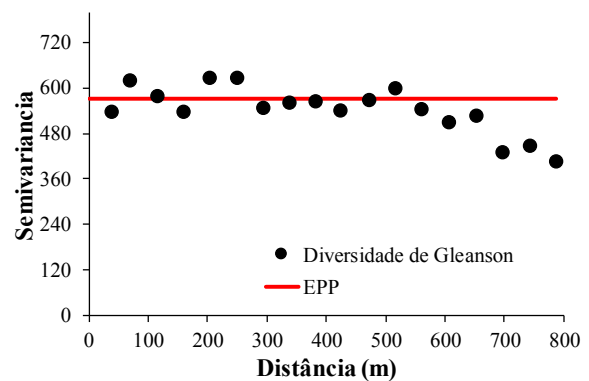
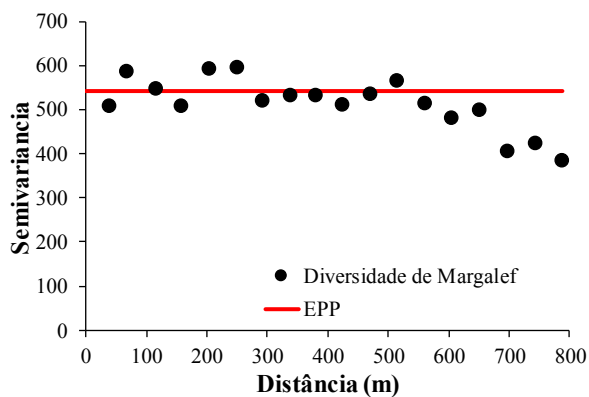
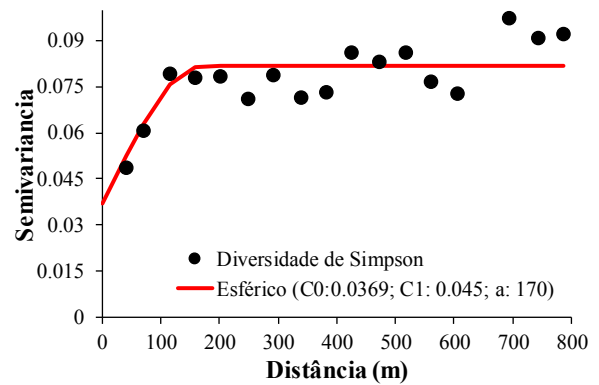
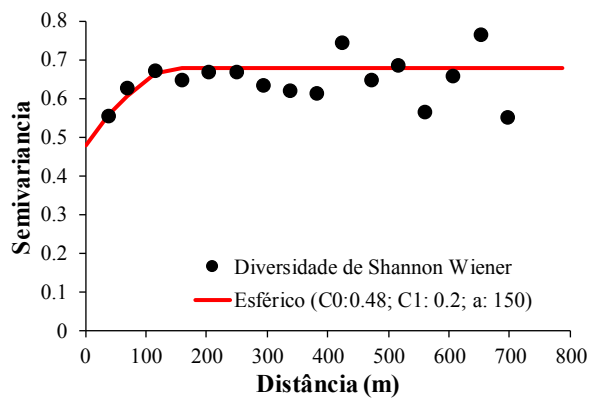
Índice de Diversidade	Modelo	$C_0$	$C_1$	a (m)	$r^2$	GD
Diversidade de Shannon-Wiener	Esférico	0.48	0.2	150	0.996	70.588
Diversidade de Simpson	Esférico	0.036	0.045	170	0.996	45.054
Diversidade de Margalef				EPP		
Diversidade de Gleason				EPP		
Diversidade de Menhinick	Esférico	24	35	200	0.996	40.677
Diversidade de Brillouim	Esférico	0.15	0.2	180	0.996	42.857
Diversidade de McInstonsh				EPP		
Diversidade Total				EPP		
Dominância de Berger-Parker	Esférico	0.08	0.26	220	0.993	23.529
Dominância de Simpson	Esférico	0.037	0.04	200	0.996	48.051
Equidade de J (Pielou)	Esférico	0.8	1.2	235	0.996	40.000
Riqueza de Jackknife				EPP		
Indivíduos armadilha/dia <sup>-1</sup>	Esférico	2	120	200	0.996	1.639

$C_0$ : efeito pepita;  $C_1$ : variância estrutural; a: alcance;  $r^2$ : Coeficiente de determinação; GD: Grau de dependência espacial (%).

Os valores de efeito pepita ( $C_0$ ) variaram de 0.036 para diversidade de Simpson á 24 para diversidade de Menhinick. Para os valores de variância estrutural ( $C_1$ ) a variação foi 0.04 para a Dominância de Simpson á 120 para a Indivíduos armadilha dia.

A variação de alcance foi de 150 m para o índice de Shannon a 235 m para a Equidade de J (Pielou). O alcance representa o principal parâmetro fornecido pela geoestatística que caracteriza a distância em que uma variável possui continuidade espacial, sendo que, a partir dessa distância, a variável já passa a apresentar comportamento espacial aleatório (Lemos Filho et al., 2008; Zonta et al., 2014).

O grau de dependência espacial para a maioria dos índices, de acordo com Cambardella et al. (1994) foi moderado, com variação de GD 23.86% para dominância de Berger-Parker a 70.59% para a diversidade de Shannon-Wiener. Apenas Indivíduos armadilha dia obtiveram grau de dependência forte (GD = 1.639). A forte dependência espacial das variáveis pode ser influenciada por características intrínsecas do solo, enquanto que a baixa dependência sofre influência de processos extrínsecos do solo (Cambardella et al., 1994).



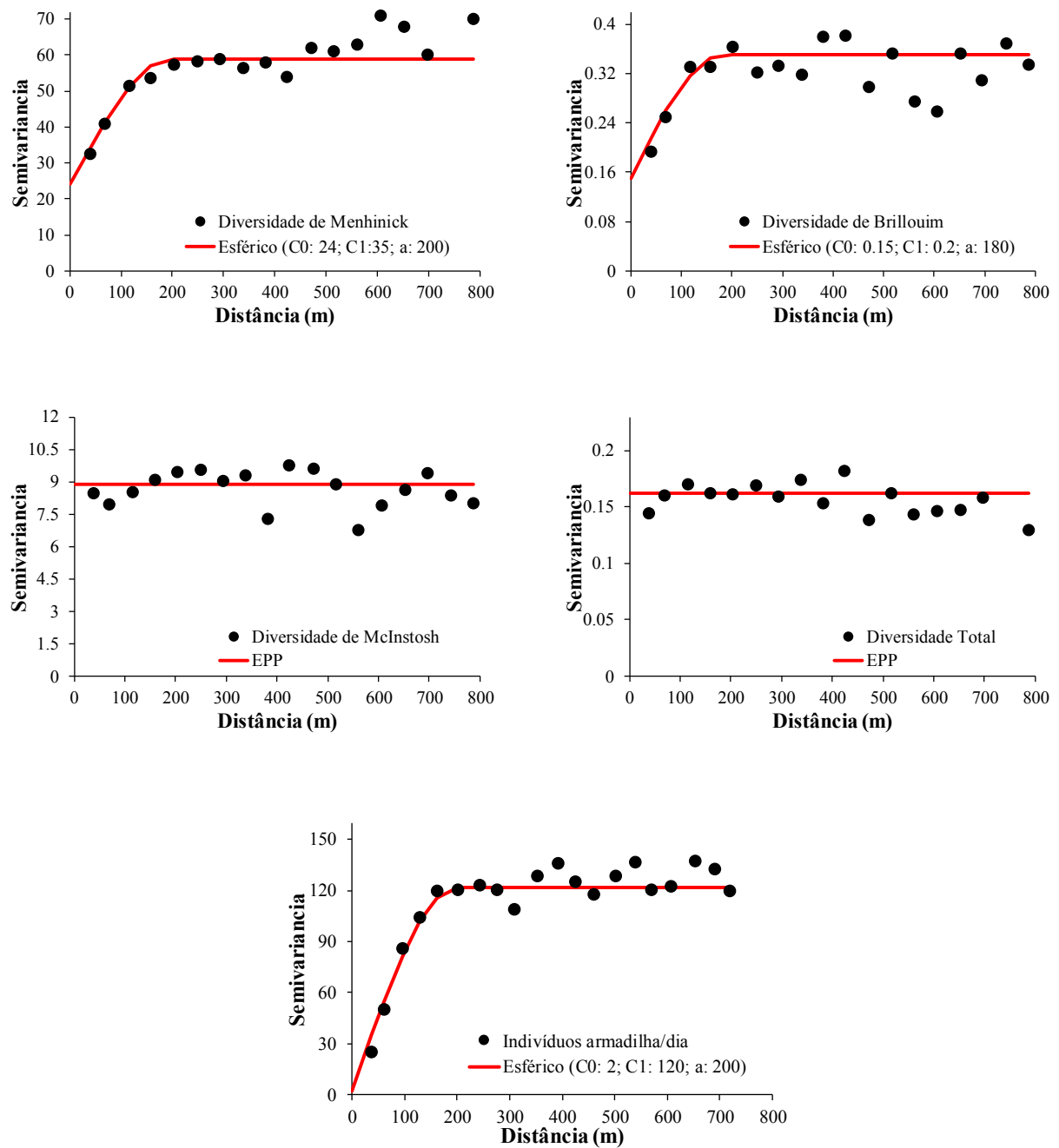


Figura 2: Parâmetros geoestatísticos para os índices de diversidade do solo.

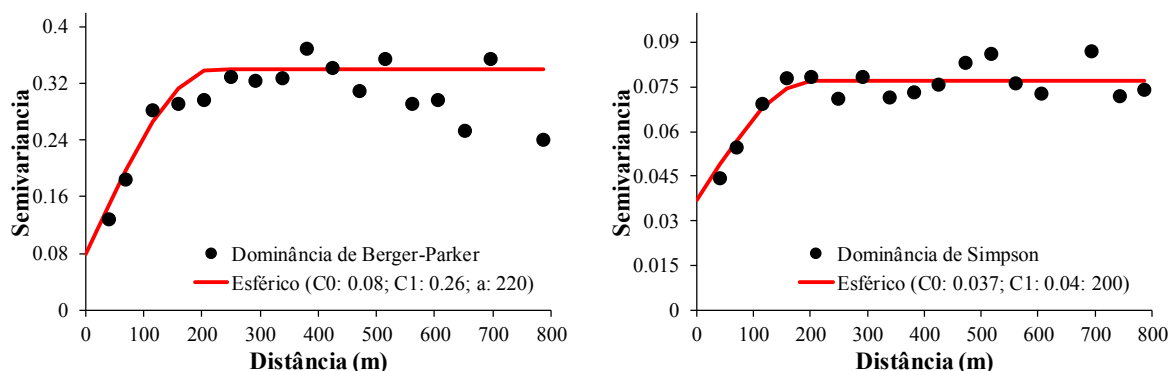


Figura 3: Parâmetros geoestatísticos para os índices de dominância da diversidade do solo.

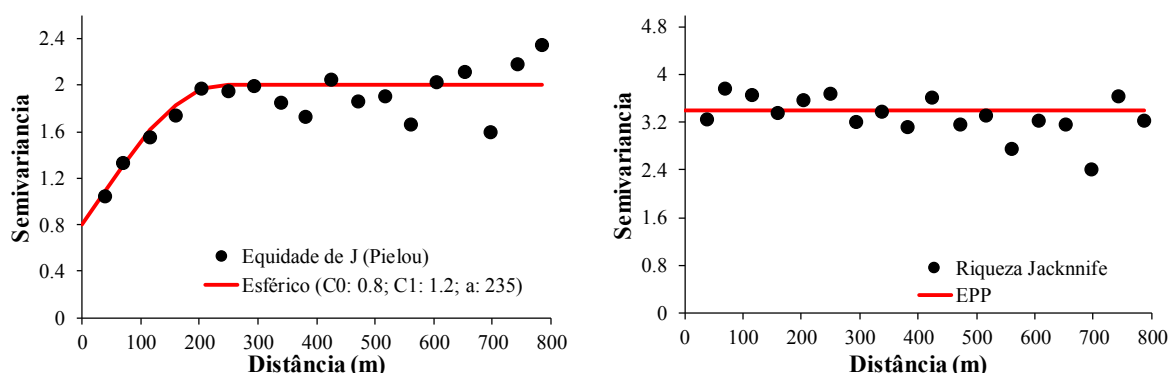
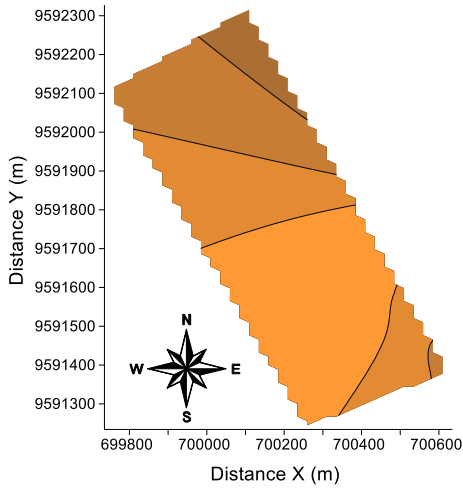


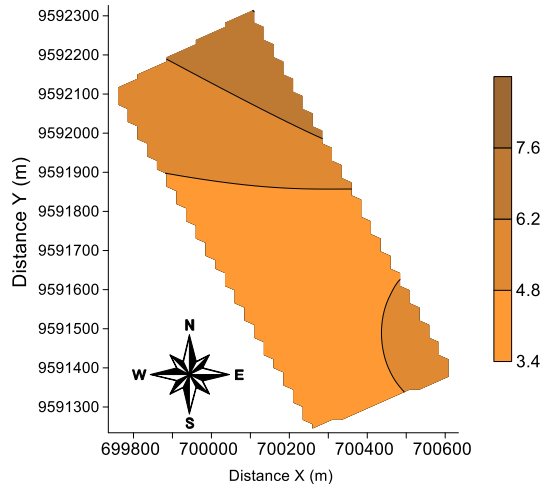
Figura 4: Parâmetros geoestatísticos para os índices de Equidade de J (Pielou) e Riqueza de Jackknife da diversidade do solo.

O mapa de produtividade da soja manteve o mesmo comportamento dos mapas de carbono orgânico e estoque de carbono no solo, com maiores quantidades na parte superior dos mapas. Os mapas de variabilidade espacial dos índices de diversidade diferiram entre si, apresentando maiores valores na parte superior para os índices de diversidade de Shannon Wiener e diversidade de Simpson, a similaridade em ambos os índices deve-se ao fato de ser levado em consideração o número total de indivíduos nas espécies para os dois índices, enquanto que os demais índices, além da quantidade total de indivíduos amostrados é considerado também parâmetros como logaritmo na base 10 ou natural e raiz quadrada, o que os diferencia dos índices frequentemente usados. Para diversidade de Margalef, Gleason, Menhinick, Brillouin e McIntosh os maiores valores estão localizados na parte inferior dos mapas. A diversidade total ficou bem distribuída na área, como pode ser vista na Figura 5.

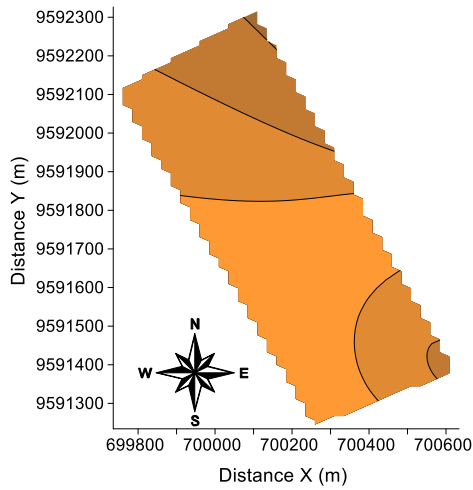
**Yield (kg ha<sup>-1</sup>)**



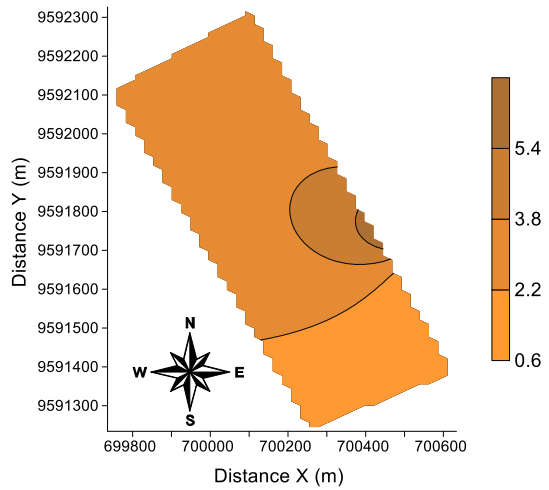
**Carbon organic (g kg<sup>-1</sup>)**



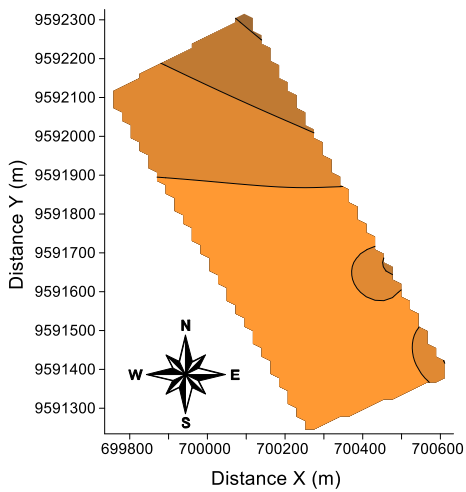
**Carbon stock**



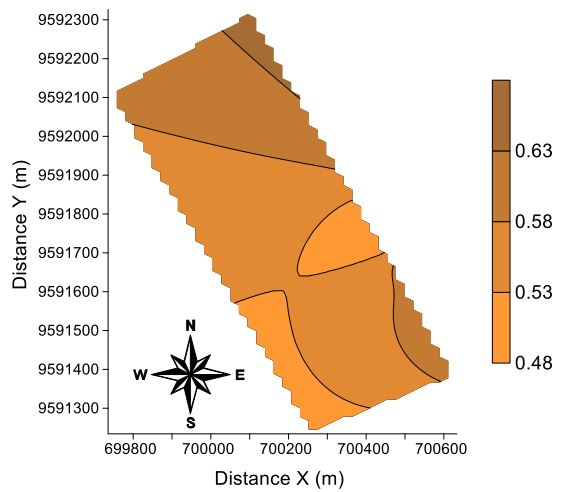
**Individuals trap day<sup>-1</sup>**



**Shannon Wiener diversity**



**Simpson diversity**



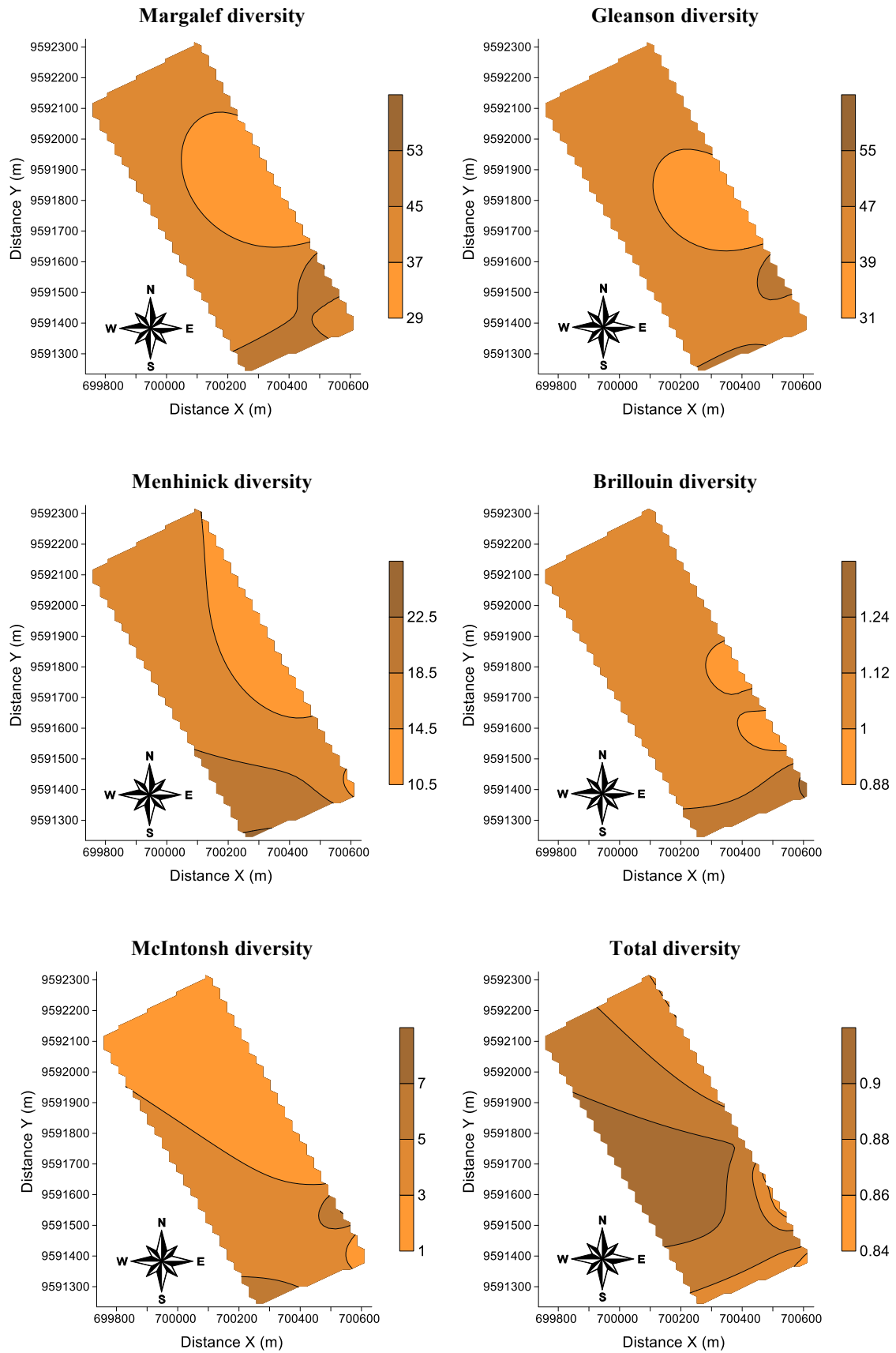


Figura 5: Mapas de variabilidade espacial para o carbono orgânico, estoque de carbono e os índices de diversidades da fauna do solo na área de estudo.



Na Figura 6 estão os mapas de variabilidade espacial para os índices de dominância de Simpson e Berger Parker. Para dominância de Berger Parker os maiores valores concentram-se na parte inferior do mapa, enquanto que, a dominância de Simpson pode ser apresentada tanto na parte inferior como na parte superior a direita. O padrão de dominância de Simpson segue o mesmo padrão de diversidade de Simpson, uma vez que a dominância é gerada em função do índice de diversidade de Simpson, amostrando o número total de grupos e a proporção de ocorrência em cada grupo.

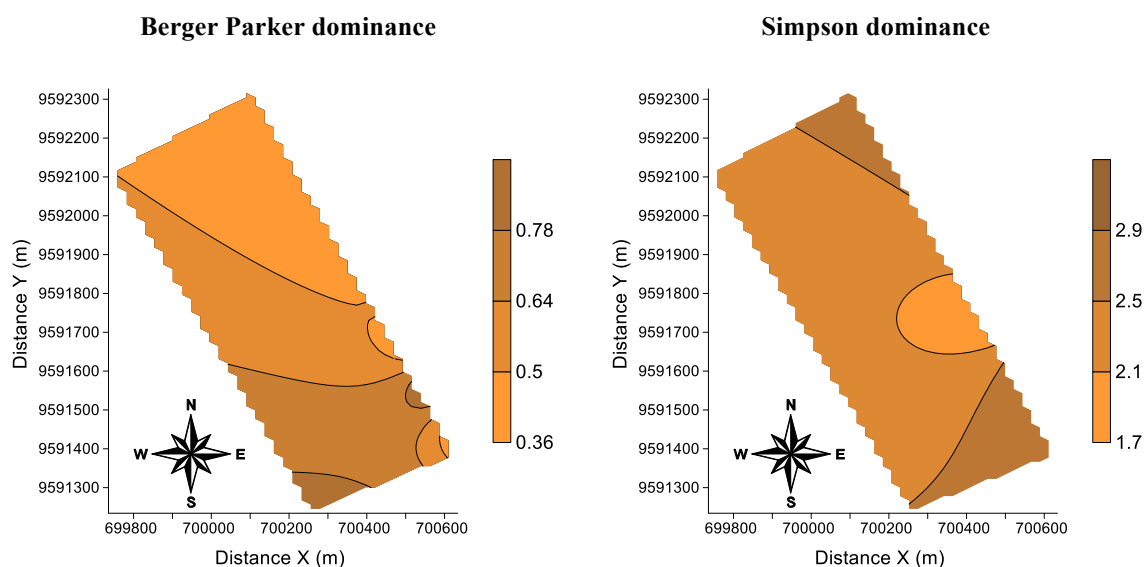


Figura 6: Mapas de variabilidade espacial para os índices de dominância de Berger Parker e Simpson na área de estudo.

Os valores de equitabilidade, riqueza, abundância de Coleoptera, Diptera e Formicidae são apresentados nos mapas de variabilidade espacial na Figura 7. A equitabilidade de Pielou e Riqueza de Jackknife apresentam maiores valores na parte superior a direita dos mapas. Os três grupos principais, com maiores abundâncias estão localizados na parte inferior da área, com maiores concentrações de Coleoptera e Diptera.

O padrão de equitabilidade de Pielou na parte superior e inferior a direita da área explica a distribuição equilibrada da maioria dos grupos. No entanto, grupos como, larva de Coleoptera (318); Coleoptera (299), Acari (102) são grupos que não houve distribuição homogênea na área amostral.

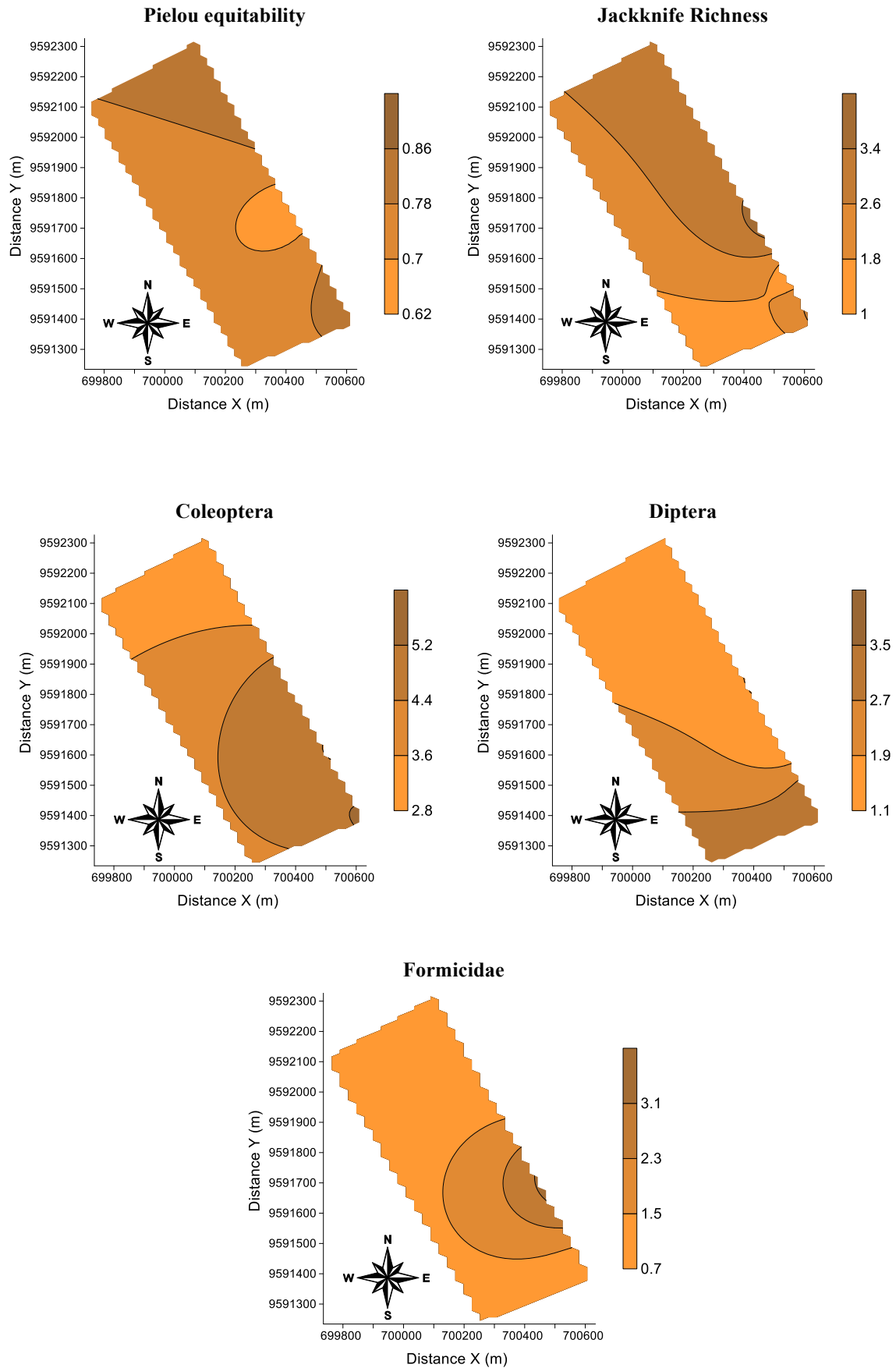


Figura 7: Mapas de variabilidade espacial para os índices de equitabilidade de Pielou, riqueza Jackknife, abundância de Coleoptera, Diptera e Formicidae na área de estudo.

## 6.4 CONCLUSÃO

- 1) O uso e intensidade do solo influenciam a fauna edáfica, reduzindo ou eliminando grupos específicos. A intensidade e uso do solo influenciaram a fauna edáfica em semeadura direta com soja.
- 2) O uso de ferramentas de geoestatística permitiu o mapeamento da diversidade da fauna do solo, evidenciando zonas com maior diversidade.
- 3) Os índices de diversidade que são obtidos a partir do número total de indivíduos, do logaritmo na base 10, ou natural, ou da raiz quadrada, apresentaram comportamento diferente dos índices comumente usados (Shannon e Simpson), podendo ser considerado uma alternativa incluí-los com mais frequência em estudos de fauna do solo.

## 6.5 REFERÊNCIAS

- Aquino, A.M., 2001. Manual para macrofauna do solo. Embrapa Agrobiologia. 21p. (Embrapa-CNPAB. Documentos, 130).
- Alves, F.A.L., Alves, C.A.B., Alves, P.R.R., Oliveira, R. de, Rosa, J.H., Fernandes, Y.T.D., Nunes, E.N., Souto, J.S. 2014. Caracterização da macro e mesofauna edáfica sobre um fragmento remanescente de “mata atlântica” em Areia, PB. *Gaia Scientia*, v. 8, n. 1, 384-391.
- Araújo, A.S.F., Monteiro, R.T.R., 2007. Indicadores biológicos de qualidade do solo. *Bioscience Journal*, v. 23, 66-75.
- Araújo, E.A., Ker, J.C., Neves, J.C.L., Lani, J.L. 2012. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia*, v. 5, 187-196.
- Ayuke, F. O.; Brussaarda, L.; Vanlauwe, B.; Six, J.; Lelei, D. K.; Kibunja, C. N.; Pulle, M. M. 2011. Soil fertility management: Impacts on soil macrofauna, soil aggregation and soil organic matter allocation. *Applied Soil Ecology*, v.48, 53-62.
- Bardgett, R.D., Putten, W.H., 2014. Belowground biodiversity and ecosystem functioning. *Nature*, v. 515, 505-511.
- Baretta, D.; Santos, J. C. P.; Mafra, A. L.; Wildner, L. P.; Miquelluti, D. J. 2003. Fauna edáfica avaliada por armadilhas de catação manual afetada pelo manejo do solo na região oeste catarinense. *R. Ci. Agrovet.*, 2:97-106.
- Batista, I., Correia, M. E. F., Pereira, M. G., Bieluczyk, W., Schiavo, J. A., Rouws, J. R. C. 2014. Oxidizable fractions of total organic carbon and soil macrofauna in a crop-livestock integration System. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, 797-809.

- Bedano, J.C., Domínguez, A., Arolfo, R., Wall, L.G., 2016. Effect of Good Agricultural Practices under no-till on litter and soil invertebrates in areas with different soil types. *Soil Till. Resear*, v. 158, 100-109.
- Bernard, L., Chapuis-Laedy, L., Razafimbelo, T., 2012. Endogeic earthworms shape bacterial functional communities and affect organic matter mineralization in a tropical soil. *ISME J*, v. 6, 222–231.
- Bottinelli, N., Jouquet, P., Capowiez, Y., Podwojewski, P., Grimaldi, M., Peng, X., 2015. Why is the influence of soil macrofauna on soil structure only considered by soil ecologists? *Soil & Tillage Research*, v. 146, 118–124.
- Cabrera, G., 2012. La macrofauna edáfica como indicador biológico del estado de conservación/perturbación del suelo. Resultados obtenidos en Cuba. *Pastos y Forrajes*, v. 35, 349-364.
- Cambardella, C.A., Moorman, T.B, Novak, J.M., Parkin, T.B., Karlem, D.L., Turvo, R.F., Konopa, A.E., 1994. Field scale variability of soil properties in central Iowa soil. *Soil Science Society of America Journal*, v. 58, 1501-1511.
- Caproni, A.L., Granha, J.R.D.O., Souchie, E.L., Figueira, A.F., Oliveira, A.C.S., 2011. Diversidade da macrofauna do solo em ecossistemas no município de Rolim de Moura, RO. *Gl. Sci. Technol*, v. 03, 48-57.
- Cardoso, E.J.B.N., Vasconcelos, R.L.F., Bini, D., Miyauchi, M.Y.H., dos Santos, C.A., Alves, P.R.L., de Paula, A.M., Nakatani, A.S., Pereira, J.M., Nohueira, M.A. 2013. Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health? *Sci. agric. (Piracicaba, Braz.)*. 70, 274-289.
- Carrillo, T., Ball, B.A., Bradford, M.A., Jordan, C.F., Molina, M., 2011. Soil fauna alter the effects of litter composition on nitrogen cycling in a mineral soil. *Soil Biological. Biochem*, v. 43, 1440–1449.
- Corbo, J.Z.F., Siqueira, G.M., Vieira, S.R. 2017. Spatial distribution of the fauna of the soil on the long-term system of direct sowing. *Journal of Geospatial Modelling*, v. 2, n.2, 16-31.
- Correia, M.E.F., 2002. Potencial de utilização dos atributos das comunidades de fauna do solo e de grupos chave de invertebrados como bioindicadores de manejo de ecossistemas. *Seropédica, Embrapa Agrobiologia*.
- Chiba, M.K., Filho, O.G., Vieira, S.R., 2010. Variabilidade espacial e temporal de plantas daninhas em Latossolo Vermelho argiloso sob semeadura direta. *Acta Sci Agron*, v. 32, 735-742.
- Cunha, J.A. da S., Andrade, E.B. de, Barros, R.F.M. de. 2014. Associação da diversidade de artrópodes com características do solo em diferentes plantios de melancia. *Revista Biociências*, v. 20, 22-31

- Dafonte Dafonte, J., Guitián, M.U., Paz-Ferreiro, J., Siqueira, G.M., Vidal Vázquez, E., 2010. Mapping of soil micronutrients in an European Atlantic agricultural landscape using ordinary kriging and indicator approach. *Bragantia*, v. 69, 175-186.
- de Oliveira, F.S., Varajão, A.F.D.C., Varajão, C.A.C., Schaefer, C.E.G.R., Boulangé, B., 2014. The role of biological agents in the microstructural and mineralogical transformations in aluminium lateritic deposit in Central Brazil. *Geoderma*, v. 226, 250-259.
- Domínguez, A., Bedano, J.C.; Becker, A.R., Arolfo, R.V. 2014. Organic farming fosters agroecosystem functioning in Argentinian temperate soils: evidence from litter decomposition and soil fauna. *Applied Soil Ecology*, v. 83, 170-176.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos - SBCS. 3. ed. Brasília, 2013. 353p.
- de Vries, F.T., Thébault, E., Liiri, M., Birkhofer, K., Tsiafouli, M.A., Bjørnlund, L., Jørgensen, H.B., Brady, M.V., Christensen, S., De Ruiter, P., Hertefeldt, T., Frouz, J., Hedlund, K., Hemerik, L., Holk, W.H.G., Hotes, S., Mortimer, S.N., Setälä, H., Sgardelis, S.P., Uteseny, K., Van Der Putten, W.H., Wolters, V., Bardgett, R.D., 2013. Soil food web properties explain ecosystem services across European land use systems. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 110, 14296–14301.
- Filho, G. R., Passos Carvalho, M., Montanari, R., Silva, J. M., Siqueira, G. M., Zambianco, E. C. 2011. Variabilidade espacial de propriedades dendrométricas do eucalipto e de atributos físicos de um Latossolo Vermelho. *Bragantia*, v. 70, 439-446.
- Franco, A.L.C., Bartz, M.L.C., Cherubin, M.R., Baretta, D., Cerri, C.E.P., Feigl, B.J., Wall, D.H., Davies, C.A., Cerri, C.C., 2016. Loss of soil (macro)fauna due to the expansion of Brazilian sugarcane acreage. *Science of the Total Environment*, v. 563, 160-168.
- Ferreiro, J. P.; Fu, S. 2016. Biological indices for soil quality evaluation: perspectives and limitations. *Land Degrad. Develop.* v. 27, 14–25 .
- Gholami, S., Hosseini, S.M., Mohammadi, J., Mahini, A.S., 2014. Assessment of vegetation density and soil macrofauna relationship in riparian forest of Karkhe River for determination of rivers buffer zone. *Iran. J. Appl. Ecol*, v. 7, 1-13.
- Gholami, S., Sheikhmohamadi, B., Sayad, E., 2017. Spatial relationship between soil macrofauna biodiversity and trees in Zagros forests, Iran. *Catena*, v. 159, 1-8.
- Grego, C. R., Vieira, S. R., Xavier, M. A. 2010. Spatial variability of some biometric attributes of sugarcane plants (Variety iacsp93-3046) and its relation to physical and chemical soil attributes. *Bragantia*, v. 69, 107-119.
- Guedes Filho, O., Vieira, S.R., Chiba, M.K., Nagumo, C.H., Dechen, S.C.F., 2010. Spatial and temporal variability of crop yield and some Rhodic Hapludox properties under no-tillage. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 34, 1-14.
- Journel, A.G., Huijbregts, C.J., 1978. *Mining geostatistics*. London: Academic Press, 600p.

- Lemos Filho, L.C.A., Oliveira, E.L., Faria, M.A., Andrade, L.A.B., 2008. Variação espacial da densidade do solo e matéria orgânica em área cultivada com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). *Revista Ciência Agronômica*, v. 39, 193-202.
- Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., Haris, R.F., Schuman, G.E., 1997. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. *Soil Science Society America Journal*, v. 61, 4-10.
- Machado, P.L.O.A., Bernadi, A.C.C., Valência, L.I.O., Molin, J.P., Gimenez, L.M., Silva, C.A., Andrade, A.G., Madari, B.E., Meirelles, M.S.P., 2007. Mapeamento da condutividade elétrica e relação com a argila de Latossolo sob plantio direto. *Pesq. Agropec. Bras.*, v. 41, 1023-1031.
- Magurran, A.E., 1988. *Ecological diversity and its measurement*. New Jersey: Princeton University Press.
- Marchão, R.L., Lavelle, P., Celini, L., Balbino, L.C., Vilela, L., Becquer, T., 2009. Soil macrofauna under integrated crop-livestock systems in a Brazilian Cerrado Ferralsol. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 44, 1011-1020.
- Marques, D.M., Silva, A.B. da, Silva, L.M. da, Moreira, E.A., Pinto, G.S. 2014. Macrofauna edáfica em diferentes coberturas vegetais. *Bioscience Journal*, v. 30, 1588-1597.
- Morales, L.A., Paz-Ferreiro, J., Vieira, S.R., Vidal Vázquez, E., 2010. Spatial and temporal variability of EH and pH over a rice field as related to lime addition. *Bragantia*, v. 69, 67-76.
- Morales, LA., Vidal Vázquez, E., Paz-Ferreiro, J., 2014. Spatial Distribution and Temporal Variability of Ammonium-Nitrogen, Phosphorus, and Potassium in a Rice Field in Corrientes, Argentina. *The Sci. World J.* 1-13.
- Raij, B. V.; Andrade, J. C.; Cantarella, H.; Quaggio, J. A. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285 p.
- Rousseau, G.X., Silva, P.R.S., Celentano, D., Carvalho, C.J.R., 2014. Macrofauna do solo em uma cronosequência de capoeiras, florestas e pastos no Centro de Endemismo Belém, Amazônia Oriental. *Acta amazônica*, v. 44, 499-512.
- Silva, J., Jucksch, I., Feres, C.I.M.A, Tavares, R.C., 2012, Soil faunal in management systems with coffee. *J. Biotec. Biodivers*, v. 3, 59-71.
- Schaffrath, V.R., Tormena, C.A., Gonçalves, A.C.A., Junior, R.S.O., 2007. Variabilidade espacial de plantas daninhas em dois sistemas de manejo de solo. *Rev. Bras. Eng. Agr. Ambien*, v. 11, 53-60.
- Silva, J., Junior, R.N.A., Matias, S.S.R., Tavares, R.C., Andrade, F.R., Camacho-Tamayo, J.H., 2014. Using geostatistics to evaluate the physical attributes of a soil cultivated with sugarcane. *Rev. Cien. Agr.*, v. 57, 186-193.

- Silva, R.F. da; Aquino, A.M. de; Mercante, F.M.; Guimarães, M. de F. 2008. Macrofauna invertebrada do solo em sistema integrado de produção agropecuária no Cerrado. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 30, 725-731.
- Simpson, E.H., 1949, Measurement of diversity. *Nature*, v. 163, 688.
- Siqueira, G.M., Silva, R.A., Aguiar, A.C.F., Costa, M.K.L., França e Silva, E.F., 2016. Spatial variability of weeds in an Oxisol under no-tillage system. *Afr. J. Agric. Res.*, v. 29, 2569-2576.
- Siqueira, G.M., Dafonte Dafonte, J., Valcárcel, A.M., 2015. Correlación espacial entre malas hierbas en una pradera y su relación con la conductividad eléctrica aparente del suelo (CEA). *Planta Daninha*, v. 33, 631-641.
- Siqueira, G.M., Silva, E.F.F., Paz-Ferreiro, J., 2014. Land Use Intensification effects in Soil Arthropod Community of an Entisol in Pernambuco State, Brazil, p. 7.
- Siqueira, G.M., Vieira, S.R., Falci Dechen, S.C., 2009. Variabilidade espacial da densidade e da porosidade de um latossolo vermelho eutroférico sob semeadura direta por vinte anos. *Bragantia*, v. 68, 751-759.
- Siqueira, G.M., Vieira, S.R., Ceddia, M.B., 2008. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo determinados por métodos diversos. *Bragantia*, v. 67, 203-211.
- Souza, Z.M., Marques Júnior, J., Pereira, G.T., 2009. Geoestatística e atributos do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. *Ciência Rural*. 1-9.
- Tavares, U.E., Rolim, M.M., Oliveira, V.S., Pedrosa, E.M., Siquira, G.M., Magalhães, A.G., 2015. Spatial dependence of physical attributes and mechanical properties of Ultisol in a sugarcane field. *The Sci. World J.* 1-11.
- Terry, I.M.F., González, L.C., Gallardo, M.F., Cairo, N.C., Acosta, N.R., Prado, R. De M. 2015. Macrofauna del suelo em cuatro fincas en conversión hacia la producción agroecológica em el Municipio Cruces, Cuba. *Centro Agrícola*, v. 42, 43-52.
- Tesfahunegn, G. B.; Tamene, L.; Vlek, P. L. G.; Mekonnen, K. 2016. Assessing farmers' knowledge of weed species, crop type and soil management practices in relation to soil quality status in Mai-Negus Catchment, Northern Ethiopia. *Land Degradation & Development*, v. 27, 2, 120-133.
- Veldkamp, E. 1994. Organic carbon turnover in three tropical soils under pasture after deforestation. *Soil Science Society of America Journal*, Madson, v. 58, 175-180.
- Vieira, S.R., 2000. Uso de geoestatística em estudos de variabilidade espacial de propriedades do solo. In: NOVAIS, R. F. (Ed.). *Tópicos em Ciência do Solo*. Viçosa: Soc. Bras. Ci. Solo. 1-54.
- United States Department of Agriculture - USDA. 2010. Key to soil taxonomy. 11. Ed. Washington., Soil Survey Staff, Department of Agriculture, 338p.

- Wagg, C., Bender, S.F., Widmer, F., Van der Heijden, M.G.A., 2016. Soil biodiversity and soil community composition determine ecosystem multifunctionality. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, v. 111, 5266-5270.
- Warrick, A. W. & Nielsen, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D., ed. *Applications of soil physics*. New York, Academic Press, 1980. 350p.
- Wolters, V., 2001. Biodiversity of soil animals and its function. *European Journal of Soil Biology*, v. 37, 221–227.
- Zanzini, A.C.S., 2007. *Descritores de Riqueza e Diversidade em Espécies em Estudos Ambientais / Antônio Carlos da Silva Zanzini*. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 43p.: il. – Curso de Pós-Graduação “Lato Sensu” (Especialização) a Distância: Avaliação da Flora e Fauna em Estudos Ambientais.
- Zonta, J.H., Brandão, Z.N., Medeiros, J.C., Sana, R.S., Sofiatti, V., 2014. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada com algodoeiro no Cerrado do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 18, 595-602.



