

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL

**IVAN HUDSON CASSIMIRO LINO**

**DELINEAMENTO DE ZONAS DE SITES-ESPECÍFICOS POR MEIO DA RELAÇÃO  
ENTRE AS FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO, A RESISTÊNCIA À  
PENETRAÇÃO E A PRODUTIVIDADE DO MILHO**

CHAPADINHA-MA

2014

**IVAN HUDSON CASSIMIRO LINO**

**DELINEAMENTO DE ZONAS DE SITES-ESPECÍFICOS POR MEIO DA RELAÇÃO  
ENTRE AS FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO, A RESISTÊNCIA À  
PENETRAÇÃO E A PRODUTIVIDADE DO MILHO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência Animal da Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre

**Orientador:** Prof. Dr. Emanuel Gomes de Moura

CHAPADINHA-MA

2014

IVAN HUDSON CASSIMIRO LINO

Engenheiro Agrônomo

**DELINEAMENTO DE ZONAS DE SITES-ESPECÍFICOS POR MEIO DA RELAÇÃO  
ENTRE AS FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO, A RESISTÊNCIA À  
PENETRAÇÃO E A PRODUTIVIDADE DO MILHO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência Animal da Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre

Dissertação defendida e aprovada em : \_\_\_/ \_\_\_/ 2014

**BANCA EXAMINADORA:**

---

**Emanuel Gomes de Moura (Orientador)**

Doutor em Agronomia  
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

---

**Ivana Machado Fonseca**

Doutora em Agronomia  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)

---

**José Maria do Amaral Resende**

Doutor em Agronomia  
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

## AGRADECIMENTOS

A em primeiro lugar a Deus, por me abençoar todos os dias da minha vida e por reger minha vida.

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Maranhão (FAPEMA) por ter me concedido a bolsa mestrado;

À minha filha Isadora Costa Lino, por toda vez me faz esquecer o mundo quando abre aquele sorriso, e me dar forças pra seguir em frente;

À minha esposa Meriane de Jesus Costa Lino, por ser meu porto seguro e poder sempre contar com o seu amor;

À minha mãe Joana D'arc Ribeiro dos Santos Lino por tudo que fez por mim e por nunca me deixar desanimar;

Quero agradecer em especial ao Professor Dr. **Emanoel Gomes de Moura**, pelas oportunidades, incentivos, e como sempre preocupados com o bom desenvolvimento pessoal dos seus orientados, incentivando a busca por conhecimento e contribuindo para a minha formação profissional;

Agradeço imensamente aos professores e colaboradores do Programa de Pós Graduação em Ciência Animal, principalmente a Professora Dr. **Rosane Claudia Rodrigues** pela contribuição na minha formação profissional e amizade;

Agradeço a professora Dr. **Alana das Chagas Ferreira Aguiar** por ter cedido o laboratório para o fracionamento da Matéria Orgânica do solo;

Aos meus amigos e colegas pelo apoio nas atividades de campo e laboratório. Em especial, **Vinicius Macedo, Deyvison Soares, Anágila Janenis, Fabíola Santos, Andréa, Leandro Rocha, Gustavo André, Joab Pedrosa, Debora Cristina, Francisca Farias, Luana Torres, Virley Sena, Mariana Corrêa, Francielle Rodrigues, Dionísio e todos os membros do grupo de pesquisa em Agroecologia Econous.**

Aos integrantes da Associação de Caprinocultores, União, do povoado Acampamento.

Ao Sr. Aldamir e família pela ajuda e companherismo.

Muito Obrigado a todos!

## RESUMO

Sites-específicos na agricultura podem ser definidos como um método para a gestão do solo e da produção de culturas de um modo espacial e preciso, os quais são atraentes para delinear zonas produtivas com base na qualidade do solo e na produção da cultura. A Matéria Orgânica do Solo (MOS) é o componente que mais se relaciona com os parâmetros de qualidade físicos, químicos ou biológicos. Objetivou-se, com este trabalho, identificar zonas com fatores limitantes de produção similares, denominadas sites-específicos, para caracterização da variabilidade espacial com base nas frações da matéria orgânica do solo. Para se alcançar o objetivo foram delimitados 220 pontos amostrais numa grade uniforme de 7 x 10 m. Em cada ponto amostral foram coletadas amostras para o fracionamento da MOS, que foi fracionada por dois métodos: o densimétrico e o granulométrico. A partir do método densimétrico obteve-se as Frações Leve Livre e Leve Intragregado e através do método granulométrico as frações areia, argila e silte. Com o penetrômetro digital determinou-se a resistência à penetração. Na cultura do milho foram avaliados os componentes de produtividade. A krigagem ordinária foi utilizada para interpolar os valores, de modo a definir o padrão espacial das variáveis estudadas por meio dos semivariogramas, o que permitiu a elaboração dos mapas de isolinhas. As variáveis estudadas apresentaram dependência espacial a qual se ajustou ao modelo exponencial para a maioria das variáveis. A grade experimental mostrou-se adequada para a avaliação da dependência espacial das variáveis estudadas. Houve correlações significativas entre as frações da MOS, atributos físicos do solo e componentes de produtividade do milho.