## 7 ANÁLISE GEOESTATÍSTICA E MULTIVARIADA DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E DA PRODUTIVIDADE DE SOJA

**Resumo:** O estudo da variabilidade espacial da produtividade de soja e dos atributos químicos do solo, permite a integração dos processos de manejo na propriedade, por meio da determinação de zonas de manejo específicas. No entanto, os sistemas de manejo do solo também interagem com esses atributos modificando sua variabilidade natural, e conseqüentemente, modificando a variabilidade dos atributos de solo e planta. Assim, este trabalho teve como objetivo estudar a variabilidade espacial da produtividade de soja e de atributos químicos de um Latossolo Amarelo Distrófico argissólico, sob o sistema de semeadura direta utilizando análise multivariada e ferramentas de geoestatística. As amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0.0-0.2 m e 0.2-0.4 m de profundidade em 70 pontos de amostragem. A área de estudo possui 44,75 ha e está localizada no município de Mata Roma (Maranhão, Brasil) e vem sendo manejada com semeadura direta nos últimos nove anos. Os atributos de solo e planta analisados foram: produtividade de soja ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), matéria orgânica (MO,  $\text{g dm}^{-3}$ ), pH em solução de  $\text{CaCl}_2$ , acidez potencial ( $\text{H}^+\text{Al}$ ,  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ), fósforo (P,  $\text{mg dm}^{-3}$ ), potássio (K,  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ), cálcio (Ca,  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ), magnésio (Mg,  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ), sódio (Na,  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ), capacidade de trocas catiônicas (CTC,  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ), soma de base (SB,  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ), porcentagem de saturação por bases (V%), cobre (Cu,  $\text{mg kg}^{-1}$ ), ferro (Fe,  $\text{mg kg}^{-1}$ ), manganês (Mn,  $\text{mg kg}^{-1}$ ) e cádmio (Cd,  $\text{mg kg}^{-1}$ ). Os dados foram analisados por meio da estatística descritiva e de ferramentas geoestatísticas e de estatística multivariada (PCA – análise de componentes principais). A análise inicial permitiu a detectar a variabilidade espacial dos dados por meio do semivariograma para a maioria dos atributos de solo e planta, e em seguida, foram construídos mapas de isolinhas utilizando-se a técnica de interpolação por krigagem. Após realizada a análise de CPA foram extraídos os scores de cada um dos autovalores, para então prosseguir com a realização de nova análise geoestatística. A variabilidade espacial dos atributos de solo e planta estudados, foi influenciada pelo manejo do solo, principalmente na camada de 0.0-0.2 m de profundidade. Foram encontrados menores valores de efeito pepita ( $C_0$ ) para os dados dos scores dos autovalores (PCA 1, PCA2 e PCA3) nas duas camadas em estudo (0.0-0.2 m e 0.2-0.4 m de profundidade) quando comparados com os valores de efeito pepita dos dados originais; e com valores de coeficiente de correlação ( $r^2$ ) mais elevados. O semivariograma escalonado para os dados originais e para os scores dos autovalores, demonstraram haver estabilidade e correlação espacial entre os atributos estudados. Os mapas de variabilidade espacial dos componentes principais, apresentam similaridade com o mapa de produtividade da soja,

demonstrando que a análise multivariada pode ser utilizada para se determinar zonas de manejo específico. A análise de componentes principais agrupou nove das propriedades em estudo na camada de 0.2-0.4 m de profundidade (produtividade, pH, MO, Ca, P, Na, Mg, K e H+Al), duas a mais que na camada superior (produtividade, MO, Na, K, P, Ca e pH), reflexo do manejo com semeadura direta na área de estudo, interferindo sobre a variabilidade espacial na camada superficial do solo

**Palavras-chave:** Geoestatística; Manejo do Solo; Química do Solo; Qualidade do Solo; Semivariograma; Agricultura de Precisão.

## 7.1 INTRODUÇÃO

Na agricultura de precisão a gestão agrícola parte da premissa da heterogeneidade do solo, refletindo em zonas de manejo com maior ou menor produtividade dos cultivos, requerendo assim, o uso de técnicas avançadas de manejo, análise e interpretação dos dados para a determinação de ambientes de produção, com características homogêneas (Siqueira et al., 2015). Contudo, a variabilidade espacial das propriedades do solo pode ser influenciada por um complexo de fatores intrínsecos (processos de formação) e extrínsecos (atividades antrópicas de uso e manejo do solo) (Davatgar et al., 2012).

Desta maneira, o conhecimento da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo permite a aplicação localizada de insumos, reduzindo a degradação ambiental provocada pelo excesso destes, melhorando o controle do sistema de produção das culturas (Silva et al., 2010; Siqueira et al., 2015).

Contudo, a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, corresponde a estrutura espacial da fertilidade do solo, necessitando o estudo e avaliação de diversos nutrientes (macronutrientes e micronutrientes). Vieira et al. (2010) descrevem que o manejo convencional da fertilidade do solo baseia-se na utilização de teores médios de referência de nutrientes para o cálculo da dose de fertilizante a ser aplicada em glebas selecionadas e separadas por serem as mais homogêneas entre si. Apesar dessa preocupação, é comum a ocorrência de valores extremos de alguns elementos químicos localizados espacialmente, sobretudo daqueles de menor mobilidade no solo (p.e., P), de modo que a utilização de valores médios pode resultar na aplicação de doses superestimadas em determinadas áreas e insuficientes em outras.

Assim, para analisar a estrutura da fertilidade dos solos, é necessária a avaliação dos diversos nutrientes que respondem por ela, o que, muitas vezes, ao ser realizado por meio de análises estatísticas tradicionais, baseadas na independência das observações, não são adequadas para estudos de variabilidade espacial de atributos do solo e devem ser complementadas por análises espaciais que consideram as correlações entre observações vizinhas e maior amostragem da população (Hamlett et al., 1986).

Os solos tropicais, de maneira geral, apresentam propriedades químicas que limitam o desenvolvimento das culturas agrícolas, como baixa capacidade de troca de cátions (CTC), acidez elevada e baixos teores de nutrientes, especialmente o fósforo (Souza et al., 2004). Por essa razão, para alcançar altas produtividades é necessário realizar práticas de manejo adequadas, especialmente a adubação e correção do solo.

Na agricultura tradicional, as recomendações de adubação e correção do solo são realizadas com base na média total do elemento que deseja aplicar no solo, não levando em conta a distribuição espacial dos atributos químicos encontradas no solo (Trangmar et al. 1985). Assim, grandes áreas heterogêneas são consideradas iguais. Segundo Silva & Chaves (2001) os atributos químicos apresentam grande variação na área cultivada por diversos fatores como o clima, deficiência hídrica, genótipo de plantas, topografia da área, além do próprio manejo diferenciado da área (Delouche, 1969). Portanto, o uso de amostragens aleatórias, empregando a média para caracterizar determinado atributo no solo, pode resultar em grandes erros.

No entanto, novas metodologias devem ser propostas para aumentar a eficiência dos sistemas agrícolas. Métodos geoestatísticos tem sido utilizado para estudar a variabilidade espacial dos atributos do solo, que possibilita, a partir de dados amostrados, o entendimento da variabilidade espacial e distribuição dos atributos do solo (Vieira, 2000), inclusive da fertilidade, levando a um manejo sustentável (Souza et al. 2004). Segundo Gandah et al. (2000), é importante conhecer a variabilidade dos atributos de fertilidade do solo dentro de uma área agrícola, para que o planejamento dos esquemas de amostragem e gerenciamento de práticas agrícolas seja realizado de forma adequada.

Outra ferramenta que também pode conciliar com a geoestatística para melhor compreensão dos dados é uso da multivariada. Essa ferramenta permite diminuir a dimensionalidade da matriz de dados originais, o que conseqüentemente facilita a visualização dos dados (Silva et al. 2010). Dentre as técnicas de análise multivariada destaca-se a análise de componentes principais (PCA), que permite explicar a estrutura da variância e da covariância de um vetor aleatório, composto de p-variáveis aleatórias, por meio da

combinação de combinações lineares das variáveis originais, chamadas de componentes principais, os quais não são correlacionados entre si (Mingoti, 2007). Estudos utilizando de forma conjunta, essas técnicas, apresentaram resultados satisfatórios em vários trabalhos (Silva & Lima, 2012; Lima et al. 2013).

Neste contexto, o objetivo do estudo foi avaliar a variabilidade espacial da produtividade de soja e de atributos químicos de um Latossolo Amarelo Distrófico Argissólico, sob o sistema de semeadura direta por meio de análise multivariada e de ferramentas de geoestatística.

## 7.2 MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo está localizada no município de Mata Roma, Estado do Maranhão, Brasil, cujas as coordenadas são 3° 70' 80.88'' S e 43° 18' 71.27'' W. O clima da região é do tipo AW, quente e úmido, segundo a classificação de Köppen, com duas estações bem definidas, uma chuvosa (dezembro a maio) e outra seca (junho a novembro) e precipitação média de anual de 1835 mm. O solo da área de estudo, segundo a classificação USDA (2010) é um Oxisol e de acordo com o SBCS (2013) é um Latossolo Amarelo Distrófico Argissólico. A área apresenta cerca de 44,75 ha cultivados a nove anos com soja (*Glicine max* L.), sob sistema de semeadura direta.

As amostragens da produtividade de soja ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e dos atributos químicos do solo ocorreram no ano agrícola de 2015/2016, em 70 pontos amostrais usando uma malha regular. O levantamento topográfico e o posicionamento dos locais de amostragem de solo foram feitos por meio de receptores GPS, pelo método estático com correção diferencial pós-processada (DGPS estático) (Figura 1).

A produtividade da soja ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) foi determinada no dia 20/04/2016 em cada um dos pontos de amostragem, em parcelas de  $18 \text{ m}^2$ , após colheita os grãos foram secos em estufa a  $65^\circ\text{C}$ , pesados e determinada a produtividade em  $\text{kg ha}^{-1}$ .

Na área de estudo foram amostrados os seguintes atributos químicos do solo nas camadas de 0.0-0.2 m e 0.2-0.4 m de profundidade: matéria orgânica (MO,  $\text{g dm}^{-3}$ ), pH em solução de  $\text{CaCl}_2$ , acidez potencial ( $\text{H}+\text{Al}$ ,  $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), fósforo (P,  $\text{mg dm}^{-3}$ ), potássio (K,  $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), cálcio (Ca,  $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), magnésio (Mg,  $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), sódio (Na,  $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), cobre (Cu,  $\text{mg kg}^{-1}$ ), ferro (Fe,  $\text{mg kg}^{-1}$ ), manganês (Mn,  $\text{mg kg}^{-1}$ ) e cádmio (Cd,  $\text{mg kg}^{-1}$ ). Os atributos químicos do solo foram determinados seguindo metodologia proposta por RAIJ et al. (2001), e após a realização da análise química, foram calculados os seguintes atributos de

fertilidade do solo: capacidade de troca catiônica (CTC,  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ), soma de bases (SB,  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ), e porcentagem de saturação por bases (V%).

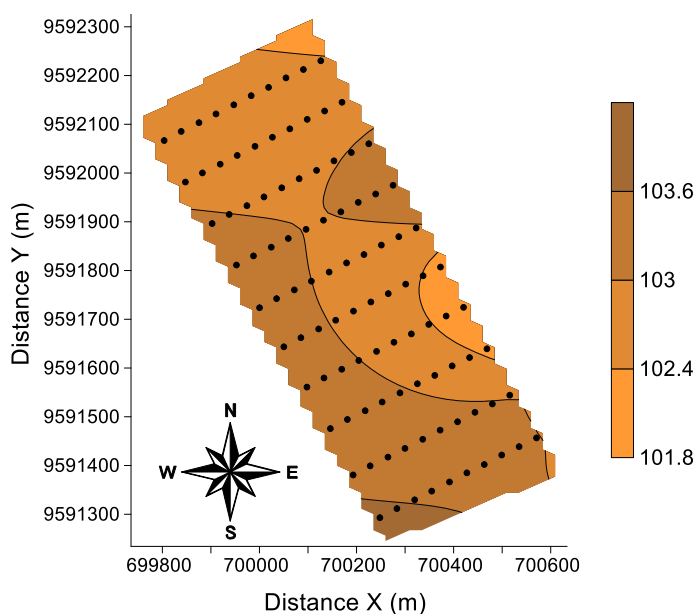


Figura 1: Mapa de diferença de nível na área de estudo e localização dos 70 pontos de amostragem.

Os principais momentos estatísticos [média, variância, desvio padrão, coeficiente de variação, assimetria, curtose e D (desvio máximo em relação à distribuição normal por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov com probabilidade de erro de 0,01)] foram determinados utilizando o software Statistica 12.0 (STATSOFT, 2015). Matrizes de correlação linear foram construídas com o objetivo de se determinar as relações de causa e efeito entre os atributos em estudo.

As pressuposições da hipótese intrínseca da geoestatística foram consideradas no processo de modelagem do semivariograma experimental, segundo Vieira (2000), permitindo a modelagem espacial dos dados por meio da estacionariedade do semivariograma com variância finita (SIQUEIRA et al., 2015). Detectada a variabilidade por meio do semivariograma, os mesmos foram ajustados a um modelo experimental (esférico, exponencial e gaussiano) considerando os seguintes parâmetros: efeito pepita ( $C_0$ ); variância estrutural ( $C_1$ ) e alcance ( $a$ ), por meio da técnica de “*jack-knifing*” (Vieira et al., 2000).

Semivariogramas escalonados foram construídos com o objetivo de se avaliar os padrões de variabilidade espacial dos pares variância dos atributos em estudo, considerando-se a Equação 1 (Vieira et al., 1997), permitindo a sobreposição de atributos com diferentes

grandezas escalares por meio da padronização dos pares de semivariância, conforme descrito por Siqueira et al. (2015).

$$y^{sc}(h) = \frac{y(h)}{\sqrt{Var(z)}} \quad (1)$$

onde:  $y^{sc}(h)$  é o semivariograma escalonado;  $y(h)$  é o semivariograma original e  $Var(h)$  a variância dos dados.

O grau de dependência espacial [ $GD=(C_0/C_0+C_1)*100$ ] entre as amostras foi determinado conforme Cambardella et al. (1994), sendo classificado como: baixo (75-100%), médio (25-75%) e elevado (0-25%).

A análise multivariada dos dados foi realizada considerando os atributos que não apresentam colinearidade, sendo que dos 12 atributos em estudo para cada camada, foram selecionados 10. Após a seleção e padronização das variáveis (média nula e variância unitária), a análise foi processada no programa Statistica 12.0 (STATSOFT, 2015). A análise de componentes principais (PCA) foi realizada para cada uma das camadas em estudo (0.0-0.2 m e 0.2-0.4 m de profundidade), e calculada a partir da matriz de correlação entre as variáveis (Jeffers, 1978). A PCA é considerada uma técnica de interdependência, em que as variáveis não são definidas como dependentes ou independentes, pois são analisadas simultaneamente, permitindo a comparação de diferentes propriedades, desde que respeitada a colinearidade entre os atributos.

Para a composição do gráfico biplot dos fatores da PCA foi considerado o conjunto de autovetores (PC1, PC2, ..., PC<sub>h</sub>) que explicassem mais de 60 % da variabilidade explicada dos dados, sendo a variância retida em cada componente principal calculada conforme Equação 2:

$$CP_h = \frac{\lambda_h}{(C)} 100 \quad (2)$$

onde  $CP_h$  = componente principal  $h$ ;  $\lambda_h$  = autovalor  $h$ ;  $C$  = matriz de covariância; por meio do traço  $(C) = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_h$ .

Posteriormente, para cada um dos autovalores (PC1, PC2, ..., PC<sub>h</sub>) que explicassem mais de 60 % da variabilidade dos dados, foi verificada a presença de outliers por meio da técnica de Hotelling  $T^2$  para os autovalores, considerando o número de outliers presente nos dados. Após avaliada a presença de outliers na PCA, a validação foi realizada considerando a

soma quadrática de erros de previsão ([SPE(Q)]. Em seguida os autovalores que explicassem mais de 60 % da variabilidade dos dados, foram plotados em um gráfico de bidimensional.

Após a validação da PCA, os scores de cada autovalor foram determinados para posterior avaliação da variabilidade espacial por meio do ajuste do semivariograma experimental, semivariograma escalonado e construção do mapa de variabilidade espacial.

A técnica de interpolação por krigagem foi utilizada para determinar os valores dos locais não amostrados, buscando uma estimação linear (Equação 3), sem tendência (Equação 4) e com variância mínima (Equação 5) considerando os valores da análise espacial determinada por meio do semivariograma experimental.

$$Z^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z_i \quad (4)$$

$$E(Z^*) = E(Z) \text{ que é equivalente a } \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (5)$$

$$E[(Z^* - Z)^2] \quad (6)$$

O programa SURFER 11 (GOLDEN SOFTWARE, 2014) foi utilizado para construção dos mapas de isolinhas para os atributos em estudo. Desta maneira, os parâmetros de ajuste do semivariograma foram utilizados no processo de construção dos mapas de isolinhas dos atributos que apresentaram variabilidade espacial. Para efeito de comparação entre os diferentes atributos e distintas camadas do solo em estudo, para os atributos que não apresentaram variabilidade espacial, os mapas de isolinhas foram construídos utilizando os parâmetros de “default” do programa SURFER, que se baseia em um modelo de interpolação linear por krigagem (GOLDEN SOFTWARE, 2014).

### 7.3 RESULTADO E DISCUSSÃO

De acordo com os atributos químicos do solo analisados, pode-se considerar que a área amostrada apresenta de baixa a média fertilidade. Considerando os limites críticos estabelecidos por Raij et al. (1996), o solo apresentou um pH baixo (5.1 na camada de 0.20 m e 4.8 na camada de 0.40 m) e altos teores de H+Al (Tabela 1).

Tabela 1: Parâmetros estatísticos para os atributos químicos do solo nas camadas de 0.0-0.2 m e 0.2-0.4 m de profundidade cultivado com soja.

	Mean	Variance	SD	CV (%)	Skew	Kurtosis	D*
Produtividade	3770.71	189447	435.25	11.54	0.11	-0.50	0.065n
0.0-0.2 m deep							
M.O	12.64	35.36	5.95	0.47	1.15	1.43	0.194Ln
pH	5.12	0.34	0.58	0.11	-0.09	-0.05	0.074n
P	10.87	55.21	7.43	0.68	2.21	6.80	0.193n
K	1.88	2.01	1.42	0.75	1.42	0.51	0.329Ln
Ca	14.51	27.08	5.20	0.36	2.44	9.53	0.191n
Mg	4.94	9.56	3.09	0.63	0.59	-0.38	0.185n
H+Al	20.77	16.50	4.06	0.20	-0.15	-0.46	0.101n
Na	3.53	0.50	0.71	0.20	0.46	-0.62	0.101n
CTC	45.63	69.92	8.36	0.18	1.74	4.34	0.161n
SB	24.86	64.71	8.04	0.32	1.36	2.77	0.121n
V%	53.70	93.67	9.68	0.18	0.02	-0.52	0.054n
Cu	0.11	0.01	0.08	0.71	0.80	-0.15	0.154n
Fe	15.15	136.33	11.68	0.77	1.51	4.25	0.103n
Mn	0.44	0.11	0.33	0.75	0.72	-0.19	0.129n
Cd	0.01	0.00	0.01	0.74	0.66	-0.22	0.141n
0.2-0.4 m deep							
M.O	11.08	15.83	3.98	0.36	1.45	1.53	0.189n
pH	4.76	0.18	0.43	0.09	0.02	-0.14	0.123n
P	11.34	190.98	13.82	1.22	3.58	14.87	0.295Ln
K	1.31	0.22	0.47	0.36	4.68	29.93	0.224n
Ca	13.40	22.42	4.73	0.35	0.78	0.25	0.125n
Mg	4.35	6.08	2.47	0.57	0.37	-0.45	0.135n
H+Al	23.24	35.88	5.99	0.26	0.59	-0.32	0.091n
Na	3.61	0.47	0.69	0.19	0.15	-0.90	0.099n
CTC	45.78	50.19	7.08	0.15	0.62	-0.19	0.111n
SB	22.54	37.88	6.15	0.27	0.79	0.42	0.105n
V%	49.15	108.10	10.40	0.21	0.27	-1.27	0.140n
Cu	0.18	0.02	0.15	0.83	4.24	23.67	0.265Ln
Fe	33.83	200.92	14.17	0.42	1.36	2.00	0.183n
Mn	0.34	0.09	0.30	0.87	3.07	12.51	0.212n
Cd	0.01	0.00	0.01	0.71	0.59	-0.39	0.087n

MO em  $\text{g dm}^{-3}$ ; pH em  $\text{CaCl}_2$ ; P, Cu, Fe, Mn, e Cd em  $\text{mg dm}^{-3}$ ; K, Ca, Mg, H+Al, Na, CTC e SB em  $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ; V em %.

Os teores de P foram considerados médios nas duas camadas analisadas, enquanto os teores de K e Mg apresentaram teores médios na camada de 0.0-0.20 m e baixos na camada de



0.2-0.40 m. Os micronutrientes analisados apresentaram teores considerados altos com exceção do Mn, que de acordo com Raij et al. (1996) solos com teores menores que  $1.5 \text{ mg dm}^{-3}$  são considerados deficientes desse micronutriente. Os valores de coeficiente de variação (CV %) segundo a classificação de Warrick; Nielsen (1980) são classificados como:  $CV \leq 12$  %, baixos;  $CV 12,00-60,00$  % médios;  $CV \geq 60$  %, elevados. Nesse estudo, na camada de 0-0.2 m apenas o pH apresentou um CV% considerado baixo, enquanto a matéria orgânica, Ca, H, Na, CTC, SB e V% foram classificados como médios e o P, K, Mg e os micronutrientes apresentaram um CV% elevado. Já na camada de 0.2-0.4 m todos os atributos analisados apresentaram um CV% considerado médio ou baixo, com exceção do P, Cu, Mn e Cd. O valor alto desses nutrientes pode ser atribuído à sua baixa mobilidade no solo (Beckett & Webster, 1971). Esses resultados estão de acordo com Carvalho et al. (2002); Silva et al. (2010); Mattioni et al. (2013).

A redução dos valores do CV% na camada mais profunda do solo provavelmente ocorreu devido a essa camada ser mais preservada, apresentando menor variabilidade nos resultados. Por outro lado, a camada superficial apresentou maior variabilidade dos atributos químicos, devido a ser influenciada pelas operações de manejo do solo, como o revolvimento, adubação, adição de resíduos culturais, entre outros.

Os valores de assimetria para os atributos químicos do solo, demonstraram que a maioria dos atributos analisados apresentaram distribuição assimétrica à direita, com exceção do pH e H+Al da camada 0.2 m (Guimarães, 2004). Esses resultados mostram que a maioria dos dados tende a apresentar distribuição normal, e isso facilita o ajuste dos semivariogramas.

Na tabela 2 são apresentados a matriz de correlação para os atributos químicos analisados para a camada de 0.0-0,2 m de profundidade. A CTC foi positivamente correlacionada com os teores de K, Ca, Mg e SB na camada superficial, já o mesmo não foi observado na camada 0.2-0.4 m (Tabela 3). Porém, a produtividade não se correlacionou com nenhum dos atributos de fertilidade analisados. Esse fato pode ser explicado pela produtividade agrícola ser influenciada por vários fatores como o clima, deficiência hídrica, genótipo de plantas e pragas e doenças, e portanto nem sempre apresenta correlação com os atributos de fertilidade do solo (Delouche, 1969).

Tabela 2: Matriz de correlação linear dos atributos químicos do solo na camada de 0.0-0.2 m de profundidade cultivado com soja.

Camada de 0.0-0.2 m de profundidade																
	Produtividade	M.O	pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	Na	CTC	SB	V%	Cu	Fe	Mn	Cd
Produtividade	1.000															
M.O	0.162	1.000														
pH	0.309	0.481	1.000													
P	-0.184	0.091	0.133	1.000												
K	-0.026	-0.219	-0.119	0.044	1.000											
Ca	0.137	0.041	0.215	0.306	0.351	1.000										
Mg	0.056	-0.079	0.009	0.030	0.608	0.292	1.000									
H+Al	-0.038	0.019	-0.309	-0.427	0.121	-0.196	-0.138	1.000								
Na	-0.052	-0.138	0.002	0.027	0.757	0.326	0.402	-0.161	1.000							
CTC	0.079	-0.043	-0.033	0.004	0.735	0.722	0.621	0.320	0.486	1.000						
SB	0.101	-0.054	0.122	0.220	0.703	0.849	0.715	-0.173	0.587	0.878	1.000					
V%	0.085	-0.028	0.285	0.421	0.448	0.690	0.637	-0.692	0.514	0.449	0.815	1.000				
Cu	0.001	-0.224	0.154	-0.230	0.377	0.116	0.301	0.114	0.402	0.327	0.286	0.167	1.000			
Fe	0.097	-0.220	0.182	0.070	0.367	0.345	0.269	-0.182	0.433	0.319	0.425	0.416	0.336	1.000		
Mn	-0.048	-0.575	-0.219	-0.175	0.427	0.162	0.352	-0.048	0.363	0.307	0.340	0.271	0.744	0.351	1.000	
Cd	0.337	0.345	0.104	-0.157	0.164	0.193	0.077	-0.054	0.264	0.164	0.206	0.189	0.139	0.162	0.014	1.000

Tabela 3: Matriz de correlação linear dos atributos químicos do solo na camada de 0.2-0.4 m de profundidade cultivado com soja.

		Camada de 0.2-0.4 m de profundidade														
	Produtividade	M.O	pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	Na	CTC	SB	V%	Cu	Fe	Mn	Cd
Produtividade	1.000															
M.O	0.020	1.000														
pH	-0.284	0.051	1.000													
P	-0.125	0.228	0.376	1.000												
K	0.035	0.072	-0.021	-0.010	1.000											
Ca	-0.229	0.157	0.761	0.571	0.131	1.000										
Mg	-0.044	0.083	0.185	0.323	0.409	0.205	1.000									
H+Al	0.224	0.155	-0.807	-0.219	0.076	-0.509	0.043	1.000								
Na	0.166	0.124	-0.200	0.012	0.520	-0.073	0.397	0.354	1.000							
CTC	0.030	0.296	-0.130	0.316	0.413	0.321	0.599	0.568	0.522	1.000						
SB	-0.183	0.190	0.636	0.577	0.402	0.864	0.643	-0.320	0.257	0.598	1.000					
V%	-0.220	0.032	0.900	0.455	0.192	0.838	0.388	-0.781	-0.032	0.055	0.823	1.000				
Cu	-0.151	0.111	0.170	-0.049	-0.016	0.051	0.075	-0.162	-0.021	-0.088	0.056	0.149	1.000			
Fe	0.010	-0.011	-0.441	0.017	-0.117	-0.251	-0.085	0.419	-0.011	0.163	-0.219	-0.391	0.040	1.000		
Mn	-0.082	0.223	0.027	0.251	0.106	0.242	0.244	0.190	0.149	0.442	0.324	0.100	0.176	0.063	1.000	
Cd	-0.019	0.078	0.148	0.027	0.100	0.152	-0.130	-0.223	-0.007	-0.120	0.090	0.181	0.094	-0.191	0.126	1.000

A Tabela 4 apresenta os parâmetros de ajuste do semivariograma para os atributos em estudo. Segundo Vieira (2005), os valores de alcance (a, m) relativo aos semivariograma tem grande importância na determinação da dependência espacial e pode ser indicativo do intervalo entre unidades de mapeamento do solo. Como apresentado na tabela 4, a análise geoestatística demonstrou que os atributos H+Al, CTC e Cd da camada superficial apresentaram efeito pepita puro, demonstrando que a variabilidade espacial destes parâmetros ocorre em escala menor a menor distância de separação entre as amostras. Em relação à camada 0.2-0.4 m esse efeito foi observado para os atributos P, H+Al, SB, V%, Cu e Mn.

Na camada 0.0-0.2 m, o modelo esférico foi ajustado para MO, Ca, Fe bem como para a produtividade, enquanto que o pH, Na, V% e o Mn foram ajustados ao modelo exponencial. Os demais atributos foram ajustados ao modelo gaussiano. Segundo a classificação de Cambardella et al. (1994) o grau de dependência espacial entre amostras (GD, %) é classificado como baixo (0,00 % - 25,00 %), médio (25,00 % - 50,00 %) e alto (50,00 % - 75,00 %). Tomando como base esses valores, os resultados apresentaram baixos e médios graus de dependência.

Com relação à camada 0.2-0.4 m, o modelo exponencial foi ajustado para os atributos MO, K, Ca, Na, CTC e Fe, enquanto o modelo gaussiano foi ajustado apenas para o pH e o Mg. Da mesma forma que na camada superior, os atributos apresentaram graus de dependência considerados baixos e médios. Na figura 2 encontram-se os semivariogramas dos atributos químicos avaliados para as profundidades de 0-0.2 e 0.2-0.4.

A Figura 2 apresenta os semivariogramas escalonados para os atributos em estudo. Se verifica que na camada de 0.0-0.2 m de profundidade até 200 m de distância todos os atributos apresentam comportamento similar na distribuição dos pares de semivariância com exceção da capacidade de intercâmbio catiônico (CEC,  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ). Após 200 m de distância a variação ou ruído é ao acaso, sendo difícil mensurar sua relação com a variabilidade espacial das propriedades em estudo. Vale ressaltar que, na camada superficial apenas a produtividade, conteúdo de MO, pH e Fe apresentaram valores de alcance próximos a 200 m, conforme Tabela 2. Demonstrando que mesmo em escalas diferentes os atributos estudados nesta camada apresentam colinearidade da variabilidade espacial.

Tabela 4: Parâmetros de ajuste do semivariograma para os atributos do solo nas camadas de 0.0-0.2 m e 0.2-0.4 m de profundidade cultivado com soja.

	Modelo	C <sub>0</sub>	C <sub>0</sub> +C <sub>1</sub>	a	r <sup>2</sup>	RSS	GD
Camada de 0.0-0.2 m de profundidade							
Produtividade	Spherical	145000	250160	200	0.724	35.6	57.96
M.O	Spherical	7.1	39.65	265	0.818	293	17.91
pH	Exponential	0.0369	0.338	220	0.243	0.752	10.92
P	Gaussian	0.100	48.88	51	0.752	391	0.20
K	Gaussian	0.263	2.046	52	0.714	0.653	12.85
Ca	Spherical	0.01	31.42	72	0.220	564	0.03
Mg	Gaussian	0.710	9.68	46	0.772	8.73	7.33
H+Al				PNE			
Na	Exponential	0.001	0.534	50	0.772	0.028	0.19
CTC				PNE			
SB	Gaussian	0.100	67.02	46	0.614	1175	0.15
V%	Exponential	12.2	95.1	20	0.089	1939	12.83
Cu	Gaussian	0.00001	0.0056	66	0.865	3.94E-06	0.18
Fe	Spherical	8.8	147.7	194	0.832	2844	5.96
Mn	Exponential	0.0001	0.124	117	0.927	8.460E-04	0.08
Cd				PNE			
Camada de 0.2-0.4 m de profundidade							
Produtividade	Spherical	145000	250160	200	0.724	35.6	57.96
M.O	Exponential	1.14	17.63	109	0.878	37.9	6.47
pH	Gaussian	0.0001	0.179	47	0.787	3.03E-03	0.06
P				PNE			
K	Exponential	0.0001	0.179	49.9	0.406	0.0105	0.06
Ca	Exponential	2.31	22.22	36.1	0.814	20.4	10.40
Mg	Gaussian	0.49	5.705	57	0.456	4.16	8.59
H+Al				PNE			
Na	Exponential	0.184	0.491	63	0.635	0.0382	37.47
CTC	Exponential	0.5000	50.52	49	0.876	258	0.99
SB				PNE			
V%				PNE			
Cu				PNE			
							10.90
Fe	Exponential	22	201.9	28	0.247	7480	
Mn				PNE			
Cd				PNE			

Na camada de 0.2-0.4 m de profundidade o semivariograma escalonado demonstrou que os pares de semivariância da CTC ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) na pequena distância destoam dos

demais atributos de solo e planta em estudo. Todavia, vale ressaltar que embora exista uma mudança no padrão de distribuição dos pares de semivariância da CTC nas duas camadas em estudo, na camada subsuperficial (0.2-0.4 m de profundidade) os atributos são mais estáveis na pequena distância até 200 m, e até 500 m o ruído amostral é inferior ao encontrado na camada superficial (0.0-0.2 m de profundidade). Demonstrando que os atributos nesta camada não sofrem ação do manejo, e se relacionam melhor com a produtividade que os atributos químicos na camada superior.

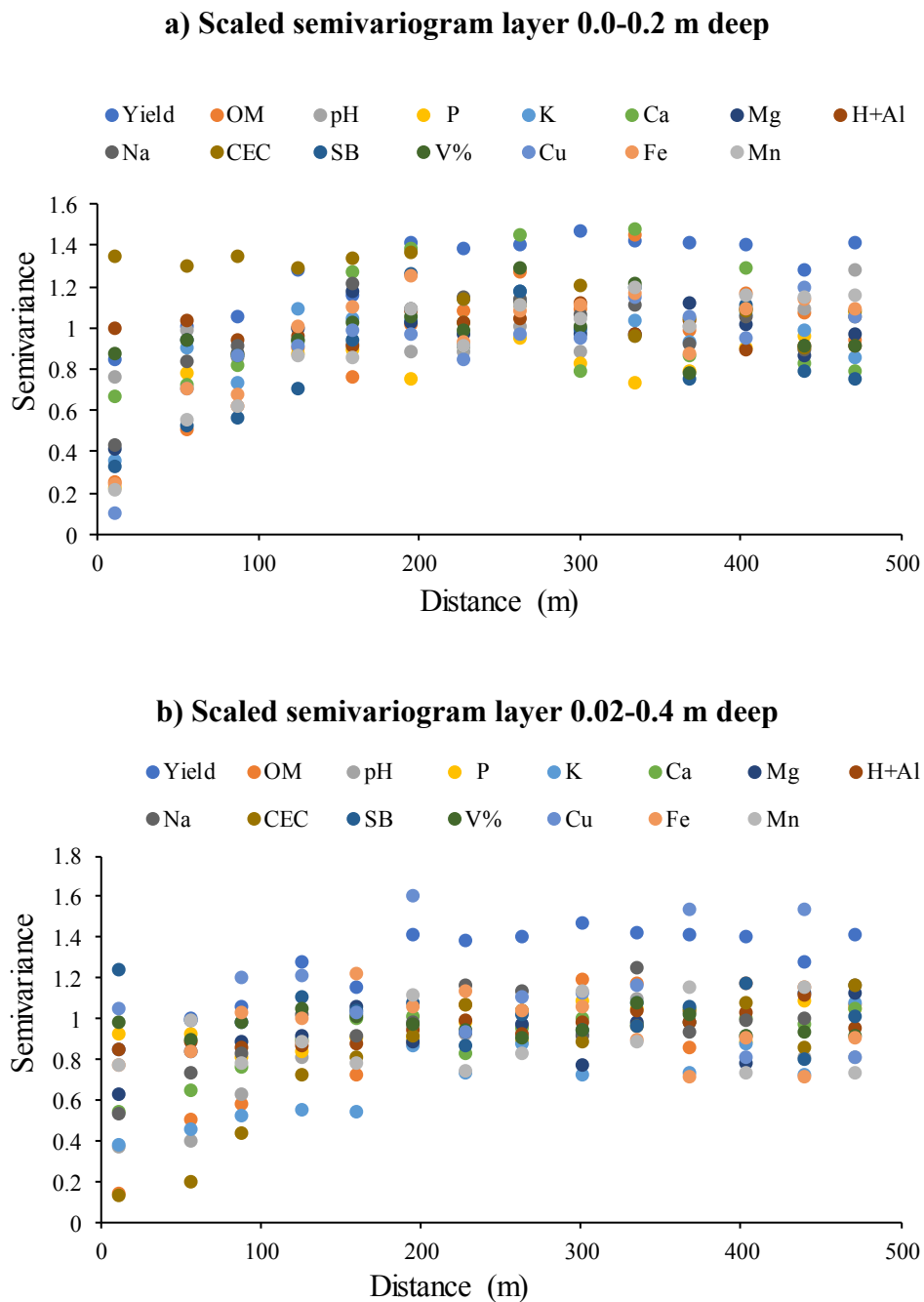


Figure 2: Semivariogramas escalonados para os atributos estudados que apresentaram dependência espacial nas camadas de (a) 0.0-0.2 m e (b) 0.2-0.4 m de profundidade.

O mapa de variabilidade espacial para a produtividade é apresentado na figura 3. A produtividade apresentou uma boa similaridade espacial com a matéria orgânica (Figura 4a e 4b) e a CTC do solo (Figura 6a e 5b), onde foi verificado que maiores valores de produção também apresentam maiores teores de matéria orgânica e maior CTC. A similaridade entre esses atributos era esperada, levando em conta que solos tropicais, devido ao avançado grau de intemperismo, a matéria orgânica possui uma grande contribuição relativa na CTC total do solo. Além de contribuir para a CTC, a matéria orgânica melhora uma série de atributos do solo como a retenção de água, ciclagem de nutrientes e atividade biológica (Moreira & Siqueira, 2006), aumentando o potencial produtivo do solo, o que contribuiu para similaridade espacial entre a matéria orgânica e a produtividade da soja.

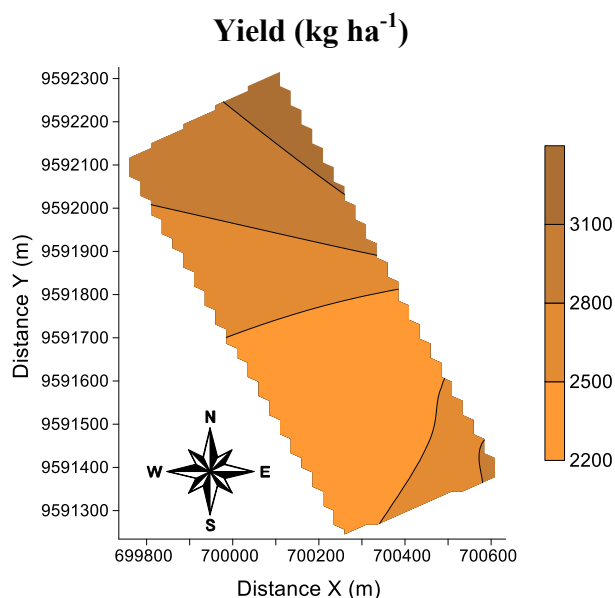


Figure 3: Mapa de variabilidade espacial da produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de soja na área de estudo.

A produtividade (Figura 3) e o pH (Figura 4c e 4d) do solo também apresentaram mapas muito semelhantes, com coincidência espacial das zonas com maior pH apresentando maiores produções da cultura. Ao contrário do que ocorreu nas zonas com baixos valores de pH, que tiveram diminuição na produção, causado pela acidificação, principalmente observado na camada de 0.2-0.4 m (Figura 4d) prejudicando o desenvolvimento radicular da cultura de soja na área de estudo.

Os demais atributos químicos do solo apresentados neste estudo não apresentaram similaridade espacial com a produtividade da cultura da soja (Figuras 3, 4, 5, 6 e 7).

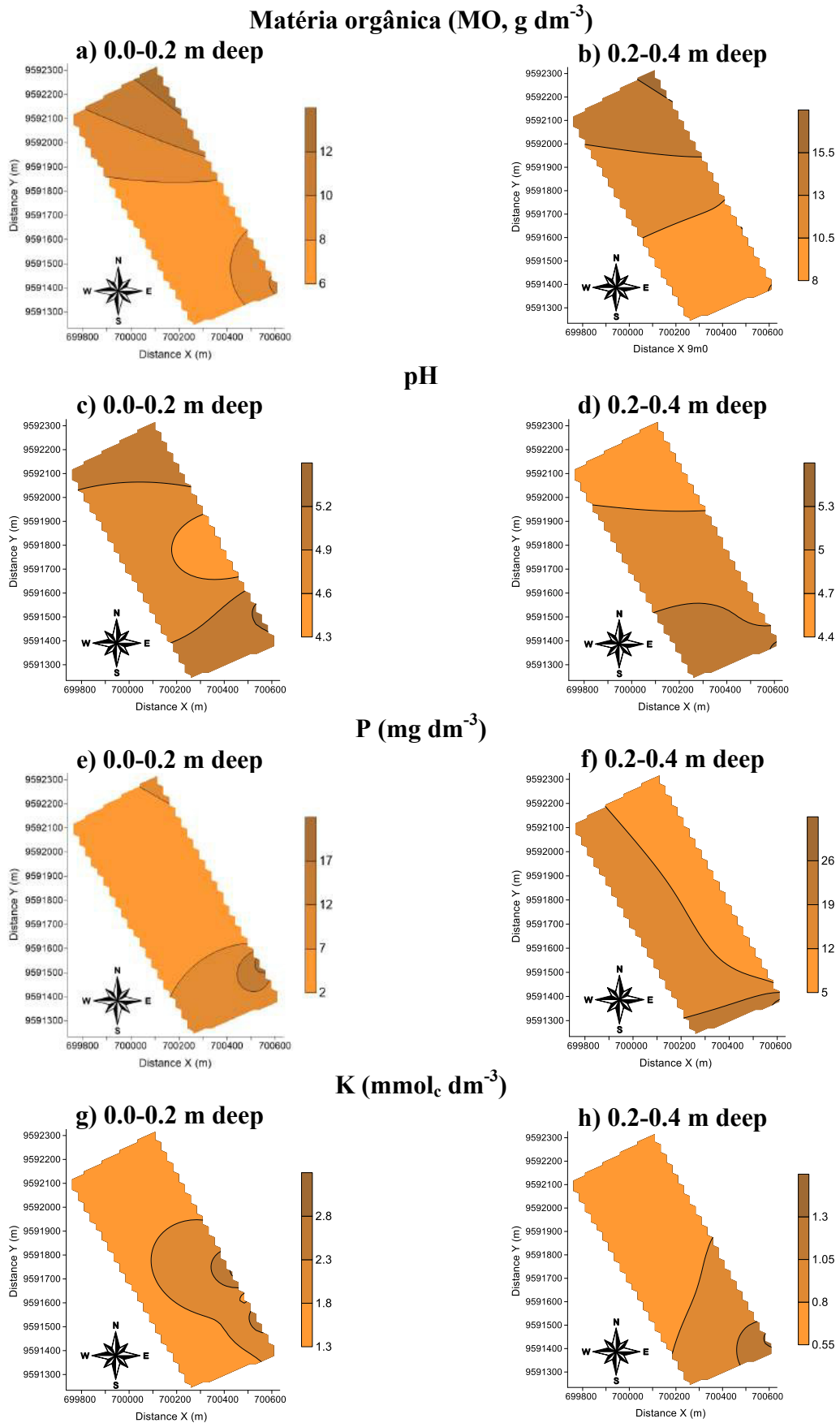


Figure 4: Mapas de variabilidade espacial do conteúdo de matéria orgânica (MO), pH, fósforo (P) e potássio (K) do solo cultivado com soja nas camadas de 0.0-0.2 m e 0.2-0.4 m de profundidade.



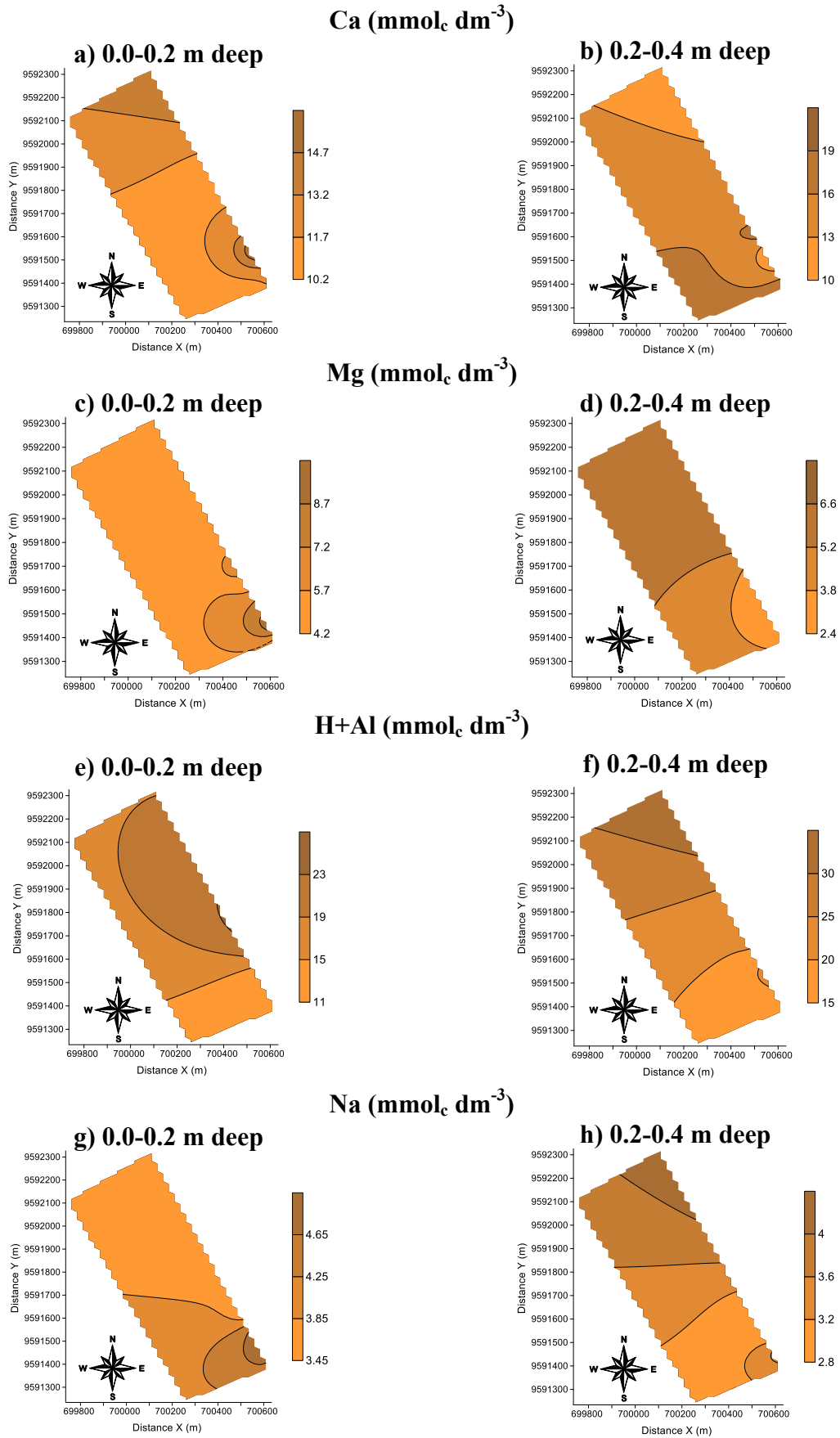


Figure 5: Mapas de variabilidade espacial do conteúdo de cálcio (Ca), magnésio (Mg), acidez potencial (H+Al) e sódio (Na) do solo cultivado com soja nas camadas de 0.0-0.2 m e 0.2-0.4 m de profundidade.

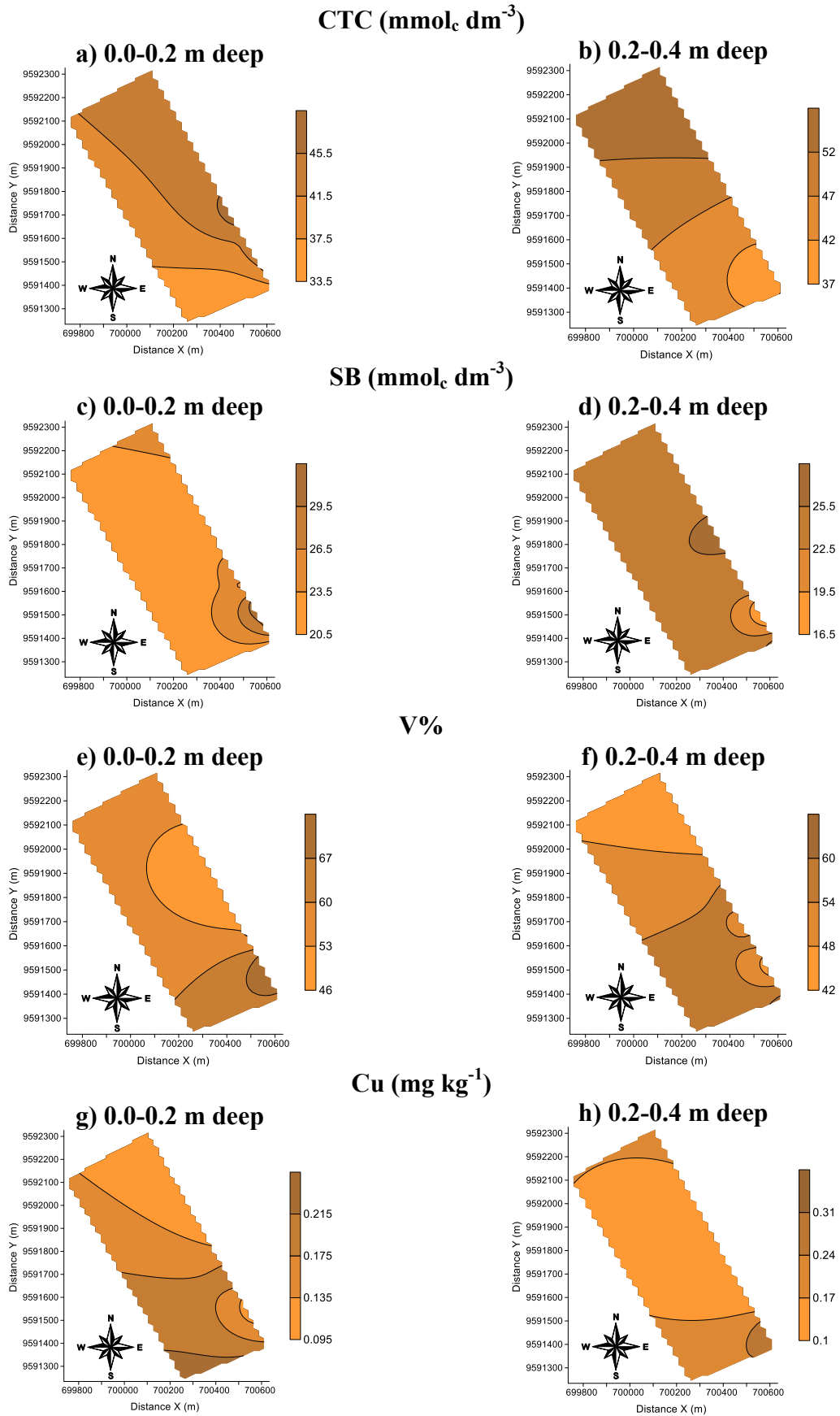


Figure 6: Mapas de variabilidade espacial da capacidade de trocas catiônicas (CTC), soma das bases (SB), porcentagem de saturação por bases (V%) e cobre (Cu) do solo cultivado com soja nas camadas de 0.0-0.2 m e 0.2-0.4 m de profundidade.

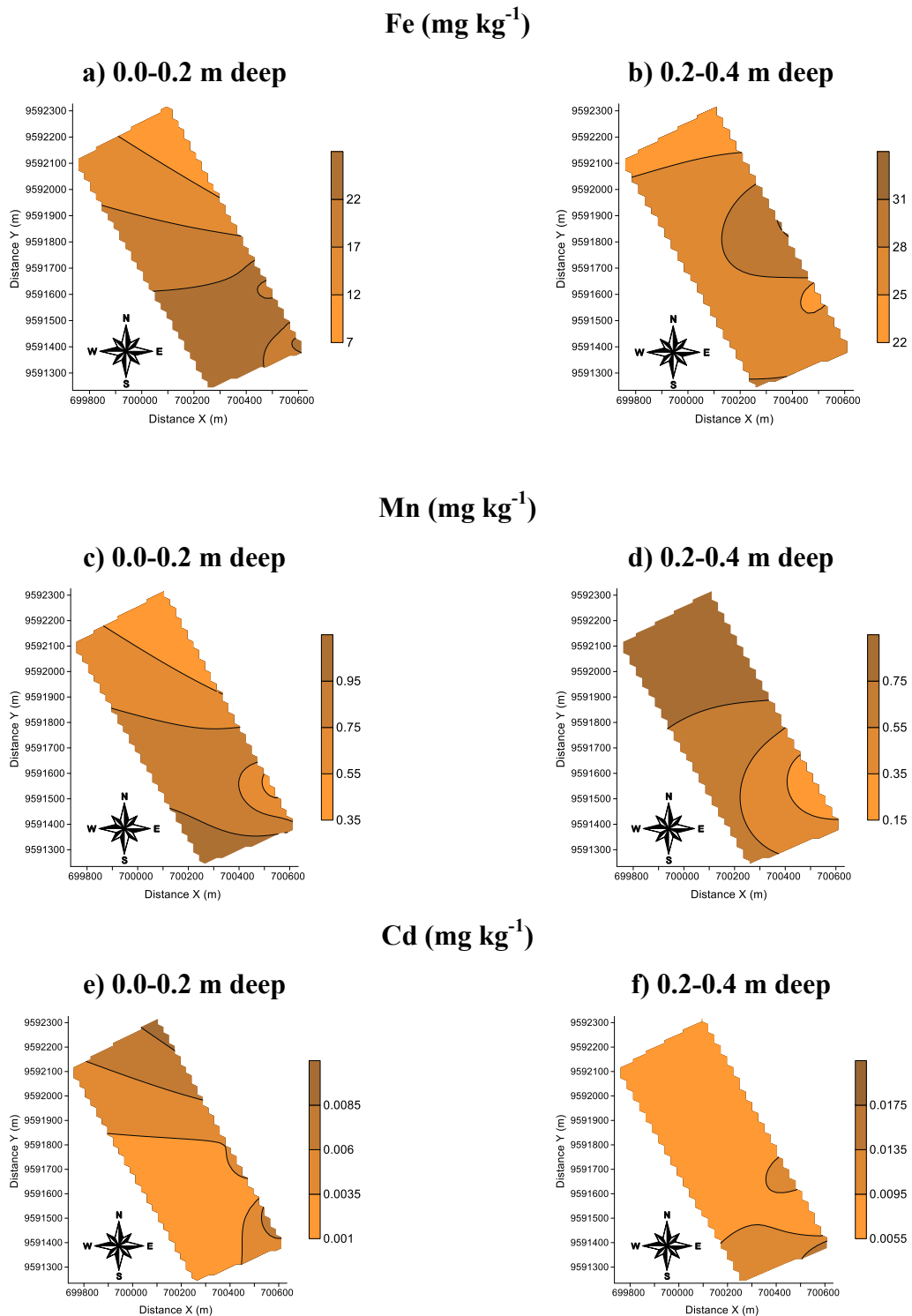


Figure 7: Mapas de variabilidade espacial do conteúdo de ferro (Fe), manganês (Mn) e cádmio (Cd) do solo cultivado com soja nas camadas de 0.0-0.2 m e 0.2-0.4 m de profundidade.

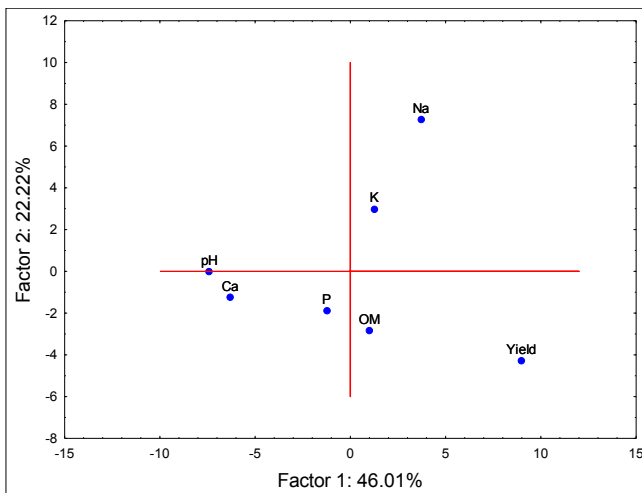
Normalmente, o manejo da adubação das culturas agrícolas é realizado com base em poucas amostras compostas, que não representam de forma ideal a grande heterogeneidade encontrada nos solos. Os resultados desse estudo demonstram que a análise da variabilidade espacial dos atributos de fertilidade do solo e a construção de mapas são ferramentas

fundamentais para buscar uma adubação mais precisa e econômica, evitando desperdícios de nutrientes que não são aproveitados pelas plantas e acabam causando problemas ambientais.

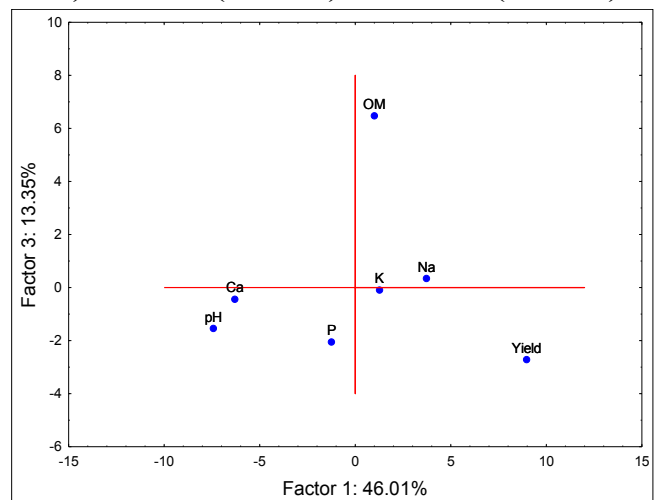
Na análise de componentes principais, na camada de 0.0-0.2 m de profundidade (Figura 8a e 8b), foram extraídos três componentes, que, de forma acumulada, explicam 81.58% da variabilidade total dos dados. A contribuição dos demais atributos foi pouco significativo, portanto, não foram considerados na análise.

#### Layer 0.0-0.2 m deep

a) Factor 1 (46.01%) x Factor 2 (22.22%)

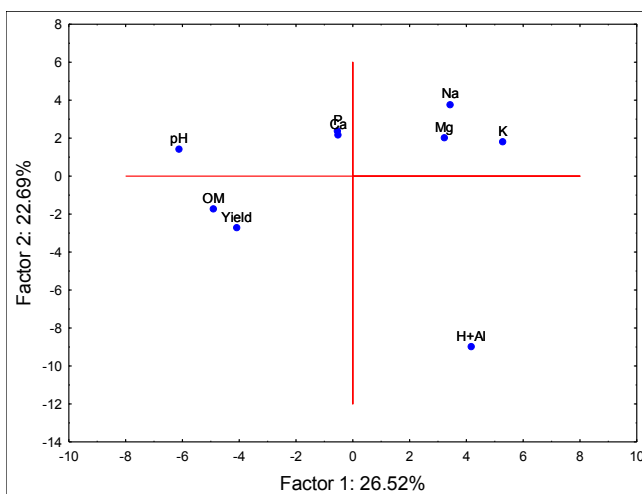


b) Factor 1 (46.01%) x Factor 3 (13.35%)



#### Layer 0.2-0.4 m deep

c) Factor 1 (26.52%) x Factor 2 (22.69%)



d) Factor 1 (26.52%) x Factor 3 (15.25%)

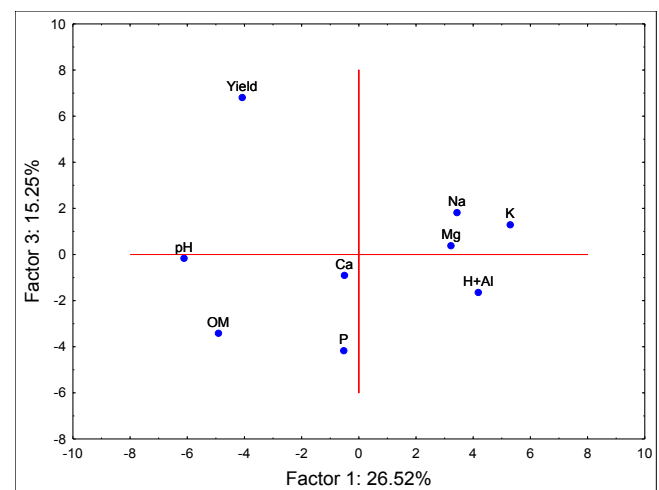


Figure 8: PCA – Análise de componentes principais para os atributos em estudo nas camadas de 0.0-0.2 m (a and b) e 0.2-0.4 m (c and d) de profundidade.

Para a camada de 0.0-0.2 m de profundidade a análise de componentes principais permitiu o agrupamento de sete (07) atributos: produtividade, MO, Na, K, P, Ca e pH (Figura 8a e 8b). O primeiro componente principal explicou de 46.01% da variabilidade total dos dados e correlacionou-se com os atributos pH, Ca e P. O segundo componente explicou 22.22% da variabilidade total dos dados (Figura 8a) e correlacionou-se apenas com K, Na, MO e produtividade. O terceiro componente explicou 13.35% da variabilidade espacial dos dados (Figura 8b) e correlacionou-se com MO, K, Na e produtividade.

A análise de componentes principais para a camada de 0.2-0.4 m de profundidade (Figura 8c e 8d) também permitiu a extração de três (03) componentes, que explicam conjuntamente 64,46 % da variabilidade dos dados, 17,12% a menos que a PCA na camada superficial (Figura 8a e 8b). Apesar da PCA na camada superficial explicar menos a variabilidade dos dados quando comparada com a camada superficial, foi possível o agrupamento de nove (09) atributos: produtividade, pH, MO, Ca, P, Na, Mg, K e H+Al, duas a mais que na camada superficial (0.0-0.2 m), demonstrando que a PCA na camada de 0.2-0.4 m de profundidade ademais dos atributos agregados na camada superficial, se correlacionou também com o Mg e H+Al.

O primeiro componente principal (Figura 8c e 8d) explicou 26.52% e correlacionando-se com pH, MO, produtividade, P e Ca, o segundo componente principal explicou 22.69% da variabilidade e correlacionou-se com Mg, Na, K e H+Al, enquanto o terceiro componente explicou 15.25% da variabilidade e correlacionou-se com Mg, Na, K e H+Al (Figura 8c e 8d).

Após realizada a análise de componentes principais, e extraídos os novos valores para cada ponto amostral tendo como base a matriz de correlação existente entre as componentes e os atributos em estudo, foi realizada nova análise geoestatística envolvendo CPA 1, CPA 2 e CPA 3 que para a camada de 0.0-0.2 m de profundidade englobam produtividade, MO, Na, K, P, Ca e pH; e para a camada de 0.2-0.4 m de produtividade representam produtividade, pH, MO, Ca, P, Na, Mg, K e H+Al.

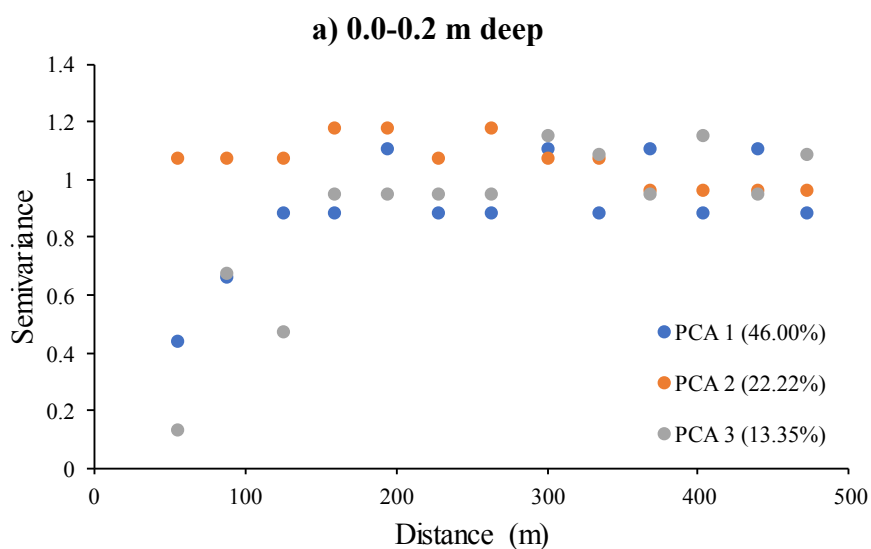
A análise geoestatística das componentes permitiu descrever que na camada 0.0-0.2 m de profundidade demonstrou que o modelo exponencial se ajustou para o PCA 1 e o modelo esférico para o PCA 3 (Tabela 5), e a PCA 2 apresentou efeito pepita puro. Na camada de 0,2-0,4 m de profundidade a PCA 1, 2 e 3 apresentaram dependência espacial por meio do semivariograma, sendo que a PCA 1 e 2 se ajustaram ao modelo exponencial e a PCA 3 se ajustou ao modelo esférico. A possibilidade de análise geoestatística dos scores dos autovalores da PCA, permite a análise integrada de diferentes propriedades de solo e planta, sendo um avanço para o manejo integrado de zonas de manejo específico.

Tabela 5: Parâmetros de ajuste do semivariograma para os componentes principais dos atributos em estudo nas camadas de 0.0-0.2 m e 0.2-0.4 m de profundidade.

	Modelo	$C_0$	$C_0+C_1$	a	$r^2$	RSS	GD
Camada de 0.0-0.2 m de profundidade							
PCA 1 (46.01%)	Exponential	0.00004	0.00043	156	0.403	9.07E-09	9.30
PCA 2 (22.22%)	PNE						
PCA 3 (13.35%)	Spherical	0.00005	0.00153	213	0.834	3.68E-07	3.27
Camada de 0.2-0.4 m de profundidade							
PCA 1 (26.51%)	Exponential	0.00042	0.00091	165	0.863	2.88E-08	46.15
PCA 2 (22.69%)	Exponential	0.00012	0.00094	42	0.55	9.25E-08	12.77
PCA 3 (13.35%)	Spherical	0.00007	0.00125	82	0.586	1.22E-07	5.60

O semivariograma escalonado para os scores dos autovalores (PCA 1, CPA 2 e CPA3) para as duas profundidades em estudo são apresentados nas Figuras 9a e 9b. Na camada superficial (0.0-0.2 m, Figura 9a) o semivariograma escalonado demonstra que a CPA 2 que apresentou efeito pepita puro não se assemelha com os demais componentes (CPA 2 CPA 3).

Apesar da análise de componentes principais da camada subsuperficial (0.2-0.4 m) explicar apenas 64,46 % da variabilidade dos dados, o semivariograma escalonado (Figura 9b) demonstra que os pares de semivariância apresentam o mesmo comportamento espacial tanto na pequena distância (< 200 m) quanto em maiores distâncias (> 200 m), apresentando o mesmo comportamento que o semivariograma escalonado dos atributos de solo e planta da camada de 0.2-0.4 m de profundidade dos dados originais (Figura 2b).



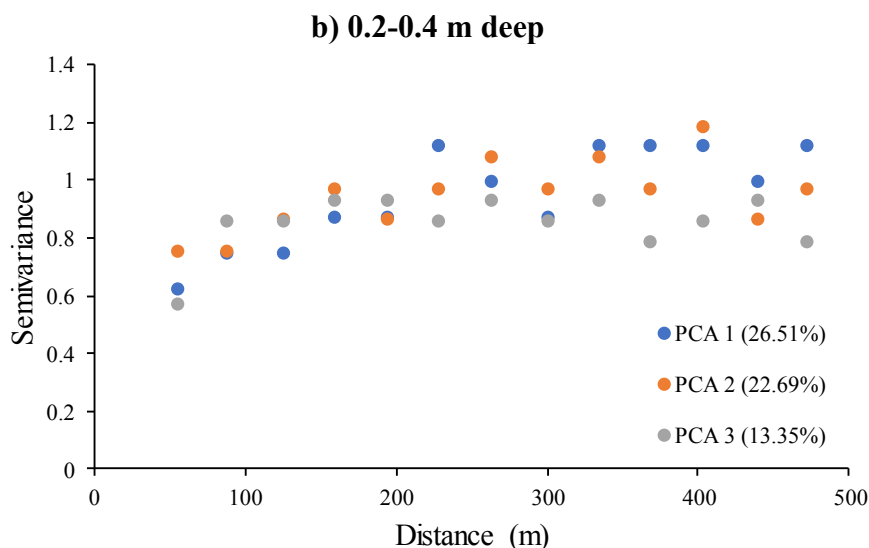


Figura 9: Semivariograma escalonado para os componentes principais dos atributos em estudo nas camadas de 0.0-0.2 m [a: PCA 1 (46.01%), PCA 2 (22.22%) and PCA 3 (13.35%)] e 0.2-0.4 m [b: PCA 1 (26.51%), PCA 2 (22.69%) and PCA 3 (13.35%)] profundidade.

A figura 10 apresenta a distribuição espacial para a análise dos componentes principais. Na análise de componentes principais a maior variabilidade do conjunto de dados é contida na primeira componente e diminui sucessivamente até a última. Segundo Boruvka et al. (2005), em geral, poucos componentes explicam cerca de 60 a 90% da variabilidade total dos dados e, portanto, podem ser utilizados para representar o conjunto total de dados. Contudo, a perda de informação deve ser a mínima possível, não devendo ultrapassar 40%.

Nesse estudo podemos observar que a PCA 1 apresentou uma alta similaridade espacial com a produtividade da cultura da soja na camada de 0-0.2 m. Esses resultados indicam que os atributos correlacionados com essa componente (pH, Ca e P) possuem uma alta importância relativa na produtividade da soja.

A redução do pH diminui a disponibilidade do molibdênio que é importante no processo de fixação biológica do nitrogênio (Raij et al., 1996), portanto a produtividade da soja é severamente afetada pela acidez do solo. O Ca é fornecido às plantas via calagem, portanto é frequentemente associado ao pH do solo. Segundo vários autores Piaia et al. (2002), Corrêa et al. (2004), Santos e Kliemann (2005), Oliveira Júnior et al. (2008) e Valadão Júnior et al. (2008), dos macronutrientes, o P é o que mais limita a produtividade no bioma do Cerrado, predominante na área onde foi realizado o estudo. Assim, a relação espacial da PCA 1 com a produtividade da soja reflete a importância desses atributos para manter o potencial produtivo do solo. Porém, o mesmo não ocorreu na camada de 0.2-0.4 m. Esses resultados mostram que os atributos de fertilidade do solo na camada superficial têm

um maior peso para a produtividade da cultura da soja, em comparação à na camada subsuperficial.

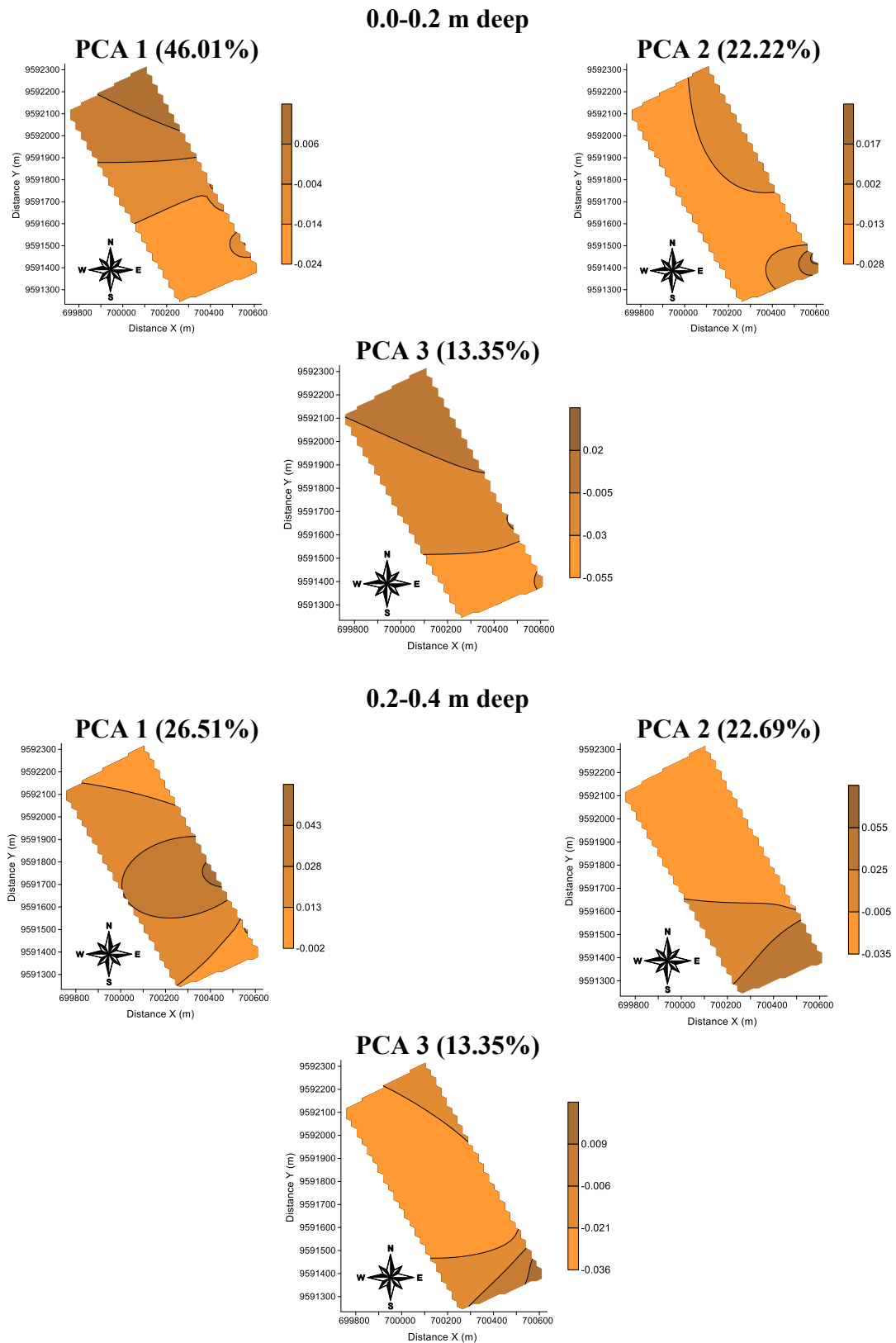


Figure 10: Mapas de distribuição espacial dos componentes principais (PCA) para a camada de 0.0-0.2 m [PCA 1 (46.01%), PCA 2 (22.22%) and PCA 3 (13.35%)] e 0.2-0.4 m [PCA 1 (26.51%), PCA 2 (22.69%) and PCA 3 (13.35%)] de profundidade.



Esses resultados mostram que a análises de componentes principais em conjunto com a geoestatística facilitaram a avaliação da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, pois diminuiu o número de mapas a serem analisados. Portanto, a associação dessas técnicas facilita a tomada de decisões com relação ao manejo da fertilidade do solo e é uma inovação com potencial para ser utilizado na agricultura de precisão.

## 7.5 CONCLUSÕES

- 1) Os atributos químicos analisados, demonstraram que a área amostrada apresenta de baixa a média fertilidade.
- 2) O mapa de variabilidade espacial para produtividade apresentou uma similaridade espacial com a matéria orgânica e pH.
- 3) A aplicação conjunta de ferramentas de geostatística e técnicas de análise multivariada permitiu a interação múltipla de diferentes atributos do solo, relacionados com a produtividade, indicando zonas de manejo diferenciado nas camadas de 0.0-0.2 m e 0.2-0.4 m de profundidade.

## 7.6 REFERÊNCIAS

- Beckett, P. H. T., Webster, R. 1971. Soil variability: A review. *Soils Fert.*, v. 34, 1-15.
- Boruvka, L., Vacek, O., Jehlicka, J. 2005. Principal component analysis as a tool to indicate the origin of potentially toxic elements in soils. *Geoderma*, v. 128, 289-300.
- Cambardella, C. A., Moorman, T. B., Novak, J. M., Parkin, T. B., Karlem, D. L., Turvo, R. F., Konopa, A. E. 1994. Field scale variability of soil properties in central Iowa soil. *Soil Science of America Journal*, v. 47, 1501-1511.
- Corrêa, J. C, Mauad, M., Rosolem, C. A. 2004. Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciados pela adubação fosfatada e cobertura vegetal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 39, n. 12, 1231-1237.
- Davatgar, N., Neishabouri, M. R., Sepaskhah, A. R. 2012 Delineation of site specific nutrient management zones for a paddy cultivated area based on soil fertility using fuzzy clustering. *Geoderma*, Amsterdam, v. 173-174, n. 1, p. 111-118.
- Delouche, J. C. 1969. Planting seed quality. In: Beltwide cotton production mechanization conference, Memphis. New Orleans: National Cotton Council of America. 16-8.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.

- Gandah, M., Stein, A., Brouwer, J., Bouma, J. 2000 Dynamics of spatial variability of millet growth and yields at tree sites in Niger, West Africa and implications for precise agriculture research. *Agric. Systems*, v. 63, 123-140.
- Guimarães, E. C. *Geoestatística básica e aplicada*. Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia, 2004.
- Golden Software. *Surfer version 11: surface mapping system*. Colorado, USA: Golden Software, 2014. CD Rom.
- Hamlett, J. M.; Horton, R.; Cressie, N. A. C. 1986. Resistant and exploratory techniques for use in semivariogram analyses. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v. 50, 868-875.
- Jeffers J. N. R. *An Introduction to System Analysis: with Ecological Applications*. E. Arnold Publ., London, 1978.198p.
- Johnson, R. A., Wichern, D. W. 2002. *Applied multivariate statistical analysis*. 5.ed. New Jersey, Prentice Hall, 767p.
- Lima, S. D. L.; Silva, S. A.; Silva, J. M. 2013. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado em plantio direto. *Revista Ciência Agronômica*, v. 44, 16- 23.
- Mattioni, N. M.; Schuch, L. O. B.; Villela, F. A. 2013. Variabilidade espacial e efeito de atributos químicos de um Latossolo na população de plantas e produtividade da cultura da soja. *Revista da FZVA*, v. 19, 20-32.
- Mingoti, S.A. *Análise de dados através de métodos de estatística multivariada*. Belo Horizonte, Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. 295p.
- Moreira, F. M. S., Siqueira, J. O. *Microbiologia e bioquímica do solo*. 2ed. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2006. 729p.
- Oliveira Junior, A., Prochnow, L. I., Klepker, D. 2008. Eficiência agronômica de fosfato natural reativo na cultura da soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 43, n. 05, 623-631.
- Piaia, F. L., Rezende, P. M., Furtini Neto, A. E., Fernandes, L. A., Corrêa, J. B. 2002. Eficiência da adubação fosfatada com diferentes fontes e saturações por bases na cultura da soja (*Glycine max (L.) Merrill*). *Ciência e Agrotecnologia*, v. 26, n. 03, 488-499.
- Raij, B. V., Cantarella, H., Quaggio, J. A., Furlani, A. M. C. *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2.ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1996. 285p. (Boletim técnico, 100).
- Santos, E. A., Kliemann, H. J. 2005. Disponibilidade de fósforo de fosfatos naturais em solos de cerrado e sua avaliação por extratores químicos. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 35, n. 02, 139-146.

- Silva, M. O.; Santos, M. B. G. F.; Mendes, A. M. S.; Freire, F. J.; Campos, M. C. C.; Amorim, L. B. 2010. Aguas salinas, na região de Mossoró (RN), com o uso de análise multivariada. *Ambiência Guarapuava*, v. 6, 261-270.
- Silva, S. D. A.; Lima, J. S. D. S. 2012. Avaliação da variabilidade do estado nutricional e produtividade de café por meio da análise de componentes principais e geoestatística. *Revista Ceres*, v. 59, 271-277.
- Silva, S. A.; Lima, J. S. S., Xavier, A. C., Teixeira, M. M. 2010. Variabilidade espacial de atributos químicos de um latossolo vermelho-amarelo húmico cultivado com café. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v. 34, 15-22.
- Silva, P. C. M.; Chaves, L. H. G. 2001. Avaliação e variabilidade espacial de fósforo, potássio e matéria orgânica em Alissolos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 5, n. 3, 431-6.
- Siqueira, G.M., Silva, E. F. F., Dafonte, J. D. 2015. Spatial distribution of soil apparent electrical conductivity measured by electromagnetic induction and sugarcane yield. *Bragantia*, v. 74, 215-223.
- Siqueira, G. M., Silva, J., Bezerra, J. M., Silva, Ê. F. F., Dafonte, J. D., Melo, R. F. 2015. Estacionariedade do conteúdo de água de um Espodossolo Humilúvico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, 5, 439-448.
- Souza, Z. M., Marques Junior, J., Pereira, G. T., Moreira, L. F. 2004. Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.34, n.6, p.1763-1771.
- STATSOFT. *Statistica 12.0 Software*. Tucksa: USA, 2015.
- Trangmar, B. B., Yost, R. S., Wade, M. K., Uehara, G. 1985. Aplications os geoestatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in Agronomy*, v. 38, 45-94.
- United States Department of Agriculture - USDA. *Keys to soil taxonomy*. 11.ed. Washington, Soil Survey Staff, Department of Agriculture, 2010. 338p.
- Valadão Júnior, D. D., Bergamin, A. C., Venturoso, L. R., Schlindwein, J. A., Caron, B. O., Schmidt, D. 2008. Adubação fosfatada na cultura da soja em Rondônia. *Scientia Agraria*, v. 09, n. 03, 369-375.
- Vieira, S. R., Tillotson, P. M., Biggar, J. W., Nielsen, D. R. 1997. Scaling of semivariograms and the kriging estimation of field-measured properties. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 21, 4, 525-533.
- Vieira, S. R. 2000. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: Novais, R. F., Alvarez, V. H., Schaefer, C. E. G. R. *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1. p.1-54.
- Vieira, S. R.; Guedes Filho, O.; Chiba, M. K., Mellis, E. V., Dechen, S. C. F., De Maria, I. C. 2010. Variabilidade espacial dos teores foliares de nutrientes e da produtividade da soja

em dois anos de cultivo em um latossolo vermelho. Rev. Bras. Ciênc. Solo, v. 34, n. 5, viçosa, set/oct.

Warrick, A. W, Nielsen, D. R. 1980. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D., ed. Applications of soil physics. New York, Academic Press, p. 319-344.

## 8 ANÁLISE ESPACIAL E MULTIVARIADA DA PRODUTIVIDADE DE SOJA E DE ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO SOB SEMEADURA DIRETA

**Resumo:** A variabilidade espacial da produtividade de soja e dos atributos físicos do solo tem sido alvo de diversos estudos nos últimos anos. Todavia, é sabido que a produtividade dos cultivos é reflexo direto de diferentes relações no sistema planto-solo-atmosfera, até porque os atributos físicos do solo apresentam elevada variabilidade em uma área tida como homogênea. Desta maneira, este trabalho teve como objetivo analisar a estrutura da variabilidade espacial da produtividade de soja e de atributos físicos do solo por meio de técnicas geoestatísticas e multivariadas. Os atributos foram determinados em um Latossolo Amarelo Distrófico Argissólico, em Mata Roma (Maranhão, Brasil), em 70 pontos de amostragem. A produtividade da soja ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) foi determinada em parcelas de  $18\text{m}^2$ , e os atributos físicos do amostrados nas camadas de 0.0-0.2 m e 0.2-0.4 m de profundidade, sendo: carbono orgânico ( $\text{g kg}^{-1}$ ), estoque de carbono ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ), condutividade hidráulica ( $\text{m dia}^{-1}$ ), densidade do solo ( $\text{Mg m}^{-3}$ ), macroporosidade ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ), microporosidade ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ), porosidade total ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ), areia total ( $\text{g kg}^{-1}$ ), areia grossa ( $\text{g kg}^{-1}$ ), areia fina ( $\text{g kg}^{-1}$ ), silte ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e argila ( $\text{g kg}^{-1}$ ). Os dados foram analisados por meio da estatística descritiva que forneceu os principais momentos estatísticos: média, desvio padrão, coeficiente de variação, assimetria, curtose e D (desvio máximo em relação à média por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov com probabilidade de erro de 1%). Posteriormente os dados foram analisados utilizando ferramentas de geoestatística, permitindo o ajuste do semivariograma e a construção de mapas de variabilidade espacial. A análise multivariada foi utilizada para se determinar as componentes principais dos dados em estudo, com o objetivo de se agrupar os atributos de solo e planta em estudo. Na camada superficial do solo (0.0-0.2 m) o manejo do solo com semeadura direta corroborou com a presença de efeito pepita puro para a maior parte dos atributos em estudo (condutividade hidráulica, densidade, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, areia total, silte e argila), quando comparada à camada subsuperficial (0.2-0.4 m) onde a maior parte das propriedades apresentaram dependência espacial por meio do semivariograma, exceto a densidade do solo, macroporosidade, areia total e areia fina. A análise variográfica dos scores dos autovalores da análise de componentes principais demonstrou que em ambas as camadas o semivariograma é mais estável e com maior dependência espacial entre as amostras. O semivariograma escalonado permitiu descrever que a produtividade do solo apresenta relação espacial com os demais atributos em estudo que se ajustaram ao semivariograma experimental. A análise de componentes principais confirmou que o manejo do solo interfere sobre a variabilidade explicada pelo agrupamento das

variáveis, sendo que a camada superficial (0.0-0.2 m) agrupou sete atributos (produtividade, argila, areia grossa, silte, condutividade hidráulica saturada, areia fina e areia total), enquanto que na camada subsuperficial o número é maior, com oito atributos (produtividade, areia total, areia fina, condutividade hidráulica do solo saturado, silte, areia grossa, argila e carbono orgânico). Os mapas de variabilidade espacial dos scores dos autovalores da análise de componentes principais demonstraram que é possível a determinação de zonas de manejo utilizando a PCA 1 nas duas profundidades em estudo, todavia, com estratégias de manejo diferentes.

**Palavras-chave:** Espaço Poroso, Estado de Compactação, Zonas de Manejo Específico, Geoestatística, Análise de Componentes Principais.

## 8.1 INTRODUÇÃO

O Brasil é considerado o celeiro da produção de soja no Mundo, sendo o segundo maior produtor, ficando atrás apenas dos estados Unidos (FAO, 2017) Dentro desse panorama, o estado do Maranhão é considerado uma das últimas fronteiras agrícolas do Brasil (CONAB, 2017). Com a expansão da cultura da soja nessa região, iniciou-se a tentativa de se implantar o sistema de semeadura direta já é consolidado no sul do país.

A adoção do sistema de semeadura direta destaca-se pela melhoria da qualidade e potencial produtivo do solo. Estudos apontam que a adoção do sistema de plantio direto aumenta a variabilidade espacial dos índices de fertilidade do solo, seja no sentido horizontal quanto no vertical (Zanão Júnior et al., 2010). Porém em uma mesma área, podem ser encontrados níveis diferentes de qualidade e de potenciais produtivos, mesmo que práticas de manejo tenham sido aplicadas uniformemente, enfatizando a importância da investigação das causas de variabilidade para a gestão agrícola (Amado et al., 2007).

O emprego de técnicas de agricultura de precisão possibilita maior controle sobre prováveis causas na redução da produtividade, bem como os impactos ambientais originados pelas práticas agrícolas. A mecanização agrária altera as propriedades naturais do solo, podendo gerar problemas como a compactação de camadas do solo, que influenciam a capacidade de aeração e infiltração. Desse modo, o conhecimento da variabilidade dos atributos do solo é imprescindível para a melhoria do manejo e maximização do uso de suprimentos, buscando ganhos de produtividade e redução de custos. (Bottega, et al., 2013; Arzeno, et al., 2014; Montezano, et al, 2006).

A utilização da geoestatística na agricultura tem-se tornado importante ferramenta da ciência do solo desde as suas primeiras aplicações no início da década de 1980 (Alesso, et al. 2012), por descrever e quantificar a variabilidade espacial de vários atributos de solo e planta. O uso de semivariogramas e métodos de interpolação, como a krigagem, permite a descrição do comportamento de um atributo dentro da área estudada, possibilitando um mapeamento detalhado e qualificado, determinando o grau de dependência de uma grandeza medida e o domínio em cada amostragem (Bottega, et al., 2013; Vázquez, et al., 2010).

Assim, o objetivo deste trabalho foi analisar a estrutura da variabilidade espacial da produtividade de soja e de atributos físicos do solo por meio de técnicas geoestatísticas e multivariadas, no município de Mata Roma (Maranhão, Brasil).

## 8.2 MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo está localizada no município de Mata Roma, Estado do Maranhão, Brasil, cujas as coordenadas são 3° 70' 80.88'' S e 43° 18' 71.27'' W. O clima da região é do tipo AW, quente e úmido, segundo a classificação de Köppen, com duas estações bem definidas, uma chuvosa (dezembro a maio) e outra seca (junho a novembro) e precipitação média de anual de 1835 mm. O solo da área de estudo, segundo a classificação USDA (2010) é um Oxisol e de acordo com o SBCS (2013) é um Latossolo Amarelo Distrófico Argissólico. A área apresenta cerca de 44,75 ha cultivados a nove anos com soja (*Glicine max* L.), sob sistema de semeadura direta.

As amostragens da produtividade de soja ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e dos atributos físicos do solo ocorreram no ano agrícola de 2015/2016, em 70 pontos amostrais usando uma malha regular. O levantamento topográfico e o posicionamento dos locais de amostragem de solo foram feitos por meio de receptores GPS, pelo método estático com correção diferencial pós-processada (DGPS estático) (Figura 1).

Na área de estudo foram amostrados os seguintes atributos do solo nas camadas de 0.0-0.2 m e 0.2-0.4 m de profundidade: carbono orgânico ( $\text{g kg}^{-1}$ ), estoque de carbono ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ), condutividade hidráulica ( $\text{m dia}^{-1}$ ), densidade do solo ( $\text{Mg m}^{-3}$ ), macroporosidade ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), microporosidade ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), porosidade total ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), areia total ( $\text{g kg}^{-1}$ ), areia grossa ( $\text{g kg}^{-1}$ ), areia fina ( $\text{g kg}^{-1}$ ), silte ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e argila ( $\text{g kg}^{-1}$ ).

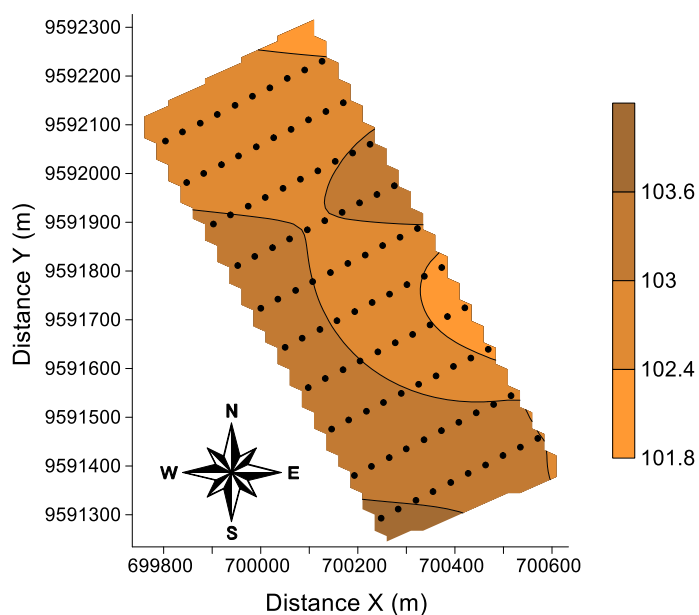


Figura 1: Mapa de diferença de nível na área de estudo e localização dos 70 pontos de amostragem.

A produtividade da soja ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) foi determinada no dia 20/04/2016 em cada um dos pontos de amostragem, em parcelas de 18  $\text{m}^2$ , após colheita os grãos foram secos em estufa a  $65^\circ\text{C}$ , pesados e determinada a produtividade em  $\text{kg ha}^{-1}$ .

A condutividade hidráulica do solo saturado ( $\text{m dia}^{-1}$ ) foi determinada em campo com permeâmetro de Ghelph, sendo as leituras de fluxo constante do permeâmetro de Ghelph permitiu o cálculo da condutividade hidráulica do solo saturado seguindo os pressupostos de Reynolds et al. (1983).

Amostras de solo indeformadas foram coletadas por meio de anéis volumétricos e 100  $\text{cm}^3$  para a determinação da densidade do solo ( $\text{Mg m}^{-3}$ ), macroporosidade ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ), microporosidade ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) e porosidade total ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ), de acordo com metodologia EMBRAPA (1997). Amostras deformadas de solo foram coletadas para determinação em laboratório do conteúdo de areia total ( $\text{g kg}^{-1}$ ), areia grossa ( $\text{g kg}^{-1}$ ), areia fina ( $\text{g kg}^{-1}$ ), silte ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e argila ( $\text{g kg}^{-1}$ ) por meio do método do densímetro, segundo EMBRAPA (1997).

O carbono orgânico ( $\text{g kg}^{-1}$ ) foi determinado por espectrofotometria (RAIJ et al., 2001). e o estoque de carbono ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) calculado conforme proposto por Veldkamp (1994):  $EstC = (CO \times Ds \times E)/10$ ; onde  $EstC$  é o estoque de carbono ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ),  $CO$  é o teor de carbono orgânico ( $\text{g kg}^{-1}$ ),  $Ds$  é a densidade do solo ( $\text{Mg m}^{-3}$ ) e  $E$  é a espessura da camada estudada (0,20 m).

Os principais momentos estatísticos [média, variância, desvio padrão, coeficiente de variação, assimetria, curtose e D (desvio máximo em relação à distribuição normal por meio



do teste de Kolmogorov-Smirnov com probabilidade de erro de 0,01] foram determinados utilizando o software Statistica 12.0 (STATSOFT, 2015). Matrizes de correlação linear foram construídas com o objetivo de se determinar as relações de causa e efeito entre os atributos em estudo.

As pressuposições da hipótese intrínseca da geoestatística foram consideradas no processo de modelagem do semivariograma experimental, segundo Vieira (2000), permitindo a modelagem espacial dos dados por meio da estacionariedade do semivariograma com variância finita (Siqueira et al., 2015). Detectada a variabilidade por meio do semivariograma, os mesmos foram ajustados a um modelo experimental (esférico, exponencial e gaussiano) considerando os seguintes parâmetros: efeito pepita ( $C_0$ ); variância estrutural ( $C_1$ ) e alcance ( $a$ ), por meio da técnica de “*jack-knifing*” (Vieira et al., 2000).

Semivariogramas escalonados foram construídos com o objetivo de se avaliar os padrões de variabilidade espacial dos pares variância dos atributos em estudo, considerando-se a Equação 1 (Vieira et al., 1997), permitindo a sobreposição de atributos com diferentes grandezas escalares por meio da padronização dos pares de semivariância, conforme descrito por SIQUEIRA et al. (2015).

$$y^{sc}(h) = \frac{y(h)}{var(z)} \quad (1)$$

onde:  $y^{sc}(h)$  é o semivariograma escalonado;  $y(h)$  é o semivariograma original e  $Var(h)$  a variância dos dados.

O grau de dependência espacial [ $GD=(C_0/C_0+C_1)*100$ ] entre as amostras foi determinado conforme Cambardella et al. (1994), sendo classificado como: baixo (75-100%), médio (25-75%) e elevado (0-25%).

A análise multivariada dos dados foi realizada considerando os atributos que não apresentam colinearidade, sendo que dos 12 atributos em estudo para cada camada, foram selecionados 10. Após a seleção e padronização das variáveis (média nula e variância unitária), a análise foi processada no programa Statistica 12.0 (STATSOFT, 2015). A análise de componentes principais (PCA) foi realizada para cada uma das camadas em estudo (0.0-0.2 m e 0.2-0.4 m de profundidade), e calculada a partir da matriz de correlação entre as variáveis (Jeffers, 1978). A PCA é considerada uma técnica de interdependência, em que as variáveis não são definidas como dependentes ou independentes, pois são analisadas simultaneamente, permitindo a comparação de diferentes propriedades, desde que respeitada a colinearidade entre os atributos.

Para a composição do gráfico biplot dos fatores da PCA foi considerado o conjunto de autovetores ( $PC_1, PC_2, \dots, PC_h$ ) que explicassem mais de 60 % da variabilidade explicada

dos dados, sendo a variância retida em cada componente principal calculada conforme Equação 2:

$$CP_h = \frac{\lambda_h}{(C)} 100 \quad (2)$$

onde  $CP_h$  = componente principal  $h$ ;  $\lambda_h$  = autovalor  $h$ ;  $C$  = matriz de covariância; por meio do traço  $(C) = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_h$ .