**Palavras-Chave:** Variabilidade espacial, Fracionamento, Produtividade.

## ABSTRACT

Site - specific in agriculture can be defined as a method to manage soil and crop production in a spatial and precise way, which area attractive to delineate productive zones based on the quality of soil and crop yield. The soil organic matter (SOM) is the component that most relates to the physical, chemical or biological quality parameters. The objective of this study was to identify areas with similar limiting factors of production, called sites-specific, for characterizing the spatial variability based on fractions of soil organic matter. To achieve the objective 220 sample points were delimited in a uniform grid 7 x 10 m. At each sample point samples were collected for fractionation of SOM, which was fractionated by two methods: the densimetric and the granulometric. From the densimetric method was obtained Fractions Take the Free and Light weight Intragregado and from the densimetric method he sand, clay and silt fractions. With the digital penetrometer was determined the penetration resistance. In maize crop the productivity components were evaluated. Ordinary kriging was used to interpolate the values, in order to define the spatial pattern of the studied variables through semivariograms, which allowed the elaboration of contour maps. The variables studied were spatially dependent, adjusting to the exponential model for most variables. The experimental grid was adequate for evaluating the spatial dependence of the studied variables. There were significant correlations between the fractions of SOM, soil physical properties and yield components of maize.

**Keywords:** Sites-specific, soil organic matter (SOM), Fractionation, Productivity.

## SUMÁRIO

	p.
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	12
2.1 INTENSIFICAÇÃO ECOLÓGICA DA AGRICULTURA.....	12
2.2 AGRICULTURA DE PRECISÃO.....	13
<b>2.2.1 Zonas de Sites-Específicos</b> .....	15
2.3 MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO (MOS).....	16
<b>2.3.1 Intensificação no Espaço</b> .....	16
<b>2.3.2 Fracionamento da Matéria Orgânica do Solo</b> .....	17
2.4 CONTEXTO REGIONAL.....	19
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	21
3.1 OBJETIVO GERAL.....	21
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	22
4.1 LOCALIZAÇÃO E CLIMA.....	22
4.2 CARACTERIZAÇÃO E MANEJO DA ÁREA.....	22
4.3 HISTÓRICO DA ÁREA.....	23
4.4 AMOSTRAGEM.....	24
4.5 FRACIONAMENTO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO (MOS).....	25
4.6 RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO DO SOLO.....	25
4.7 PRODUTIVIDADE DO MILHO.....	25
4.8 ANÁLISE GEOESTATÍSTICA.....	26
4.9 CORRELAÇÕES.....	27
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	28
5.1 ANÁLISE DESCRITIVA.....	28
5.2 MODELOS E PARÂMETROS GEOESTATÍSTICOS.....	29
5.3 MAPAS DE ISOLINHAS.....	31
<b>5.3.1 Fração Leve Livre da MOS</b> .....	31
<b>5.3.2 Fração Leve Intragregado (FLI) da MOS</b> .....	32
<b>5.3.2 Frações granulométricas da MOS</b> .....	33
<b>5.3.4 Componentes do Grão do Milho</b> .....	36

5.4	CORRELAÇÕES.....	38
6	CONCLUSÕES.....	41
	REFERÊNCIAS.....	42



## LISTA DE FIGURAS

	p.
<b>Figura 1</b> Mapa da área de estudo.....	23
<b>Figura 2:</b> Mapas de isolinhas da Fração Leve Livre da MOS.....	32
<b>Figura 3:</b> Divisão da área de acordo com as leguminosas implantadas.....	32
<b>Figura 4:</b> Mapas de isolinhas da Fração Leve Intragregado da MOS.....	33
<b>Figura 5:</b> Mapas de isolinhas da Fração Pesada da MOS Areia.....	34
<b>Figura 6:</b> Mapas de isolinhas da Fração Pesada da MOS Argila.....	35
<b>Figura 7:</b> Mapas de isolinhas da Fração Pesada da MOS Silte.....	35
<b>Figura 8:</b> Mapas de isolinhas da produtividade do milho.....	36
<b>Figura 9:</b> Mapas de isolinhas espigas/planta.....	37
<b>Figura 10:</b> Mapas de isolinhas peso de 100 grãos.....	37
<b>Figura 11:</b> Mapas de isolinhas grãos/espiga.....	38

## LISTA DE TABELAS

	p.
<b>Tabela 1.</b> Parâmetros da estatística descritiva das Frações da Matéria Orgânica do Solo e componentes da produtividade do milho.....	29
<b>Tabela 2.</b> Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais das Frações da Matéria Orgânica do Solo e componentes da produtividade do milho.....	30
<b>Tabela 3.</b> Matrix de correlação entre as frações da MOS e atributos físicos do solo de todos os pontos, em um Latossolo Amarelo Distrocoeso.....	39
<b>Tabela 5.</b> Matrix de correlação entre as frações da MOS, atributos físicos do solo e componentes de produtividade do milho com apenas 90 pontos, nos sistemas com leguminosa (Leucena) e sem leguminosa, em um Latossolo Amarelo Distrocoeso.....	40

## 1 INTRODUÇÃO

Com cada vez menos áreas para se produzir e uma demanda cada vez maior por produtos agropecuários, é urgente uma alternativa para o aumento da produção sem a necessidade de abertura de novas áreas. Existe o império mundial para práticas agrícolas que aumentam a produção por área, porém que conservam as florestas, diminuem a emissão dos gases do efeito estufa (GEE) e mais, que a absorção dos GEE seja maior do que a emissão ou seja, práticas ecologicamente corretas.