Posteriormente, para cada um dos autovalores ( $PC_1, PC_2, \dots, PC_h$ ) que explicassem mais de 60 % da variabilidade dos dados, foi verificada a presença de outliers por meio da técnica de Hotelling  $T^2$  para os autovalores, considerando o número de outliers presente nos dados. Após avaliada a presença de outliers na PCA, a validação foi realizada considerando a soma quadrática de erros de previsão ( $[SPE(Q)]$ ). Em seguida os autovalores que explicassem mais de 65 % da variabilidade dos dados, foram plotados em um gráfico de bidimensional.

Após a validação da PCA, os scores de cada autovalor foram determinados para posterior avaliação da variabilidade espacial por meio do ajuste do semivariograma experimental, semivariograma escalonado e construção do mapa de variabilidade espacial.

A técnica de interpolação por krigagem foi utilizada para determinar os valores dos locais não amostrados, buscando uma estimação linear (Equação 3), sem tendência (Equação 4) e com variância mínima (Equação 5) considerando os valores da análise espacial determinada por meio do semivariograma experimental.

$$Z^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z_i \quad (4)$$

$$E(Z^*) = E(Z) \text{ que é equivalente a } \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (5)$$

$$E[(Z^* - Z)^2] \quad (6)$$

O programa SURFER 11 (Golden Software, 2014) foi utilizado para construção dos mapas de isolinhas para os atributos em estudo. Desta maneira, os parâmetros de ajuste do semivariograma foram utilizados no processo de construção dos mapas de isolinhas dos atributos que apresentaram variabilidade espacial. Para efeito de comparação entre os diferentes atributos e distintas camadas do solo em estudo, para os atributos que não apresentaram variabilidade espacial, os mapas de isolinhas foram construídos utilizando os parâmetros de “default” do programa SURFER, que se baseia em um modelo de interpolação linear por krigagem (Golden Software, 2014).

### 8.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estatística descritiva dos atributos estudados é apresentada na Tabela 1. Para a camada 0.0-0.1 m todos os dados apresentaram distribuição normal segundo teste de Kolmogorov-Smirnov (D) com 0.01 de probabilidade, com exceção do carbono orgânico (CO) e condutividade hidráulica. Os valores de assimetria foram abaixo de 1 para densidade, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, areia total, areia grossa, areia fina silte e argila. Corroborando com os resultados Andreotti et al., (2010) para variabilidade espacial de porosidade e densidade em um Latossolo Vermelho.

Tabela 1: Parâmetros estatísticos para os atributos físicos do solo nas camadas de 0.0-0.2 m e 0.2-0.4 m de profundidade cultivado com soja.

	Mean	Variance	SD	CV (%)	Skew	Kurtosis	D*
Produtividade	3770.71	189447	435.25	11.54	0.11	-0.50	0.065n
0.0-0.2 m de profundidade							
CO	7.34	11.912	3.45	47.04	1.15	1.43	0.194Ln
EstC	18.27	70.685	8.41	46.02	1.26	1.97	0.176n
Condutividade hidráulica	7.52	270.600	86.86	32.54	57.05	65.68	0.129 n
Densidade (Ds)	1.05	1.395	1.27	25.00	0.07	5.39	0.087 n
Macroporosidade (Macro)	0.09	0.364	0.17	22.00	0.04	23.52	0.121 n
Microporosidade (Micro)	0.24	0.439	0.38	21.00	0.03	7.96	0.109 n
Porosidade total (PT)	0.49	0.610	0.55	21.00	0.03	4.98	0.123 n
Areia Total (AT)	745.26	1826.455	42.74	5.74	-0.02	0.70	0.161n
Areia grossa (AG)	190.13	1071.302	32.73	17.22	0.80	2.99	0.175n
Areia fina (AF)	555.13	1605.679	40.07	7.22	-0.99	0.57	0.173n
Silte	138.21	1961.185	44.29	32.04	0.16	-0.40	0.064n
Argila	117.14	1640.994	40.51	34.58	0.91	0.54	0.158n
0.2-0.4 m de profundidade							
CO	8.70	9.767	3.13	35.906	1.45	1.53	0.189n
EstC	22.46	65.069	8.07	35.916	1.40	1.42	0.166n
Condutividade hidráulica	92.20	4256.019	65.24	70.000	1.50	1.83	0.203 Ln
Densidade (Ds)	1.29	0.004	0.07	51.800	-0.02	0.12	0.067 n
Macroporosidade (Macro)	0.16	0.001	0.03	16.340	-0.21	-0.02	0.067 n
Microporosidade (Micro)	0.37	0.001	0.02	23.500	-0.28	0.98	0.079 n
Porosidade total (PT)	0.53	0.001	0.03	24.200	-0.02	-0.65	0.068 n
Areia Total (AT)	737.87	1719.157	41.46	5.619	-0.17	-0.22	0.163n
Areia grossa (AG)	191.84	1003.671	31.68	16.514	0.46	1.40	0.119n
Areia fina (AF)	545.93	2095.343	45.77	8.385	-0.97	-0.11	0.192n
Silte	141.70	1570.387	39.63	27.966	0.25	0.09	0.089n
Argila	120.63	1625.686	40.32	33.425	0.82	0.43	0.149n

SD = desvio padrão; CV = coeficiente de variação, Skew: assimetria; D = desvio máximo em relação a média por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov com probabilidade de erro de 1%; CO= g kg<sup>-1</sup>; EstC= Mg ha<sup>-1</sup>; Condutividade hidráulica= m dia<sup>-1</sup>; Densidade= Mg m<sup>-3</sup>; Macroporosidade= m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>; Microporosidade= m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>; Porosidade total= m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>; Areia total= g kg<sup>-1</sup>; Areia fina= g kg<sup>-1</sup>; Silte= g kg<sup>-1</sup>; Argila= g kg<sup>-1</sup>.

Os valores de curtose variaram entre -0.50 a 65.68 para produtividade da soja e condutividade elétrica, respectivamente. Com a análise dos coeficientes de assimetria e curtose é possível identificar se o conjunto de dados apresentam distribuição normal ou não. De acordo com Carvalho et al. (2002), valores de assimetria e curtose próximos a 0 e 3 são

um indicativo de distribuição normal dos dados. Para a camada 0.2-0.4 m somente a condutividade hidráulica não apresentou distribuição normal. Os valores de curtose variaram entre -0.22 e 1.83 para areia grossa e condutividade elétrica respectivamente. Vieira et al., (2010) também encontraram curtose negativa para areia grossa em um Latossolo sob semeadura direta.

O coeficiente de variação (CV) foi classificado de acordo com Wilding & Drees (1983) como baixo (<15%) para areia total e areia fina e produtividade, enquanto que para os demais atributos da camada de 0.0-0.2 foram classificados como médios ( $> 15\% \leq 35\%$ ) para densidade, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, areia grossa, condutividade hidráulica argila e silte e alto ( $>35\%$ ) para carbono orgânico, estoque de carbono. Santos et al., (2012) encontraram CV para macroporosidade de 30% sob cultivo de soja em Latossolo Vermelho.

Para camada de 0.2-0.4 m o CV foi considerado alto para carbono orgânico, estoque de carbono e condutividade hidráulica, os demais atributos foram classificados entre baixo e médio. O coeficiente de variação para produtividade nesse estudo, apresentou-se menor quando comparado a outros estudos realizados em Latossolo, indicando assim, baixa variabilidade entre os dados (Johann et al., 2004).

A produtividade média de soja de  $3370 \text{ kg ha}^{-1}$ , ressaltando que a média para o estado do Maranhão é de 3010 e a nacional  $3364 \text{ kg ha}^{-1}$  (CONAB, 2017). O sistema de manejo adotado na área pode ter sido determinante para manter a produtividade acima da média estadual. Outros estudos também apontam valores de produtividade de soja semelhantes sistema de semeadura direta (Andreotti et al., 2010) e para região semelhante a que foi realizada o estudo (Petter et al., 2012).

Para os atributos do solo é possível observar que tanto os teores de carbono orgânico quanto o estoque a média foram maiores para a camada 0.2-0.4m. As condições climáticas da região podem ter influenciado nisso, uma vez que as altas temperaturas juntamente com o regime de chuva intenso acabam por degradar a matéria orgânica do solo superficial mais rapidamente. Contudo, Matias et al., (2009) em estudo realizado no cerrado piauiense encontraram comportamento diferente, uma vez que o maior estoque de carbono foi encontrado na camada superficial para Latossolo Amarelo sob semeadura direta, nesse caso é importante ressaltar que o solo não apresentava característica coesa. Outrora Campos et al., (2013) observaram maior estoque de carbono para a camada 20-40 após 9 anos de implantação do sistema de semeadura direta também no Piauí. Desse modo, o tempo de

adoção do sistema é um fator importante que deve ser levado em consideração ao se estudar a variação do estoque de carbono.

A densidade do solo foi menor na camada superficial. Azevedo et al., (2007) em estudo realizado na mesma região observaram densidade do solo maior em áreas de semeadura direta quando comparadas ao cultivo convencional. Os teores de areia, silte e argila não variaram entre as camadas, ressaltando que o solo apresentou maiores teores de areia, seguidos de silte e argila

A matriz de correlação linear é apresentada na tabela 2. Alguns atributos do solo para camada de 0.0-0.2 m apresentaram valores negativos de correlação com a produtividade, tais como CO, EstC, condutividade hidráulica, DS, Micro e argila. Para camada de 0.2-0.4 os atributos que se correlacionaram negativamente com a produtividade foram: CO, EstC, Macro, PT e argila. Nesse caso, a associação mantida por esses atributos é inversa, ou seja, a medida que um cresce o outro tende a diminuir.

Correlação linear positiva para camada de 0.0-0.2m foram observadas para argila x CO, areia total e fina x condutividade hidráulica, areia total x macro, silte x micro. Para camada 0.2-0.4 m foi observado comportamento semelhante.

Os parâmetros de ajuste do semivariograma são apresentados na Tabela 3. Para camada 0.0-0.2m a densidade, macro, micro, PT, AT, silte e argila apresentaram efeito pepita puro. Enquanto que a produtividade, CO e EstC apresentaram modelo esférico e areia grossa e fina modelo exponencial. Pesquisadores afirmam que o modelo esférico é o que mais se ajusta a variáveis de solo e plantas (Cambardella et al., 1994; Vieira, 2000; Siqueira et al., 2008; Chiba et al., 2010; Siqueira et al., 2015).

Por outro lado, para a camada de 0.2-0.4m somente a densidade, macro, areia total e areia fina apresentaram efeito pepita puro, porosidade total apresentou modelo esférico, enquanto que CO, EstC e areia grossa o modelo foram gaussiano, condutividade elétrica, porosidade total, silte e argila ajustaram-se ao modelo exponencial, desse modo todos os atributos que se ajustaram há algum modelo apresentam dependência espacial. Porém, a presença de efeito pepita observado nesse estudo indica que o espaçamento utilizado para essas variáveis não foi o suficiente para detectar variabilidade espacial. O sistema de semeadura direta confere a camada superficial do solo características bem intrínsecas devido à falta de revolvimento, desse modo apresentando maior número de PNE quando comparada à camada subperifical.

Tabela 2: Matriz de correlação linear dos atributos físicos do solo nas camadas de 0.0-0.2 m e 0.2-0.4 m de profundidade cultivado com soja.

Camada de 0.0-0.2 m de profundidade													
	Produtividade	CO	EstC	Condutividade hidráulica	Densidade	Macroporosidade	Micro porosidade	Porosidade total	Areia Total	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila
Produtividade	1.000												
CO	-0.107	1.000											
EstC	-0.149	0.992	1.000										
Condutividade hidráulica	-0.105	-0.162	-0.157	1.000									
Densidade (Ds)	-0.202	-0.244	-0.132	0.041	1.000								
Macroporosidade (Macro)	0.297	0.014	-0.052	-0.075	-0.629	1.000							
Micro porosidade (Micro)	-0.163	-0.153	-0.089	0.077	0.652	-0.729	1.000						
Porosidade total (PT)	0.254	-0.145	-0.170	-0.025	-0.198	0.655	0.040	1.000					
Areia Total (AT)	0.036	-0.239	-0.279	0.022	-0.066	0.290	-0.092	0.322	1.000				
Areia grossa (AG)	0.045	0.054	0.057	-0.157	0.007	0.121	-0.103	0.063	0.462	1.000			
Areia fina (AF)	0.002	-0.299	-0.343	0.152	-0.076	0.210	-0.014	0.291	0.689	-0.324	1.000		
Silte	0.159	-0.010	0.022	-0.020	-0.008	-0.242	0.097	-0.247	-0.567	-0.201	-0.440	1.000	
Argila	-0.211	0.263	0.270	-0.002	0.080	-0.045	-0.006	-0.073	-0.435	-0.266	-0.247	-0.495	1.000

Camada de 0.2-0.4 m de profundidade													
	Produtividade	CO	EstC	Condutividade hidráulica	Densidade	Macroporosidade	Micro porosidade	Porosidade total	Areia Total	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila
Produtividade	1.000												
CO	-0.065	1.000											
EstC	-0.041	0.990	1.000										
Condutividade hidráulica	0.102	0.217	0.194	1.000									
Densidade (Ds)	0.210	-0.074	0.061	-0.139	1.000								
Macroporosidade (Macro)	-0.177	-0.057	-0.152	-0.014	-0.689	1.000							
Micro porosidade (Micro)	0.163	-0.051	0.022	-0.059	0.568	-0.499	1.000						
Porosidade total (PT)	-0.030	-0.107	-0.138	-0.070	-0.180	0.571	0.426	1.000					
Areia Total (AT)	0.058	-0.305	-0.276	0.138	0.172	-0.120	-0.052	-0.175	1.000				
Areia grossa (AG)	0.013	0.011	0.008	0.057	-0.009	0.010	-0.005	0.006	0.237	1.000			
Areia fina (AF)	0.048	-0.282	-0.255	0.087	0.167	-0.120	-0.040	-0.163	0.741	-0.477	1.000		
Silte	0.228	0.039	0.046	-0.200	0.055	-0.106	0.129	0.011	-0.503	-0.123	-0.370	1.000	
Argila	-0.281	0.274	0.236	0.055	-0.231	0.229	-0.072	0.171	-0.533	-0.126	-0.395	-0.463	1.000

CO= g kg<sup>-1</sup>; Estc= Mg ha<sup>-1</sup>; Condutividade hidráulica= m dia<sup>-1</sup>; Densidade= Mg m<sup>-3</sup>; Macroporosidade= m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>; Micro porosidade= m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>; Porosidade total= m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>; Areia total= g kg<sup>-1</sup>; Areia fina= g kg<sup>-1</sup>; Silte= g kg<sup>-1</sup>; Argila= g kg<sup>-1</sup>.

Tabela 3: Parâmetros de ajuste do semivariograma para os atributos do solo nas camadas de 0.0-0.2 m e 0.2-0.4 m de profundidade cultivado com soja.

	Modelo	C <sub>0</sub>	C <sub>0</sub> +C <sub>1</sub>	a (m)	r <sup>2</sup>	RSS	GD
Camada de 0.0-0.2 m de profundidade							
Produtividade	Spherical	145000	250160	200	0.724	35.6	57.96
CO	Spherical	2.61	13.27	255	0.843	29.4	19.67
EstC	Spherical	17.7	79.5	251	0.792	1380	22.26
Condutividade hidráulica				PNE			
Densidade (Ds)				PNE			
Macroporosidade (Macro)				PNE			
Microporosidade (Micro)				PNE			
Porosidade total (PT)				PNE			
Areia Total (AT)				PNE			
Areia grossa (AG)	Exponential	154	1788	84	0.699	322702	8.61
Areia fina (AF)	Exponential	116	1035	52	0.341	234020	11.21
Silte				PNE			
Argila				PNE			
Camada de 0.2-0.4 m de profundidade							
CO	Gaussian	8.42	22.64	166	0.313	628	37.19
EstC	Gaussian	59.5	217.66	143	0.337	35338	27.34
Condutividade hidráulica	Exponential	470	4490	46	0.37	2322276	10.47
Densidade(Ds)				PNE			
Macroporosidade (Macro)				PNE			
Microporosidade (Micro)	Exponential	0.00006	0.00057	46	0.553	1.29E-08	10.53
Porosidade total (PT)	Spherical	0.00002	0.00064	52	0.587	1.55E-08	3.13
Areia Total (PT)				PNE			
Areia grossa (AG)	Gaussian	205	1061	58	0.69	248241	19.32
Areia fina (AF)				PNE			
Silte	Exponential	278	1728	54	0.589	554948	16.09
Argila	Exponential	454	1717	59	0.726	301392	26.44

CO= g kg<sup>-1</sup>; Estc= Mg ha<sup>-1</sup>; Condutividade hidráulica= m dia<sup>-1</sup>; Densidade= Mg m<sup>-3</sup>; Macroporosidade= m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>; Microporosidade= m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>; Porosidade total= m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>; Areia total= g kg<sup>-1</sup>; Areia fina= g kg<sup>-1</sup>; Silte= g kg<sup>-1</sup>; Argila= g kg<sup>-1</sup>.

Os valores de alcance (a) indicam até que ponto as amostras possuem correlação entre si, demonstrando a distância máxima em que as amostras possuem variabilidade espacial (Vieira, 2000). Nesse estudo para a camada de 0.0-0.2m os valores de alcance variaram entre 255 a 52, enquanto que para a camada 0.2-0.4m o alcance variou entre 166 a 46. Para esta mesma camada valores de alcance foram menores para grande parte das variáveis, provavelmente devido a maior homogeneidade dos atributos do solo para camada subperifical. Nessa mesma camada verifica-se que os valores de C<sub>0</sub> são menores, indicando maior precisão do experimento e confirmando maior dependência espacial entre as amostras (GD).

O grau de dependência da produtividade foi de 57.96, de acordo com de acordo com Cambardella et al. (1994) pode ser classificado como médio ( $>25\% \leq 75\%$ ). Para os atributos do solo, na camada 0.0-0.2m o grau de dependência foi baixo ( $<25\%$ ) para todos os atributos, para a camada 0.2-0.4m, os atributos apresentaram comportamento semelhante com exceção do Estc, OC, e argila que apresentaram grau de dependência mediano.

Os semivariogramas escalonados são apresentados na Figura 2 para as camadas 0-0.2m e 0.2-0.4m. Observa-se que a produtividade, CO, EstC apresentam comportamento similar da variabilidade dos pares de semivariância em ambas as camadas. Mesmo apresentando grandezas escalares diferentes, a variância dos pares apresenta um comportamento semelhante em ambas as camadas.

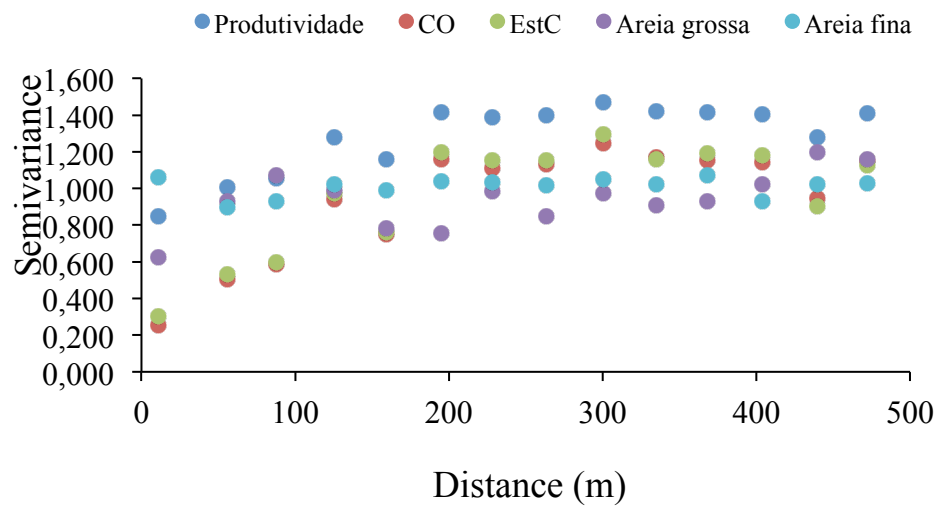
O semivariograma escalonado para a camada de 0.0-0.2 m de profundidade (Figura 2a) é composto por cinco das propriedades em estudo (produtividade, CO, EstC, areia grossa e areia fina). Verifica-se que todas as propriedades apresentam comportamento similar e que apenas os pares de semivariância escalonados do conteúdo de areia fina apresenta comportamento distintos dos demais. Enquanto produtividade, CO, EstC e areia grossa apresentam crescimento dos pares de semivariância com estabilização em uma distância aproximada de 200 m, o conteúdo de areia fina possui um primeiro par com comportamento distinto na pequena distância e com estabilização em 150 m aproximadamente.

Para o semivariograma escalonado na camada de 0.2-0.4 m de profundidade foi possível o agrupamento dos seguintes atributos em estudo: produtividade, microporosidade, CO, EstC, condutividade hidráulica e porosidade total. Neste caso todos os atributos apresentam comportamento similar, indicando que estes atributos apresentam comportamento espacial análogo na área de estudo, com algumas diferenças para a microporosidade e a porosidade total.

O mapa de variabilidade espacial da produtividade de soja é apresentado na Figura 3. A produtividade na área variou entre 2200 a 3300 kg ha<sup>-1</sup>, sendo que os maiores valores de produtividade ficaram ao lado norte da área, mais especificamente na região noroeste. O mapa de produtividade é muito semelhante ao mapa de carbono orgânico (Figura 4a). A manejo eficiente da matéria orgânica do solo, contribui no incremento da produtividade por conta do seu papel na ciclagem de nutrientes (Brady & Weil, 2013).



**a) Scaled semivariogram layer 0.0-0.2 m deep**



**b) Scaled semivariogram layer 0.2-0.4 m deep**

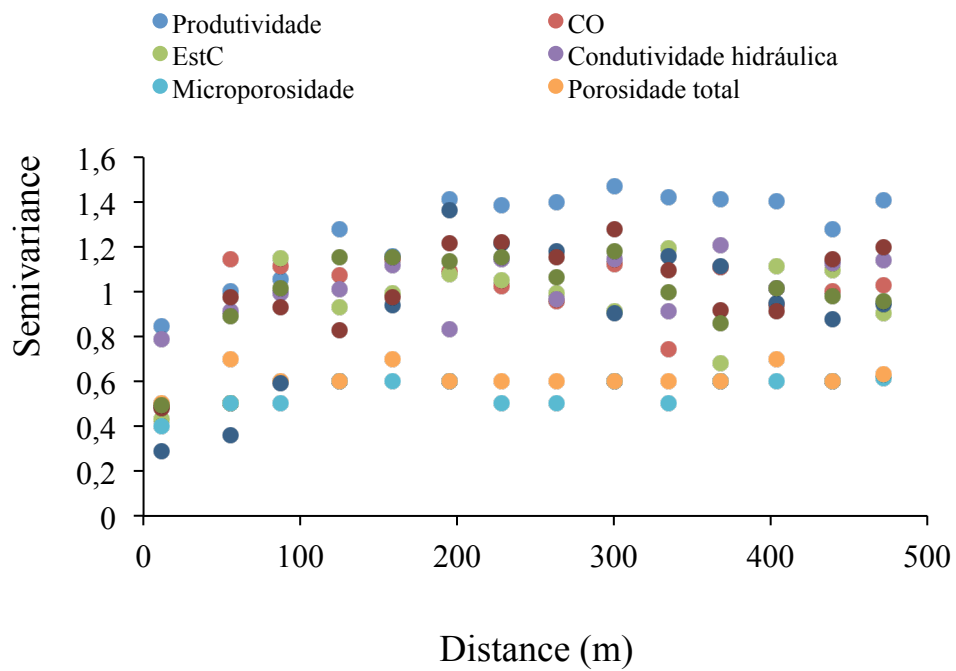


Figure 2: Semivariogramas escalonados para os atributos estudados que apresentaram dependência espacial nas camadas de 0.0-0.2 m e 0.2-0.4 m de profundidade.

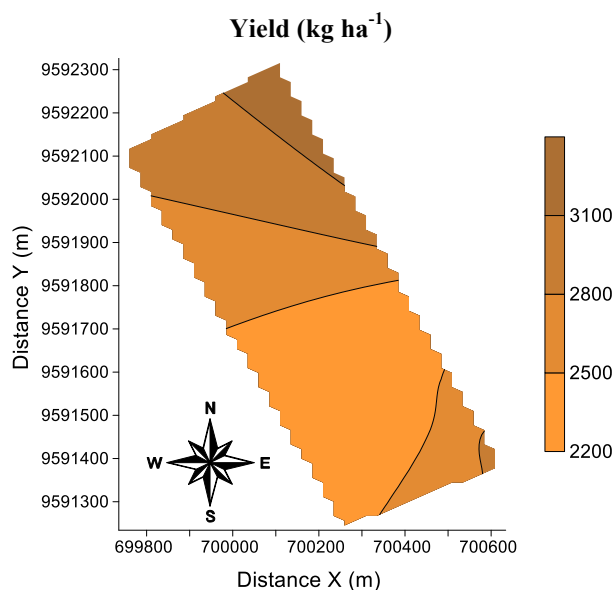


Figure 3: Mapa de variabilidade espacial da produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de soja na área de estudo.

Quanto as propriedades do solo, os mapas de variabilidade espacial são apresentados nas Figuras 4 e 5. O carbono orgânico e estoque de carbono apresentaram comportamento semelhantes quanto a distribuição na área para as duas camadas estudadas, o que diferiu foram as quantidades, devido a camada 0.2-0.4m ter apresentado maiores teores de CO e conseqüentemente maior estoque de carbono.

A condutividade hidráulica apresentou-se maior na camada 0.2-0.4 onde grande parte da área ficou na faixa de 170 a 220  $\text{m dia}^{-1}$ . Tal observação deve-se a característica coesa do solo em estudo, uma vez que nesses solos as camadas mais superficiais são mais adensadas, variando de muito duros a extremamente duros quando secos, passando a friáveis ou firmes quando úmidos (Embrapa, 2013).

A densidade do solo para a camada superficial foi maior na parte inferior do mapa, enquanto que para camada superior os maiores valores de compactação são observados na parte superior. Tal comportamento, deve-se principalmente ao tipo de manejo adotado na área.

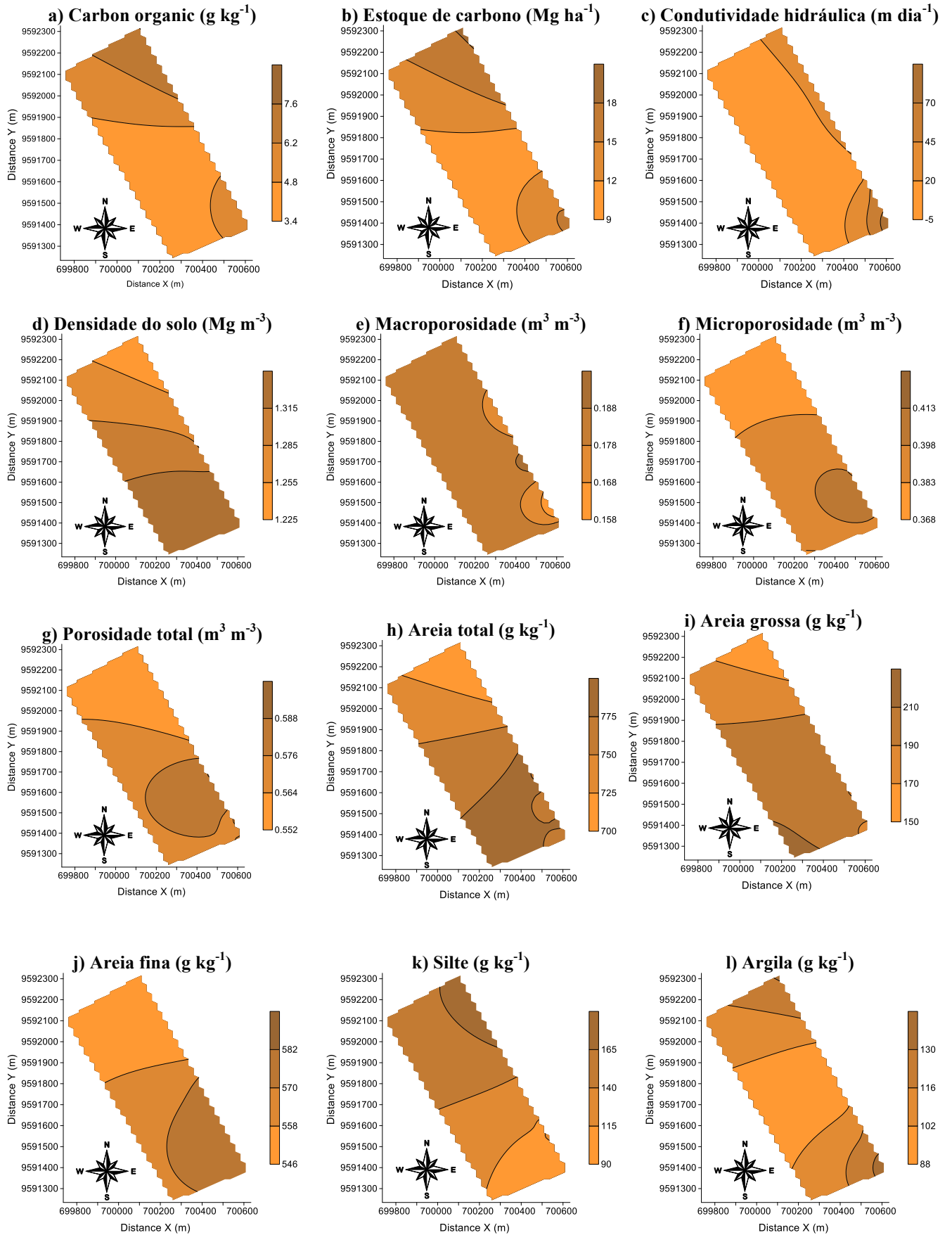


Figura 4: Mapas de variabilidade espacial para os atributos do solo cultivado com soja na camada de 0.0-0.2 m de profundidade.

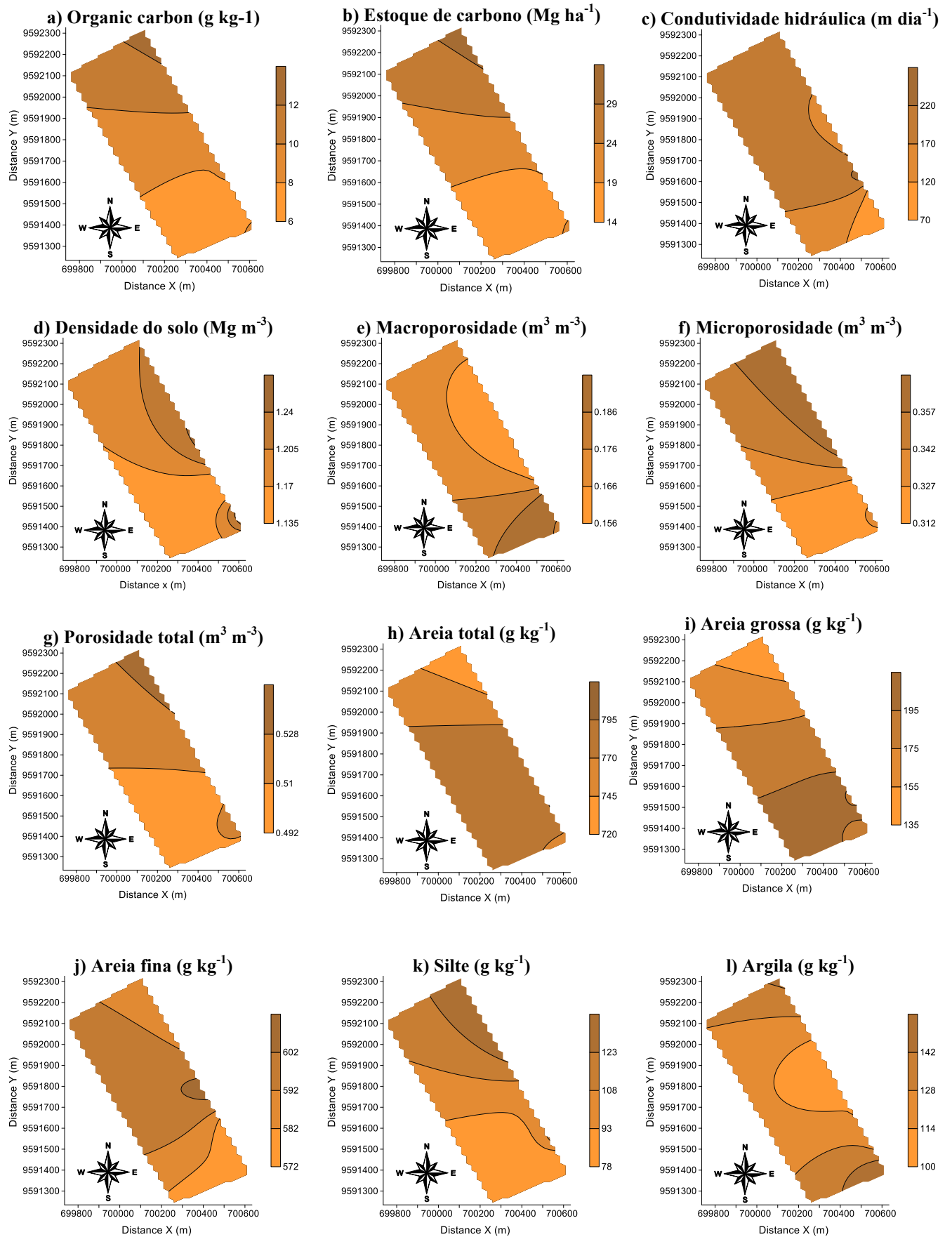
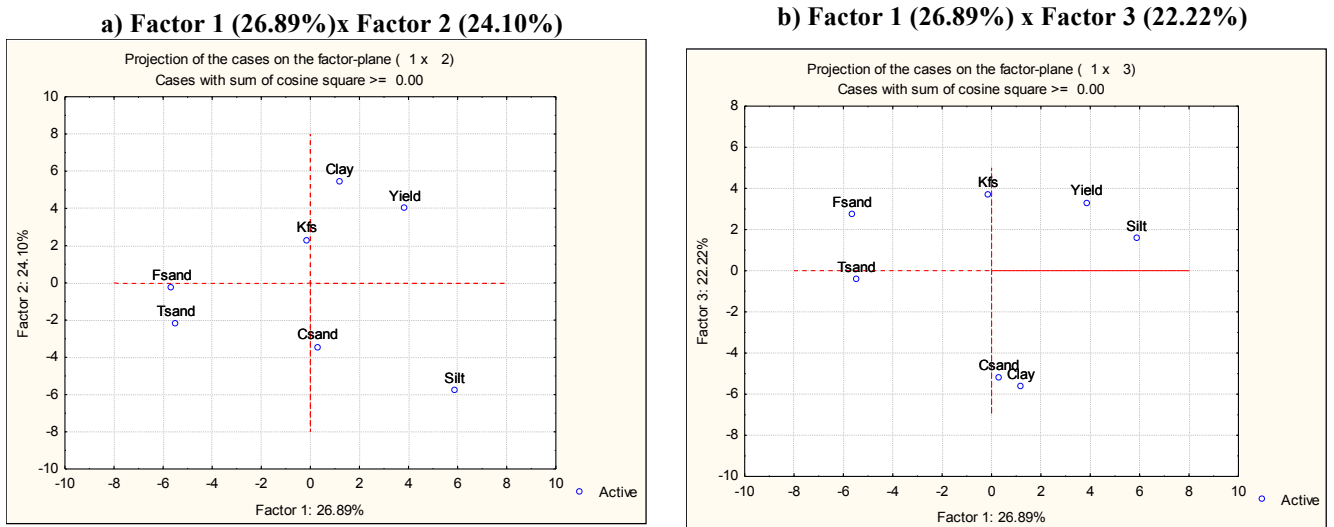


Figura 5: Mapas de variabilidade espacial para os atributos do solo cultivado com soja na camada de 0.2-0.4 m de profundidade.

De acordo com a análise de componentes principais (ACP) (Figura 6) é possível observar para a camada de 0.0-0.2m que o peso dos atributos no primeiro e no segundo componente são explicados em 51% e 49% respectivamente. Para esta camada, a argila foi o atributo que está mais fortemente associada a produtividade. Tal fato, pode ser explicado a capacidade da argila em reter nutrientes (Brady & Weil, 2013). Para camada 0.2-0.4m os pesos das componentes foram de 54% e 46% respectivamente. O estoque de carbono está associado com a argila. A matéria orgânica do solo é fortemente associada com a argila do solo, tal fato é amplamente discutido na literatura (Doetterl et al., 2015; Keiluweit et al., 2015).

#### Layer 0.0-0.2 m deep



#### Layer 0.2-0.4 m deep

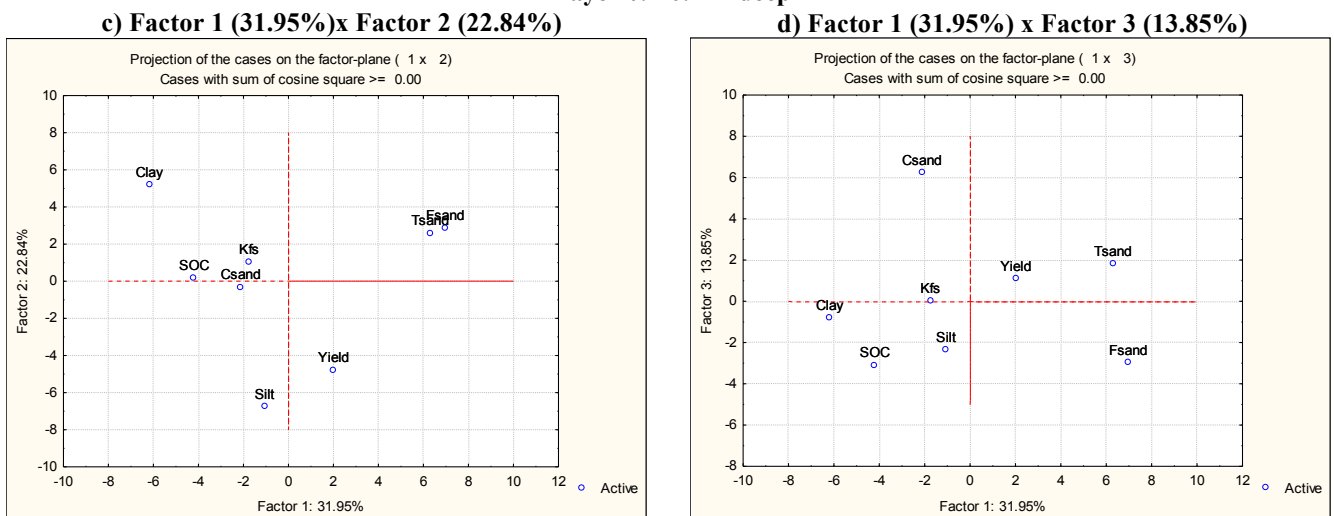


Figura 6: PCA – Análise de componentes principais para os atributos em estudo nas camadas de 0.0-0.2 m (a and b) e 0.2-0.4 m (c and d) de profundidade.

Consequente a análise de PCA, os resultados desta, foram submetidos a análise geoestatística, apresentados na tabela 4. Para ambas as camadas, as PCA's ajustaram-se ao modelo exponencial. O alcance também apresentou comportamento semelhante entre as camadas, variando de 28 a 47, o que pode ser considerado baixo. O grau de dependência espacial entre as PCA's foi considerado alto. Isso pode indicar, que a análise geoestatística das PCA's permite descrever com maior fidelidade a variabilidade dos atributos, uma vez que os semivariogramas apresentam-se mais estáveis. O conhecimento dos valores alcance possibilita o delineamento de futuras amostragens, assegurando as mesmas condições do estudo anterior (Carvalho et al., 2003).

Tabela 4: Parâmetros de ajuste do semivariograma para os componentes principais dos atributos em estudo nas camadas de 0.0-0.2 m e 0.2-0.4 m de profundidade.

	Modelo	$C_0$	$C_0+C_1$	a	r <sup>2</sup>	RSS	GD
Camada de 0.0-0.2 m de profundidade							
PCA 1 (26.89%)	Exponential	0.00007	0.00063	45	0.674	3.003E-08	11.11
PCA 2 (24.10%)	Exponential	0.00009	0.00085	38	0.235	5.297E-08	10.59
PCA 3 (22.22%)	Exponential	0.00020	0.00153	37	0.590	1.034E-07	13.07
Camada de 0.2-0.4 m de profundidade							
PCA 1 (31.95%)	Exponential	0.00006	0.00064	47	0.776	2.599E-08	9.38
PCA 2 (22.84%)	Exponential	0.00009	0.00089	34	0.633	6.236E-08	10.11
PCA 3 (13.85%)	Exponential	0.00020	0.00151	28	0.420	1.082E-07	13.25

Os semivariogramas escalonados para as PCA's (Figura 7) apresentam menos dissimetria entre os pares de variância, com menor ruído e consequentemente menor erro na estimação espacial. Na camada 0.0-0.2m a PCA 3 (22,22%) apresentou maior semivariância dos dados, enquanto que, para a camada 0.2-0.3m o comportamento para os pares de semivariância foram similares. Provavelmente, a adoção do sistema de semeadura direta fez com que a camada subperfcial apresentasse maior continuidade espacial.

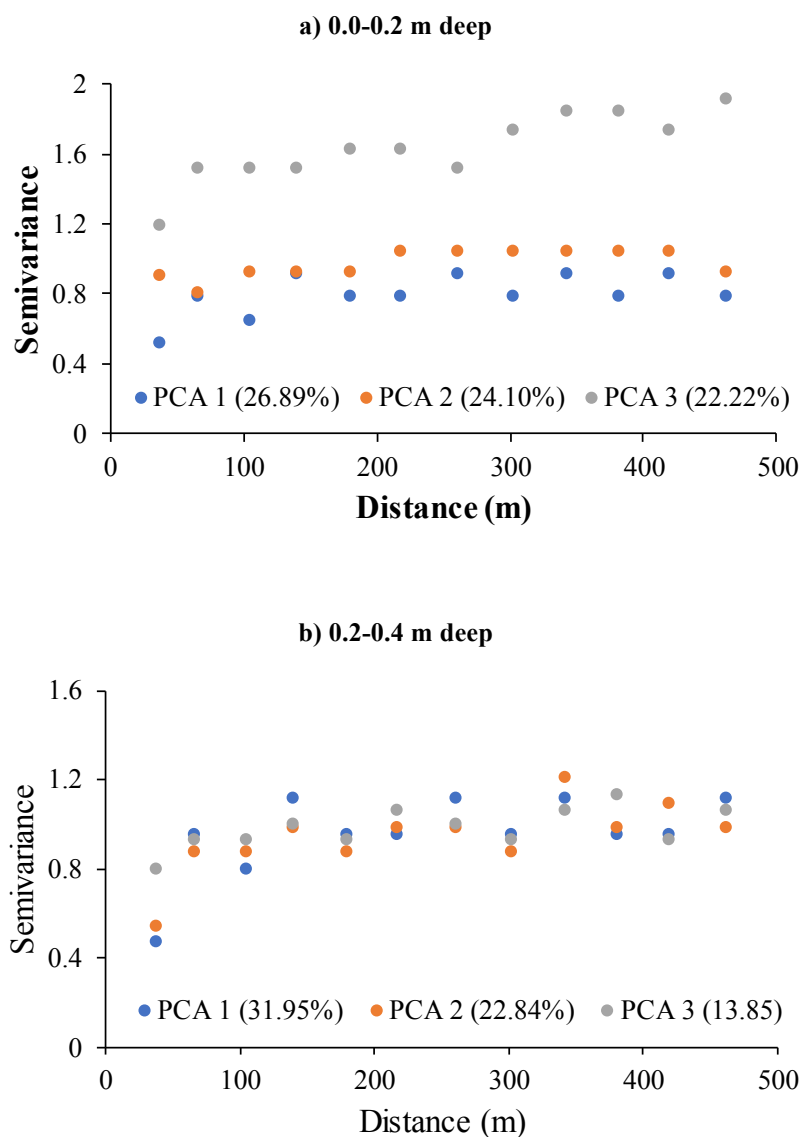
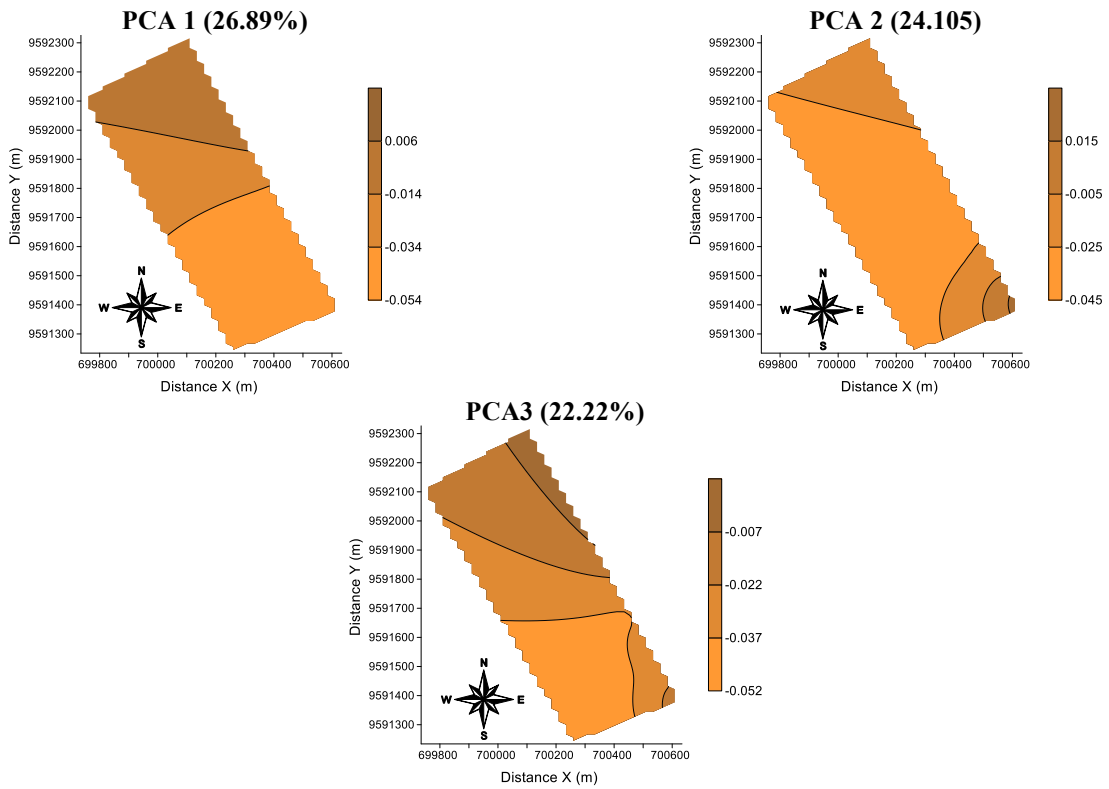


Figura 7: Semivariograma escalonado para os componentes principais dos atributos em estudo nas camadas de 0.0-0.2 m [a: PCA 1 (26.89%), PCA 2 (24.105) and PCA 3 (22.22%)] e 0.2-0.4 m [b: PCA 1 (31.95%), PCA 2 (22.84%) and PCA 3 (13.85%)] profundidade.