A população mundial está projetada para atingir 9,2 bilhões de pessoas em 2050 (UN, 2010; NELSON, 2010). Em 2010, foi estimado que o número total de pessoas subnutridas no mundo é de 925 milhões (FAO, 2010). Cerca de 1,5 bilhão de hectares estão disponíveis globalmente. No entanto, a agricultura enfrenta a competição do uso adequado da terra com as florestas (800 milhões de ha), com as reservas naturais (200 milhões de ha) e com a urbanização (60 milhões de ha). Com isso o potencial de aumento da produção de alimentos e fibras através do aumento da área cultivada é reduzido por tais condições (U.N., 2010; NELSON, 2010).

É necessária uma nova intensificação da agricultura, a qual acontece há 7000-10000 anos atrás, mas acelerou drasticamente desde a “Revolução Verde” em 1960 (HOCHMAN, 2011). A intensificação do passado foi caracterizada por uma maior produção de germoplasma melhorado, em maior uso de fertilizantes, mais defensivos agrícolas, maior irrigação, maior intensificação do cultivo e mecanização (MATSON, 1997; CASSMAN, 1999), sem a menor preocupação com os impactos ambientais.

A intensificação atual, que é chamada de Intensificação Ecológica da Agricultura (IEA), deve se alicerçar em novos sistemas agropecuários que maximizem a produção primária de alimentos e fibras (ZHANG, 2007), mas que também prestem serviços ao ambiente, tais como: sequestro de carbono (C), polinização ou filtração da água.

As zonas de manejo de sites específicos podem ser parte integrante da IEA, visto que, procuram identificar, analisar e gerenciar a variabilidade espacial e temporal dentro de campos agrícolas, a fim de otimizar a rentabilidade, sustentabilidade e proteção do meio ambiente, isto é, podem contribuir para melhorar a eficiência da produção e diminuir o impacto ambiental (MZUKU et al., 2005; ORTEGA; SANTIBÁÑEZ, 2007).

Para a avaliação do aumento da degradação ou da melhoria da terra e para a identificação de práticas de manejo que promovam o uso sustentável da terra, a mensuração da qualidade do solo é considerada importante (ROLDÁN et al., 2003). Dentre os

componentes do solo, a matéria orgânica é aquele que mais se relaciona com os parâmetros de qualidade, físicos, químicos ou biológicos, o que potencializa características como resistência do solo à erosão, taxa de infiltração e retenção de água no solo, capacidade de troca catiônica, estoque de nutrientes, resistência a perturbações e à atividade biológica (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009). A hipótese do trabalho é de que as frações da matéria orgânica do solo apresentam variabilidade espacial e que influenciam na resistência à penetração do solo.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 INTENSIFICAÇÃO ECOLÓGICA DA AGRICULTURA

De acordo com Hochman (2011), uma nova intensificação da agricultura se justifica devido ao crescimento da população mundial, às mudanças na dieta e às oportunidades limitadas de expansão de terras agrícolas. A intensificação na agricultura das próximas décadas deve se alicerçar no ecológico, diferente da intensificação do passado que se baseava no uso de recursos não-renováveis, impactos negativos sobre os recursos naturais (dentro e fora da fazenda) e altas emissões de gases do efeito estufa.

A Intensificação Ecológica da Agricultura (IEA) surgiu como alternativa para satisfazer a crescente demanda de produtos agrícolas e o império para conservação ambiental. A IEA alcança maior produção de alimentos por unidade de área, onde se utiliza menos recursos naturais, o que minimiza o efeito da produção de alimentos sobre o meio ambiente (HOCHMAN, 2011).

A produção agrícola necessita do progresso da ciência da planta e do solo para alcançar uma produção contínua de alimentos (intensificação) sem danos ambientais (ecológico) (CASSMAN, 1999). O desafio está na otimização do espaço, com o uso de tecnologias mais eficientes na produção por cada metro quadrado de solo, e do tempo, com a implantação de tecnologias para manter a produção durante todo ano em uma mesma área.

Estima-se que em 2050 a quantidade de terra arável se expandirá por menos de 5%. Conseqüentemente, 90% do crescimento da produção agrícola deverá vir de maiores rendimentos por hectare e aumento da intensidade de cultivo (de 84% em 2000 para 92% em 2050) (BRUINSMA, 2009; FISCHER, 2009).

O imperativo para a gestão da terra com base ecológica decorre de preocupações sobre as conseqüências negativas da intensificação agrícola (MATSON, 1997; CASSMAN, 1999; WBCSD, 2000). As exigências ecológicas demandam ainda mais da agricultura para reduzir a sua dependência de recursos não-renováveis, para manter a fertilidade do solo e a biodiversidade, para minimizar as conseqüências, tais como a erosão do solo, poluição das águas subterrâneas, eutrofização de rios e lagos e redução das emissões de Gases do Efeito Estufa (HOCHMAN, 2011).

Contudo, a capacidade de se fornecer tais benefícios nem sempre é garantida e há muitos exemplos de efeitos adversos sobre o meio ambiente, o que leva a desserviços ecológicos (MATSON, 1997; SWINTON, 2007). Desserviços podem incluir a redução da

qualidade da água e do ar ou uma contribuição para a perda da biodiversidade. Como os sistemas agrícolas são controlados por humanos, adotar a abordagem correta para uma ampla gama de problemas de produção requer a compreensão da maneira pela qual os processos naturais e antrópicos interagem dentro do ecossistema (DORÉ, 2011).

A intensificação praticada atualmente tem como principais ferramentas a mecanização agrícola, o uso de agrotóxicos, uso de fertilizantes e o melhoramento genético. No entanto, a produção além de ser muito suscetível às intempéries, pragas e doenças, não é sustentável, porque não há grande preocupação com os recursos naturais. Hoje, o que acontece é um declínio da produtividade devido à baixa qualidade do solo, que na maioria das vezes é compactado, pois além de causar o aumento da necessidade de água, provoca o encharcamento, o que torna a planta mais vulnerável a pragas e doenças. A queda da produtividade apresenta como principal causa a escassez da matéria orgânica do solo (MOS) que se relaciona com os parâmetros de qualidade, físicos, químicos ou biológicos, potencializando características como resistência à erosão, taxa de infiltração e retenção de água no solo, capacidade de troca catiônica, estoque de nutrientes, resistência a perturbações e à atividade biológica (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

Na contramão das práticas agrícolas insustentáveis, a IEA visa ao aumento da disponibilidade água para as plantas por unidade de chuva por consequência de melhorias na qualidade do solo por meio do aumento do conteúdo de MOS, através da adição de resíduos, que aumentam a infiltração e reduz o escoamento. Com isso, a disponibilidade de água para as plantas aumentará, e assim o impacto será maior sobre a produtividade e estabilidade de produção, do que se pode esperar das práticas hoje utilizadas (GOVAERTS, 2006).

## 2.2 AGRICULTURA DE PRECISÃO

Os processos e os atributos do solo que determinam o desempenho e a produção das culturas, bem como o impacto da agricultura ao ambiente, variam no espaço e no tempo (CORÁ, 2004). A solução hoje utilizada é a de focar grandes áreas e entendê-las como homogêneas, onde se rotula uma necessidade para a aplicação dos insumos (fertilizantes, defensivos, água, etc.) (TSCHIEDEL; FERREIRA, 2002). O que na prática quer dizer que a mesma formulação e/ou quantidade de fertilizante seja utilizada para toda área, onde supri apenas os imperativos médios e não considera as necessidades específicas de cada parte do campo, o resultado é uma lavoura com produtividade não uniforme (CAPELLI, 1999).

O primeiro passo seria a identificação de zonas com fatores limitantes de produção similares, ou seja, o diagnóstico preciso da penúria de áreas cada vez mais homogêneas, o que tonará também a produção de toda área mais homogênea. O conhecimento da distribuição espacial dos atributos do solo em determinada área é importante para o refinamento das práticas de manejo e avaliação dos efeitos da agricultura sobre a qualidade ambiental (CAMBARDELLA, 1994). A variabilidade do solo é consequência de complexas interações dos fatores e processos de sua formação. Além dos fatores e processos, práticas de manejo do solo e da cultura são causas adicionais de variabilidade (CORÁ, 1997).

O desafio é quantificar a variação do solo. Variações biológicas dentro de campos são tão grandes quanto às variações química e física do solo, o que inclui as populações microbianas do solo, populações de ervas daninhas, populações de insetos, ocorrência de doenças, o crescimento da cultura e exploração da produção, tais variáveis permitem que os agricultores avaliem o efeito de todas as variações biológicas (BONGIOVANNI; LOWENBERG-DEBOER, 2004).

O manejo agrícola pode alterar os atributos químicos, físicos, mineralógicos e biológicos, com impacto principalmente nas camadas superficiais do solo (BLEVINS, 1983; SETA, 1993; CORÁ, 1997). A Agricultura de Precisão (AP) traz benefícios ao ambiente por meio da utilização mais precisa dos insumos, que reduzem perdas durante as aplicações em excesso e de redução de perdas devido a desequilíbrios nutricionais, competição com as ervas daninhas, danos causados por insetos, etc. (BONGIOVANNI; LOWENBERG-DEBOER, 2004).

Segundo Hatfield (2000), um sistema agrícola é composto de muitos elementos, mas as variações que existem dentro de um campo podem ser resumidas em três classes de variação: (1) natural, tais como solo e topografia; (2) aleatório, como a precipitação, e (3) gerenciado, a aplicação de fertilizantes ou sementes. A interação entre as fontes de variação resulta em impactos fora do local. A variação natural inclui: (a) variação do solo, (b) variação biológica, e (c) a variação do processo do solo (HATFIELD, 2000). Uma abordagem da agricultura de precisão contribui para garantir que os recursos necessários para o crescimento das plantas estejam disponíveis e as necessidades de proteção das culturas sejam satisfeitas sem deficiência ou excesso, no ponto e no tempo certo durante a estação de crescimento (CASSMAN, 1999).

No entanto, a AP é baseada sobretudo na tecnologia da informação, níveis elevados de máquinas, conhecimento computacional e grande número de amostragens (GALINDO, 2012), o que restringe a AP para a maioria dos agricultores. Por exemplo, a

aplicação de alta precisão posicional envolve custos de execução (BOOLTINK, 2001) e de tempo de formação. O problema afeta tanto os países em desenvolvimento quanto os países desenvolvidos, uma vez que nos países desenvolvidos o uso de tecnologia de ponta na AP não é tão generalizada como se acredita (LAMB, 2008). Em consequência, uma abordagem de baixa tecnologia também deve ser adequada para análise de sites-específicos, desde que os princípios motrizes da metodologia do "observar-interpretar-avaliar-implementar" tenham suporte (BOUMA, 1999).

### **2.2.1 Zonas de Sites-Específicos**

O aperto das restrições econômicas e ambientais na agricultura resultou em um convite para sistemas de gestão mais eficientes. Além de maximizar a produção de culturas, a aplicação de fertilizantes e biocidas deve ser reduzida ao mínimo. A AP é necessária para atender as exigências para alcançar a produtividade ótima de uma cultura, porque desenvolve estratégias de gestão que incorporam a variabilidade dos indicadores de qualidade do solo no campo (ALPHEN; STORVOGEL, 2000). O primeiro passo seria a identificação das zonas com fatores limitantes de produção similares, ou seja, o diagnóstico preciso da penúria de áreas cada vez mais homogêneas, pois da mesma forma se tornará também a produção de toda área.