Ao analisar os mapas de distribuição espacial para a PCA's (Figura 8), observa-se que para PCA1 a distribuição mais forte das variáveis ficou concentrada na parte norte da área. Tal comportamento também foi observado para PCA2 e PCA3, demonstrando que para a camada 0.0-0.2m houve um comportamento semelhante. Porém, para a camada 0.2-0.4 a PCA1 mostrou uma distribuição distinta das demais PCA's, também vale ressaltar que para essa análise tal camada apresentou distribuição espacial diferente da camada 0.0-0.2m.

**0.0-0.2 m deep**



**0.2-0.4 m deep**

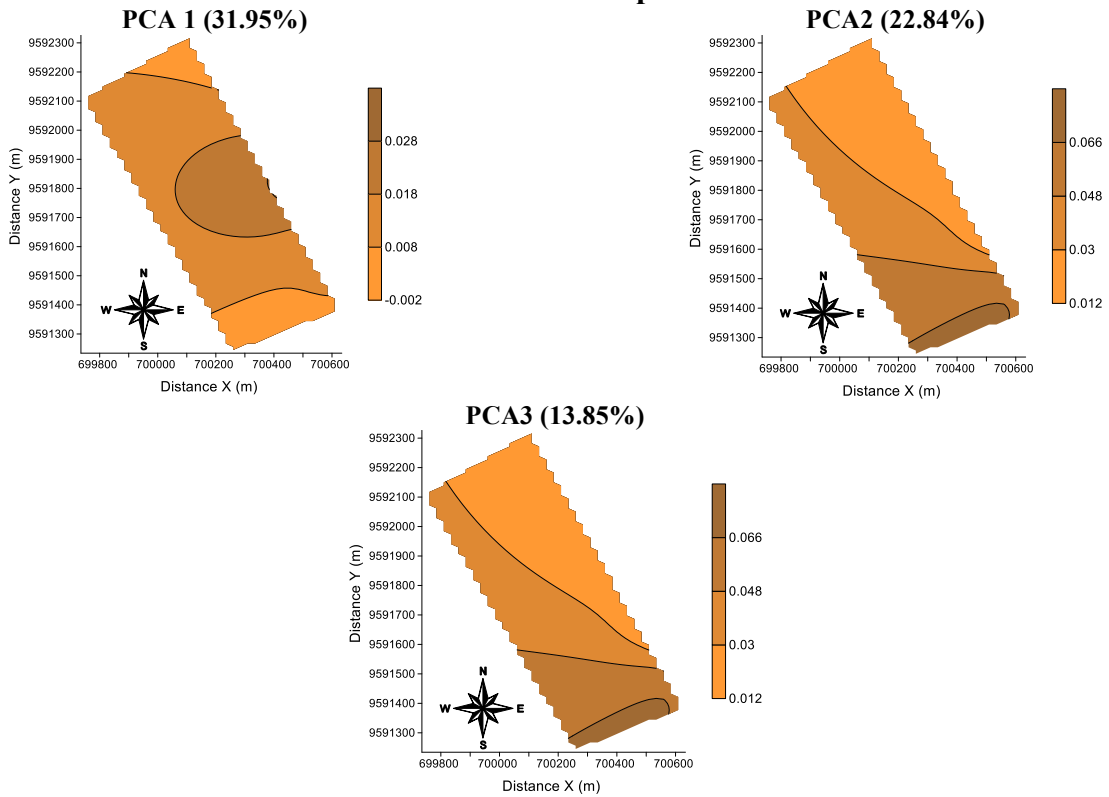


Figure 8: Mapas de distribuição espacial dos componentes principais (PCA) para a camada de 0.0-0.2 m [PCA 1 (26.89%), PCA 2 (24.105) and PCA 3 (22.22%)] e 0.2-0.4 m [PCA 1 (31.95%), PCA 2 (22.84%) and PCA 3 (13.85%)] de profundidade.



## 8.4 CONCLUSÕES

- 1) O manejo do solo com semeadura direta de soja atuou sobre a variabilidade espacial dos atributos físicos do solo, devido a ocorrência de maior frequência de efeito pepita puro na camada superficial (0.0-0.2 m) quando comparado a camada subsuperficial (0.2-0.4 m de profundidade).
- 2) A análise variográfica dos scores dos autovalores da análise de componentes principais demonstrou que em ambas as camadas o semivariograma é mais estável e com maior dependência espacial entre as amostras.
- 3) O semivariograma escalonado permitiu descrever que a produtividade do solo apresenta relação espacial com os demais atributos em estudo que se ajustaram ao semivariograma experimental.
- 4) A análise de componentes principais confirmou que o manejo do solo interfere sobre a variabilidade explicada pelo agrupamento das variáveis, sendo que a camada superficial (0.0-0.2 m) agrupou sete atributos (produtividade, argila, areia grossa, silte, condutividade hidráulica saturada, areia fina e areia total), enquanto que na camada subsuperficial o número é maior, com oito atributos (produtividade, areia total, areia fina, condutividade hidráulica do solo saturado, silte, areia grossa, argila e carbono orgânico).
- 5) Os mapas de variabilidade espacial dos scores dos autovalores da análise de componentes principais demonstraram que é possível a determinação de zonas de manejo utilizando a PCA 1 nas duas profundidades em estudo, todavia, com estratégias de manejo diferentes.

## 8.5 REFERÊNCIAS

- Alesso, C.A., Pilatti, M. Á, Imhoff, S. D. C., Grilli, M. 2012. Variabilidad espacial de atributos químicos y físicos en un suelo de la pampa llana santafesina. *CI. Suelo*, v. 30, 1, 85-93.
- Amado, T. J. C., Pontelli, C. B., Santi, A. L., Viana, J. H. M., Sulzbach, L. A. S. 2007. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.42, n.8, ago.,1101-1110.
- Andreotti, M., Carvalho, M. P., Montanari, R., Basso, F. C., Pariz, C. M., Azenha, M. V., Vercese, F. 2010. Produtividade da soja correlacionada com a porosidade e a densidade de um Latossolo Vermelho do cerrado brasileiro. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 40, n. 3, 520-526.
- Arzeno, J. L., Vieira, S. R., Siqueira, G. M., Guedes Filho, O. 2014. Variabilidade espacial da resistência à penetração na superfície do solo em sistemas de manejo. *Rev. Bras. Ciênc. Agrár. Recife*, v.9, n.3, p.343-352.

- Azevedo, D. M. P. De, Beltrão N. E. de M, Severino, L. S. 2007. Manejo cultural In: Azevedo, D. M. P., Beltrão, N. E. de M. (Ed.). O agronegócio da mamona no Brasil. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 223-253
- Bottega, E.L., Queiroz, D.M., Pinto, F.A.C., Souza, C.M.A., 2013. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. Rev. Ciênc. Agron. Fortaleza - CE, v. 44, n. 1, jan-mar, 1-9.
- Brady, N. C., Weil, R. R. Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos. 3.Ed. Porto Alegre: Buokman, 2013. 686p.
- Cambardella, C. A., Moorman, T. B., Novak, J. M., Parkin, T. B., Karlem, D. L., Turvo, R. F., Konopa, A. E. 1994. Field scale variability of soil properties in central Iowa soil. Soil Science of America Journal, v.47, 1501-1511.
- Campos, M. C. C., Soares, M. D. R., Santos, L. A. C., Oliveira, I. A., De Aquino, R. E., Bergamin, A. C. 2013. Variabilidade espacial dos atributos físicos em um Argissolo Vermelho sob floresta. Comunicata Scientiae, v. 4, n. 2, 168-178.
- Carvalho, J. R. P., Silveira, P. M., Vieira, S. R. 2002. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. Pesq. Agropec. Bras., 37:1151-1159.
- Chiba, M. K., Vieira, S. R., González, A. P., Dechen, S. C. F., Maria, I. C. de. 2010. Alterations and spatial variability of soil fertility in successive years under no tillage system. Bragantia, v. 69, 29-38.
- Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. 2017. Observatório agrícola: acompanhamento da safra brasileira de grãos, V. 4 - SAFRA 2017/18- N. 2 - Segundo levantamento, nov.
- Doetterl, S., Stevens, A., Six, J., Merckx, R., Van Oost, K., Casanova Pinto, M., Casanova-Katny, A., Muñoz, C., Boudin, M., Zagal Venegas E., Boeckx, P. 2015. Soil carbon storage controlled by interactions between geochemistry and climate. Nat. Geosci. 8, 780-783.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária — EMBRAPA. Manual de métodos de análises de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.
- Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.
- FAO. FaoStat – Food and agriculture organization of the united nations statistics. Disponível em: < <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>>. Acesso em 15 de Novembro de 2017.
- GOLDEN SOFTWARE. Surfer version 11: surface mapping system. Colorado, USA: Golden. Software, 2014. CD Rom.

- Johann, J. A.; Uribe-Opazo, M. A.; Souza, E. G.; Rocha, J. V. 2004. Variabilidade espacial dos atributos físicos do solo e da produtividade em um Latossolo Bruno Distrófico da região de Cascavel, PR. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.8, n. 2/3, 212-219.
- Jeffers, J. N. R. 1978. *An Introduction to System Analysis: with Ecological Applications*. E. Arnold Publ., London. 198p.
- Keiluweit, M., Bougoure, J. J., Nico, P. S., Pett-Ridge J., Weber P. K., Kleber M. 2015. Mineral protection of soil carbon counteracted by root exudates. *Nat. Clim. Change* 5 588–595.
- Matias, M. C. B., Salviano, A. A. C., Leite, L. F. C., Araújo, A. S. F. 2009. Biomassa microbiana e estoques de C e N do solo em diferentes sistemas de manejo, no Cerrado do Estado do Piauí. *Acta Sci. Agron.*, v. 31, 517-521.
- Montezano, Z. F., Corazza, E. J., Muraoka, T. 2006. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homogeneamente. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 30, 839-847.
- Petter, F. A.; Pacheco, L. P.; Alcântara Neto, F.; Santos, G. G. 2012. Respostas de cultivares de soja à adubação nitrogenada tardia em solos de cerrado. *Revista Caatinga, Mossoró*, v. 25, n. 1, 67-72.
- Raij, B. V., Andrade, J. C., Cantarella, H., Quaggio, J. A. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285 p.
- Reynolds, W. D., Elrick, D. E., Topp, G. C. 1983. A reexamination of the constant head well permeameter method for measuring saturated hydraulic conductivity above the water table. *Soil Science*, v. 136, n. 4, 250-268.
- SANTOS, K. S., Montenegro, a. A. A., Almeida, B. G., Montenegro, S. M. G. L., Andrade, T. S., Fontes Júnior, R. V. P. 2012. Variabilidade espacial de atributos físicos em solos de vale aluvial no semiárido de Pernambuco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental Campina Grande*, v. 16, n. 8, 828-835.
- Siqueira, G. M., Silva, J., Bezerra, J. M., Silva, Ê. F. F., Dafonte, J. D., Melo, R. F. 2015. Estacionariedade do conteúdo de água de um Espodossolo Humilúvico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, 5, 439-448.
- Siqueira, G. M., Vieira, S. R., Ceddia, M. B. 2008. Variabilidade de atributos físicos do solo determinados por métodos diversos. *Bragantia*, v. 67, 1, 203-211.
- STATSOFT. *Statistica 12.0 Software*. Tucksá: USA, 2015.
- United States Department Of Agriculture - USDA. *Keys to soil taxonomy*. 11.ed. Washington, Soil Survey Staff, Department of Agriculture, 2010. 338p.
- Vázquez, E. V., Bertol, I., Siqueira, G. M., Paz-Ferreiro, J., Dafonte, J. D. 2010. Evolution of the soil surface roughness using geostatistical analysis. *Bragantia (São Paulo, SP. Impreso)*, v. 69, 141-152.

- Veldkamp, E. 1994. Organic carbon turnover in three tropical soils under pasture after deforestation. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 58, 175–180.
- Vieira, S. R. 2000. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: Novais, R.F.; Alvarez V., V. H.; Schaefer, G.R. (ed.) *Tópicos em Ciência do solo I*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, 54p.
- Vieira, S. R.; Tillotson, P. M.; Biggar, J. W.; Nielsen, D. R. 1997. Scaling of semivariograms and the kriging estimation of field-measured properties. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 21, 4, 525-533.
- Vieira, S. T., Garcia, M., Paz-González, A., Siqueira, G. M. 2010. Variabilidade espacial e temporal do teor de água do solo sob duas formas de uso. *Bragantia*, v. 69, 181-190.
- Wilding, L. P., Drees, L. R. 1983. Spatial variability and pedology. In: Winding, L. P., Smeck, N. E., Hall, G. F. (Ed.). 1983. *Pedogenesis and soil taxonomy: I. Concepts and interactions*. New York: Elsevier, 83-116.
- Zanão Júnior, L. A., Lana, R. M. Q., Guimarães, E. C., Pereira, J. M. A., 2010. Variabilidade espacial dos teores de macronutrientes em Latossolos sob sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, 389-400.

## 9 CONCLUSÕES FINAIS

- As condições logísticas do agronegócio do Estado apontam diferentes situações que implicam no escoamento de produtos agrícolas por modais fragmentadas e desconexas.
- A falta de estrutura para armazenagem de grãos, aumenta os custos e dificulta sua comercialização em determinados períodos mais rentáveis.
- Os impactos originados dos transportes de cargas e de suas infraestruturas, causam uma série de desequilíbrios nos meios biótico e antrópico, gerando não apenas problemas ambientais, como socioeconômicos.
- Em todo o processo relacionado ao transporte de grãos, pode ser percebido diversos prejuízos ambientais, seja de implantação, operação e manutenção das vias, como impactos cíclicos ou em constante crescimento.
- Os custos ambientais do transporte rodoviário é muito superior ao ferroviário ou aquaviário, evidenciando a falta de planejamento e governança quanto a utilização dos modais, assim como políticas mais eficientes e voltadas a preservação ambiental.
- O uso e intensidade do solo influenciam a fauna edáfica, reduzindo ou eliminando grupos específicos. A intensidade e uso do solo influenciaram a fauna edáfica em semeadura direta com soja.
- O uso de ferramentas de geoestatística permitiu o mapeamento da diversidade da fauna do solo, evidenciando zonas com maior diversidade.
- Os índices de diversidade que são obtidos a partir do número total de indivíduos, do logaritmo na base 10, ou natural, ou da raiz quadrada, apresentaram comportamento diferente dos índices comumente usados (Shannon e Simpson), podendo ser considerado uma alternativa incluí-los com mais frequência em estudos de fauna do solo.
- Os atributos químicos analisados, demonstraram que a área amostrada apresenta de baixa a média fertilidade.
- O mapa de variabilidade espacial para produtividade apresentou uma similaridade espacial com a matéria orgânica e pH.
- A aplicação conjunta de ferramentas de geostatística e técnicas de análise multivariada permitiu a interação múltipla de diferentes atributos do solo, relacionados com a produtividade, indicando zonas de manejo diferenciado nas camadas de 0.0-0.2 m e 0.2-0.4 m de profundidade.
- O manejo do solo com semeadura direta de soja atuou sobre a variabilidade espacial dos atributos físicos do solo, devido a ocorrência de maior frequência de efeito pepita puro

na camada superficial (0.0-0.2 m) quando comparado a camada subsuperficial (0.2-0.4 m de profundidade).

- A análise variográfica dos scores dos autovalores da análise de componentes principais demonstrou que em ambas as camadas o semivariograma é mais estável e com maior dependência espacial entre as amostras.
- O semivariograma escalonado permitiu descrever que a produtividade do solo apresenta relação espacial com os demais atributos em estudo que se ajustaram ao semivariograma experimental.
- A análise de componentes principais confirmou que o manejo do solo interfere sobre a variabilidade explicada pelo agrupamento das variáveis, sendo que a camada superficial (0.0-0.2 m) agrupou sete atributos (produtividade, argila, areia grossa, silte, condutividade hidráulica saturada, areia fina e areia total), enquanto que na camada subsuperficial o número é maior, com oito atributos (produtividade, areia total, areia fina, condutividade hidráulica do solo saturado, silte, areia grossa, argila e carbono orgânico).
- Os mapas de variabilidade espacial dos scores dos autovalores da análise de componentes principais demonstraram que é possível a determinação de zonas de manejo utilizando a PCA 1 nas duas profundidades em estudo, todavia, com estratégias de manejo diferentes.

# APÊNDICES

**Anexo 1. Série histórica da área plantada da soja.**

REGIÃO/UF	1984/85	1985/86	1986/87	1987/88	1988/89	1989/90	1990/91	1991/92	1992/93	1993/94	1994/95	1995/96	1996/97	1997/98	1998/99	1999/00	2000/01
NORTE	-	0,4	0,6	32,3	74,6	42,0	6,3	12,1	20,0	28,7	21,4	6,7	25,2	47,4	50,4	70,6	91,7
RR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,0	-	1,8	-	-	-	-	-
RO	-	0,4	0,6	4,3	15,6	7,8	2,4	0,1	4,5	-	4,8	-	3,3	4,7	8,7	11,8	25,0
AP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,6	1,6	2,3	0,7
TO	-	-	-	28,0	59,0	34,2	3,9	12,0	15,5	22,7	16,6	4,9	21,9	40,1	40,1	56,5	66,0
NORDESTE	73,0	117,7	180,6	246,7	410,1	385,4	282,6	351,1	422,7	503,6	575,9	532,3	593,9	728,9	772,8	851,0	962,6
MA	10,0	8,7	8,5	16,2	21,9	16,0	4,6	21,1	42,7	62,8	91,7	89,1	120,0	144,0	162,7	175,7	210,0
PI	-	-	-	0,2	0,2	0,4	-	-	-	6,8	13,6	10,2	17,9	28,6	29,9	40,0	62,0
AL	-	2,0	2,1	2,3	3,0	3,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BA	63,0	107,0	170,0	228,0	385,0	366,0	278,0	330,0	380,0	434,0	470,6	433,0	456,0	556,3	580,2	635,3	690,6
CENTRO-OESTE	2.837,0	2.813,3	2.867,8	3.379,1	4.054,5	3.706,0	2.946,2	3.283,5	3.808,6	4.244,3	4.559,8	3.694,7	3.983,8	5.060,2	4.955,1	5.499,4	5.759,5
MT	795,0	909,5	1.100,0	1.375,0	1.708,2	1.503,0	1.100,0	1.452,0	1.713,4	1.996,0	2.295,4	1.905,2	2.095,7	2.600,0	2.548,0	2.904,7	3.120,0
MS	1.307,0	1.234,0	1.184,0	1.231,0	1.300,0	1.209,0	1.013,1	969,5	1.066,5	1.109,0	1.097,9	845,4	862,3	1.086,5	1.053,9	1.106,6	1.064,5
GO	690,0	621,0	540,0	730,4	990,0	940,5	790,0	820,0	984,0	1.090,0	1.122,7	909,4	991,2	1.338,1	1.324,7	1.454,5	1.540,0
DF	45,0	48,8	43,8	42,7	56,3	53,5	43,1	42,0	44,7	49,3	43,8	34,7	34,6	35,6	28,5	33,6	35,0
SUDESTE	925,0	906,0	876,7	1.010,5	1.189,0	1.165,0	972,0	919,0	1.084,3	1.175,1	1.163,6	1.091,6	1.097,6	1.131,1	1.097,6	1.152,9	1.172,0
MG	431,0	430,0	415,0	498,0	595,0	583,0	472,0	456,0	551,8	600,0	600,0	528,0	522,7	601,1	577,1	594,4	642,0
SP	494,0	476,0	461,7	512,5	594,0	582,0	500,0	463,0	532,5	575,1	563,6	563,6	574,9	530,0	520,5	558,5	530,0
SUL	6.239,0	5.807,0	5.296,0	6.038,0	6.524,6	6.253,0	5.535,4	5.016,5	5.381,4	5.550,0	5.358,0	5.337,9	5.680,8	6.190,3	6.119,3	6.049,0	5.984,0
PR	2.170,0	2.140,0	1.776,0	2.149,0	2.406,9	2.286,0	1.966,0	1.797,5	2.000,0	2.110,0	2.120,6	2.311,5	2.496,4	2.820,0	2.769,2	2.832,9	2.818,0
SC	432,0	406,0	360,0	413,0	433,7	390,0	300,0	249,0	281,4	278,0	222,4	222,4	240,2	220,0	215,6	207,0	196,0
RS	3.637,0	3.261,0	3.160,0	3.476,0	3.684,0	3.577,0	3.269,4	2.970,0	3.100,0	3.162,0	3.015,0	2.804,0	2.944,2	3.150,3	3.134,5	3.009,1	2.970,0
NORTE/NORDESTE	73,0	118,1	181,2	279,0	484,7	427,4	288,9	363,2	442,7	532,3	597,3	539,0	619,1	776,3	823,2	921,6	1.054,3
CENTRO-SUL	10.001,0	9.526,3	9.040,5	10.427,6	11.768,1	11.124,0	9.453,6	9.219,0	10.274,3	10.969,4	11.081,4	10.124,2	10.762,2	12.381,6	12.172,0	12.701,3	12.915,5
BRASIL	10.074,0	9.644,4	9.221,7	10.706,6	12.252,8	11.551,4	9.742,5	9.582,2	10.717,0	11.501,7	11.678,7	10.663,2	11.381,3	13.157,9	12.995,2	13.622,9	13.969,8

Continua



REGIÃO/UF	2001/02	2002/03	2003/04	2004/05	2005/06	2006/07	2007/08	2008/09	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17 Previsão (!)
NORTE	141,1	209,7	352,4	521,9	507,5	410,6	517,5	497,6	574,9	645,5	717,6	901,5	1.178,9	1.441,2	1.576,3	1.809,0
RR	3,5	3,0	12,0	20,0	10,0	5,5	15,0	8,0	1,4	3,7	3,7	12,0	18,0	23,8	24,0	30,0
RO	28,6	41,0	59,5	74,4	106,4	90,4	99,8	106,0	122,3	132,3	143,5	167,7	191,1	231,5	252,6	296,0
AM	1,1	2,1	2,1	2,8	1,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PA	2,9	15,5	35,2	69,0	79,7	47,0	71,1	72,2	86,9	104,8	119,2	172,2	221,4	336,3	428,9	500,1
TO	105,0	148,1	243,6	355,7	309,5	267,7	331,6	311,4	364,3	404,7	451,2	549,6	748,4	849,6	870,8	964,0
NORDESTE	1.125,1	1.240,7	1.323,3	1.442,1	1.487,1	1.454,9	1.580,1	1.608,0	1.861,7	1.945,7	2.117,1	2.414,3	2.602,2	2.845,3	2.878,2	3.095,8
MA	238,3	274,0	342,5	375,0	382,5	384,4	421,5	387,4	502,1	518,2	559,7	586,0	662,2	749,6	786,3	821,7
PI	86,8	116,3	159,3	197,1	232,0	219,7	253,6	273,1	343,1	383,6	444,6	546,4	627,3	673,7	565,0	693,8
AL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BA	800,0	850,4	821,5	870,0	872,6	850,8	905,0	947,5	1.016,5	1.043,9	1.112,8	1.281,9	1.312,7	1.422,0	1.526,9	1.580,3
CENTRO-OESTE	6.985,0	8.048,4	9.659,3	10.857,0	10.742,6	9.105,1	9.634,8	9.900,1	10.539,2	10.819,4	11.495,2	12.778,2	13.909,4	14.616,1	14.925,1	15.193,6
MT	3.853,2	4.419,6	5.240,5	6.105,2	6.196,8	5.124,8	5.675,0	5.828,20	6.224,50	6.398,80	6.980,50	7.818,20	8.615,70	8.934,50	9.140,0	9.322,8
MS	1.192,2	1.415,1	1.797,2	2.030,8	1.949,6	1.737,1	1.731,4	1.715,8	1.712,2	1.760,1	1.815,0	2.017,0	2.120,0	2.300,5	2.430,0	2.522,3
GO	1.901,9	2.170,5	2.572,0	2.662,0	2.542,2	2.191,4	2.179,7	2.307,2	2.549,5	2.605,6	2.644,7	2.888,0	3.101,7	3.325,0	3.285,1	3.278,5
DF	37,7	43,2	49,6	59,0	54,0	51,8	48,7	48,90	53,00	54,90	55,00	55,00	72,00	56,10	70,00	70,0
SUDESTE	1.296,7	1.488,9	1.826,9	1.891,6	1.717,5	1.468,8	1.396,0	1.460,4	1.591,2	1.636,9	1.606,2	1.758,2	1.989,9	2.116,2	2.326,9	2.351,4
MG	719,0	873,6	1.065,8	1.119,1	1.060,9	930,4	870,0	929,1	1.019,0	1.024,1	1.024,0	1.121,2	1.238,2	1.319,4	1.469,3	1.456,1
SP	577,7	615,3	761,1	772,5	656,6	538,4	526,0	531,3	572,2	612,8	582,2	637,0	751,7	796,8	857,6	895,3
SUL	6.838,3	7.487,1	8.213,9	8.588,5	8.294,7	8.247,4	8.184,7	8.277,0	8.900,9	9.133,5	9.106,1	9.883,9	10.492,7	11.074,1	11.545,4	11.459,6
PR	3.291,4	3.637,6	3.935,9	4.148,4	3.982,5	3.978,5	3.977,3	4.069,2	4.485,1	4.590,5	4.460,6	4.752,8	5.010,4	5.224,8	5.451,3	5.249,6
SC	241,3	255,8	307,0	350,0	344,8	376,9	373,4	385,3	439,6	458,2	448,3	512,5	542,7	600,1	639,1	640,4
RS	3.305,6	3.593,7	3.971,0	4.090,1	3.967,4	3.892,0	3.834,0	3.822,5	3.976,2	4.084,8	4.197,2	4.618,6	4.939,6	5.249,2	5.455,0	5.569,6
NORTE/NORDESTE	1.266,2	1.450,4	1.675,7	1.964,0	1.994,6	1.865,5	2.097,6	2.105,6	2.436,6	2.591,2	2.834,7	3.315,8	3.781,1	4.286,5	4.454,5	4.904,8
CENTRO-SUL	15.120,0	17.024,4	19.700,1	21.337,1	20.754,8	18.821,3	19.215,5	19.637,5	21.031,3	21.589,8	22.207,5	24.420,3	26.392,0	27.806,4	28.797,4	29.004,6
BRASIL	16.386,2	18.474,8	21.375,8	23.301,1	22.749,4	20.686,8	21.313,1	21.743,1	23.467,9	24.181,0	25.042,2	27.736,1	30.173,1	32.092,9	33.251,9	33.909,4

**Anexo 2. Série histórica da produção de soja.**

REGIÃO/UF	1984/85	1985/86	1986/87	1987/88	1988/89	1989/90	1990/91	1991/92	1992/93	1993/94	1994/95	1995/96	1996/97	1997/98	1998/99	1999/00	2000/01
NORTE	-	0,5	1,1	54,7	135,6	53,2	11,5	19,4	36,4	59,0	45,5	14,2	28,6	99,8	123,2	177,0	216,6
RR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16,8	-	4,9	-	-	-	-	-
RO	-	0,5	1,1	7,7	31,2	15,6	5,0	0,2	10,8	-	13,0	-	8,9	14,1	26,1	35,4	76,5
AM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,5	3,3	4,9	1,5
TO	-	-	-	47,0	104,4	37,6	6,5	19,2	25,6	42,2	32,5	9,3	19,7	80,2	93,8	136,7	138,6
NORDESTE	84,6	155,5	156,3	374,9	638,7	267,8	564,3	520,3	682,1	1.018,4	1.267,8	921,9	1.300,1	1.561,1	1.609,8	2.064,0	2.075,9
MA	9,0	13,6	8,8	29,2	37,2	6,7	8,3	25,3	91,2	138,2	169,6	199,6	252,0	302,4	390,5	439,3	483,0
PI	-	-	-	0,2	0,2	0,4	-	-	-	12,2	25,2	23,0	35,8	57,1	68,8	100,0	142,6
AL	-	2,8	3,0	3,5	4,5	4,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BA	75,6	139,1	144,5	342,0	596,8	256,2	556,0	495,0	590,9	868,0	1.073,0	699,3	1.012,3	1.201,6	1.150,5	1.524,7	1.450,3
CENTRO-OESTE	5.572,7	5.027,5	5.811,8	6.739,6	8.652,4	6.325,6	6.667,0	7.313,2	8.484,2	9.907,0	10.084,7	8.846,4	10.438,1	12.889,9	13.356,1	15.467,6	17.001,9
MT	1.653,6	1.910,0	2.387,0	2.750,0	3.689,7	2.900,8	2.607,0	3.484,8	4.197,8	4.970,0	5.440,1	4.686,8	5.721,3	7.150,0	7.134,4	8.801,2	9.640,8
MS	2.561,7	1.900,4	2.308,8	2.548,2	2.860,0	1.934,4	2.299,7	1.929,3	2.229,0	2.439,8	2.426,4	2.045,9	2.155,8	2.281,7	2.740,1	2.500,9	3.129,6
GO	1.266,1	1.133,3	1.026,0	1.356,0	1.980,0	1.410,8	1.659,0	1.804,0	1.968,0	2.387,1	2.133,1	2.046,2	2.478,0	3.372,0	3.417,7	4.072,6	4.158,0
DF	91,3	83,8	90,0	85,4	122,7	79,6	101,3	95,1	89,4	110,1	85,1	67,5	83,0	86,2	63,9	92,9	73,5
SUDESTE	1.816,7	1.687,5	1.724,4	1.985,5	2.556,3	1.843,5	1.930,4	1.910,7	2.314,3	2.499,4	2.365,9	2.274,5	2.498,4	2.495,5	2.757,0	2.569,7	2.873,9
MG	853,4	778,3	801,0	983,6	1.207,9	874,5	962,9	1.003,2	1.158,8	1.234,2	1.188,0	1.040,2	1.176,1	1.382,5	1.336,0	1.396,8	1.495,9
SP	963,3	909,2	923,4	1.001,9	1.348,4	969,0	967,5	907,5	1.155,5	1.265,2	1.177,9	1.234,3	1.322,3	1.113,0	1.421,0	1.172,9	1.378,0
SUL	10.737,5	6.336,5	9.377,9	8.972,3	11.946,2	11.611,2	6.221,3	9.655,0	11.525,1	11.575,4	12.170,2	11.132,7	11.894,8	14.323,6	12.918,9	12.611,7	16.263,5
PR	4.448,5	2.568,0	3.853,9	4.770,8	5.054,5	4.572,0	3.617,4	3.415,3	4.720,0	5.327,8	5.534,8	6.241,1	6.565,5	7.191,0	7.723,3	7.130,4	8.623,1
SC	578,9	507,5	468,0	586,5	628,9	600,6	249,9	448,2	512,1	556,0	484,8	489,3	559,7	517,0	431,2	516,3	527,2
RS	5.710,1	3.261,0	5.056,0	3.615,0	6.262,8	6.438,6	2.354,0	5.791,5	6.293,0	5.691,6	6.150,6	4.402,3	4.769,6	6.615,6	4.764,4	4.965,0	7.113,2
NORTE/NORDESTE	84,6	156,0	157,4	429,6	774,3	321,0	575,8	539,7	718,5	1.077,4	1.313,3	936,1	1.328,7	1.660,9	1.733,0	2.241,0	2.292,5
CENTRO-SUL	18.126,9	13.051,5	16.914,1	17.697,4	23.154,9	19.780,3	14.818,7	18.878,9	22.323,6	23.981,8	24.620,8	22.253,6	24.831,3	29.709,0	29.032,0	30.649,0	36.139,3
BRASIL	18.211,5	13.207,5	17.071,5	18.127,0	23.929,2	20.101,3	15.394,5	19.418,6	23.042,1	25.059,2	25.934,1	23.189,7	26.160,0	31.369,9	30.765,0	32.890,0	38.431,8

Continua

REGLÃO/UF	2001/02	2002/03	2003/04	2004/05	2005/06	2006/07	2007/08	2008/09	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17 Previsão (¹)
NORTE	367,4	557,5	913,7	1.419,9	1.255,2	1.079,9	1.472,4	1.414,0	1.691,7	1.977,2	2.172,2	2.661,5	3.391,3	4.289,5	3.818,9	5.536,4
RR	9,8	7,2	28,8	56,0	28,0	15,4	48,8	22,4	3,9	10,4	10,4	33,6	56,2	63,9	79,2	90,0
RO	85,0	123,0	177,9	227,2	283,0	277,5	311,6	326,5	384,3	425,3	462,2	539,3	607,7	732,9	765,0	930,3
AM	2,8	5,4	5,4	8,4	5,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PA	7,3	44,2	95,0	207,0	238,1	140,5	201,1	208,7	232,5	314,4	316,7	552,2	668,6	1.017,0	1.288,0	1.635,3
TO	262,5	377,7	606,6	921,3	700,4	646,5	910,9	856,4	1.071,0	1.227,1	1.382,9	1.536,4	2.058,8	2.475,7	1.686,7	2.826,4
NORDESTE	2.124,6	2.519,3	3.538,9	3.953,1	3.560,9	3.867,2	4.829,8	4.161,9	5.309,5	6.251,5	6.096,3	5.294,8	6.620,9	8.084,1	5.107,1	9.644,7
MA	569,5	654,9	924,1	997,5	1.025,1	1.084,0	1.262,8	975,1	1.330,6	1.599,7	1.650,6	1.685,9	1.823,7	2.069,6	1.250,2	2.473,3
PI	91,1	308,2	396,7	554,4	544,5	486,0	819,4	768,8	868,4	1.144,3	1.263,1	916,9	1.489,2	1.833,8	645,8	2.048,1
AL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BA	1.464,0	1.556,2	2.218,1	2.401,2	1.991,3	2.297,2	2.747,6	2.418,0	3.110,5	3.507,5	3.182,6	2.692,0	3.308,0	4.180,7	3.211,1	5.123,3
CENTRO-OESTE	20.533,4	23.532,5	24.613,1	28.973,5	27.824,7	26.494,8	29.114,0	29.134,9	31.586,7	33.938,9	34.904,8	38.091,4	41.800,5	43.968,6	43.752,6	50.149,9
MT	11.733,0	12.949,4	15.008,8	17.937,1	16.700,4	15.359,0	17.847,9	17.962,50	18.766,90	20.412,20	21.849,00	23.532,80	26.441,60	28.018,60	26.030,7	30.513,5
MS	3.278,6	4.103,8	3.324,8	3.862,6	4.445,1	4.881,3	4.569,2	4.179,7	5.307,8	5.169,4	4.628,3	5.809,0	6.148,0	7.177,6	7.241,4	8.575,8
GO	5.420,4	6.359,6	6.147,1	6.985,1	6.533,5	6.114,0	6.543,5	6.836,2	7.342,6	8.181,6	8.251,5	8.562,9	8.994,9	8.625,1	10.249,5	10.819,1
DF	101,4	119,7	132,4	188,7	145,7	140,5	153,4	156,50	169,40	175,70	176,00	186,70	216,00	147,30	231,00	241,5
SUDESTE	3.519,8	4.067,6	4.474,4	4.752,0	4.137,1	4.005,4	3.983,4	4.057,6	4.457,6	4.622,1	4.656,3	5.425,9	5.015,3	5.873,5	7.574,9	8.151,5
MG	1.948,5	2.332,5	2.659,2	3.021,6	2.482,5	2.567,9	2.536,9	2.751,1	2.871,5	2.913,6	3.058,7	3.374,8	3.327,0	3.507,0	4.731,1	5.067,2
SP	1.571,3	1.735,1	1.815,2	1.730,4	1.654,6	1.437,5	1.446,5	1.306,5	1.586,1	1.708,5	1.597,6	2.051,1	1.688,3	2.366,5	2.843,8	3.084,3
SUL	15.684,8	21.340,6	16.252,6	13.206,2	18.249,2	22.944,5	20.618,1	18.397,1	25.642,7	28.534,6	18.553,4	30.025,8	29.292,8	34.012,3	35.181,1	40.592,8
PR	9.502,3	10.971,0	10.036,5	9.707,3	9.645,6	11.915,6	11.896,1	9.509,7	14.078,7	15.424,1	10.941,9	15.912,4	14.780,7	17.210,5	16.844,5	19.586,3
SC	546,5	738,5	656,7	644,0	827,5	1.104,3	946,6	974,8	1.345,2	1.489,2	1.084,9	1.578,5	1.644,4	1.920,3	2.135,2	2.292,6
RS	5.636,0	9.631,1	5.559,4	2.854,9	7.776,1	9.924,6	7.775,4	7.912,6	10.218,8	11.621,3	6.526,6	12.534,9	12.867,7	14.881,5	16.201,4	18.713,9
NORTE/NORDESTE	2.492,0	3.076,8	4.452,6	5.373,0	4.816,1	4.947,1	6.302,2	5.575,9	7.001,2	8.228,7	8.268,5	7.956,3	10.012,2	12.373,6	8.926,0	15.181,1
CENTRO-SUL	39.738,0	48.940,7	45.340,1	46.931,6	50.211,0	53.444,7	53.715,5	51.589,6	61.687,0	67.095,6	58.114,5	73.543,1	76.108,6	83.854,4	86.508,6	98.894,2
BRASIL	42.230,0	52.017,5	49.792,7	52.304,6	55.027,1	58.391,8	60.017,7	57.165,5	68.688,2	75.324,3	66.383,0	81.499,4	86.120,8	96.228,0	95.434,6	114.075,3

**Anexo 3. Série histórica da produtividade de soja.**

REGIÃO/UF	1984/85	1985/86	1986/87	1987/88	1988/89	1989/90	1990/91	1991/92	1992/93	1993/94	1994/95	1995/96	1996/97	1997/98	1998/99	1999/00	2000/01
NORTE	-	1.250	1.833	1.693	1.818	1.267	1.825	1.603	1.820	2.056	2.126	2.119	1.135	2.105	2.444	2.507	2.362
RR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.800	-	2.700	-	-	-	-	-
RO	-	1.250	1.833	1.791	2.000	2.000	2.100	2.400	2.400	-	2.700	-	2.700	3.000	3.000	3.000	3.060
AM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.115	2.038	2.120	2.100
TO	-	-	-	1.679	1.769	1.099	1.675	1.600	1.650	1.860	1.957	1.900	900	2.000	2.340	2.420	2.100
NORDESTE	1.159	1.321	865	1.520	1.557	695	1.997	1.482	1.614	2.022	2.201	1.732	2.189	2.142	2.083	2.425	2.157
MA	900	1.563	1.035	1.802	1.699	419	1.800	1.201	2.135	2.200	1.850	2.240	2.100	2.100	2.400	2.500	2.300
PI	-	-	-	1.000	1.000	1.000	-	-	-	1.800	1.850	2.250	2.000	1.995	2.300	2.500	2.300
AL	-	1.400	1.429	1.522	1.500	1.500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BA	1.200	1.300	850	1.500	1.550	700	2.000	1.500	1.555	2.000	2.280	1.615	2.220	2.160	1.983	2.400	2.100
CENTRO-OESTE	1.964	1.787	2.027	1.994	2.134	1.707	2.263	2.227	2.228	2.334	2.212	2.394	2.620	2.547	2.695	2.813	2.952
MT	2.080	2.100	2.170	2.000	2.160	1.930	2.370	2.400	2.450	2.490	2.370	2.460	2.730	2.750	2.800	3.030	3.090
MS	1.960	1.540	1.950	2.070	2.200	1.600	2.270	1.990	2.090	2.200	2.210	2.420	2.500	2.100	2.600	2.260	2.940
GO	1.835	1.825	1.900	1.857	2.000	1.500	2.100	2.200	2.000	2.190	1.900	2.250	2.500	2.520	2.580	2.800	2.700
DF	2.029	1.717	2.055	2.000	2.179	1.488	2.350	2.265	2.000	2.233	1.944	1.945	2.400	2.420	2.243	2.765	2.100
SUDESTE	1.964	1.863	1.967	1.965	2.150	1.582	1.986	2.079	2.134	2.127	2.033	2.084	2.276	2.206	2.512	2.229	2.452
MG	1.980	1.810	1.930	1.975	2.030	1.500	2.040	2.200	2.100	2.057	1.980	1.970	2.250	2.300	2.315	2.350	2.330
SP	1.950	1.910	2.000	1.955	2.270	1.665	1.935	1.960	2.170	2.200	2.090	2.190	2.300	2.100	2.730	2.100	2.600
SUL	1.721	1.091	1.771	1.486	1.831	1.857	1.124	1.925	2.142	2.086	2.271	2.086	2.094	2.314	2.111	2.085	2.718
PR	2.050	1.200	2.170	2.220	2.100	2.000	1.840	1.900	2.360	2.525	2.610	2.700	2.630	2.550	2.789	2.517	3.060
SC	1.340	1.250	1.300	1.420	1.450	1.540	833	1.800	1.820	2.000	2.180	2.200	2.330	2.350	2.000	2.494	2.690
RS	1.570	1.000	1.600	1.040	1.700	1.800	720	1.950	2.030	1.800	2.040	1.570	1.620	2.100	1.520	1.650	2.395
NORTE/NORDESTE	1.159	1.321	869	1.540	1.597	751	1.993	1.486	1.623	2.024	2.199	1.737	2.146	2.140	2.105	2.432	2.174
CENTRO-SUL	1.813	1.370	1.871	1.697	1.968	1.778	1.568	2.048	2.173	2.186	2.222	2.198	2.307	2.399	2.385	2.413	2.798
BRASIL	1.808	1.369	1.851	1.693	1.953	1.740	1.580	2.027	2.150	2.179	2.221	2.175	2.299	2.384	2.367	2.414	2.751

Continua

REGIÃO/UF	2001/02	2002/03	2003/04	2004/05	2005/06	2006/07	2007/08	2008/09	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17 Previsão (!)
NORTE	2.604	2.659	2.593	2.721	2.473	2.630	2.845	2.841	2.943	3.063	3.027	2.952	2.877	2.976	2.423	3.061
RR	2.800	2.400	2.400	2.800	2.800	2.800	3.250	2.800	2.800	2.800	2.800	2.800	3.120	2.685	3.300	3.000
RO	2.972	3.000	2.990	3.054	2.660	3.070	3.122	3.080	3.142	3.215	3.221	3.216	3.180	3.166	3.028	3.143
AM	2.571	2.571	2.571	3.000	3.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PA	2.520	2.850	2.700	3.000	2.987	2.990	2.828	2.890	2.675	3.000	2.657	3.207	3.020	3.024	3.003	3.270
TO	2.500	2.550	2.490	2.590	2.263	2.415	2.747	2.750	2.940	3.032	3.065	2.796	2.751	2.914	1.937	2.932
NORDESTE	1.888	2.031	2.674	2.741	2.395	2.658	3.057	2.588	2.852	3.213	2.880	2.193	2.544	2.841	1.774	3.115
MA	2.390	2.390	2.698	2.660	2.680	2.820	2.996	2.517	2.650	3.087	2.949	2.877	2.754	2.761	1.590	3.010
PI	1.050	2.650	2.490	2.813	2.347	2.212	3.231	2.815	2.531	2.983	2.841	1.678	2.374	2.722	1.143	2.952
AL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BA	1.830	1.830	2.700	2.760	2.282	2.700	3.036	2.552	3.060	3.360	2.860	2.100	2.520	2.940	2.103	3.242
CENTRO-OESTE	2.940	2.924	2.548	2.669	2.590	2.910	3.022	2.943	2.997	3.137	3.036	2.981	3.005	3.008	2.931	3.301
MT	3.045	2.930	2.864	2.938	2.695	2.997	3.145	3.082	3.015	3.190	3.130	3.010	3.069	3.136	2.848	3.273
MS	2.750	2.900	1.850	1.902	2.280	2.810	2.639	2.436	3.100	2.937	2.550	2.880	2.900	3.120	2.980	3.400
GO	2.850	2.930	2.390	2.624	2.570	2.790	3.002	2.963	2.880	3.140	3.120	2.965	2.900	2.594	3.120	3.300
DF	2.690	2.770	2.670	3.198	2.699	2.712	3.150	3.200	3.196	3.200	3.200	3.395	3.000	2.626	3.300	3.450
SUDESTE	2.714	2.732	2.449	2.512	2.409	2.727	2.853	2.778	2.801	2.824	2.899	3.086	2.520	2.775	3.255	3.467
MG	2.710	2.670	2.495	2.700	2.340	2.760	2.916	2.961	2.818	2.845	2.987	3.010	2.687	2.658	3.220	3.480
SP	2.720	2.820	2.385	2.240	2.520	2.670	2.750	2.459	2.772	2.788	2.744	3.220	2.246	2.970	3.316	3.445
SUL	2.294	2.850	1.979	1.538	2.200	2.782	2.519	2.223	2.881	3.124	2.037	3.038	2.792	3.071	3.047	3.542
PR	2.887	3.016	2.550	2.340	2.422	2.995	2.991	2.337	3.139	3.360	2.453	3.348	2.950	3.294	3.090	3.731
SC	2.265	2.887	2.139	1.840	2.400	2.930	2.535	2.530	3.060	3.250	2.420	3.080	3.030	3.200	3.341	3.580
RS	1.705	2.680	1.400	698	1.960	2.550	2.028	2.070	2.570	2.845	1.555	2.714	2.605	2.835	2.970	3.360
NORTE/NORDESTE	1.968	2.121	2.657	2.736	2.415	2.652	3.004	2.648	2.873	3.176	2.917	2.400	2.648	2.887	2.004	3.095
CENTRO-SUL	2.628	2.875	2.302	2.200	2.419	2.840	2.795	2.627	2.933	3.108	2.617	3.012	2.884	3.016	3.004	3.410
BRASIL	2.577	2.816	2.329	2.245	2.419	2.823	2.816	2.629	2.927	3.115	2.651	2.938	2.854	2.998	2.870	3.364

**Anexo 4.** Consumo de energia de óleo diesel.

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Total
Transportes	26.945	27.414	28.794	30.358	29.706	32.500	34.200	36.206	38.483	39.036	323.642
Rodoviário	25.803	26.145	27.406	28.933	28.345	31.092	32.859	34.820	37.123	37.678	310.204
Ferrovário	824	914	980	1.011	988	993	1.002	1.027	1.019	1.006	9764
Aquaviário	318	355	408	414	373	415	339	359	341	352	3674

**Anexo 5.** Dados amostrais da fauna epígea do solo nos 70 pontos de amostragem.

Ponto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Acari								8			6									6																3
Araneae																1					3															
Coleoptera	5	1		6	5	5	4	6	6	4	5		3	5	4	4	6	4	3	4	10	5	5		5			5	3	1	5		2	1	8	3
Dermoptera																																				
Diplura											1																		2							
Diptera				2	4		1	6			3			1	5	8		4			2											3			2	
Entomobryomorpha																											1									
Formicidae				2	1		1	10						2		3	4	2									1		4		1	6	6	2	2	
Heteroptera																																				2
Hymenoptera																																				
Larva Coleoptera														3	2		4		1		158	140											10			
Larva Diptera															2																					
Larva Formicidae																	3																			
Lepdoptera																									1			1								1
Opillionida																																				
Orthoptera																				1		1	1	2									1	1		