A AP pode ajudar na gestão de insumos para a produção de culturas de forma ambientalmente correta. Em que se usa o conhecimento de sites-específicos. A AP pode direcionar o uso de fertilizantes, sementes e produtos químicos para o solo e outras condições (BONGIOVANNI & LOWENBERG-DEBOER, 2004). Sites-específicos na agricultura podem ser utilizados como um método para a gestão do solo e da produção de culturas de um modo espacial e preciso (GALINDO, 2012). Eles levam em conta as condições de várias áreas que, quando combinadas, definem a terra agrícola (SCHUELLER, 1992).

Zonas com fatores limitantes de produção similares na agricultura são por vezes associados com a necessidade de equipamentos de alta tecnologia, tais como sensor de dispositivos habilitados, sistemas de posicionamento global (GPS) e sistemas de informações geográficas (SIG). No entanto, a agricultura de precisão (AP) não deve ser entendida apenas como uma disciplina de alta tecnologia por definição (MOLIN, 2007), e sim como uma disciplina que tem suas raízes em uma metodologia "observação-interpretação-avaliação-implementação", independentemente dos meios e instrumentos utilizados (COOK; BRAMLEY, 1998).



Contudo, a AP é baseada sobretudo em tecnologia da informação, níveis elevados de máquinas, conhecimento computacional e grande número de amostragens (GALINDO, 2012), o que restringe a AP para a maioria dos agricultores. A aplicação de alta precisão posicional envolve custos de execução (BOOLTINK, 2001) e do tempo de formação.

Sites-específicos na agricultura tornaram-se atraentes para delinear zonas produtivas com base na qualidade do solo e produção (MANN, 2011). Muitos pequenos agricultores já têm a idéia de gestão de sites-específicos em suas mentes (COOK, 2003). De acordo com Booltink (2001), os agricultores sabem as características e a variabilidade de sua fazenda. Os pequenos agricultores sabem quais são as áreas melhores para a agricultura e também podem estimar o rendimento de culturas de acordo com suas observações (GALINDO, 2012), o problema é que a valorização do conhecimento não é registrada nem compartilhada.

## 2.3 MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO (MOS)

### 2.3.1 Intensificação no Espaço

Áreas pedologicamente idênticas podem apresentar variabilidade distinta em atributos, quando submetidas às diferentes práticas de manejo (CORÁ, 2004). Tais variações influenciam principalmente no acúmulo de material orgânico, no movimento de água no solo, na compactação do solo e na erosão hídrica (SOUZA, 2006; NOVAES FILHO, 2007).

A MOS apresenta grande importância nos solos tropicais por ser fator determinante para capacidade de troca catiônica na estruturação do solo e fornecimento de nutrientes (AGUIAR, 2013). Além disso, a maior parte do solo da região do trópico úmido é propensa à coesão devido ao baixo conteúdo de ferro livre, uma situação que pode ser atenuada com maior teor de matéria orgânica, mesmo nas frações mais lábeis (MOURA, 2009 a).

A produtividade de qualquer cultura está intimamente relacionada com a MOS (SHEPHERD, 2002), conseqüentemente, para haver uma nova intensificação da agricultura é preciso aumentar os teores de MOS. Na intensificação atual, o que se faz é a retirada da vegetação natural, seguidas de práticas inadequadas do solo, como o revolvimento, o que causa a rápida degradação da matéria orgânica. Além das mudanças na quantidade da matéria orgânica (MO) em solos cultivados, também têm sido observadas mudanças na sua qualidade, notadamente no grau de oxidação e labilidade (BLAIR, 1995). Estes fatores causam o

aumento da emissão de gases do efeito estufa, poluição de rios e lagos através do aumento da lixiviação dos minerais do solo, aumento da erosão do solo, etc. Para existir a IEA, se faz necessário o aumento do teor e da qualidade da MOS.

A MOS é um dos maiores e mais dinâmicos reservatórios de C na Terra e, portanto, um fator-chave no ciclo do C global. Compreender sua natureza e reatividade sobre mudanças ambientais tornou-se de extrema importância para definir ou até mesmo prever o papel do solo como fontes ou sumidouros de C e gerir de forma sustentável os recursos do solo (CERLIA, 2012). Tal entendimento baseia-se na identificação de frações orgânicas com funções bioquímicas e biológicas distintas, características que se relacionam fortemente com a forma e /ou o tipo de interações com os minerais (RASMUSSEN, 2005).

A matéria orgânica do solo é composta por diferentes frações em diferentes estágios de decomposição, compostos humificados e materiais carbonizados, associados ou não à fração mineral, além dos organismos vivos como raízes e os constituintes da fauna edáfica (ROSCOE; MACHADO, 2002).

A associação da MOS com as partículas minerais do solo é um fator crucial no funcionamento do solo (MIKUTTA, 2010). Interações organo-minerais no solo atingem de fraco contato/adeseção, encapsulamento/oclusão a fortes ligações químicas formadas por reações de complexação (VON LÜTZOW, 2006). Em resultado, a MOS fica menos bio-acessível, o que significa que o C contido principalmente em associações organo-minerais, ou seja, em complexos onde MOS tem uma ligação mais forte com a fase mineral, é menos propensa à mineralização (BALDOCK; SKJEMSTAD, 2000). Portanto, separar frações de MOS localizada dentro ou fora de agregados ou que fazem parte de associações organo-minerais, todos com propriedades bioquímicas distintas e relevância funcional, tornou-se um importante tópico de investigação ao longo das duas últimas décadas.

### **2.3.2 Fracionamento da Matéria Orgânica do Solo**

Normalmente, as avaliações dos estoques de Carbono Orgânico Total (COT) ou Nitrogênio Total (NT) são suficientes para se entender a dinâmica da MOS num sistema de exploração agrícola. No entanto, em situações de curtos períodos de histórico de manejo, as variações nos conteúdos de COT ou NT não são suficientemente grandes para que se possa diferenciar os tipos de manejo aplicados ao solo. Neste sentido, o fracionamento da MOS em seus compartimentos pode ser uma alternativa para incremento de sensibilidade (BAYER., 2004; CONCEIÇÃO, 2005).

Quando se detém a atenção aos compartimentos da MOS: MO lábil, MO protegida estruturalmente e por colóides, pode-se apresentar alguns métodos de fracionamento da MOS para o melhor entendimento da natureza, distribuição, tempo de residência, funções e sensibilidade de cada fração por indicar a qualidade do manejo empregado (NICOLOSO, 2005). Basicamente, os métodos de fracionamento da MOS podem ser classificados como métodos granulométricos (CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1992), densimétricos (GOLCHIN, 1994) ou uma mistura de ambos (SIX, 1998).

O método densimétrico baseia-se na separação dos compartimentos da MOS através de um líquido denso. Assim, em uma solução de densidade adequada, material orgânico dominado com pouca ou nenhuma interação com minerais, flutua enquanto associações organo-minerais afundam. As frações se diferem pelo grau de interação com os minerais: uma basicamente sem interação, que é a chamada Fração Leve Livre da MOS em uma solução de determinada densidade sem dispersão adicional, e outra com interação limitada resultante da oclusão dentro de agregados, ou seja, a Fração Leve Livre Intragregado da MOS (CERLIA, 2012).

Ambas as frações flutuantes (leves) compreendem principalmente detritos de origem vegetal (folhas, galhos e raízes), algum resíduo animal, carvão vegetal, sementes, pólen e microrganismos colonizam resíduos orgânicos (GOLCHIN, 1994; WAGAI, 2008). As principais diferenças entre as duas frações leves deve-se ao seu tamanho e localização no interior da matriz do solo. A primeira fração apresenta grandes fragmentos orgânicos que sofreram pouca transformação físico-química. As poucas partículas finas geralmente aderem a esses fragmentos orgânicos e não tem muito efeito sobre a densidade global; por conseguinte, esta fração leve flutua em conformidade com a densidade da solução utilizada para a separação (CERLIA, 2012). A segunda fração leve deve ser constituída por partículas orgânicas muito finas de composição semelhante à primeira, mas ligeiramente alterada (GOLCHIN, 1994). Essa fração é mantida no interior de agregados e não flutua em uma solução de densidade, a menos que os agregados que a contêm sejam rompidos.

Os métodos granulométricos de fracionamento têm como princípio a separação da MOS por peneiramento. As frações obtidas por esse método são as chamadas Frações Pesadas da MOS que em comparação com a fração leve da matéria orgânica, é uma fração organo-mineral mais estável e de alta densidade, com menor concentração de C (GOLCHIN, 1994). A fração leve geralmente tem uma maior proporção de C-N que a fração pesada, e tende a se decompor mais rapidamente do que a fração pesada da matéria orgânica (HASSINK, 1995; BARRIOS, 1996). As duas frações entrelaçadas, excluindo orgânicos solúveis e uma pequena

porção da microflora, constituem quase toda a matéria orgânica no solo mineral (BOONE, 1994).

Com o desenvolvimento de novas técnicas de detecção, tem sido possível o estudo da MOS pela compreensão de suas diferentes frações. Diversos tipos de fracionamento têm sido apresentados os quais utilizam diversos princípios como a solubilidade em meios ácidos e alcalinos, a densidade e tamanho das partículas orgânicas ou a facilidade para a oxidação na presença de diferentes soluções oxidantes.

Por meio do fracionamento da MOS é possível compreender os efeitos dos sistemas de manejo sobre as modificações na sua qualidade. Por exemplo, o acúmulo de carbono em frações lábeis da MOS tem sido relacionado à sua proteção física no interior de agregados em consequência da inacessibilidade aos microrganismos e suas enzimas (FELLER; BEARE, 1997). A matéria orgânica protegida no interior de agregados apresenta um tempo de permanência no solo maior do que a matéria orgânica livre, a proteção é maior nos microagregados do que nos macroagregados (BUYANOVSKY, 1994).

## 2.4 CONTEXTO REGIONAL

As condições socioambientais no trópico úmido representam grande desafio para a pesquisa agrícola, principalmente porque se associam, em uma mesma região, solos de reduzida fertilidade natural, elevada precipitação pluvial e o modelo itinerante de uso da terra. Nessas condições, tem-se apenas desvantagem porque é afetada a biodiversidade, o que contribui para o aumento da produção dos gases do efeito estufa, sem diminuição da pobreza no meio rural (LEITE, 2008).