Continua

## Continua

Ponto	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70		
Acari	6	1	5				1	2		7	2		5	1		2		5			3	1	1	2	2	1	1		2	1	16	11	1			
Araneae	1															1																			2	
Coleoptera	12	6	7	6		7	5	4		3	6	2	5	1	6	3	13	5	4	1	15	3	2	6	6	6	3	2	6	6	3	3	5	4		
Dermoptera				1																																
Diplura																																				
Diptera	4	2	1	2	5	4	2	3		4	3	1	2	8	2	6		4	3	5	2	1	1			1	1		1	1	2	3	6			
Entomobryomorpha																																				
Formicidae	1	3		1	3	3	2	11		5	3	1	1		3	2					1		1	2		4		1	8	5		1				
Heteroptera																																				
Hymenoptera																										1										
Larva Coleoptera																																				
Larva Diptera																																				
Larva Formicidae																																				
Lepdoptera										1	1			1								1		1			1								1	
Opillionida					1																															
Orthoptera		2		3							2		1	1		3			2		1	1				1			1				1	2		



**Anexo 6.** Índices de diversidade da fauna epígea do solo na área de estudo cultivada com soja.

X	Y	Shannon Wiener	Diversidade Simpson	Diversidade Margalef	Diversidade de Gleason	Diversidade de Menhinick	Diversidade de Brillouim	Diversidade MCInstosh	Diversidade total	Dominancia Berger parker	Dominancia de simpson	Pielou	Riqueza Jacckne	Armadilha dia
700823.09	9591106.7			44.35	45.78	14.32		8.42		1.00			1.00	0.71
700771.05	9591195.6					38.00							1.00	0.14
700721.68	9591284.1													
700672.53	9591371.9	1.37	0.62	37.00	38.00	12.17	1.30	0.95	0.80	0.38	2.87	0.84	3.00	1.43
700624.72	9591461.1	1.36	0.64	37.00	38.00	12.17	1.30	0.52	0.90	0.36	2.89	0.87	3.00	1.43
700574.79	9591550.6			52.94	54.37	16.99		8.46		1.00			1.00	0.71
700524.31	9591641.5	1.25	0.60	47.55	48.83	15.51	0.82	2.69	0.83	0.40	2.62	0.75	3.00	0.86
700834.41	9591155.7	1.97	0.76	25.49	25.73	6.94	1.72	1.83	0.67	0.24	3.26	0.98	4.00	4.29
700782.71	9591247.9	0.59	0.29	43.78	44.97	14.36	0.41	4.63	0.86	0.71	1.97	0.49	2.00	1.00
700731.35	9591338.3			61.46	63.12	19.00		9.38		1.00			1.00	0.57
700680.87	9591430.5	1.54	0.69	32.28	33.16	1.16	1.24	0.96	0.79	0.38		0.96	3.00	2.00
700631.29	9591522.7													
700583.25	9591611.1			77.55	79.64	21.94		12.22		1.00			1.00	0.43
700532.99	9591699.8	1.79	0.75	35.53	36.49	11.46	1.34	0.99	0.73	0.25		0.94	4.00	1.57
700845.31	9591217.7	1.88	0.77	33.22	34.11	1.54	1.46	0.92	0.85	0.24		0.95	4.00	1.86
700795.39	9591306.1	1.73	0.69	3.73	31.56	9.50	1.36	0.45	0.81	0.38	2.83	0.86	4.00	2.29
700745.57	9591393.4	1.95	0.78	3.73	3.88	9.22	1.59	0.59	0.82	0.23	3.25	0.98	4.00	2.43
700697.98	9591482.8	1.52	0.71	37.00	38.00	12.17	1.16	0.87	0.80	0.29	3.19	0.96	3.00	1.43
700647.83	9591572.5	1.37	0.70	52.94	54.37	16.99	0.86	3.00	0.80	0.30	2.87	0.84	3.00	0.71
700598.12	9591659.6	0.97	0.53	37.00	38.00	12.17	0.77	2.48	0.60	0.47	3.23	0.96	2.00	1.43
700550.08	9591748.1	0.58	0.17	16.51	16.96	2.89		1.76	0.99	0.83	0.83	0.21	5.00	24.86
700846.55	9591278	0.27	0.80	17.95	17.56	3.14	0.25	1.87	0.99	0.92	0.57	0.12	3.00	2.86
700797.84	9591366.5	0.86	0.48	43.78	44.97	14.36	0.63	4.97	0.71	0.52	2.87	0.82	2.00	1.00
700749.25	9591454.9													
700699.55	9591545.9	0.65	0.33	47.55	48.83	15.51	0.44	4.98	0.83	0.67	2.16	0.56	2.00	0.86
700648.96	9591636.9													
700600.59	9591726.8	1.00	1.00	122.91	126.23	26.87	0.50	7.19	0.50		3.32	1.00	2.00	0.29
700549.78	9591815.8	0.65	0.33	47.55	48.83	15.51	0.44	4.87	0.83	0.67	2.16	0.56	2.00	0.86
700852.19	9591320.1			77.55	79.64	21.94		11.16		1.00			1.00	0.43
700804.48	9591409.6	1.38	0.67	43.78	44.97	14.36	0.96	3.45	0.43	0.33	2.89	0.86	3.00	1.00
700754.78	9591497.9			52.94	54.37	16.99		9.29		1.00			1.00	0.71

Continua





**Anexo 7. Atributos químicos do solo na camada de 0.0-0.2 m de profundidade na área de estudo.**

X	Y	Produtividade	M.O	pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	Na	CTC (T)	SB	V%	Cu	Fe	Mn	Cd
700823.09	9591106.71	2919.00	6.90	5.78	11.90	1.51	12.00	4.00	15.91	3.65	37.08	21.16	57.08	0.20	25.19	0.79	0.001
700771.05	9591195.62	3233.00	9.90	5.34	3.90	1.05	20.00	7.00	16.88	3.39	48.32	31.44	65.07	0.23	28.11	0.86	
700721.68	9591284.08	3192.00	6.90	4.45	6.00	1.05	10.00	2.00	24.93	3.35	41.32	16.40	39.68	0.22	15.67	1.19	0.011
700672.53	9591371.88	2904.00	11.20	5.21	11.80	3.28	10.00	2.00	12.70	4.65	32.63	19.93	61.09	0.28	15.52	1.15	0.006
700624.72	9591461.12	3116.00	10.50	5.22	6.60	2.26	14.00	12.00	12.57	4.80	45.62	33.06	72.46	0.11	19.45	0.60	
700574.79	9591550.57	2895.00	10.20	5.40	27.30	3.59	20.00	8.00	11.80	5.10	48.49	36.69	75.67	0.09	29.00	0.35	
700524.31	9591641.47	2488.00	9.60	4.90	4.60	1.05	13.00	4.00	21.51	3.13	42.69	21.18	49.62	0.16	16.13	0.60	0.000
700834.41	9591155.68	3854.00	8.50	5.28	8.40	1.84	13.00	0.00	17.79	4.09	36.72	18.93	51.54	0.14	21.34	0.51	0.015
700782.71	9591247.91	3608.00	7.00	4.83	5.60	0.95	12.00	3.00	24.20	2.83	42.97	18.77	43.69	0.25	17.58	0.81	0.024
700731.35	9591338.25	3620.00	11.20	6.00	3.90	0.95	14.00	3.00	18.95	2.83	39.73	20.77	52.29	0.13	30.82	0.71	0.014
700680.87	9591430.48	3333.00	12.10	5.28	15.40	1.54	20.00	3.00	18.95	3.97	47.46	28.50	60.06	0.09	64.29	0.23	0.004
700631.29	9591522.70	2368.00	5.60	4.80	5.60	2.49	12.00	6.00	20.84	4.33	45.66	24.82	54.36	0.18	16.32	0.82	
700583.25	9591611.05	3964.00	8.10	4.69	8.10	4.00	11.00	8.00	22.91	3.82	49.73	26.82	53.93	0.09	24.67	0.23	
700532.99	9591699.84	2658.00	3.40	4.48	3.40	4.49	16.00	10.00	23.40	4.24	58.13	34.73	59.75	0.22	33.19	1.14	0.013
700845.31	9591217.70	2407.00	5.00	4.84	5.00	4.64	17.00	12.00	19.36	4.35	57.34	37.99	66.25	0.18	14.52	0.84	0.006
700795.39	9591306.05	2368.00	21.70	5.07	24.70	5.05	20.00	5.00	27.99	4.65	62.69	34.70	55.36	0.10	22.45	0.16	0.010
700745.57	9591393.41	3886.00	9.70	5.67	9.70	4.36	30.00	8.00	25.19	3.91	71.46	46.27	64.75	0.27	18.49	1.12	0.010
700697.98	9591482.75	3617.00	9.00	5.00	9.00	5.64	18.00	8.00	24.41	4.65	60.70	36.29	59.79	0.14	13.06	0.67	0.020
700647.83	9591572.54	3844.00	11.90	4.90	12.90	4.97	41.00	6.00	23.65	4.94	80.56	56.91	70.65	0.12	30.18	0.81	0.017
700598.12	9591659.57	3804.00	11.40	5.10	11.40	4.77	15.00	11.00	20.40	4.65	55.82	35.42	63.45	0.11	15.32	0.72	0.009
700550.08	9591748.14	2349.00	9.70	4.49	9.70	5.31	11.00	9.00	26.55	4.00	55.86	29.31	52.47	0.17	15.38	0.56	0.007
700846.55	9591277.97	2271.00	12.40	4.43	16.40	4.13	12.00	8.00	22.67	4.00	50.80	28.13	55.37	0.09	18.84	0.49	0.008
700797.84	9591366.54	3620.00	11.90	4.49	11.90	4.36	13.00	10.00	21.28	4.57	53.21	31.92	60.00	0.14	14.74	0.92	
700749.25	9591454.89	3276.00	9.30	5.46	9.30	3.15	12.00	8.00	21.96	5.09	50.21	28.24	56.25	0.28	28.66	1.23	0.010
700699.55	9591545.90	3751.00	4.20	5.48	4.20	4.49	19.00	12.00	18.36	4.52	58.37	40.01	68.54	0.08	37.55	0.36	
700648.96	9591636.90	3302.00	11.90	5.00	20.40	1.18	16.00	4.00	21.73	2.91	45.83	24.09	52.57	0.14	11.41	0.38	0.002
700600.59	9591726.80	3877.00	10.30	5.60	22.50	0.92	18.00	7.00	14.87	2.61	43.41	28.53	65.73	0.05	19.88	0.37	0.006
700549.78	9591815.82	2150.00	7.70	4.50	7.00	1.15	11.00	3.00	22.67	3.26	41.08	18.41	44.82	0.08	11.94	0.60	0.000
700852.19	9591320.09	3105.00	12.70	5.51	45.20	1.13	23.00	4.00	14.26	3.17	45.56	31.30	68.70	0.07	25.28	0.22	
700804.48	9591409.55	3706.00	8.50	5.08	8.40	1.54	13.00	0.00	17.79	4.09	36.42	18.63	51.15	0.09	22.91	0.49	0.020
700754.78	9591497.90	3532.00	7.00	4.63	5.60	0.95	9.00	3.00	22.20	2.83	37.97	15.77	41.54	0.12	11.42	0.61	
700704.74	9591586.47	2021.00	13.10	4.28	16.00	1.30	12.00	3.00	18.95	3.57	38.82	19.87	51.18	0.08	10.52	0.44	0.015
700656.37	9591674.71	2061.00	7.10	4.49	9.20	0.90	10.00	2.00	24.93	2.61	40.43	15.51	38.35	0.04	13.98	0.26	0.003
700607.78	9591764.17	3406.00	13.10	4.84	2.50	1.18	15.00	2.00	24.41	3.17	45.76	21.35	46.67	0.03	4.15	0.34	

Continua

X	Y	Produtividade	M.O	pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	Na	CTC (T)	SB	V%	Cu	Fe	Mn	Cd
700556.41	9591852.30	2434.00	12.20	4.40	5.20	0.95	8.00	2.00	27.40	2.78	41.14	13.73	33.38	0.08	6.65	0.29	
700860.43	9591276.62	2766.00	7.00	4.63	5.60	0.95	9.00	3.00	22.20	2.83	37.97	15.77	41.54	0.07	3.32	0.42	0.005
700812.57	9591451.11	2403.00	11.10	4.54	3.50	1.10	14.00	4.00	24.41	3.17	46.68	22.27	47.72	0.06	27.25	0.75	
700762.76	9591540.90	2394.00	13.00	5.00	13.50	1.18	15.00	5.00	21.73	2.91	45.83	24.09	52.57	0.04	8.34	0.25	
700714.16	9591628.26	3846.00	11.30	5.60	12.00	0.30	18.00	6.00	14.87	2.61	41.78	26.91	64.40	0.03	6.31	0.65	0.006
700663.79	9591716.50	3332.00	8.70	4.50	12.00	1.50	12.00	4.00	22.67	3.26	43.43	20.76	47.80	0.03	5.07	0.39	
700613.20	9591806.40	2229.00	13.70	5.51	34.00	1.20	20.00	4.00	14.26	3.17	42.63	28.37	66.55	0.01	4.75	0.32	
700564.61	9591896.85	3838.00	9.50	5.08	7.00	1.40	13.00	0.00	17.79	4.09	36.28	18.49	50.96	0.01	3.77	0.28	
700868.01	9591396.81	3560.00	7.00	4.63	5.60	0.90	9.00	7.00	22.20	2.83	41.92	19.73	47.05	0.06	8.14	0.28	0.012
700815.97	9591486.83	3365.00	12.20	5.00	5.00	0.70	17.00	4.00	18.95	2.83	43.48	24.53	56.41	0.04	14.25	0.29	0.001
700768.27	9591575.62	3502.00	13.10	4.28	16.00	1.30	12.00	3.00	18.95	3.57	38.82	19.87	51.18	0.03	5.43	0.28	0.015
700717.35	9591665.08	2008.00	4.50	4.24	23.00	0.70	13.00	2.00	16.01	2.78	34.49	18.48	53.58	0.01	4.00	0.30	
700668.08	9591753.10	3922.00	6.10	4.29	8.20	0.80	12.00	2.00	24.93	2.61	42.33	17.41	41.12	0.05	6.86	0.36	0.000
700619.74	9591801.26	3680.00	11.10	4.54	3.50	1.10	14.00	4.00	24.41	3.17	46.68	22.27	47.72	0.01	2.34	0.24	
700567.90	9591932.34	3607.00	11.20	3.40	5.20	0.80	8.00	2.00	27.40	2.78	40.99	13.58	33.14	0.00	5.20	0.08	0.007
700872.33	9591444.36	3501.00	22.00	6.10	12.00	1.31	13.00	4.00	21.28	2.30	41.89	20.61	49.20	0.08	4.15	0.41	0.006
700823.96	9591534.92	3569.00												0.01	2.21	0.21	0.003
700775.25	9591621.61	2192.00	14.00	5.00	14.00	1.18	23.00	8.00	18.17	3.78	54.13	35.96	66.43	0.16	4.88	0.24	
700725.99	9591709.52	2392.00	13.00	5.60	11.80	0.97	18.00	3.00	17.42	3.48	42.87	25.45	59.37	0.09	2.60	0.24	0.003
700675.95	9591795.77	3954.00	14.00	5.70	3.70	1.15	14.00	5.00	30.13	3.26	53.55	23.41	43.73	0.25	3.72	0.28	
700624.70	9591889.10	2220.00	15.00	6.20	7.10	0.90	10.00	2.00	27.40	3.30	43.61	16.20	37.15	0.09	0.93	0.04	
700576.33	9591977.45	3677.00	18.00	5.40	11.50	1.36	14.00	6.00	17.60	3.74	42.70	25.10	58.77		0.04	0.03	
700874.21	9591496.00	3234.00	21.00	5.50	10.00	1.03	12.00	0.00	23.90	3.39	40.31	16.42	40.72			0.03	
700826.06	9591586.00	3622.00	34.00	5.40	3.30	1.05	20.00	7.00	16.88	3.39	48.32	31.44	65.07			0.03	0.027
700776.13	9591673.03	3596.00	21.00	5.60	8.00	1.05	10.00	2.00	24.93	3.35	41.32	16.40	39.68			0.03	
700727.21	9591760.83	3640.00	12.00	5.90	9.20	1.05	13.00	1.00	22.20	3.83	41.07	18.88	45.96			0.03	0.003
700680.61	9591846.96	3719.00	22.00	6.10	12.00	1.31	13.00	4.00	21.28	2.30	41.89	20.61	49.20			0.03	0.005
700630.46	9591936.64	3838.00	18.00	6.20	11.00	1.25	14.00	4.00	15.51	3.65	38.42	22.90	59.62	0.02		0.03	0.021
700581.64	9592024.22	3971.00	24.00	6.40	10.00	1.45	12.00	5.00	21.28	2.91	42.65	21.36	50.10	0.05		0.03	0.015
700883.47	9591569.08	3465.00	25.00	5.70	6.00	1.25	11.00	2.00	21.06	3.57	38.87	17.82	45.83	0.09		0.03	0.015
700835.88	9591657.76	2017.00	24.00	5.30	9.00	1.41	10.00	3.00	23.15	4.09	41.65	18.49	44.41	0.08		0.03	
700785.84	9591746.55	3230.00	12.00	5.30	21.00	1.56	9.00	8.00	15.35	3.04	36.95	21.60	58.46				
700734.91	9591834.91	3963.00	22.00	5.40	12.00	1.03	12.00	10.00	23.15	2.91	49.09	25.94	52.84				
700686.98	9591922.70	3373.00	23.00	5.10	13.00	1.25	14.00	9.00	21.51	3.13	48.89	27.38	56.01				
700636.50	9592013.60	3628.00	20.00	5.30	10.00	0.97	15.00	4.00	18.17	3.78	41.93	23.76	56.66				
700586.58	9592102.95	3758.00	18.00	5.90	12.40	1.15	18.00	5.00	17.42	3.48	45.05	27.63	61.33				

**Anexo 8. Atributos químicos do solo na camada de 0.2-0.4 m de profundidade na área de estudo.**

X	Y	Produtividade	M.O	pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	Na	CTC (T)	SB	V%	Cu	Fe	Mn	Cd
700823.09	9591106.71	2919	11.9	5	20.4	1.18	16	4	21.7	2.9	45.8	24.1	52.6	0.18	29.89	0.52	0.0057
700771.05	9591195.62	3233	10.3	5.6	22.5	0.92	18	7	14.9	2.6	43.4	28.5	65.7	0.15	35.39	0.23	0.0084
700721.68	9591284.08	3192	7.7	4.5	7	1.15	11	3	22.7	3.3	41.1	18.4	44.8	0.13	36.37	0.30	0.0145
700672.53	9591371.88	2904	12.7	5.51	45.2	1.13	23	4	14.3	3.2	45.6	31.3	68.7	0.19	26.15	0.85	0.0270
700624.72	9591461.12	3116	8.5	5.08	8.4	1.54	13		17.8	4.1	36.4	18.6	51.1	0.36	27.53	0.12	0.0030
700574.79	9591550.57	2895	7	4.63	5.6	0.95	9	3	22.2	2.8	38.0	15.8	41.5	0.16	28.69	0.13	
700524.31	9591641.47	2488	11.2	5	3.9	0.95	19	3	19.0	2.8	44.7	25.8	57.6	0.10	18.41	0.14	
700834.41	9591155.68	3854	12.1	5.28	15.4	1.54	21	3	19.0	3.6	48.1	29.1	60.6	0.09	24.23	0.31	
700782.71	9591247.91	3608	6.5	5.24	43.1	0.90	15	5	16.0	2.8	39.7	23.7	59.7	0.10	26.73	0.16	0.0009
700731.35	9591338.25	3620	7.1	4.49	9.2	0.90	10	2	24.9	2.6	40.4	15.5	38.4	0.09	33.26	0.15	0.0125
700680.87	9591430.48	3333	13.1	4.84	2.5	1.18	15	2	24.4	3.2	45.8	21.4	46.7	0.18	34.08	0.14	
700631.29	9591522.7	2368	12.2	4.4	5.2	0.95	8	2	27.4	2.8	41.1	13.7	33.4	0.28	31.37	0.13	0.0060
700583.25	9591611.05	3964	10.3	5.04	6.9	1.03	18	2	19.0	2.9	42.9	23.9	55.8	0.14	23.10	0.20	0.0027
700532.99	9591699.84	2658	9.5	4.26	14	1.08	7	2	25.2	3.2	38.5	13.3	34.5	0.07	43.95	0.44	0.0179
700845.31	9591217.7	2407	6.9	5.13	11.8	1.41	12	3	15.5	3.7	35.6	20.1	56.4	0.08	25.94	0.13	0.0194
700795.39	9591306.05	2368	6.5	4.58	3.7	0.90	10	1	21.3	2.9	36.1	14.8	41.0	0.11	24.26	0.17	
700745.57	9591393.41	3886	8.1	4.47	7.1	1.36	7	2	21.1	3.6	35.0	13.9	39.8	0.09	34.53	0.11	0.0005
700697.98	9591482.75	3617	11.7	4.67	11.5	1.44	17	0	23.2	4.1	45.7	22.5	49.3	0.10	49.15	0.19	0.0120
700647.83	9591572.54	3844	9.6	5.52	4.3	1.03	23	4	15.4	3.0	46.4	31.1	66.9	0.23	17.03	0.09	0.0169
700598.12	9591659.57	3804	7.7	4.45	3.3	0.90	9		23.2	2.9	35.0	11.8	33.8	0.14	19.66	0.11	
700550.08	9591748.14	2349	9.6	4.9	4.6	1.05	13	4	21.5	3.1	42.7	21.2	49.6	0.12	22.99	0.29	0.0099
700846.55	9591277.97	2271	14.4	5.23	58.1	1.18	23	8	18.2	3.8	54.1	36.0	66.4	0.18	17.11	0.50	0.0126
700797.84	9591366.54	3620	9.6	5.04	12.7	0.97	18	3	17.4	3.5	42.9	25.5	59.4	0.13	22.93	0.22	0.0165
700749.25	9591454.89	3276	11	4.55	25.2	1.15	14	5	30.1	3.3	53.5	23.4	43.7	0.11	36.48	0.50	
700699.55	9591545.9	3751	9.3	3.5	5.3	0.90	10	2	27.4	3.3	43.6	16.2	37.2	0.35	60.11	0.17	0.0014
700648.96	9591636.9	3302	7.4	5.16	8.4	1.36	14	6	17.6	3.7	42.7	25.1	58.8	0.38	14.75	0.11	0.0074
700600.59	9591726.8	3877	9.4	4.57	6.3	1.03	12	0	23.9	3.4	40.3	16.4	40.7	0.07	25.66	0.18	0.0145
700549.78	9591815.82	2150	9.9	5.34	3.9	1.05	20	7	16.9	3.4	48.3	31.4	65.1	0.21	28.70	0.20	0.0094
700852.19	9591320.09	3105	6.9	4.45	6	1.05	10	2	24.9	3.3	41.3	16.4	39.7	0.07	36.12	0.10	
700804.48	9591409.55	3706	7.2	4.55	10	1.05	13	1	22.2	3.8	41.1	18.9	46.0	0.12	23.55	0.27	0.0130
700754.78	9591497.9	3532	9.2	4.78	8.9	1.31	13	4	21.3	2.3	41.9	20.6	49.2	0.21	51.06	1.32	0.0093
700704.74	9591586.47	2021	9.7	5.47	11.2	1.31	17	6	15.5	3.3	43.1	27.6	64.0	1.13	35.37	0.74	0.0067
700656.37	9591674.71	2061	17.6	5.45	41.4	2.08	26	7	22.9	4.7	62.7	39.8	63.5	0.19	21.09	0.99	
700607.78	9591764.17	3406	10	4.66	5.3	1.38	12	5	26.6	3.2	48.2	21.6	44.9	0.22	35.98	0.30	0.0102

Continua

X	Y	Produtividade	M.O	pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	Na	CTC (T)	SB	V%	Cu	Fe	Mn	Cd
700556.41	9591852.3	2434	10.9	5.33	11.2	1.92	24	3	16.4	4.6	49.8	33.5	67.2	0.18	33.99	0.79	0.0048
700860.43	9591276.62	2766	7.6	5.51	7	1.18	16	3	14.7	2.8	37.7	23.0	60.9	0.11	14.33	0.22	
700812.57	9591451.11	2403	12.2	4.56	8.8	1.13	14	1	28.3	2.4	46.8	18.6	39.6	0.19	83.26	0.46	0.0019
700762.76	9591540.9	2394	7	4.47	5.7	1.18	6	4	21.3	3.1	35.5	14.3	40.1	0.13	38.10	0.22	0.0051
700714.16	9591628.26	3846	10.1	4.42	3.9	1.13	8	5	32.4	3.7	50.3	17.8	35.5	0.12	35.80	0.25	0.0003
700663.79	9591716.5	3332	9.7	4.77	8.6	1.18	15	3	21.1	3.3	43.5	22.5	51.6	0.10	44.30	0.33	0.0208
700613.2	9591806.4	2229	9.3	4.81	4	1.15	14	0	21.1	3.4	39.6	18.5	46.8	0.07	38.83	0.25	0.0193
700564.61	9591896.85	3838	9.5	5.06	13	1.18	15	10	19.0	3.2	48.3	29.4	60.8	0.12	28.35	0.33	
700868.01	9591396.81	3560	7.5	4.3	4.3	1.31	9	5	29.2	3.9	48.4	19.2	39.6	0.11	61.24	0.21	0.0020
700815.97	9591486.83	3365	12.2	4.54	4.5	1.18	13	3	33.8	3.9	54.9	21.0	38.4	0.15	55.88	0.32	0.0115
700768.27	9591575.62	3502	9	4.75	15.4	1.59	10	6	19.0	4.4	41.0	22.0	53.7	0.51	48.39	0.44	0.0257
700717.35	9591665.08	2008	10.9	5	9.4	1.46	15	9	20.6	4.4	50.5	29.9	59.1	0.12	22.99	0.29	0.0099
700668.08	9591753.1	3922	9.4	4.58	2.5	1.56	10	2	26.0	4.4	44.0	18.0	40.9	0.42	27.93	0.19	0.0221
700619.74	9591801.26	3680	7.2	4.96	5.8	1.23	14	4	20.4	3.5	43.2	22.8	52.7	0.14	33.13	0.24	0.0006
700567.9	9591932.34	3607	9.3	4.31	4.1	1.13	8	7	29.5	4.0	49.7	20.2	40.6	0.13	68.31	0.22	
700872.33	9591444.36	3501	8.9	5.01	5.3	1.38	13	9	19.2	4.3	46.9	27.7	59.1	0.15	30.93	0.22	
700823.96	9591534.92	3569	7.6	5.24	8.4	1.44	14	6	15.8	4.7	41.9	26.1	62.2	0.12	24.80	0.42	
700775.25	9591621.61	2192	11.3	4.64	5.9	1.41	13	8	30.8	3.9	57.1	26.3	46.1	0.15	41.30	0.52	
700725.99	9591709.52	2392	9.8	4.71	4.5	1.77	12	4	24.1	4.7	46.6	22.4	48.1	0.15	27.60	0.41	0.0047
700675.95	9591795.77	3954	9.3	4.38	9.2	1.38	7	6	24.9	4.7	44.0	19.1	43.4	0.12	36.42	0.30	0.0030
700624.7	9591889.1	2220	9.5	4.25	3.7	1.41	7	6	31.4	4.7	50.5	19.1	37.8	0.16	50.29	0.28	0.0085
700576.33	9591977.45	3677	12.2	4.35	11.4	1.28	15	7	34.6	4.0	61.8	27.3	44.1	0.19	27.09	1.94	
700874.21	9591496	3234	18.3	5.09	87.4	1.36	25	9	22.9	4.0	62.3	39.4	63.2	0.09	61.00	0.44	0.0045
700826.06	9591586	3622	11.7	4.1	12.8	1.77	8	5	34.2	4.6	53.5	19.3	36.1	0.14	26.48	0.46	
700776.13	9591673.03	3596	11.4	4.53	9.3	2.21	14	7	28.6	5.1	56.9	28.3	49.7	0.16	27.01	0.49	0.0167
700727.21	9591760.83	3640	10	4.14	7.7	1.36	9	6	38.0	4.5	58.9	20.9	35.5	0.12	74.20	0.20	0.0019
700680.61	9591846.96	3719	14	4.3	4.3	1.31	9	5	29.2	3.9	48.4	19.2	39.6	0.09	24.23	0.31	
700630.46	9591936.64	3838	16	4.54	4.5	1.18	13	3	33.8	3.9	54.9	21.0	38.4	0.22	35.98	0.30	0.0102
700581.64	9592024.22	3971	21	4.25	3.7	1.41	7	6	31.4	4.7	50.5	19.1	37.8	0.18	33.99	0.79	0.0048
700883.47	9591569.08	3465	18	4.58	2.5	1.56	10	2	26.0	4.4	44.0	18.0	40.9	0.10	26.73	0.16	0.0009
700835.88	9591657.76	2017	20	4.78	8.9	1.31	13	4	21.3	2.3	41.9	20.6	49.2	0.15	35.39	0.23	0.0084
700785.84	9591746.55	3230	21	5.47	11.2	1.31	15	6	15.5	3.3	41.1	25.6	62.3	0.38	14.75	0.11	0.0074
700734.91	9591834.91	3963	22	5.13	11.8	1.41	12	3	15.5	3.7	35.6	20.1	56.4	0.07	25.66	0.18	0.0145
700686.98	9591922.7	3373	23	4.58	3.7	0.90	10	1	21.3	2.9	36.1	14.8	41.0	0.51	48.39	0.44	0.0257
700636.5	9592013.6	3628	9	4.48	3.4	4.49	16	10	23.4	4.2	58.1	34.7	59.7	0.10	22.02	0.14	0.0168
700586.58	9592102.95	3758	18	4.14	7.7	1.36	9	6	38.0	4.5	58.9	20.9	35.5	0.18	17.11	0.50	0.0126

**Anexo 9.** Scores dos autovalores da análise de componentes principais para os atributos químicos do solo nas camadas de 0.0-0.2 m e 0.2-0.4 de profundidade.

X	Y	0.0-0.2 m de profundidade			0.2-0.4 m de profundidade		
		PCA 1 (46.01%)	PCA 2 (22.22%)	PCA 3 (13.35%)	PCA 1 (26.51%)	PCA 2 (22.69%)	PCA 3 (15.24%)
700823.09	9591106.7	-0.022	-0.043	-0.007	-0.016	0.042	0.010
700771.05	9591195.6	-0.029	-0.019	-0.013	-0.014	0.027	0.029
700721.68	9591284.1	0.015	-0.008	-0.086	0.023	-0.049	0.020
700672.53	9591371.9	-0.027	-0.014	-0.008	0.003	0.045	0.017
700624.72	9591461.1	-0.014	0.053	-0.020	0.010	0.047	0.031
700574.79	9591550.6	0.002	-0.036	-0.073	0.008	0.061	-0.006
700524.31	9591641.5	-0.025	-0.027	0.011	0.020	-0.025	-0.042
700834.41	9591155.7	-0.030	0.002	0.003	-0.016	0.009	0.059
700782.71	9591247.9	-0.020	-0.015	-0.046	0.001	-0.053	0.038
700731.35	9591338.3	0.007	-0.050	-0.062	-0.041	-0.010	0.032
700680.87	9591430.5	-0.006	-0.040	0.043	-0.018	0.030	-0.003
700631.29	9591522.7	0.019	-0.047	0.018	0.045	0.019	0.006
700583.25	9591611.1	-0.027	-0.023	-0.003	0.033	-0.009	0.063
700532.99	9591699.8	0.024	-0.020	-0.015	0.050	0.010	0.021
700845.31	9591217.7	-0.020	0.036	-0.036	0.041	0.030	0.013
700795.39	9591306.1	-0.002	-0.030	-0.090	0.030	0.003	-0.063
700745.57	9591393.4	0.018	0.032	-0.019	0.015	0.005	0.032
700697.98	9591482.8	-0.001	0.033	0.020	0.044	0.009	0.045
700647.83	9591572.5	-0.029	-0.006	-0.007	0.017	0.017	0.016
700598.12	9591659.6	0.016	-0.043	-0.052	0.033	0.027	0.052
700550.08	9591748.1	-0.020	-0.028	-0.022	0.050	-0.003	-0.010
700846.55	9591278	-0.020	-0.013	-0.007	0.046	0.012	-0.034
700797.84	9591366.5	-0.028	0.001	-0.012	0.040	0.015	0.038

Continua



X	Y	0.0-0.2 m de profundidade			0.2-0.4 m de profundidade		
		PCA 1 (46.01%)	PCA 2 (22.22%)	PCA 3 (13.35%)	PCA 1 (26.51%)	PCA 2 (22.69%)	PCA 3 (15.24%)
700749.25	9591454.9	0.013	-0.046	-0.040	0.029	0.021	0.038
700699.55	9591545.9	0.025	-0.014	0.005	0.024	0.030	0.059
700648.96	9591636.9	-0.022	0.035	-0.039	-0.014	-0.013	-0.040
700600.59	9591726.8	0.018	-0.029	-0.040	-0.030	0.023	0.003
700549.78	9591815.8	-0.028	0.002	-0.004	0.039	-0.021	-0.051
700852.19	9591320.1	0.021	-0.007	-0.076	-0.017	0.030	-0.043
700804.48	9591409.6	0.005	0.029	-0.066	-0.013	0.009	0.055
700754.78	9591497.9	-0.013	-0.043	-0.021	0.003	-0.049	0.047
700704.74	9591586.5	-0.030	0.006	-0.011	0.021	0.015	-0.071
700656.37	9591674.7	-0.024	0.014	0.021	0.024	-0.037	-0.058
700607.78	9591764.2	0.016	-0.029	-0.031	-0.005	-0.053	0.019
700556.41	9591852.3	-0.022	0.038	0.001	0.018	-0.054	-0.037
700860.43	9591276.6	-0.029	-0.003	-0.024	0.023	-0.053	-0.007
700812.57	9591451.1	0.004	-0.061	0.000	0.028	-0.037	-0.038
700762.76	9591540.9	0.017	0.004	-0.044	0.004	-0.008	-0.087
700714.16	9591628.3	0.029	-0.012	-0.019	-0.040	0.016	0.020
700663.79	9591716.5	-0.025	-0.016	-0.025	0.024	-0.036	0.014
700613.2	9591806.4	-0.022	0.003	-0.025	-0.014	0.036	-0.061
700564.61	9591896.9	-0.030	-0.008	-0.026	-0.016	0.005	0.060
700868.01	9591396.8	0.028	0.011	-0.040	0.011	-0.033	0.042
700815.97	9591486.8	0.025	-0.019	-0.007	-0.032	-0.014	0.020
700768.27	9591575.6	0.003	0.057	-0.011	0.001	-0.002	0.005
700717.35	9591665.1	-0.010	0.058	0.006	0.011	0.023	-0.057
700668.08	9591753.1	0.022	0.043	-0.011	0.004	-0.048	0.032
700619.74	9591801.3	-0.019	0.023	-0.064	0.007	-0.051	0.040

Continua

X	Y	0.0-0.2 m de profundidade			0.2-0.4 m de profundidade		
		PCA 1 (46.01%)	PCA 2 (22.22%)	PCA 3 (13.35%)	PCA 1 (26.51%)	PCA 2 (22.69%)	PCA 3 (15.24%)
700567.9	9591932.3	0.029	0.009	-0.016	0.017	-0.051	0.012
700872.33	9591444.4	-0.008	0.058	-0.012	-0.043	-0.021	-0.023
700823.96	9591534.9	-0.014	0.054	-0.019	0.008	0.035	-0.052
700775.25	9591621.6	0.027	-0.004	-0.017	-0.022	0.032	-0.052
700725.99	9591709.5	0.014	0.056	-0.006	-0.009	-0.055	0.022
700675.95	9591795.8	0.022	0.041	-0.005	-0.010	-0.028	-0.043
700624.7	9591889.1	0.028	0.023	-0.011	-0.040	0.019	0.022
700576.33	9591977.5	0.026	-0.017	-0.012	-0.030	-0.034	-0.027
700874.21	9591496	-0.011	-0.020	-0.004	-0.033	0.001	-0.010
700826.06	9591586	0.030	0.013	-0.004	-0.030	-0.043	-0.006
700776.13	9591673	0.019	0.045	-0.001	-0.030	-0.016	0.024
700727.21	9591760.8	0.030	0.004	-0.021	-0.045	-0.023	-0.015
700680.61	9591847	0.029	-0.005	0.038	-0.048	0.019	0.021
700630.46	9591936.6	0.024	-0.025	0.034	-0.046	-0.018	0.001
700581.64	9592024.2	0.024	0.003	0.065	-0.037	-0.020	-0.007
700883.47	9591569.1	0.019	0.016	0.078	-0.003	-0.008	-0.059
700835.88	9591657.8	-0.006	-0.041	0.072	-0.014	0.028	-0.012
700785.84	9591746.6	-0.018	-0.011	0.076	-0.024	-0.027	0.000
700734.91	9591834.9	-0.009	-0.002	0.094	-0.019	-0.014	-0.031
700686.98	9591922.7	0.002	-0.029	0.092	-0.043	0.005	0.009
700636.5	9592013.6	0.005	0.029	-0.004	-0.052	0.017	0.010
700586.58	9592103	0.029	-0.007	0.033			

**Anexo 10.** Atributos físicos do solo na camada de 0.0-0.2 m de profundidade na área de estudo.

X	Y	Produtividade	CO	EstC	Condutividade hidráulica	Densidade	Macroporosidade	Microporosidade	Porosidade total	Areia Total	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila
700823.09	9591106.71	2919	4.0046431	10.010006	60.14	1.2498	0.1447	0.3451	0.4898	743	202	541	137	120
700771.05	9591195.62	3233	5.7457922	14.87011	11.28	1.294	0.231	0.3624	0.5934	854	289	565	47	100
700721.68	9591284.08	3192	4.0046431	10.345595	11.28	1.2917	0.1635	0.369	0.5325	730	178	552	171	100
700672.53	9591371.88	2904	6.5002902	17.721091	135.3	1.3631	0.2014	0.3913	0.5927	741	166	575	109	150
700624.72	9591461.12	3116	6.0940221	16.084562	82.7	1.3197	0.1471	0.3976	0.5447	779	201	578	82	140
700574.79	9591550.57	2895	5.9199071	15.590667	75.18	1.3168	0.1648	0.4166	0.5814	753	187	566	127	120
700524.31	9591641.47	2488	5.5716773	14.84072	22.55	1.3318	0.1838	0.3885	0.5723	783	202	581	107	110
700834.41	9591155.68	3854	4.9332559	11.992745	60.14	1.2155	0.1525	0.3903	0.5428	729	177	552	162	110
700782.71	9591247.91	3608	4.0626814	10.281021	120.3	1.2653	0.1396	0.3824	0.522	741	166	575	100	160
700731.35	9591338.25	3620	6.5002902	17.527382	180.4	1.3482	0.1592	0.4081	0.5673	776	198	578	85	140
700680.87	9591430.48	3333	7.0226349	17.74058	135.3	1.2631	0.1891	0.3756	0.5647	752	186	566	138	110
700631.29	9591522.7	2368	3.2501451	8.5361811	56.38	1.3132	0.1604	0.3888	0.5492	784	203	581	107	110
700583.25	9591611.05	3964	4.7011027	12.14953	105.2	1.2922	0.1614	0.3943	0.5557	755	156	599	105	140
700532.99	9591699.84	2658	1.9733024	4.9249681	60.14	1.2479	0.1984	0.4004	0.5988	742	189	553	149	110
700845.31	9591217.7	2407	2.9019153	7.2797446	75.18	1.2543	0.1964	0.4135	0.6099	767	175	592	84	150
700795.39	9591306.05	2368	12.594312	29.342229	75.18	1.1649	0.194	0.3774	0.5714	749	173	576	141	110
700745.57	9591393.41	3886	5.6297156	15.268915	195.5	1.3561	0.1331	0.4066	0.5397	702	232	470	189	110
700697.98	9591482.75	3617	5.2234475	14.214045	52.62	1.3606	0.1459	0.3599	0.5058	691	193	498	130	180
700647.83	9591572.54	3844	6.9065583	18.8922	112.8	1.3677	0.1712	0.3821	0.5533	775	224	551	96	130
700598.12	9591659.57	3804	6.6163668	16.286849	270.6	1.2308	0.1901	0.3369	0.527	783	176	607	77	140
700550.08	9591748.14	2349	5.6297156	13.300766	60.14	1.1813	0.2447	0.347	0.5917	790	198	592	90	120
700846.55	9591277.97	2271	7.1967499	18.747533	120.3	1.3025	0.15	0.383	0.533	741	200	541	209	50
700797.84	9591366.54	3620	6.9065583	17.530226	90.21	1.2691	0.175	0.3605	0.5355	854	293	561	47	100
700749.25	9591454.89	3276	5.3975624	14.354277	105.2	1.3297	0.1479	0.3802	0.5281	729	177	552	182	90
700699.55	9591545.9	3751	2.4376088	6.8014161	150.4	1.3951	0.1155	0.4103	0.5258	741	166	575	160	100
700648.96	9591636.9	3302	6.9065583	16.0909	120.3	1.1649	0.2031	0.3659	0.569	778	201	577	113	110
700600.59	9591726.8	3877	5.9779454	14.557493	82.7	1.2176	0.1656	0.3786	0.5442	753	188	565	147	100
700549.78	9591815.82	2150	4.4689495	11.775682	75.18	1.3175	0.1237	0.3928	0.5165	781	200	581	100	120
700852.19	9591320.09	3105	7.3708648	19.243854	150.4	1.3054	0.1812	0.3954	0.5766	765	166	599	126	110
700804.48	9591409.55	3706	4.9332559	13.314858	30.07	1.3495	0.1227	0.412	0.5347	742	189	553	139	120
700754.78	9591497.9	3532	4.0626814	10.614974	180.4	1.3064	0.1046	0.4388	0.5434	768	176	592	142	90
700704.74	9591586.47	2021	7.603018	18.008508	165.4	1.1843	0.2401	0.3617	0.6018	784	208	576	137	80
700656.37	9591674.71	2061	4.1207197	10.754254	75.18	1.3049	0.1487	0.4353	0.584	704	234	470	227	70
700607.78	9591764.17	3406	7.603018	18.653244	7.52	1.2267	0.1488	0.402	0.5508	691	193	498	229	80

Continua

X	Y	Produtividade	CO	EstC	Condutividade hidráulica	Densidade	Macroporosidade	Microporosidade	Porosidade total	Areia Total	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila
700556.41	9591852.3	2434	7.0806732	17.865955	16.92	1.2616	0.1638	0.4059	0.5697	775	224	551	145	80
700860.43	9591276.62	2766	4.0626814	11.090308	18.79	1.3649	0.2189	0.3797	0.5986	783	176	607	127	90
700812.57	9591451.11	2403	6.4422519	13.457864	33.83	1.0445	0.3638	0.2353	0.5991	741	200	541	169	90
700762.76	9591540.9	2394	7.5449797	16.933952	30.07	1.1222	0.2386	0.2941	0.5327	854	291	563	87	60
700714.16	9591628.26	3846	6.5583285	17.666825	41.35	1.3469	0.1412	0.3767	0.5179	729	177	552	202	70
700663.79	9591716.5	3332	5.0493326	12.397121	93.97	1.2276	0.1865	0.3527	0.5392	681	180	501	79	240
700613.2	9591806.4	2229	7.9512478	20.887928	56.38	1.3135	0.1597	0.3653	0.525	662	150	512	129	210
700564.61	9591896.85	3838	5.513639	14.393906	150.4	1.3053	0.1635	0.3645	0.528	749	154	595	142	110
700868.01	9591396.81	3560	4.0626814	10.337899	78.94	1.2723	0.1485	0.3822	0.5307	764	175	589	136	100
700815.97	9591486.83	3365	7.0806732	17.976413	37.59	1.2694	0.1564	0.3709	0.5273	770	170	600	130	100
700768.27	9591575.62	3502	7.603018	19.92751	41.35	1.3105	0.1178	0.3978	0.5156	776	198	578	145	80
700717.35	9591665.08	2008	2.6117237	6.3464887	26.31	1.215	0.1715	0.3567	0.5282	744	199	545	187	70
700668.08	9591753.1	3922	3.5403366	8.7510041	60.14	1.2359	0.1607	0.3835	0.5442	707	162	545	214	80
700619.74	9591801.26	3680	6.4422519	15.671422	195.5	1.2163	0.1696	0.3748	0.5444	759	196	563	161	80
700567.9	9591932.34	3607	6.5002902	15.855508	150.4	1.2196	0.1748	0.3726	0.5474	749	182	567	172	80
700872.33	9591444.36	3501	12.768427	32.288799	75.18	1.2644	0.1449	0.406	0.5509	784	208	576	137	80
700823.96	9591534.92	3569			90.21	1.3814	0.0853	0.4373	0.5226	749	182	567	142	110
700775.25	9591621.61	2192	8.1253627	20.201277	97.73	1.2431	0.1504	0.3795	0.5299	662	113	549	239	100
700725.99	9591709.52	2392	7.5449797	18.444457	150.4	1.2223	0.1737	0.3754	0.5491	751	165	586	180	70
700675.95	9591795.77	3954	8.1253627	19.83401	172.9	1.2205	0.1959	0.335	0.5309	762	195	567	168	70
700624.7	9591889.1	2220	8.7057458	21.679048	150.4	1.2451	0.1939	0.3542	0.5481	748	188	560	173	80
700576.33	9591977.45	3677	10.446895	25.791294	15.04	1.2344	0.1884	0.3552	0.5436	768	174	594	173	60
700874.21	9591496	3234	12.188044	31.659663	30.07	1.2988	0.1221	0.3849	0.507	764	179	585	146	90
700826.06	9591586	3622	19.733024	49.30888	30.07	1.2494	0.167	0.3573	0.5243	702	232	470	169	130
700776.13	9591673.03	3596	12.188044	32.717586	67.66	1.3422	0.1693	0.3991	0.5684	702	232	470	119	180
700727.21	9591760.83	3640	6.9645966	18.16924	203	1.3044	0.1333	0.3724	0.5057	661	195	466	219	120
700680.61	9591846.96	3719	12.768427	33.195357	30.07	1.2999	0.1736	0.3653	0.5389	704	166	538	86	210
700630.46	9591936.64	3838	10.446895	26.639582	120.3	1.275	0.1392	0.3749	0.5141	676	178	498	115	210
700581.64	9592024.22	3971	13.929193	34.18224	22.55	1.227	0.1459	0.3801	0.526	649	202	447	191	160
700883.47	9591569.08	3465	14.509576	38.56065	22.55	1.3288	0.1441	0.3917	0.5358	702	192	510	139	160
700835.88	9591657.76	2017	13.929193	33.452351	41.35	1.2008	0.1428	0.3718	0.5146	702	232	470	179	120
700785.84	9591746.55	3230	6.9645966	17.383633	75.18	1.248	0.1526	0.375	0.5276	741	166	575	99	160
700734.91	9591834.91	3963	12.768427		56.38					778	200	578	83	140
700686.98	9591922.7	3373	13.34881	30.024144	135.3	1.1246	0.1834	0.3711	0.5545	753	187	566	67	180
700636.5	9592013.6	3628	11.607661	26.855485	82.7	1.1568	0.2254	0.36	0.5854	755	116	639	76	170
700586.58	9592102.95	3758	10.446895	24.608706	67.66	1.1778	0.1925	0.352	0.5445	662	111	551	159	180

**Anexo 11. Atributos físicos do solo na camada de 0.2-0.4 m de profundidade na área de estudo.**

X	Y	Produtividade	CO	EstC	Condutividade hidráulica	Densidade	Macroporosidade	Microporosidade	Porosidade total	Areia Total	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila
700823.09	9591106.71	2919	9.3479969	23.033464	135.3	1.232	0.1773	0.3592	0.5365	754	196	558	130	116
700771.05	9591195.62	3233	8.0911233	19.731013	90.21	1.2193	0.1761	0.3477	0.5238	814	269	545	80	106
700721.68	9591284.08	3192	6.0487038	15.482262	45.11	1.2798	0.1898	0.3347	0.5245	690	150	540	150	160
700672.53	9591371.88	2904	9.9764336	23.271029	120.3	1.1663	0.1728	0.3159	0.4887	741	166	575	109	150
700624.72	9591461.12	3116	6.6771406	17.400628	60.14	1.303	0.1882	0.3593	0.5475	779	201	578	81	140
700574.79	9591550.57	2895	5.4988217	12.990416	52.62	1.1812	0.1966	0.3275	0.5241	760	187	566	127	113
700524.31	9591641.47	4488	8.7981147	19.943566	285.7	1.1334	0.1598	0.3291	0.4889	780	210	570	107	113
700834.41	9591155.68	3854	9.505106	24.295051	75.18	1.278	0.2198	0.3064	0.5262	741	183	558	152	107
700782.71	9591247.91	3608	5.1060487	13.191987	97.73	1.2918	0.1714	0.3804	0.5518	700	150	550	130	170
700731.35	9591338.25	3620	5.5773763	14.22231	75.18	1.275	0.1463	0.3552	0.5015	750	207	543	110	140
700680.87	9591430.48	3333	10.290652	27.8074	45.11	1.3511	0.1377	0.35	0.4877	740	172	568	140	120
700631.29	9591522.7	4368	9.5836606	24.846599	150.4	1.2963	0.1692	0.3256	0.4948	784	203	581	107	109
700583.25	9591611.05	3964	8.0911233		33.83					749	154	595	142	110
700532.99	9591699.84	4658	7.4626866	18.891045	90.21	1.2657	0.1656	0.3481	0.5137	764	175	589	136	100
700845.31	9591217.7	4407	5.4202671	14.519811	105.2	1.3394	0.1879	0.374	0.5619	770	170	600	130	100
700795.39	9591306.05	4368	5.1060487	13.317596	97.73	1.3041	0.1861	0.3709	0.557	776	198	578	145	80
700745.57	9591393.41	3886	6.3629222	17.596025	187.9	1.3827	0.1671	0.3957	0.5628	744	199	545	187	70
700697.98	9591482.75	3617	9.1908877	23.229049	97.73	1.2637	0.15	0.3732	0.5232	707	162	545	214	80
700647.83	9591572.54	3844	7.5412412	19.543881	135.3	1.2958	0.1713	0.3839	0.5552	759	196	563	161	80
700598.12	9591659.57	3804	6.0487038	15.950432	37.59	1.3185	0.1712	0.3772	0.5484	749	182	567	172	80
700550.08	9591748.14	4349	7.5412412	18.083896	67.66	1.199	0.1787	0.3673	0.546	755	156	599	105	140
700846.55	9591277.97	4271	11.311862	29.198178	26.31	1.2906	0.1848	0.3734	0.5582	742	189	553	149	110
700797.84	9591366.54	3620	7.5412412	21.082294	71.42	1.3978	0.1475	0.4154	0.5629	767	175	592	84	150
700749.25	9591454.89	3276	8.6410055	21.956795	45.11	1.2705	0.1766	0.3828	0.5594	749	173	576	141	110
700699.55	9591545.9	3751	7.3055774	19.435758	75.18	1.3302	0.1639	0.3926	0.5565	690	245	445	150	160
700648.96	9591636.9	3302	5.8130401	13.733888	52.62	1.1813	0.1851	0.3565	0.5416	778	201	577	113	110
700600.59	9591726.8	3877	7.384132	18.404211	67.66	1.2462	0.1975	0.396	0.5935	753	188	565	147	100
700549.78	9591815.82	4150	7.7769049	22.640126	67.66	1.4556	0.1256	0.4419	0.5675	781	200	581	99	120
700852.19	9591320.09	3105	5.4202671	13.237376	60.14	1.2211	0.1707	0.388	0.5587	765	166	599	125	110
700804.48	9591409.55	3706	5.6559309	14.826457	45.11	1.3107	0.1518	0.4064	0.5582	742	189	553	138	120
700754.78	9591497.9	3532	7.2270228	18.397109	37.59	1.2728	0.1545	0.3427	0.4972	768	176	592	142	90
700704.74	9591586.47	4021	7.6197958	21.25161	60.14	1.3945	0.1263	0.3904	0.5167	784	208	576	136	80
700656.37	9591674.71	4061	13.825609	37.204713	52.62	1.3455	0.1302	0.3625	0.4927	704	234	470	226	70
700607.78	9591764.17	3406	7.8554595	20.772977	3.759	1.3222	0.1649	0.3636	0.5285	691	193	498	229	80

Continua

X	Y	Produtividade	CO	EstC	Condutividade hidráulica	Densidade	Macroporosidade	Micro porosidade	Porosidade total	Areia Total	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila
700556.41	9591852.3	4434	8.5624509	20.777643	195.5	1.2133	0.1743	0.3529	0.5272	784	208	576	137	80
700860.43	9591276.62	4766	5.9701493	15.986866	18.79	1.3389	0.138	0.3812	0.5192	749	182	567	142	110
700812.57	9591451.11	4403	9.5836606	24.723928	63.9	1.2899	0.1551	0.375	0.5301	662	113	549	239	100
700762.76	9591540.9	4394	5.4988217	14.69945	124	1.3366	0.1309	0.4119	0.5428	751	165	586	180	70
700714.16	9591628.26	3846	7.9340141	19.558932	63.9	1.2326	0.1716	0.3695	0.5411	704	166	538	86	210
700663.79	9591716.5	3332	7.6197958	20.968154	63.9	1.3759	0.1257	0.4055	0.5312	676	178	498	104	220
700613.2	9591806.4	4229	7.3055774	19.199057	45.11	1.314	0.1176	0.3837	0.5013	649	202	447	191	160
700564.61	9591896.85	3838	7.4626866	18.934328	63.9	1.2686	0.149	0.3837	0.5327	729	177	552	182	90
700868.01	9591396.81	3560	5.8915947	14.619403	259.4	1.2407	0.158	0.3793	0.5373	741	166	575	160	100
700815.97	9591486.83	3365	9.5836606	24.660676	33.83	1.2866	0.1432	0.3893	0.5325	790	198	592	90	120
700768.27	9591575.62	3502	7.0699136	18.889395	52.62	1.3359	0.1193	0.4025	0.5218	741	200	541	209	50
700717.35	9591665.08	4008	8.5624509	23.156292	281.9	1.3522	0.1269	0.391	0.5179	854	293	561	46	100
700668.08	9591753.1	3922	7.384132	17.491532	41.35	1.1844	0.2004	0.3701	0.5705	702	232	470	188	110
700619.74	9591801.26	3680	5.6559309	14.005216	63.9	1.2381	0.1929	0.3849	0.5778	691	193	498	129	180
700567.9	9591932.34	3607	7.3055774	19.232663	45.11	1.3163	0.1612	0.3488	0.51	775	224	551	95	130
700872.33	9591444.36	3501	6.991359	18.946583	82.7	1.355	0.1721	0.36	0.5321	783	176	607	77	140
700823.96	9591534.92	3569	5.9701493	16.182687	60.14	1.3553	0.1359	0.3639	0.4998	775	224	551	145	80
700775.25	9591621.61	4192	8.8766693	25.614517	75.18	1.4428	0.0922	0.3929	0.4851	783	176	607	127	90
700725.99	9591709.52	4392	7.6983504	21.416811	48.87	1.391	0.1114	0.3916	0.503	741	200	541	169	90
700675.95	9591795.77	3954	7.3055774	20.462922	225.5	1.4005	0.1051	0.3886	0.4937	762	195	567	168	70
700624.7	9591889.1	4220	7.4626866	19.107463	37.59	1.2802	0.1565	0.3646	0.5211	748	188	560	172	80
700576.33	9591977.45	3677	9.5836606	25.312364	67.66	1.3206	0.1332	0.3802	0.5134	768	174	594	172	60
700874.21	9591496	3234	14.375491	38.486064	15.04	1.3386	0.1178	0.384	0.5018	764	179	585	146	90
700826.06	9591586	3622	9.1908877	23.81359	60.14	1.2955	0.1431	0.3788	0.5219	702	232	470	168	130
700776.13	9591673.03	3596	8.9552239	23.371343	105.2	1.3049	0.1554	0.3771	0.5325	680	230	450	170	150
700727.21	9591760.83	3640	7.8554595	17.965436	150.4	1.1435	0.2188	0.3465	0.5653	695	255	440	155	150
700680.61	9591846.96	3719	10.997643	28.358523	52.62	1.2893	0.1562	0.3892	0.5454	690	245	445	150	160
700630.46	9591936.64	3838	12.568735	30.627494	30.07	1.2184	0.1888	0.3589	0.5477	702	232	470	118	180
700581.64	9592024.22	3971	16.496465	41.010212	105.2	1.243	0.1661	0.381	0.5471	661	195	466	219	120
700883.47	9591569.08	3465	14.139827	35.736999	135.3	1.2637	0.1745	0.3812	0.5557	702	192	510	138	160
700835.88	9591657.76	4017	15.710919	39.908877	112.8	1.2701	0.18	0.3862	0.5662	702	232	470	178	120
700785.84	9591746.55	3230	16.496465	42.818225	278.2	1.2978	0.1549	0.3844	0.5393	741	166	575	99	160
700734.91	9591834.91	3963	17.282011	45.918303	184.2	1.3285	0.1473	0.3634	0.5107	729	177	552	121	150
700686.98	9591922.7	3373	18.067557	45.190573	112.8	1.2506	0.1637	0.361	0.5247	681	180	501	79	240
700636.5	9592013.6	3628	7.0699136	18.359152	150.4	1.2984	0.1534	0.363	0.5164	662	150	512	128	210
700586.58	9592102.95	3758	14.139827	34.69348	195.5	1.2268	0.1696	0.3762	0.5458	662	111	551	148	190

**Anexo 12.** Scores dos autovalores da análise de componentes principais para os atributos físicos do solo nas camadas de 0.0-0.2 m e 0.2-0.4 de profundidade.

X	Y	0.0-0.2 m de profundidade			0.2-0.4 m de profundidade		
		Factor 1 (26.89%)	Factor 2 (24.09%)	Factor 3 (22.22%)	Factor 1 (31.95%)	Factor 2 (22.83%)	Factor 3 (13.85%)
700823.09	9591106.7	0.004	-0.026	-0.057	-0.002	0.037	-0.007
700771.05	9591195.6	-0.029	-0.012	-0.031	0.008	0.030	0.074
700721.68	9591284.1	0.021	-0.030	0.002	-0.015	0.017	-0.058
700672.53	9591371.9	-0.022	0.038	0.005	-0.005	0.051	-0.044
700624.72	9591461.1	-0.043	0.023	-0.025	0.013	0.055	0.024
700574.79	9591550.6	-0.045	-0.006	-0.020	0.016	0.036	0.004
700524.31	9591641.5	-0.041	-0.021	-0.028	0.010	0.008	0.031
700834.41	9591155.7	0.034	0.005	0.027	0.023	-0.030	-0.058
700782.71	9591247.9	-0.011	0.057	0.008	-0.009	0.023	-0.042
700731.35	9591338.3	-0.027	0.039	0.010	0.005	0.038	0.067
700680.87	9591430.5	-0.012	0.013	0.048	0.005	0.024	-0.066
700631.29	9591522.7	-0.045	-0.021	-0.024	0.026	0.011	0.031
700583.25	9591611.1	-0.016	0.044	0.029	0.031	-0.001	-0.058
700532.99	9591699.8	-0.008	-0.044	-0.024	0.031	-0.017	-0.004
700845.31	9591217.7	-0.043	0.016	-0.020	0.037	-0.005	-0.002
700795.39	9591306.1	-0.030	-0.023	0.000	0.037	-0.021	0.035
700745.57	9591393.4	0.040	-0.001	0.003	0.012	-0.035	0.015
700697.98	9591482.8	0.036	0.031	-0.033	0.000	-0.043	-0.060
700647.83	9591572.5	-0.012	0.025	-0.016	0.029	-0.026	0.014
700598.12	9591659.6	-0.023	0.036	0.028	0.033	-0.032	-0.008
700550.08	9591748.1	-0.049	-0.008	-0.022	0.024	0.016	-0.028
700846.55	9591278	0.008	-0.049	0.016	0.008	-0.028	-0.017
700797.84	9591366.5	-0.027	-0.005	-0.024	0.018	0.054	-0.008
700749.25	9591454.9	0.029	-0.026	0.044	0.019	0.024	-0.051
700699.55	9591545.9	0.009	0.012	0.061	-0.034	-0.012	0.059
700648.96	9591636.9	-0.044	0.007	0.013	0.027	0.036	0.031
700600.59	9591726.8	0.011	0.002	0.040	0.041	-0.018	0.004
700549.78	9591815.8	-0.045	-0.013	-0.025	0.030	0.023	0.036
700852.19	9591320.1	-0.033	0.013	0.041	0.028	0.034	-0.025
700804.48	9591409.6	0.016	0.007	-0.007	0.024	0.006	0.026
700754.78	9591497.9	-0.017	0.006	0.056	0.038	0.008	-0.023

Continua

X	Y	0.0-0.2 m de profundidade			0.2-0.4 m de profundidade		
		Factor 1 (26.89%)	Factor 2 (24.09%)	Factor 3 (22.22%)	Factor 1 (31.95%)	Factor 2 (22.83%)	Factor 3 (13.85%)
700704.74	9591586.5	-0.030	-0.028	0.005	0.038	-0.009	0.040
700656.37	9591674.7	0.027	-0.042	-0.016	-0.017	-0.049	0.011
700607.78	9591764.2	0.044	-0.030	0.001	-0.010	-0.045	-0.013
700556.41	9591852.3	-0.017	-0.049	-0.027	0.026	-0.014	0.033
700860.43	9591276.6	-0.039	-0.023	0.006	0.022	-0.025	0.012
700812.57	9591451.1	0.003	-0.054	-0.020	-0.002	-0.042	-0.070
700762.76	9591540.9	-0.029	-0.031	-0.026	0.030	-0.035	-0.017
700714.16	9591628.3	0.029	-0.026	0.032	-0.018	0.036	-0.016
700663.79	9591716.5	0.016	0.046	-0.033	-0.033	0.031	-0.008
700613.2	9591806.4	0.017	0.026	-0.031	-0.031	-0.034	0.012
700564.61	9591896.9	-0.006	0.025	0.057	0.017	-0.049	-0.035
700868.01	9591396.8	-0.023	0.002	0.044	0.009	0.003	-0.022
700815.97	9591486.8	-0.029	-0.005	0.022	0.021	0.044	0.008
700768.27	9591575.6	-0.016	-0.030	0.017	0.014	-0.042	0.002
700717.35	9591665.1	-0.001	-0.056	-0.011	0.010	0.024	0.074
700668.08	9591753.1	0.037	-0.014	0.036	-0.020	-0.042	0.048
700619.74	9591801.3	0.004	-0.005	0.048	-0.030	0.011	0.020
700567.9	9591932.3	0.011	-0.013	0.058	0.011	0.036	0.069
700872.33	9591444.4	-0.024	-0.029	0.018	0.024	0.052	-0.003
700823.96	9591534.9	0.002	0.014	0.051	0.025	-0.006	0.065
700775.25	9591621.6	0.023	-0.014	0.024	0.041	0.001	-0.016
700725.99	9591709.5	-0.012	-0.029	0.037	0.016	-0.051	0.024
700675.95	9591795.8	0.008	-0.009	0.054	0.018	-0.019	0.008
700624.7	9591889.1	-0.008	-0.034	0.018	0.027	-0.045	0.001
700576.33	9591977.5	-0.005	-0.028	0.032	0.033	-0.019	-0.039
700874.21	9591496	-0.020	-0.026	0.018	0.009	0.009	-0.047
700826.06	9591586	0.042	-0.007	-0.031	-0.033	-0.023	0.045
700776.13	9591673	0.031	0.020	-0.043	-0.039	-0.018	0.035
700727.21	9591760.8	0.045	0.002	0.010	-0.034	-0.010	0.060
700680.61	9591847	0.011	0.047	-0.027	-0.038	-0.011	0.043
700630.46	9591936.6	0.030	0.045	-0.019	-0.035	0.005	0.031
700581.64	9592024.2	0.049	0.008	-0.020	-0.032	-0.036	-0.029
700883.47	9591569.1	0.036	0.020	-0.037	-0.038	0.013	-0.030

Continua



X	Y	0.0-0.2 m de profundidade			0.2-0.4 m de profundidade		
		Factor 1 (26.89%)	Factor 2 (24.09%)	Factor 3 (22.22%)	Factor 1 (31.95%)	Factor 2 (22.83%)	Factor 3 (13.85%)
700835.88	9591657.8	0.025	-0.029	-0.041	-0.032	-0.029	0.011
700785.84	9591746.6	-0.019	0.047	-0.011	-0.014	0.034	-0.043
700734.91	9591834.9	-0.022	0.032	-0.011	-0.020	0.014	-0.047
700686.98	9591922.7	-0.019	0.051	-0.017	-0.034	0.030	-0.028
700636.5	9592013.6	-0.024	0.039	0.018	-0.029	0.017	-0.034
700586.58	9592103	0.026	0.035	0.013	-0.022	0.009	-0.078

# **ANEXOS**

**ANEXO I - PRÁTICAS INOVADORAS DE GESTÃO AMBIENTAL  
PARA A SUSTENTABILIDADE DO AGRONEGÓCIO**

# **GEOTECNOLOGIAS, AGRICULTURA DE PRECISÃO E MANEJO DOS RECURSOS NATURAIS**



**Dr. Glécio Machado Siqueira  
Raimunda Alves Silva  
Mayanna Karlla Lima Costa  
(Orgs.)**

Copyright © 2016 by EDUFMA

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO**

Profa. Dra. Nair Portela Silva Coutinho  
Reitora

Prof. Dr. Fernando Carvalho Silva  
Vice-Reitor

**EDITORA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO**

Prof. Dr. Sanatiel de Jesus Pereira  
Diretor

**CONSELHO EDITORIAL**

Prof. Dr. Jardel Oliveira Santos  
Profa. Dra. Michele Goulart Massuchin  
Prof. Dr. Jadir Machado Lessa  
Profa. Dra. Francisca das Chagas Silva Lima  
Bibliotecária Tatiana Cotrim Serra Freire  
Profa. Dra. Maria Mary Ferreira  
Profa. Dra. Raquel Gomes Noronha  
Prof. Dr. Ítalo Domingos Santirocchi  
Prof. Me. Cristiano Leonardo de Alan Kardec Capovilla Luz

**Revisão**

Glécio Machado Siqueira, Raimunda Alves Silva e Mayanna Karlla Lima Costa

**Projeto Gráfico**

Prof. Dr. Glécio Machado Siqueira

**ISBN: 978-85-7862-573-3**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Geotecnologias, agricultura de precisão e manejo dos recursos naturais [livro eletrônico] / Glécio Machado Siqueira, Raimunda Alves Silva, Mayanna Karlla Lima Costa. — São Luís: EDUFMA, 2016.

236 p.; ePUB

ISBN 978-85-7862-573-3

1. Geotecnologias. 2. Agricultura de precisão. 3. Recursos naturais - Manejo. 4. Solo. 5. Meio ambiente. I. Siqueira, Glécio Machado. II. Silva, Raimunda Alves da. III. Costa, Mayanna Karlla Lima.

CDD 551.600

CDU 551:6

## *PRÁTICAS INOVADORAS DE GESTÃO AMBIENTAL PARA A SUSTENTABILIDADE DO AGRONEGÓCIO*

Ricardo N. Buss<sup>1</sup>

Glécio M. Siqueira<sup>2</sup>

### **INTRODUÇÃO**

A competitividade dos mercados vem pressionando as indústrias a melhorarem constantemente seu desempenho produtivo, desconsiderando em muitos casos o impacto de suas operações perante o meio ambiente. A visão organizacional tão difundida de que gastos ambientais reduzem a competitividade dos produtos em relação a países que não possuem esse tipo de controle vem mudando rapidamente.

Fatores como consumidores conscientes, comportamento ambiental correto e até mesmo desastres ambientais vem fazendo com que organizações voltem seus esforços para questões ambientais. Esses fatores associados a sociedade em geral e entidades governamentais pressionam as organizações na adequação de seus processos produtivos, com medidas mais eficazes no controle do impacto ambiental e desenvolvimento sustentável.

Para ANTUNES (2011) um novo paradigma começa a ser desenvolvido por empresas exemplares “que apresentam uma preocupação satisfatória com o meio ambiente, com a saúde e a segurança de seus colaboradores e despertam para a necessidade de iniciativas que determinam inovação e vantagens”. Vantagens como a redução custos, tornando a empresa mais enxuta e competitiva.

O papel do setor privado não se restringe mais a geração de riquezas, mas também, as dimensões sociais e ambientais. A proteção ambiental se reposicionou, deixando de ser uma função com preocupação exclusiva da produção para tornar-

---

<sup>1</sup> Mestre em Administração. Professor na Universidade Federal do Tocantins. Email: [rnbuss@yahoo.com.br](mailto:rnbuss@yahoo.com.br)

<sup>2</sup> Universidade Federal do Maranhão, Departamento de Geociências, São Luís, Maranhão. E-mail: [gleciosiqueira@hotmail.com](mailto:gleciosiqueira@hotmail.com)

se, também, uma função da administração, podendo ser identificada, questões relativas ao meio ambiente influenciando no planejamento estratégico das organizações. (DONAIRE, 1999).

As demandas crescentes do agronegócio mundial por alimento, combustível, ração, além do crescimento populacional e da expansão do consumo, tem gerado uma enorme pressão por soluções e novas áreas de exploração, o que na maioria das vezes pode gerar conflitos. O desafio então vem a ser o de atender as demandas cada vez maiores por alimento e energia, considerando a conservação dos recursos hídricos, do solo, da biodiversidade, a redução da emissão de gases de efeito estufa e a garantia da resiliência dos ecossistemas.

É imprescindível para as indústrias a inserção do conceito de sustentabilidade em seus processos gerenciais, criando um vínculo que desenvolva os fatores sociais, ambientais e econômicos. O desenvolvimento sustentável quando implementado de forma correta, possibilita a construção de base para mudanças progressivas. Desse modo, o objetivo deste artigo é o de entender como as práticas inovadoras de gestão ambiental possam ser utilizados no agronegócio em busca da sustentabilidade.

Esta pesquisa tem como propósito a geração de conhecimentos para aplicações práticas dirigidas à sustentabilidade dentro dos processos de gestão ambiental do agronegócio. A investigação será realizada por meio de uma pesquisa exploratória bibliográfica. A pesquisa exploratória “têm como principal finalidade desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, tendo em vista, a formulação dos problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores” (GIL, 2006). Este tipo de pesquisa é importante para este estudo principalmente quando identificamos na literatura acadêmica a repetição dada ao tema responsabilidade e a falta de análises práticas que demonstrem a eficiência da gestão ambiental.

## **A. Gestão ambiental no agronegócio**

A gestão ambiental é uma prática que vem ganhando espaço nas instituições públicas e privadas, voltando-se para a busca de melhoria constante dos produtos, serviços e do ambiente de trabalho, levando-se em conta o fator ambiental.

Segundo NILSSON (1998) a gestão ambiental envolve “planejamento, organização, e orienta a empresa a alcançar metas (ambientais) específicas”. O autor complementa dizendo que “a gestão ambiental pode se tornar também um importante instrumento para as organizações em suas relações com consumidores, o público em geral, companhias de seguro, agências governamentais, etc.”.

A gestão ambiental pode ser entendida, de acordo com LAVORATO (2004) como um conjunto de “princípios, estratégias e diretrizes de ações e procedimentos para preservar a integridade dos meios físicos e biótico, bem como a dos grupos sociais que deles dependem”. Segundo o mesmo autor, a gestão ambiental busca ordenar as atividades humanas de modo que estas produzam o menor impacto possível sobre o meio.

Já MEDEIROS e SILVA (2003), relacionam gestão ambiental a mobilização das empresas, em seu ambiente (seja interno ou externo), na busca da qualidade ambiental pretendida.

A adoção de uma gestão ambiental pelas empresas faz com que estas contribuam com o meio ambiente, por melhorar a interação entre o homem e a natureza nas mais diversas esferas do mercado. SILVA FILHO e SISCÚ (2003) apresentam resultados positivos obtidos através da implantação da gestão ambiental, sendo:

- Redução de custos, por meio da redução de consumo dos recursos naturais e resíduos gerados;
- Possibilidade de entrada em mercados internacionais, pela adequação a normas vigentes;
- Cumprimento às exigências das legislações ambientais vigentes;
- Melhoria na imagem da empresa pela implantação de um modelo de gestão responsável;



- Facilidade de obtenção de financiamento junto às agências financiadoras da qual estabelecem a necessidade de certificação ambiental.

A gestão ambiental no agronegócio está intimamente relacionada ao uso consciente de matéria e de energia de modo a diminuir o impacto gerado ao meio ambiente. Segundo a Resolução 0001/86 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, Art. 1º, impacto ambiental é qualquer alteração das propriedades físicas, químicas ou biológicas do meio ambiente, por qualquer outra forma de matéria ou energia, lançados na água, no solo ou na atmosfera, acaba por interferir direta ou indiretamente, nas condições de segurança, saúde e bem estar da população humana, da fauna, flora e dos recursos naturais.

Para sua implementação no agronegócio, agroempresas e produtores rurais, faz-se necessário o estabelecimento de um planejamento que desenvolva as medidas necessárias para limitar e organizar as explorações dos recursos naturais. O planejamento ambiental compreende diversos fatores, e é por meio destes que a empresa poderá definir as atividades imprescindíveis para o gerenciamento organizacional das atividades relacionadas ao meio ambiente. É importante analisar todo o processo da cadeia de suprimentos, seus impactos ambientais, a equidade e os requisitos legais para a melhoria contínua na gestão empresarial. A relação da gestão ambiental nos impactos ambientais é apontada por Machado, Figueiredo e DRESS (2008):

*“No caso do agronegócio, onde há um encadeamento de processos interdependentes e interfuncionais caracterizando um sistema, a adoção de uma estratégia ambiental inovativa por parte de um de seus elos e o conseqüente alcance de alguns benefícios citados anteriormente, podem ser anulados por comportamentos menos responsáveis do ponto de vista ambiental por parte de outros componentes do sistema agroindustrial em questão. A observação dos impactos ambientais, e as tentativas de minimizá-los, devem ser feitas em todos os estágios do sistema agroindustrial. Uma gestão ambiental eficiente na produção de insumos agropecuários, na produção agropecuária, na distribuição, no transporte, no armazenamento, na comercialização e no próprio consumo, é condição essencial para*

*caracterizar um sistema que respeita o meio ambiente e fornece produtos ecologicamente corretos e mais valorizados”.*

A questão ambiental tornou-se fator de acréscimo ao agronegócio, onde os envolvidos no agronegócio necessitam incorporar-se ao sistema de gestão ambiental para assegurar sua sobrevivência nos mercados altamente competitivos, respeitando o paradigma de que o desenvolvimento sustentável virá como resultado da conservação da água, do ar, do solo e dos recursos genéticos animais e vegetais, economicamente viável e socialmente aceito.

## **B. Inovação para a sustentabilidade**

Com a constante mudança oriunda das novas demandas da sociedade, como ética, responsabilidade social, sustentabilidade, fazem com que as organizações busquem o aprimoramento de suas estratégias de modo a se adequar a esta nova realidade.

O desenvolvimento sustentável, para DIAS (2004), busca compatibilizar o atendimento das necessidades socioeconômicas do ser humano com as necessidades de preservação do ambiente, assegurando a sustentabilidade da vida na Terra para as gerações presentes e futuras.

Ao voltarem seus esforços para além da produção, visualizando o bom desempenho sócio ambiental, a organização assegura o reconhecimento público em áreas importantes de grandeza econômica, social e ambiental, melhorando a produtividade e identificação dos empregados com a empresa, devido a incorporação de temas ambientais e sociais em suas ações.

Diante deste contexto, o desenvolvimento sustentável provém de uma profunda reavaliação da interação entre homem e o meio ambiente. Segundo o Relatório de Brundtland apresentado por BELLEN (2005) a “sustentabilidade é o emprego de tecnologia e de organização social, atendendo a necessidade das gerações presentes sem comprometer a possibilidade das gerações futuras atenderem as suas próprias necessidades”

BUAINAIN (2006), apresenta uma noção de sustentabilidade ao dizer que ela incorpora uma clara dimensão social e implica atender também as necessidades dos mais pobres de hoje, outra dimensão ambiental abrangente, uma vez que busca garantir que a satisfação das necessidades no presente sem que comprometam o meio ambiente e criem dificuldades para as gerações futuras. Assim, a ideia de desenvolvimento sustentável carrega um forte conteúdo ambiental e um apelo claro à preservação e à recuperação dos ecossistemas e dos recursos naturais.

A sustentabilidade então pode ser entendida como a capacidade de se auto-sustentar, de se auto-manter. PHILIPPI (2001) defende que uma atividade sustentável qualquer é aquela que pode ser mantida por um longo período de tempo, ou seja, para sempre, de forma a nunca se esgotar, mesmo com problemas que possam surgir durante este período. Assim pode-se ampliar o conceito de sustentabilidade, ao se visualizar uma sociedade sustentável, que não coloca em risco os recursos naturais como o solo, a água, o ar e a vida vegetal e animal dos quais a vida (da sociedade) depende.

O conceito de sustentabilidade está relacionado a três dimensões, sendo ambiental, econômica e social, que segundo ARAÚJO et al. (2006), Só com ações eficientes em cada uma destas é que a empresa é considerada uma empresa sustentabilidade empresarial.

- Dimensão Ambiental: Redução das Emissões de gases nocivos, de efluentes líquidos e de resíduos sólidos; Consumo consciente dos recursos água e energia; Conformidade com as normas ambientais; Exigência de um posicionamento socioambiental dos fornecedores; Uso racional dos materiais utilizados na produção; Investimentos na biodiversidade; Programa de reciclagem e Preservação do meio ambiente.
- Dimensão Econômica: Aumento ou estabilidade do faturamento; Tributos pagos ao governo; Folha de pagamento; Maior lucratividade; Receita organizacional; Investimentos; Aumento das exportações (relacionamento com o mercado externo).

- Dimensão Social: Desenvolvimento da comunidade/sociedade; Segurança do trabalho e saúde ocupacional; Responsabilidade social; Treinamento; Cumprimento das práticas trabalhistas; Seguridade dos direitos humanos; Diversidade cultural.

Todas estas dimensões têm efeitos na dimensão ambiental, porém se as ações forem individuais em apenas uma dimensão a mesma se torna sustentável apenas naquele âmbito.

As organizações que atuam no agronegócio, precisam, além de produzir com a máxima eficiência, necessitam também se preocupar com novos padrões ambientalistas, buscando alternativas que resultem em um menor impacto ambiental. Para RODRIGUES e MARIETTO (2010) “existe agora uma pressão econômica, social e institucional sobre o agronegócio oriunda de várias direções. Por um lado, uma pressão de eficiência e eficácia produtiva e econômica no sentido de se produzir cada vez mais com menos”.

Essa pressão que vem sendo exercida ao agronegócio por recordes de produção vem prontamente acompanhada da preocupação com os processos e o seu efeito ao meio ambiente. A busca por alternativas sustentáveis vem se tornando uma realidade conforme descrito por GONÇALVES (2008), de que a produção agropecuária em larga escala que leve em conta padrões de excelência em sustentabilidade socioambiental vem tornando-se não apenas possível como já faz parte da realidade de um grupo ainda restrito de empresas no Brasil. Estas empresas não investiram em práticas mais responsáveis apenas por simpatizar com a causa verde ou com questões sociais. A opção foi resultado, sobretudo, da percepção de que a própria sobrevivência do negócio estaria em risco pelo esgotamento dos recursos naturais e pelos novos desafios criados pela dinâmica do mercado.

A busca por processos inovadores, que apresentam resultados de produtividade porém em consonância com a sustentabilidade, é fundamental para indústrias que desejam uma gestão ambiental que realmente dê resultados positivos.

Inovação para PETER DRUCKER (2008), é a atribuição de novas capacidades aos recursos existentes na empresa para gerar riqueza. Diz ainda que inovação é o instrumento dos empreendedores, o processo pelo qual se explora a mudança como uma oportunidade para diferenciar-se, agregar valor e crescer economicamente.

Para SHUMPETER (1982), as iniciativas empreendedoras são consideradas como inovações tecnológicas”, classificando-as como:

- Fabricação/introdução de um novo bem ou nova qualidade de um bem;
- Introdução de um novo método de produção;
- Abertura ou acesso a um novo mercado;
- Descoberta de uma nova fonte de matéria-prima ou de bens semimanufaturados; e
- Estabelecimento de uma nova organização de qualquer indústria, com a criação ou ruptura de uma posição monopolista.

Para SANTOS, FAZION e MEROE (2011) um dos aspectos importantes quanto a inovação é a construção de novos conhecimentos, os quais devem ser gerenciados estrategicamente. Sem esta construção do conhecimento, a inovação não ocorre, sendo que empresas necessitam desenvolver um modelo de gestão que amplia os recursos e possibilidades de criação, acarretando resultados favoráveis e mais competitivos.

De acordo com KEMP, SMITH e BECHER (2000), a inovação sustentável é orientada pelo mercado, regulamentações governamentais, prática de engenharia vigente e padrão dos produtos e processos tecnológicos de um determinado setor.

A inovação no agronegócio é facilmente identificada pela implantação de novas tecnologias que melhoram significativamente o processo produtivo e os resultados da produção. O sistema operacional produtivo e as inovações, tanto de produto e de processo, ao atender as três dimensões da sustentabilidade, devem promover ganhos para o meio ambiente em termos de redução no uso de recursos e de emissões de poluentes.

Porém o aumento da produção por meio do estímulo à demanda por novos produtos pode neutralizar ou até superar esses ganhos. Esse é um dos maiores

desafios para o alinhamento das empresas ao modelo de organização inovadora sustentável.

#### **- Análise sobre as práticas ambientais em pequenas propriedades rurais**

O agronegócio no Brasil apresenta números importantes para a economia do país. É considerado um dos setores mais importantes e representa cerca de um 1/3 do Produto Interno Bruto (PIB). Os produtos com maior destaque são as carnes, produtos florestais, complexo soja - grão, farelo e óleo, café e o complexo sucroalcooleiro - álcool e açúcar, sendo que as políticas de incentivo ao agronegócio no Brasil, tem como bases, o desenvolvimento da agricultura nacional, principalmente a de sustentabilidade das produções de pequena escala.

O Brasil se tornou um dos maiores produtores do mundo não apenas por causa do solo fértil, mas pela disponibilidade de água em abundância, a biodiversidade, tecnologias empregadas na produção e trabalhadores qualificados que impulsionam o agronegócio. Todo esse potencial pode estar ameaçado num futuro próximo pelo uso de recursos ambientais sem a preocupação com a sua renovação. Porém práticas sustentáveis já vem sendo implantadas em muitas destas indústrias do agronegócio.

A sustentabilidade no agronegócio pode ser vista principalmente na agricultura no que tange a dimensão ambiental. Para YLBERSZTAJN e NEVES (2005), “as atividades agrícolas são reconhecidamente causadoras de problemas ao meio ambiente”. Então, iniciativas que atuem junto a produção agrícola de forma sustentável, devem ser valorizadas, para que os problemas enfrentados pelos produtores sejam minimizados, principalmente quanto à distribuição dos produtos no mercado, seja por logística, custos ou escala.

Ao se trabalhar as pequenas propriedades rurais, ainda é possível encontrar uma grande variedade de práticas inadequadas e agressivas, além de fontes que geram os mais diversos tipos de resíduos prejudiciais ao meio ambiente. OLIVEIRA e FEICHAS (2007) apontam lixo domiciliar, resíduos da construção civil, resíduos agrícolas (entre eles embalagens de agrotóxico e fertilizantes, resíduos de serviços veterinários, esterco de animais, entre outros), como fontes de contaminação que

tem impacto direto ao meio ambiente. A educação ambiental voltada a famílias de pequenas e médias propriedades rurais é um passo inicial, para a conscientização e orientação voltados à adoção de métodos e técnicas que causam menores impacto ao meio ambiente. Segundo a visão de OLIVEIRA e SENNA (2012, p. 1603) quanto a educação ambiental, esta pode ser considerada como uma ação que “busca proporcionar à comunidade o acesso à informação, disseminando diversos aspectos relacionados às questões ambientais. Ações nesse sentido são realizadas por organizações públicas, comunidades locais, ONGs e Universidades”.

Já CARVALHO (2001), aponta a educação ambiental como uma prática inovadora em diferentes níveis, principalmente por incorporar políticas públicas voltadas ao meio ambiente, buscando um amplo conjunto de práticas de desenvolvimento social. A educação é a primeira etapa do processo voltado a sustentabilidade, já que a poluição ocasionada pelas áreas rurais, como poluição hídrica e do solo, é comum ao meio rural. Conforme a resolução Resolução 0001/86 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, qualquer alteração das propriedades químicas, físicas, ou biológicas do meio ambiente, por qualquer outra forma de matéria ou energia, que seja lançado na água, no solo ou na atmosfera, interfere direta ou indiretamente, nas condições de segurança, saúde e bem-estar da população humana, da fauna, flora e dos recursos naturais.

Desse modo as atividades agropecuárias, quando manejadas de forma incorreta, constituem grande riscos ao equilíbrio ambiental, prejudicando o processo de sustentabilidade da vida no campo. BATALHA et al. (2004) referênciam que na área do agronegócio o tripé fundamental para a competitividade sustentada é estabelecido por meio de pesquisas dos processos de produção, do desenvolvimento de novos produtos e pela pesquisa em tecnologia. A agropecuária brasileira se destaca mundialmente pela utilização de tecnologias de ponta que a tornam cada vez mais competitiva, porém percebe-se ainda uma lacuna entre a produção e o cuidado com o meio ambiente, principalmente com o esgotamento do solo e água, assim como com poluição pelos detritos conforme já descrito.

A busca por atualização é um dos fatores que pode ser observado no processo de inovação. Essa atualização pode ser tecnológica, de máquinas e equipamentos, formas de produção, utilização de novas variedades de sementes e defensivos agrícolas, além de melhoria genética. Porém a inovação no agronegócio está altamente relacionada ao grau de instrução, tamanho da propriedade, assistência e mesmo redes sociais ligadas a propriedade.

A grande dificuldade, principalmente pelas pequenas propriedades é o baixo índice de atualização de máquinas e equipamentos provavelmente originários do tamanho das propriedades ou mesmo pelos períodos de crises no campo. Essas dificuldades influenciam diretamente na produção voltada para a sustentabilidade principalmente nos fatores ambientais, que necessitam serem explorados de modo que sofram os menores impactos e agressões possíveis.

A compreensão dos mercados também pode influenciar o processo produtivo da propriedade agrícola, forçando o mesmo a inovar as práticas utilizadas, como meio de garantir parcerias e competição em novos mercados e segmentos. Muitos destes mercados, como a Europa, possuem rigorosos critérios ambientais quanto a origem do produto, sendo este um importante motivador de mudanças para as propriedades rurais que almejam novos mercados.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

É irreversível a tendência apontada para o futuro sobre a sustentabilidade, onde os investimentos ambientais modificam a forma das empresas/propriedades rurais e consumidores agirem. A busca por entender as práticas realizadas no agronegócio por meio de inovação sustentável ultrapassa a barreira da obrigatoriedade imposta por governos por meio de Leis punitivas, onde o não cumprimento acarreta prejuízos financeiros e de imagem.

O estudo da gestão ambiental nas propriedades rurais poderá identificar os impactos causados ao meio ambiente e conseqüentemente, organizar e ordenar as atividades agrícolas, gerando oportunidades de melhoria na competitividade e durabilidade do agronegócio. A identificação dessas práticas e sua real aplicação, se



torna uma ferramenta poderosa para a gestão, podendo incentivar assim um processo de melhoria contínua da gestão ambiental para as propriedades. Assim, esta pesquisa é o ponto inicial para novas pesquisas de campo, onde as análises das práticas inovadoras podem apresentar resultados positivos para a sustentabilidade, principalmente para a gestão ambiental.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem a UFMA – Universidade Federal do Maranhão, à SECTI - Secretaria de Estado da Ciência, Tecnologia e Inovação e a FAPEMA - Fundação de Amparo à Pesquisa e Desenvolvimento Científico do Maranhão pelo apoio financeiro.

## **REFERÊNCIAS**

- ANTUNES MA (2011). Meio ambiente e competitividade nas indústrias: inovação e vantagens. Periódico eletrônico “Forum Ambiental da alta Paulista”. V.7, n.11.
- ARAÚJO GC et al (2006). Sustentabilidade Empresarial: conceitos e indicadores. In: CONGRESSO BRASILEIRO VIRTUAL DE ADMINISTRAÇÃO, 3, 2006. Disponível em: <[http://www.convibra.com.br/2006/artigos/61\\_pdf.pdf](http://www.convibra.com.br/2006/artigos/61_pdf.pdf)>. Acesso em: 10 ago. 2014.
- BATALHA MO et al (2004). Tecnologia de gestão e agricultura familiar. In: XLII Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e sociologia Rural, Cuiabá – MT.
- BELLEN HMV (2005). Indicadores de Sustentabilidade: uma análise comparativa. Rio de Janeiro: FGV.
- BUAINAIN AM (2006). Agricultura Familiar, Agroecologia e desenvolvimento Sustentável: questões para debate. Brasília: IICA.
- CARVALHO ICM (2001). Qual educação ambiental? Elementos para um debate sobre educação ambiental População e Extensão Rural. Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável. Porto Alegre, v.2, n.2.
- CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (2015). Resolução no 1, de 23 de janeiro de 1986. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>.
- DIAS GF (2004). Ecopercepção: um resumo didático dos desafios socioambientais. São Paulo: Editora Gaia.
- DONAIRE D (1999). Gestão ambiental na empresa. São Paulo: Ed. Atlas, 2 ed.

- DRUKER PF (2008). Inovação e Espírito Empreendedor. 1a. Edição. Rio de Janeiro: Editora Campus.
- GIL AC (2006). Métodos e Técnicas de Pesquisa Social. 5. ed. São Paulo: Atlas.
- GONÇALVES JÁ (2015). Os bons exemplos que vem do campo. In. Revista EXAME. Agronegócio. Anuário 2008-2009. p. 54-57. Disponível em: <[http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/desenvolvimento/conteudo\\_284546.shtml](http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/desenvolvimento/conteudo_284546.shtml)>.
- KEMP R, SMITH K, BECHER G (2000). How should we study the relationship between environmental regulation and innovation? Disponível em: <<http://ftp.jrc.es/EURdoc/eur19827en.pdf>>. Acesso em 28 de set 2014.
- LAVORATO MLA (2004). As vantagens do benchmarking ambiental. Revista Produção Online. Vol. 4, n. 2, 2004. Disponível em: <<http://producaoonline.org.br/rpo/article/view/307/408>>. Acesso em 11 de out 2014.
- MACHADO AG, FIGUEIREDO RS, DREES C (2008). Gestão ambiental empresarial e competitividade de sistemas agroindustriais. SOBER. Disponível em: <<http://www.sober.org.br/palestra/9/19.pdf>>. Acesso em 11 de junho de 2015.
- MEDEIROS DDS, SILVA GCS (2003). Análise do Gerenciamento Ambiental em Empresas do Estado de Pernambuco. Revista Produção Online. Vol. 3, n. 4. Disponível em: <<http://producaoonline.org.br/rpo/article/view/576/622>>. Acesso em 11 de junho de 2015.
- NILSSON WR (1998). Services instead of products: experiences from energy markets - examples from Sweden. In: MEYER-KRAHMER, F. (Ed.). Innovation and sustainable development: lessons for innovation policies. Heidelberg: Physica-Verlag, 1998. Disponível em: <<http://admin.lunduniversity.lu.se/o.o.i.s?id=12683&postid=4465374>>. Acesso em 29 de set. de 2014.
- OLIVEIRA K, SENNA AJT (2012). Análise das práticas de gestão ambiental em propriedades rurais do município de Santana Margarida do Sul - RS. Rev. Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 8, nº 8, p. 1602-1610, SET-DEZ, 2012. Disponível em: <<http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/reget/article/viewFile/5771/pdf>>. Acesso em 15 de jun. de 2015.
- OLIVEIRA KV, FEICHAS SQ (2007). Subsídios a proposta de gerenciamento de resíduos sólidos em área rural: caso de Encruzilhada do Sul - RS. XI ENGEMA - Encontro Nacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente. Curitiba, 2007. Disponível em: <<http://engema.up.edu.br/arquivos/engema/pdf/PAP0330.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2015.
- PHILIPPI LS (2001). A Construção do Desenvolvimento Sustentável. In.: LEITE, na Lúcia Tostes de Aquino; MININNI-MEDINA, Naná. Educação Ambiental (Curso básico à distância)

- Questões Ambientais – Conceitos, História, Problemas e Alternativa. 2. ed, v. 5. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2001.
- RODRIGUES LA, MARIETTO ML (2010). Agronegócio: inovação e gestão rumo à sustentabilidade. Revista Sapere. v. 2, n. 2. Disponível em: <<http://revistasapere.inf.br/download/terceira/AGRONEGOCIO.pdf>>. Acesso em 12 de junho de 2015.
- SANTOS ABA, FAZION CB, MEROE GPS (2011). Inovação: um estudo sobre a evolução do conceito de Shumpeter. Disponível em: <[revistas.pucsp.br/index.php/caadm/article/view/9014](http://revistas.pucsp.br/index.php/caadm/article/view/9014)>. Acesso em 15 de ago. 2014.
- SCHUMPETER JA (1982). Teoria do desenvolvimento econômico: Uma investigação sobre lucros, capital, crédito, juro e o ciclo econômico. São Paulo: abril cultural.
- SILVA FILHO JCG, SICSÚ AB (2003). Produção Mais Limpa: uma ferramenta da Gestão Ambiental aplicada às empresas nacionais. XXIII Encontro Nac. de Eng. de Produção. ENEGEP. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2003\\_TR1005\\_0001.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2003_TR1005_0001.pdf)>. Acesso em 17 de junho de 2015.
- YLBERSZTAJN D, NEVES MF (2005). Economia e gestão dos negócios agroalimentares: indústria de alimentos, indústria de insumos, produção agropecuária, distribuição. 1. ed. – 3. reimpr. – São Paulo: Pioneira Thomson Learning. p. 255-281.