Do ponto de vista social essa situação insere a região nas últimas colocações quanto aos índices de desenvolvimento humano (IDH) do país, com um valor de IDH absolutamente não condizente com as francas possibilidades de uso adequado dos recursos e dos serviços ambientais que o ambiente tropical pode oferecer (MOURA, 2009b). Contudo, o uso deste sistema por grande parte dos agricultores familiares acontece devido à falta de conhecimento técnico, e principalmente devido à falta de alternativas que se encaixem em suas condições socioeconômicas.

O paradigma estabelecido para a agricultura extensiva e monocultural não se aplica às condições de solo e clima do trópico, nem atende a expectativa dos agricultores familiares da região, que preferem sistemas diversificados (FERRAZ JÚNIOR, 2004). Como agravante, as tentativas de introdução de práticas “modernas” concebidas para outras

realidades de solo e clima resultaram apenas no surgimento de extensas áreas degradadas onde até a recuperação da vegetação natural foi prejudicada pela erosão da biodiversidade e pela compactação do solo (MOURA, 2009b).

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GERAL**

Identificar zonas com fatores limitantes de produção similares, denominadas sites-específicos para caracterização da variação espacial, com base nas frações da matéria orgânica do solo.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar a variabilidade espacial das frações da matéria orgânica do solo;
- Correlacionar as frações da matéria orgânica do solo com a resistência à penetração do solo;
- Correlacionar as frações da matéria orgânica do solo com a produtividade do milho

## 4. METODOLOGIA

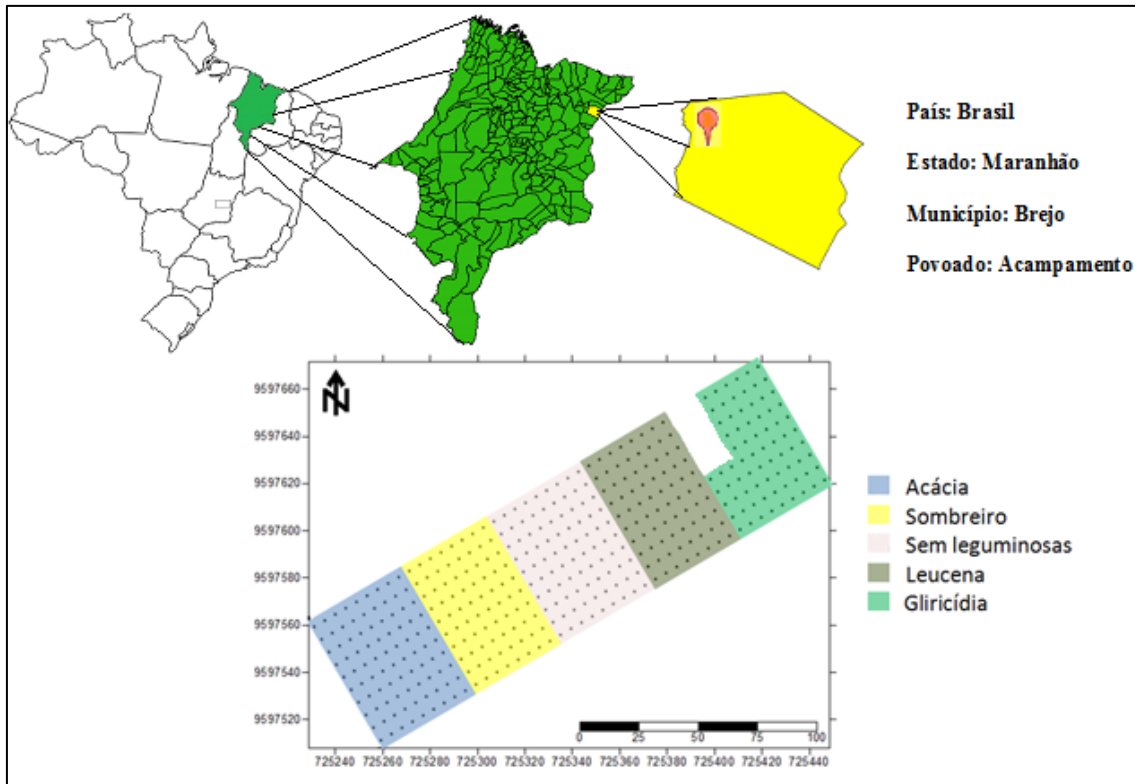
### 4.1 LOCALIZAÇÃO E CLIMA

O experimento foi realizado em uma unidade demonstrativa de aproximadamente 1,41 ha, instalada no povoado Acampamento, localizado no município de Brejo-MA, Brasil (3° 38' de latitude sul e 42° 58' de longitude oeste) situado entre a Amazônia úmida e o Nordeste seco, estrategicamente escolhido por apresentar áreas com diferentes históricos de manejo e grande variação de produtividade do milho cultivado em 2012. O clima do município é o tropical úmido, a temperatura média anual a cerca de 27 °C, com máximas de 38 °C e mínimas de 21 °C e precipitação anual média 1.738 mm. A região é caracterizada por um período chuvoso que vai de Janeiro a Julho e um período seco de Agosto a Dezembro (GOVERNO DO ESTADO DO MARANHÃO, 2002).

### 4.2 CARACTERIZAÇÃO E MANEJO DA ÁREA

O solo da área foi classificado como *Latossolo Amarelo Distrocoeso*, apresentando topografia plana (inclinação <1%) (EMBRAPA, 2006). Para correção da acidez foram aplicadas, em superfície, duas toneladas de um corretivo da região derivado de margas cujo PRNT varia de 45 a 50%. Para correção dos baixos teores de fósforo do solo 300 kg de superfosfato triplo foram aplicados por ha, durante o plantio das leguminosas no ano de 2011.