## **ANEXO II - RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS E QUALIDADE DO SOLO**

# **GEOTECNOLOGIAS, AGRICULTURA DE PRECISÃO E MANEJO DOS RECURSOS NATURAIS**



**Dr. Glécio Machado Siqueira  
Raimunda Alves Silva  
Mayanna Karlla Lima Costa  
(Orgs.)**

Copyright © 2016 by EDUFMA

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO**

Profa. Dra. Nair Portela Silva Coutinho  
Reitora

Prof. Dr. Fernando Carvalho Silva  
Vice-Reitor

**EDITORA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO**

Prof. Dr. Sanatiel de Jesus Pereira  
Diretor

**CONSELHO EDITORIAL**

Prof. Dr. Jardel Oliveira Santos  
Profa. Dra. Michele Goulart Massuchin  
Prof. Dr. Jadir Machado Lessa  
Profa. Dra. Francisca das Chagas Silva Lima  
Bibliotecária Tatiana Cotrim Serra Freire  
Profa. Dra. Maria Mary Ferreira  
Profa. Dra. Raquel Gomes Noronha  
Prof. Dr. Ítalo Domingos Santirocchi  
Prof. Me. Cristiano Leonardo de Alan Kardec Capovilla Luz

**Revisão**

Glécio Machado Siqueira, Raimunda Alves Silva e Mayanna Karlla Lima Costa

**Projeto Gráfico**

Prof. Dr. Glécio Machado Siqueira

**ISBN: 978-85-7862-573-3**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Geotecnologias, agricultura de precisão e manejo dos recursos naturais [livro eletrônico] / Glécio Machado Siqueira, Raimunda Alves Silva, Mayanna Karlla Lima Costa. — São Luís: EDUFMA, 2016.

236 p.; ePUB

ISBN 978-85-7862-573-3

1. Geotecnologias. 2. Agricultura de precisão. 3. Recursos naturais - Manejo. 4. Solo. 5. Meio ambiente. I. Siqueira, Glécio Machado. II. Silva, Raimunda Alves da. III. Costa, Mayanna Karlla Lima.

CDD 551.600

CDU 551:6

## RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS E QUALIDADE DO SOLO

Clebson S. Cândido<sup>1</sup>

Glécio M. Siqueira<sup>1</sup>

Raimunda A. Silva<sup>1</sup>

Mayanna K. L. Costa<sup>1</sup>

Ricardo N. Buss<sup>1</sup>

### INTRODUÇÃO

Segundo o Banco Mundial, os solos agrícolas do mundo vêm se degradando a uma taxa de 0,1% ao ano, dados que corroboram com os estabelecidos pela FAO, que apontam a perda de cinco milhões de hectares de terras aráveis por ano devido às más práticas agrícolas, secas e pressão populacional, além de inúmeras ações antrópicas de exploração inadequada dos recursos naturais englobando o compartimento solo (EMBRAPA, 2008).

As principais contribuições para a degradação do solo são (OLDMAN, 1994):

- 1) Desmatamento ou remoção da vegetação natural para fins de agricultura, florestas comerciais, construção de estradas e urbanização (29,4%);
- 2) Superpastejo da vegetação (34,5%);
- 3) Atividades agrícolas, incluindo ampla variedade de práticas agrícolas, como o uso insuficiente ou excessivo de fertilizantes, uso de água de irrigação de baixa qualidade, uso inapropriado de máquinas agrícolas e ausência de práticas conservacionistas de solo (28,1%);
- 4) Exploração intensiva da vegetação para fins domésticos, como combustíveis, cercas, etc., expondo o solo à ação dos agentes erosivos (6,8%);
- 5) Atividades industriais ou bioindustriais que causam poluição do solo (1,2%).

No Brasil não existe até o momento nenhum estudo conclusivo quanto a

---

<sup>1</sup>Universidade Federal do Maranhão, Departamento de Geociências, São Luís, Maranhão. E-mail: [gleciosiqueira@hotmail.com](mailto:gleciosiqueira@hotmail.com)

quantidade e distribuição dos solos degradados em escala nacional. É importante ressaltar, que independente da ausência de avaliações exatas a respeito da extensão de áreas degradadas no Brasil, todas as estimativas apontam o desmatamento e as atividades agropecuárias como os principais fatores de degradação dos nossos solos (EMBRAPA, 2008).

A complexidade dos processos de degradação e de recuperação de áreas degradadas deve-se aos inúmeros fenômenos biológicos e físico-químicos envolvidos. Por este motivo, a recuperação de áreas degradadas pode ser conceituada como um conjunto de ações idealizadas e executadas por especialistas das diferentes áreas do conhecimento humano, que visam proporcionar o restabelecimento das condições de equilíbrio e sustentabilidade existentes anteriormente em um sistema natural. O caráter multidisciplinar das ações que visem proporcionar esse retorno deve ser tomado, fundamentalmente, como o ponto de partida do processo.

O conceito de degradação tem sido geralmente associado aos efeitos ambientais considerados negativos ou adversos e que decorrem principalmente de atividades ou intervenções humanas. Raramente o termo se aplica às alterações decorrentes de fenômenos ou processos naturais.

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da sua NBR 10703, a degradação do solo é apontada como sendo a “alteração adversa das características do solo em relação aos seus diversos usos possíveis, tanto os estabelecidos em planejamento, como os potenciais”.

Já o Manual de Recuperação de Áreas Degradadas pela Mineração do IBAMA (1990), define que “a degradação de uma área ocorre quando a vegetação nativa e a fauna forem destruídas, removidas ou expulsas; a camada fértil do solo for perdida, removida ou enterrada; e a qualidade e o regime de vazão do sistema hídrico forem alterados. A degradação ambiental ocorre quando há perda de adaptação às características físicas, químicas e biológicas e é inviabilizado o desenvolvimento sócio-econômico”.

De maneira similar as conceituações de áreas degradadas e degradação, a



literatura técnica e os textos da legislação ambiental brasileira em vários níveis também deixam dúvidas e contradições sobre as definições exatas dos termos recuperação, reabilitação e restauração, que em muitos casos são apontados como diferentes, e em outros, como sinônimos. Novamente, pode-se dizer que a literatura é relativamente vasta, com contribuições das diferentes áreas do conhecimento. Observa-se que os termos recuperação, reabilitação e restauração, têm sido usados não apenas nos aspectos que caracterizam suas execuções, mas principalmente em função dos seus objetivos e metas. De modo geral, os termos se referem ao caminho inverso à degradação e é importante para facilitar a comunicação entre os interessados na escolha do processo a ser adotado na área degradada.

- **Recuperação**: A legislação federal brasileira menciona que o objetivo da recuperação é o “retorno do sítio do sítio degradado a uma forma de utilização, de acordo com um plano pré-estabelecido para o uso do solo, visando à obtenção de uma estabilidade do meio ambiente” (Decreto Federal 97.632/89). Esse decreto vai de encontro ao estabelecido pelo IBAMA, que indica que a recuperação significa que o sítio degradado será retornado a uma forma e utilização de acordo com o plano pré-estabelecido para o uso do solo. Implica que uma condição estável será obtida em conformidade com os valores ambientais, estáticos e sociais da circunvizinhança. Significa também, que o sítio degradado terá condições mínimas de estabelecer um novo equilíbrio dinâmico, desenvolvendo um novo solo e uma nova paisagem. Procura sintetizar a definição do processo quando utilizado em Unidades de Conservação, GRIFFITH (1986), definiu recuperação como a reparação dos recursos ao ponto que seja suficiente para restabelecer a composição e a frequência das espécies encontradas originalmente no local.

- **Reabilitação**: Segundo MAJER (1989) a reabilitação é o retorno da área degradada a um estado biológico apropriado. Esse retorno pode não significar o uso produtivo da área a longo prazo, como a implantação de uma atividade que renderá lucro, ou atividades menos tangíveis em termos monetários, visando, por exemplo, a recreação ou a valorização estético-ecológica. Exemplos de reabilitação para fins recreativos é a raia olímpica da Cidade Universitária da USP, instalada em uma

antiga área de extração de areia em planície aluvionar do Rio Pinheiros; construção do parque esportivo Cidade de Toronto, instalado em área de antiga extração de areia; Centro Educacional e Recreativo do Butantã, instalado em área de antiga pedreira e o lago do parque Ibirapuera, instalado em antiga cava de extração de areia, todos esses exemplos foram realizados na cidade de São Paulo (SP).

- **Restauração**: O termo restauração refere-se à obrigatoriedade do retorno ao estado original da área, antes da degradação. Esse termo é o mais impróprio a ser utilizado para os processos que normalmente são executados. Por retorno ao estado original entende-se que todos os aspectos relacionados com topografia, vegetação, fauna, solo, hidrologia, etc., apresentem as mesmas características de antes da degradação. Logo, trata-se de um objetivo praticamente inatingível, ou seja, fazer a restauração de um ecossistema, para conseqüentemente recuperar sua função, é técnica e economicamente questionável, embora alguns profissionais que atuam na área ambiental tenham equivocadamente essa meta, torna-se necessária uma nova conscientização dos mesmos sobre a inviabilidade deste processo.

Nesse sentido, indiferente da finalidade a que se deseja recuperar uma área degradada é preciso respeitar os conceitos de qualidade do solo para minimizar os impactos ambientais e maximizar o uso dos recursos naturais e financeiros necessários para a realização da recuperação de uma área degradada.

O entendimento atual do conceito de qualidade de solo compreende o equilíbrio entre os condicionantes geológicos, hidrológicos, químicos, físicos e biológicos do solo (BRUGGEN e SEMENOV, 2000; SPOSITO e ZABEL, 2003; SIQUEIRA et al., 2013). O termo “qualidade do solo” muitas vezes é utilizado como sinônimo de saúde do solo, e se refere à capacidade do solo de sustentar a produtividade biológica dentro das fronteiras do ecossistema, mantendo o equilíbrio ambiental e promovendo a saúde de plantas e animais e do próprio ser humano (DORAN et al., 1996; SPOSITO e ZABEL, 2003).

A cobertura vegetal, as propriedades químicas e físicas do solo e as condições climáticas influenciam a atividade e a composição da microbiota do solo (JENKINSON e LADD, 1981; TSAI et al., 1992; SIQUEIRA et al., 2014). Quanto à

cobertura vegetal, cada espécie tem capacidade diferente de produção de fitomassa, e também sua qualidade depende da espécie dentro do mesmo clima e solo.

A ciclagem de nutrientes é dependente da decomposição da serapilheira, sendo esta regulada por três grupos de variáveis: a natureza da comunidade decompositora, a qualidade do material e as condições físico-químicas do ambiente, as quais são controladas pelo clima e pelas características do sítio (ABER e MELILO, 1978; SWIFT et al., 1979; LEKHA e GUPTA, 1989).

A degradação dos solos é um grande problema para a sustentabilidade dos sistemas produtivos e para o meio ambiente. Estima-se que cerca de 80% das áreas agrícolas do Brasil, responsáveis por mais da metade da produção do país, encontra-se em degradação (PERON et al., 2004). Contudo nos últimos anos a Região Amazônica têm sofrido uma enorme pressão, devido à expansão das suas áreas de produção nesta região.

Aliada à preocupação com os altos custos de produção, cresceu nos últimos anos a atenção voltada à degradação do solo e à sua consequência na sustentabilidade da agropecuária nacional (BERNARDI et al., 2007). É considerada área degradada àquela que, após distúrbio, teve eliminados seus meios de regeneração natural, apresentando baixa resiliência, sendo necessária à ação antrópica para sua recuperação (CARPANEZZI et al., 1990). Assim, o processo de recuperação de áreas degradadas geralmente deve obedecer ao modelo de sucessão autogênica, caracterizado por mudanças sucessionais ocasionadas, principalmente, por interações internas dos ecossistemas, como o fluxo de energia e de nutrientes, a estruturação da comunidade e a elasticidade. A extrema competição por recursos limitantes em área degradadas faz com que somente os indivíduos mais aptos tenham a capacidade de estabelecer-se, crescer e reproduzir, dominando, assim, os diferentes estádios (SOUZA e SILVA, 1996).

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem a UFMA - Universidade Federal do Maranhão, à SECTI - Secretaria de Estado da Ciência, Tecnologia e Inovação e a FAPEMA -

Fundação de Amparo à Pesquisa e Desenvolvimento Científico do Maranhão pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS

- ABER, J.D; MELILO, J.M. Terrestrial ecosystems. Reinhart & Wintson, Inc. Orlando, FL. USA. 1991, 428p.
- BERNARDI, A. C. C.; VINHOLIS, M. M. B.; BARBOSA, P. F.; ESTEVES, S. N. Reforma de pastagem e terminação de bovinos jovens em sistema de integração lavourapeçuária em São Carlos, SP. EMBRAPA – CPPSE, 2007. Comunicado técnico 83.
- BRUGGEN, A.H.C.; SEMENOV, A.M. In search of biological indicators for soil health and disease suppression. *Applied Soil Ecology*, Amsterdam, v.15, n.1, p.13-24, 2000.
- CARPANEZZI, A. A.; COSTA, L. G. S.; KAGEYAMA, P. Y.; CASTRO, C. F. A. Espécies pioneiras para recuperação de áreas degradadas: a observação de laboratórios naturais. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. Anais ... Campos do Jordão: SBS/SBEF, 1990, p. 216-221.
- DORAN, J. W.; SARRANTONIO, M.; LIEBIG, M. A. Soil health and sustainability. *Advances in Agronomy*, San Diego, v. 56, p. 2-54, 1996.
- EMBRAPA. Curso de recuperação de áreas degradadas. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2008, 228p.
- GRIFFITH, J. J. Recuperação de áreas degradadas em unidades de conservação. Viçosa, MG: UFV, 1986.
- IBAMA. Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação. Brasília: IBAMA, 1990. 96p.
- JENKINSON, D.S.; LADD, J.M. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: Paul, E.A.; Ladd, J.N. (Eds.) *Soil biochemistry*. New York, Marcel Dekker. v. 5, p.415-471, 1981.
- LEKHA, A.; GUPTA, S.R. Decomposition of populus and Leucaena leaf litter in a agrofloresty system. *Int. Environ. Sci.*, v.15, p. 97-108, 1989.
- MAJER, J. D. Fauna studies and land reclamation technology: review of the history and need for such studies. In: *Animals in primary succession: the role of fauna in reclaimed lands*. London: Cambridge University Press, p. 3-33, 1989.
- OLDEMAN, L. R. The global extent of soil degradation. In: *Soil Resiliense and sustainable Land Use*. GREENLAND, D. J. & SZABOCLS, I (Eds), Cab International, Wallingford, UK. p. 99-118. 1994.
- PERON, A. J.; EVANGELISTA, A. R. Degradação de pastagens em regiões de cerrado. *Ciênc. agrotec.*, Lavras , v. 28, n. 3, p. 655-661, 2004.
- SIQUEIRA, G. M.; DAFONTE, J. D.; ARMESTO, M. V.; SILVA, E.F.F.E. Using Multivariate

- Geostatistics to Assess Patterns of Spatial Dependence of Apparent Soil Electrical Conductivity and Selected Soil Properties. *The Scientific World Journal*, v. 2014, p. 1-11, 2014.
- SIQUEIRA, G. M.; SILVA, E. F. F. E.; MONTENEGRO, A. A. A.; VIDAL VAZQUEZ, E. PAZ FERREIRO, J. . Multifractal analysis of vertical profiles of soil penetration resistance at the field scale. *Nonlinear Processes in Geophysics*, v. 20, p. 529-541, 2013.
- SIQUEIRA, G.M; SILVA, E.F.F.E.; PAZ FERREIRO, J. Land Use Intensification Effects in Soil Arthropod Community of an Entisol in Pernambuco State, Brazil. *The Scientific World Journal*, v. 1, p. 1-7, 2014.
- SOUZA, F.A., SILVA, E.M.R. Micorrizas arbusculares na revegetação de áreas degradadas. In: Siqueira, J.O (ed.) *Avanços em fundamentos e aplicação de micorrizas*. Lavras: UFLA / DCS, p.255-290, 1996.
- SPOSITO, G.; ZABEL, A. The assessment of soil quality. *Geoderma*, Amsterdam, v.114, n. 3/4, p. 143-144, 2003.
- Swift, M.J., Heal, O.W., Anderson, J.M. (1979) *Decomposition in Terrestrial Ecosystems*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 372p.
- TSAI, S.M.; BARAIBAR, A.V.L.; ROMANI, V.L.M. Efeito de fatores do solo. In: Cardoso, E.J.B.N.; Tsai, S.M.; Neves, M.C.P. (Coords.). *Microbiologia do solo*. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.59-73, 1992.

**ANEXO III - VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS  
FÍSICOS DO SOLO CULTIVADO COM SOJA**

# ZNS'17

Zaragoza, 8-10 noviembre 2017



ESTUDIOS EN LA ZONA NO SATURADA DEL SUELO · VOL. XIII. ZNS'17

# ESTUDIOS EN LA ZONA NO SATURADA DEL SUELO VOL. XIII. ZNS'17



Editores:  
David Moret Fernández  
M. Victoria López

Zaragoza, 8-10 noviembre 2017



Entidades colaboradoras y patrocinadoras de las XIII Jornadas de Investigación en la Zona No Saturada



**LabFerrer**



### **Comité Organizador:**

- David Moret Fernández (EEAD, CSIC)
- M. Victoria López (EEAD, CSIC)
- César González Cebollada (UZ)
- José Manuel Nicolau (UZ)
- Ricardo Gracia (EEAD, CSIC)
- Teresa Guillamón (EEAD, CSIC)
- Pepa Salvador (EEAD, CSIC)
- Victoria Lafuente (CERAI)

---

Fotografía portada: El Planerón (Belchite, Zaragoza) por Ricardo Gracia

Imprime: [www.llardigital.com](http://www.llardigital.com)

ISBN: 978-84-947468-9-5

Estación Experimental de Aula Dei, octubre 2017

El contenido de los artículos que componen este libro es de exclusiva responsabilidad de los autores

---



## VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO CULTIVADO COM SOJA

Glécio Machado Siqueira<sup>1</sup>, Raimunda Alves Silva<sup>2</sup>, Mayanna Karlla Lima Costa<sup>2</sup>, Ricardo Niehues Buss<sup>2</sup>, Ênio Farias de França e Silva<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Geociências. Universidade Federal do Maranhão, São Luís-MA.  
Email: gleciosiqueira@hotmail.com

<sup>2</sup>Doutorando em Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia Legal.  
Departamento de Geociências, Universidade Federal do Maranhão, São Luís-MA.  
Email: ray-234@hotmail.com Mayannakarlla@hotmail.com ricardobuss@uft.edu.br

<sup>3</sup>Departamento de engenharia agrícola. Universidade Federal Rural de Pernambuco.  
Email: effsilva@uol.com.br

**RESUMO.** O presente estudo objetivou analisar a variabilidade espacial dos atributos físicos do solo sob sistema de semeadura direta. As coletas ocorreram em 70 pontos, sendo analisados: produtividade, condutividade hidráulica, densidade, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, areia total, areia fina, areia grossa, argila, silte, altitude e umidade do solo. A análise ocorreu por meio de estatística descritiva e ferramentas de geoestatística. Com exceção de condutividade hidráulica, os demais dados analisados possuem distribuição normal. A maioria dos dados se ajustaram ao modelo esférico, no entanto, condutividade hidráulica, macroporosidade e resistência a penetração na primeira camada obtiveram efeito pepita puro, nesse caso, o espaçamento deve ser modificado para amostrar a variabilidade espacial desses atributos. Os mapas demonstraram maiores valores de densidade, microporosidade e porosidade total

na camada 0.0-0.1 m localizado na parte superior esquerda. De maneira geral, o manejo do solo tem grande influência na variabilidade espacial de atributos físicos do solo.

**Palavras chave:** Geoestatística, Atributos físicos, Manejo do solo, Condutividade hidráulica

**ABSTRACT.** The present study aimed to analyze the spatial variability of soil physical attributes under no-tillage system. The samples were collected at 70 points, being analyzed: productivity, hydraulic conductivity, density, macroporosity, microporosity, total porosity, total sand, fine sand, coarse sand, clay, silt, altitude and soil moisture. The analysis took place through descriptive statistics and geostatistical tools. With the exception of hydraulic conductivity, the other data analyzed have a

normal distribution. Most of the data conformed to the spherical model, however, hydraulic conductivity, macroporosity and resistance to penetration in the first layer obtained pure nugget effect, in which case the spacing must be modified to sample the spatial variability of these attributes. The maps showed higher values of density, microporosity and total porosity in the layer 0.0-0.1 m located in the upper left part. In general, soil management has a great influence on the spatial variability of soil physical attributes.

Keywords: Geostatistics, Physical attributes, Soil management, Hydraulic conductivity

---

## 1. INTRODUÇÃO

O emprego de técnicas de agricultura de precisão possibilita maior controle sobre prováveis causas na redução da produtividade, bem como os impactos ambientais originados pelas práticas agrícolas. A mecanização agrária altera as propriedades naturais do solo, podendo gerar problemas como a compactação de camadas do solo, que influenciam a capacidade de aeração e infiltração. Desse modo, o conhecimento da variabilidade dos atributos do solo é imprescindível para a melhoria do manejo e maximização do uso de suprimentos, buscando ganhos de produtividade e redução de custos. (Bottega, et al., 2013; Arzeno, et al., 2014; Montezano, et al., 2006).

A utilização da geoestatística na agricultura tem-se tornado importante ferra-

menta da ciência do solo desde as suas primeiras aplicações no início da década de 1980 (Alesso, et al. 2012), por descrever e quantificar a variabilidade espacial de vários atributos de solo e planta. O uso de semivariogramas e métodos de interpolação, como a Krigagem, permite a descrição do comportamento de um atributo dentro da área estudada, possibilitando um mapeamento detalhado e qualificado, determinando o grau de dependência de uma grandeza medida e o domínio em cada amostragem. (Bottega, et al., 2013; Vázquez, et al., 2010).

A adoção do sistema de plantio direto destaca-se pela melhoria da qualidade e potencial produtivo do solo. Estudos apontam que a adoção do sistema de plantio direto aumenta a variabilidade espacial dos índices de fertilidade do solo, seja no sentido horizontal quanto no vertical (Zanão Júnior et al., 2010). Porém em uma mesma área, podem ser encontrados níveis diferentes de qualidade e de potenciais produtivos, mesmo que práticas de manejo tenham sido aplicadas uniformemente, enfatizando a importância da investigação das causas de variabilidade para a gestão agrícola. (Amado et al., 2007).

Com base no exposto, este estudo objetivou analisar a variabilidade espacial dos atributos físicos do solo em sistema de cultivo direto, por meio de ferramentas geoestatísticas.

## 2. MATERIAL & MÉTODOS

### 2.1 Local do estudo

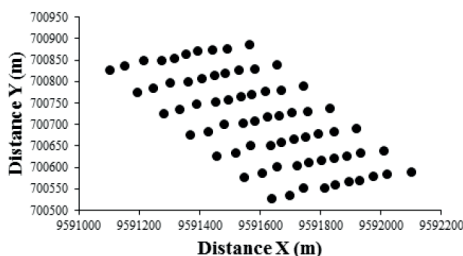
A área experimental está localizada no município de Mata Roma, Estado do Maranhão, Brasil, cujas as coordenadas

são 3° 70' 80.88" S e 43° 18' 71.27" W. O clima da região é do tipo AW, quente e úmido, segundo a classificação de Köppen, com duas estações bem definidas, uma chuvosa (dezembro a maio) e outra seca (junho a novembro). O solo da área de estudo, segundo a classificação USDA (1999) é Oxisol, cuja as características físicas foram determinadas de acordo com metodologias descritas Camargo et al. (1986) para as camadas do solo de 0.0-0.1 m e 0.1-0.2 m (Tabela 1). A área apresenta cerca de 103 ha cultivados a nove anos com soja (*Glicine max* L.), sob sistema de semeadura direta.

A amostragem da produtividade e dos atributos físicos do solo ocorreu no ano de 2016, em 70 pontos amostrais usando uma malha regular, conforme figura 1.

**Tabela 1.** Caracterização física da área amostrada.

Profundidade	Textura (g/kg <sup>-1</sup> ) %			Densidade Mg m <sup>-3</sup>	Umidade (%)
	Areia	Argila	Silte		
0.0-0.2 m	62	22	16	1.26	14.10



**Figura 1.** Desenho experimental da área estudada.

A condutividade hidráulica foi estimada segundo pelo método do permeâmetro de carga constante segundo metodologia de Youngs (1991), determinado a partir de um sistema montado para a determinação da condutividade hidráulica saturada do

solo. A resistência do solo à penetração foi realizada usando penetrômetro modelo Solotest nas profundidades 0.0-0.1 m e 0.1-0.2 m.

Os principais momentos estatísticos foram descritos (média, desvio padrão, variância, assimetria, curtose, coeficiente de variação e teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov à 0.001%). O coeficiente de variação (CV %) foi utilizado para determinar a variação dos dados de acordo com a classificação de Warrick & Nielsen (1980). A variabilidade espacial dos dados foi analisada por método geoestatística usando semivariograma conforme procedimento descrito por Vieira (2000), segundo as pressuposições da estacionariedade da hipótese intrínseca.

$$y(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

onde:  $N(h)$  é o número de observações separadas pela distância  $h$ .

Detectada a variabilidade, os semivariogramas foram ajustados aos seguintes parâmetros: efeito pepita ( $C_0$ ); variância estrutural ( $C_1$ ) e alcance ( $a$ ).

$$y^{sc}(h) = \frac{y(h)}{Var(z)} \quad (2)$$

onde:  $y^{sc}(h)$  é o semivariograma escalonado;  $y(h)$  é o semivariograma original e  $Var(h)$  a variância dos dados.

O ajuste do semivariograma experimental foi realizado ajustando os modelos esférico, exponencial e gaussiano, sendo o melhor ajuste escolhido em função da técnica de “*jack-knifing*”, conforme apresentado por Carvalho et al. (2002).

O grau de dependência espacial (GD) entre as amostras foi determinado conforme Cambardella et al. (1994) em baixa

(75-100%), média (25-75%) e alta (0-25%).

$$GD = \frac{c_0}{c_0 + c_1} * 100 \quad (3)$$

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros estatísticos são descritos na tabela 2. Para a camada 0.0-0.1 m todos os dados, com exceção da condutividade hidráulica, possuem distribuição normal,

segundo teste de Kolmogorov-Smirnov (D) com 0.01 de probabilidade. Os valores de assimetria foram abaixo de 1 para a densidade, microporosidade, porosidade total e resistência a penetração.

Enquanto que os valores curtose variaram de -0.36 (Porosidade total) a 7.58 (Macroporosidade). De acordo com Carvalho et al. (2002), valores de assimetria e curtose próximos a 0 e 3 são um indicativo de distribuição normal dos dados. Para a camada 0.1-0.2 m todos os dados apresentaram distribuição normal, exceto

**Tabela 2.** Parâmetros estatísticos para atributos do solo sob cultivo de soja.

Camada 0.0-0.1 m						
	Condutividade hidráulica (m dia <sup>-1</sup> )	Densidade Mg m <sup>-3</sup>	Macroporosidade m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	Microporosidade m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	Porosidade total m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	Resistência a Penetração (MPa)
Mínimo	7.52	1.04	0.09	0.24	0.49	0.56
Máximo	270.60	1.40	0.36	0.44	0.61	1.51
Média	86.86	1.27	0.17	0.38	0.55	0.79
Variância	3254.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05
DP	57.05	0.07	0.04	0.03	0.03	0.22
CV	65.68	5.39	23.52	7.96	4.98	27.45
Assimetria	0.81	-0.60	1.82	-1.56	0.55	0.82
Curtose	0.29	0.60	7.58	7.07	-0.36	0.50
D*	0.12 n	0.08 n	0.12 n	0.10 n	0.12 n	0.15 n
Camada 0.1-0.2 m						
	Condutividade hidráulica (m dia <sup>-1</sup> )	Densidade Mg m <sup>-3</sup>	Macroporosidade m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	Microporosidade m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	Porosidade total m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	Resistência a Penetração (MPa)
Mínimo	3.76	1.13	0.09	0.31	0.49	0.00
Máximo	285.70	1.46	0.22	0.44	0.59	4.84
Média	92.20	1.29	0.16	0.37	0.53	1.26
Variância	4256.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.36
DP	65.24	0.07	0.03	0.02	0.03	0.60
CV	70.76	5.16	16.34	6.36	4.70	47.73
Assimetria	1.50	-0.02	-0.21	-0.28	-0.02	3.07
Curtose	1.83	0.12	-0.02	0.98	-0.65	17.48
D*	0.20 Ln	0.06 n	0.06 n	0.07 n	0.06 n	0.12 n

DP=Desvio Padrão; CV=Coefficiente de Variação; D=Teste de normalidade de Kolmogorov à 0.1%.

Condutividade hidráulica. Os valores de assimetria variam de -0.02 (Porosidade total) a 3.07 (Resistência a penetração). Isaaks e Srivastava (1989) afirma que o coeficiente de assimetria possui sensibilidade a valores extremos, quando se compara com a média, mediana e desvio padrão, sendo assim, um único valor extremo pode comprometer os resultados do coeficiente de assimetria.

O CV (%) foram classificados em medianos (12-60%) para a macroporosidade e resistência a penetração. Para a condutividade hidráulica o CV foi elevado (>60%) e baixo para a densidade, microporosidade e porosidade total segundo classificação de Warrick & Nielsen (1980) para a camada de 0.0-0.1 m. O mesmo padrão se manteve na camada 0.1-0.2 m (Tabela 2).

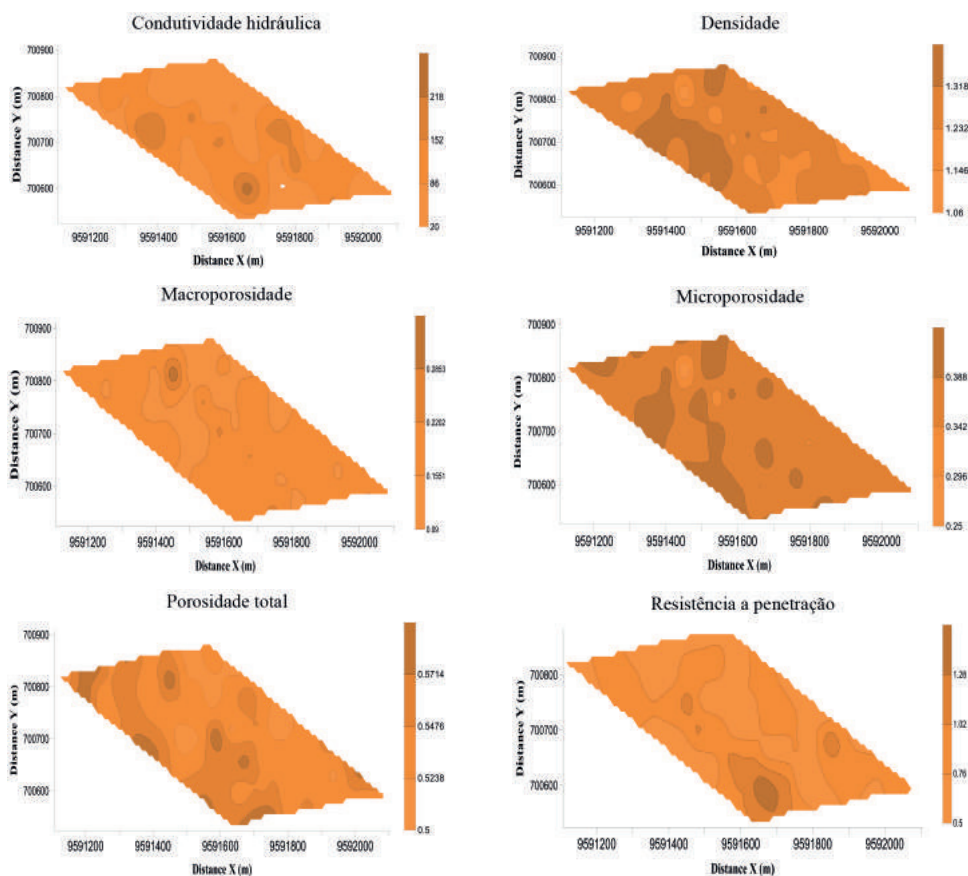
Os parâmetros geoestatísticos estão sintetizados na tabela 3. Para a condutividade hidráulica, macroporosidade e resistência a penetração na camada de 0.0-0.1 m houve efeito pepita puro. O mesmo ocorreu para densidade, macroporosidade, porosidade total na camada de 0.1-0.2 m e para os atributos texturais areia total, areia grossa, argila, altitude e umidade.

O efeito pepita puro indica que espaçamento utilizado não foi suficiente para detectar variabilidade espacial (Vieira, 2000). Os demais parâmetros foram ajustados a um modelo geoestatístico gaussiano, esférico ou exponencial (Figura 2). Densidade, microporosidade e porosidade total na camada de 0.0-0.1 m ajustaram-se ao modelo esférico (Figura 1). Vários estudos afirmam que o modelo esférico é o que mais se ajusta a variáveis de solo e plantas

**Tabela 3.** Parâmetros de ajustes geoestatísticos dos atributos dos físicos do solo sob cultivo de soja.

		0.0-0.1 m					
	Modelo	C0	C1		a (m)	GD	R2
Condutividade hidráulica				EPP			
Densidade	Esférico	0.003	0.001		200	67.307	0.999
Macroporosidade				EPP			
Microporosidade	Esférico	0.0004	0.0004		190	88.888	0.869
Porosidade total	Esférico	0.0004	0.0003		180	52.631	0.999
Resistência a penetração				EPP			
		0.1-0.2 m					
Condutividade hidráulica	Esférico	2800	2140		190	48.810	0.999
Densidade				EPP			
Macroporosidade				EPP			
Microporosidade	Esférico	0.0001	0.0004		200	48.815	0.999
Porosidade total				EPP			
Resistência a penetração	Gaussiano	0.080	0.500		180	13.793	0.998
		0.0-0.2 m					
Areia total				EPP			
Areia grossa				EPP			
Areia fina	Exponencial	950	700		200	57.576	0.999
Silte	Gaussiano	670	1450		90	31.604	0.999
Argila				EPP			
Altitude				EPP			
Umidade				EPP			

EPP=Efeito Pepita Puro; C0= Efeito Pepita; C1= Variância Estrutural; a=Alcance; GD Grau de Dependência; R<sup>2</sup>= Coeficiente de Determinação.



**Figura 2.** Mapas de isolinhas para os atributos físicos do solo na camada 0.0-0.1 m.

(Cambardella et al., 1994; Vieira, 2000; Siqueira et al., 2008; Chiba et al., 2010; Silva et al., 2014; Siqueira et al., 2015).

Na camada 0.1-0.2 m, condutividade hidráulica e microporosidade ajustaram-se ao modelo esférico e resistência a penetração foi ajustado ao modelo gaussiano (Figura 3). Para os atributos texturais, areia fina e silte ajustaram-se aos modelos exponencial e gaussiano, respectivamente (Figura 4).

O grau de dependência foi alto apenas para resistência a penetração na camada de 0.1-0.2 m (GD= 13. 793), e baixo apenas para microporosidade (GD= 88. 888) na

camada 0.0-0.1 m, segundo classificação de Cambardella et al. (1994). Para densidade (GD= 67.307) e porosidade total (GD= 52.631) na camada 0.0-0.01 m, o grau de dependência foi classificado como mediano, o mesmo ocorreu para condutividade hidráulica (GD= 48.810), microporosidade (GD= 48.815) na camada 0.1-0.2 m, areia fina (GD= 57.576) e silte (GD= 31.604) na camada 0.0-0.2 m. Para Cambardella et al. (1994), os atributos que apresentam alto grau de dependência geralmente são influenciados por características intrínsecas do solo, como por exemplo, textura e mineralogia.

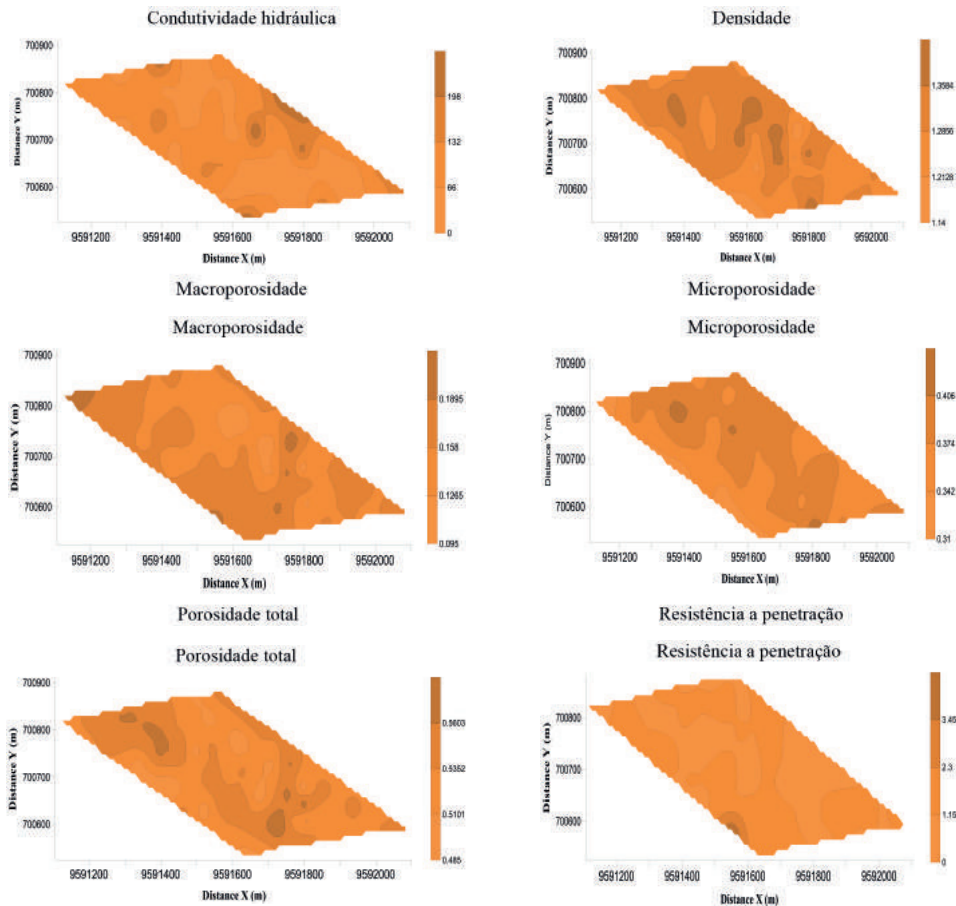


Figura 3. Mapas de isolinhas para os atributos físicos do solo para a camada 0.1-0.2 m.

Os parâmetros de densidade, microporosidade e porosidade total na primeira camada, assim como, microporosidade e resistência a penetração na segunda camada apresentaram baixos valores de efeito pepita ( $C_0$ ), o que indica que os dados estão bem representados e próximos do valor real. No entanto, a condutividade hidráulica apresenta maior valor de efeito pepita ( $C_0=2800$ ) e valor de alcance ( $a=190$  m).

Os valores de alcance ( $a$ ) para todos os parâmetros avaliados se mantiveram próximos, variando de alcance ( $a=90$  m a  $a=200$  m). Os valores de alcance ( $a$ )

indicam até que ponto as amostras possuem correlação entre si, demonstrando a distância máxima em que as amostras possuem variabilidade espacial (Vieira, 2000). Siqueira et al. (2009) estudando a variabilidade espacial do solo sob cultivo direto por vinte anos descreveu que densidade, porosidade total, microporosidade e macroporosidade obtiveram efeito pepita puro na primeira amostragem, no entanto, na segunda amostragem vinte anos depois, estes atributos foram ajustados ao modelo esférico.

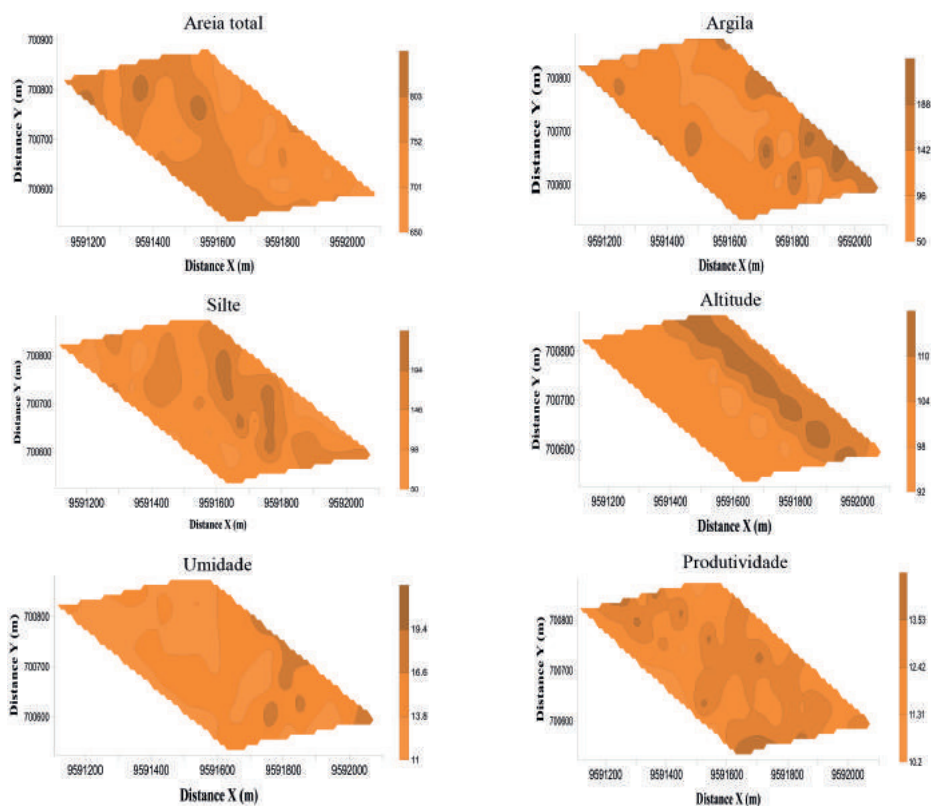


Figura 4. Mapas de isolinhas para os atributos físicos do solo para a camada 0.1-0.2 m.

De acordo com Corá et al. (2004) o manejo do solo provoca alterações na variabilidade espacial, principalmente nas camadas superficiais.

Os mapas de variabilidade dos atributos físicos do solo são amostrados na figura 5, demonstram que maior densidade, microporosidade e porosidade total na camada 0.0-0.1 m localizado na parte na superior esquerda. O mesmo ocorreu para macroporosidade e porosidade total na camada 0.1-0.2 m (Figura 6). Resistencia a penetração em ambas as camadas os maiores valores estão concentrados na parte inferior da área (Figura 5 e 6). Para os atributos texturais, argila, silte, altitude e umidade

a maior concentração ocorreu a direita da área.

#### 4. CONCLUSÃO

Estaticamente, os dados obtiveram coeficiente de variação mediano, com exceção de condutividade hidráulica, que obteve coeficiente de variação elevado. Para a amostragem na camada 0.0-0.1 m, os atributos físicos do solo, densidade, microporosidade e porosidade total apresentaram variabilidade espacial. Enquanto que a condutividade hidráulica, macroporosidade e resistência a penetração na mesma



camada houve efeito pepita puro, o que indica que o espaçamento deve ser alterado para que possa detectar a variabilidade desses atributos.

## 5. BIBLIOGRAFIA

- Alesso, C.A., et al., 2012. Variabilidad espacial de atributos químicos y físicos en un suelo de la pampa llana santafesina. *CI. Suelo (Argentina)* 30(1), 85-93.
- Amado, T.J.C., Pontelli, C.B., Santi, A.L., Viana, J.H.M., Sulzbach, L.A.S., 2007. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.42, n.8, ago., p.1101-1110.
- Arzeno, J.L., Vieira, S.R., Siqueira, G.M., Guedes Filho, O., 2014. Variabilidade espacial da resistência à penetração na superfície do solo em sistemas de manejo. *Rev. Bras. Ciênc. Agrár. Recife*, v.9, n.3, p.343-352.
- Bottega, E.L., Queiroz, D.M., Pinto, F.A.C., Souza, C.M.A., 2013. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. *Rev. Ciênc. Agron. Fortaleza - CE*, v. 44, n. 1, jan-mar, p. 1-9.
- Camargo, A.O., Moniz, A.C., Jorge, J.Á., Valadares, J.M.A.S., 1986. Métodos de análise química, mineralógica e física do solo do Instituto Agronômico de Campinas. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 194p. (Boletim técnico, 106).
- Cambardella, C.A., Moorman, T.B., Novak, J.M., Parkin, T.B., Karlem, D.L., Turvo, R.F., Konopa, A.E., 1994. Field scale variability of soil properties in central Iowa soil. *Soil Science Society of America Journal*. 58, 1501-1511.
- Chiba, M.K., Filho, O.G., Vieira, S.R., 2010. Variabilidade espacial e temporal de plantas daninhas em Latossolo Vermelho argiloso sob semeadura direta. *Acta Sci Agron*. 32, 735-742.
- Carvalho, M.P., Takeda, E.Y., Freddi, O.S., 2003. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em vitória Brasil (SP). *R. Bras. Ci. Solo*. 27, 695-703.
- Carvalho, J.R.P., Silveira, P.M., Vieira, S.R., 2002. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. *Pesq. Agropec. Bras.* 37:1151-1159.
- Corá, J.E., Araújo, A.V., Pereira, G.T., Beraldo, J.M.G., 2004. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana de açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v. 28, n 6. Viçosa, nov/dez, 1013-1021.
- Isaaks, E.H., Srivastava, R.M., 1989. An introduction to applied geostatistics. New York: Oxford University, 561p.
- Montezano, Z.F., Corazza, E.J., Muraoka, T., 2006. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homogeneamente. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, p.839-847.
- Santos CMA. Estatística Descritiva – Manual de auto-aprendizagem. Edições Sílabo. 2007.
- Silva, J., Junior, R.N.A., Matias, S.S.R., Tavares, R.C., Andrade, F.R., Camacho-Tamayo, J.H., 2014. Using geostatistics to evaluate the physical attributes of a soil cultivated with sugarcane. *Rev. Cien. Agr.* 57, 186-193.
- Siqueira, G.M., Silva e Farias, E.F., Paz-Ferreiro J., 2014. Land Use Intensification Effects in Soil Arthropod Community of an Entisol in Pernambuco State, Brazil, p. 7. *The Sci. World J.* 1-15.
- Siqueira, G.M., Vieira S.R., Falci, D.S.C., 2009. Variabilidade espacial da densidade e da porosidade de um latossolo vermelho eutroférico sob semeadura direta por vinte anos. *Bragantia*. 68, 751-759.
- Siqueira, G.M., Vieira, S.R., Ceddia, M.B., 2008. Variabilidade de propriedades físicas do solo determinada por métodos diversos. *Bragantia*. V 67. p 203-211.
- Vázquez, E.V., Bertol, I., Siqueira, G.M., Paz-Ferreiro, J., Dafonte, J.D.; 2010. Evolution of the soil surface roughness using geostatistical analysis. *Bragantia (São Paulo, SP. Impresso)*, v. 69, p. 141-152.
- Vieira, S.R., 2000. Uso de geoestatística em estudos de variabilidade espacial de propriedades do solo. In: NOVAIS, R. F. (Ed.). *Tópicos em Ciência do Solo*. Viçosa: Soc. Bras. Ci. Solo, 1-54.
- USDA. 1999. United States Department of Agriculture –Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Washington. 871 p.

- Warrick, A.W., Nielsen D.R., Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. Applications of soil physics. New York: Academic Press. 1980.
- Zanão Júnior, L.A., Lana, R.M.Q., Guimarães, E.C., Pereira, J.M.A., 2010. Variabilidade espacial dos teores de macronutrientes em Latossolos sob sistema plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.34, p.389-400.