A área consta de um sistema de cultivo em aléias, que foi dividida em cinco partes iguais de 42,5 por 70 m, quatro delas semeadas com leguminosas arbóreas, Sombreiro (*Clitoria fairchildiana*), acácia (*Acacia mangium*), Leucena (*Leucaena leucocephala*), e Gliricídia (*Gliricídia sepium*) no espaçamento de 2,5 m entre linhas e 0,5 m entre plantas, outra área com as mesmas dimensões foi mantida sem leguminosas (Figura 1).



**Figura 1** Mapa da área de estudo (FONTE: MACEDO, 2014)

No início do período chuvoso do ano de 2013 foram semeadas entre as fileiras das leguminosas três fileiras de milho (*Zea mays* L.) cultivar AG 7088, no espaçamento de 80 cm e 4 fileiras de capim mulato (*Brachiaria hibrida cv. Mulato*), nos espaços das entrelinhas de milho, os quais foram adubados com  $400 \text{ kg ha}^{-1}$  da formulação 04-20-20 + 7 kg de Zn  $\text{ha}^{-1}$ . Às adubações de cobertura também foram aplicadas 15 dias após o plantio do milho no estágio de quatro folhas, com aplicações de  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  de N na forma de uréia e  $36 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  na forma de cloreto de potássio, e 40 dias após a germinação do milho no estágio oito folhas, com aplicação de  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  de N na forma de uréia.

#### 4.3 HISTÓRICO DA ÁREA

A vegetação original da área é uma transição entre cerrado e caatinga. Em 2004 foi procedido o desmatamento e gradagem da área onde hoje se encontram área sem leguminosas, Leucena (*Leucaena leucocephala*) e Gliricídia (*Gliricídia sepium*). Já a porção onde hoje estão implantadas as leguminosas, Sombreiro (*Clitoria fairchildiana*) e Acácia (*Acacia mangium*), não foi desbravada (Figura 1). Em seguida foram plantados em consórcio arroz, milho e mandioca.



Após o ano de 2004, a área permaneceu em pousio até o ano de 2011, quando foi roçada manualmente a parte que já havia sido desmatada, e o restante da área que não havia sido desbravada, foi queimada. Logo após, foram plantadas as leguminosas Gliricídia (*Gliricídia sepium*), Leucena (*Leucaena leucocephala*), Sombreiro (*Clitoria fairchildiana*) e Acácia (*Acacia mangium*). Nas entre linhas das leguminosas e na área sem leguminosas (Figura 2) foram plantados na mesma área milho e arroz.

No ano de 2012, com as leguminosas já estabelecidas foram plantados novamente milho e arroz. Em 2011 e 2012 a produtividade do milho e do arroz foi prejudicada, devido a forte estiagem que ocorreu nesses anos. Por isso não houve avaliações no que diz respeito aos dados de produtividade.

No final do ano de 2012 foi plantado o capim Mulato (*Brachiaria híbrida cv. Mulato*), o que gerou uma palhada significativa para o ano de 2013, quando se dessecou o capim. No ano de 2013 foi plantado o milho nas entre linhas das leguminosas, passados 15 dias foi semeado o capim mulato. Nesse ano a estiagem não prejudicou a produtividade, por isso os dados foram usados neste experimento.

#### 4.4 AMOSTRAGEM

Foi realizada uma amostragem em grid na qual se instalou uma rede de 220 pontos no espaçamento de 7 m x 10 m (Figura 1).

As amostragens do solo foram realizadas em pleno florescimento do milho quando se utilizou um trado para retirada de uma amostra derivada de 3 subamostras por ponto tomadas na profundidade 0-10 cm para posterior fracionamento da matéria orgânica do solo.

#### 4.5 FRACIONAMENTO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO (MOS)

A MOS foi fracionada utilizando-se dois métodos, o densimétrico e o granulométrico, segundo metodologia adaptada de Machado (2002). As frações leves foram extraídas do solo por meio de uma solução de NaI (Iodeto de Sódio) a uma densidade de 1,80 g.cm<sup>-3</sup> ( $\pm 0,02$ ), conforme sugerido por Janzen (1992). Foram pesados 5 g de solo em frascos de 80 mL, aos quais foram adicionados 35 mL de iodeto de sódio (NaI,  $d=1,80 \text{ g.cm}^{-3}$ ). Os frascos foram agitados manualmente por 30 segundos de maneira que as frações orgânicas menos densas ficassem na superfície da solução. A seguir, as soluções foram colocadas para

decantar durante 48 horas, após esse período a fração sobrenadante, que constitui a Fração Leve Livre da Matéria Orgânica do Solo (FLL) foi aspirada e filtrada por meio de um sistema a vácuo usando um filtro de fibra de vidro com uma malha de 47 milímetros de diâmetro e 2 mm de malha de retenção.

Após a remoção da fração leve livre (FLL) foi extraída a fração leve intra-agregado (FLI) ou oclusa, aplicando agitação mecânica por 1 (uma) hora na presença de esfera de vidro e seguindo as mesmas etapas da fração leve livre. A separação da fração pesada foi realizada de acordo com o método descrito em Machado (2002). Em cada frasco contendo a fração foi adicionado 0,5 g de hexametáfosfato de sódio ( $\text{NaPO}_3$ )<sub>n</sub>, quando a mistura foi agitada por aproximadamente 16 H, a 250 rpm. Em seguida, foi realizada a separação da fração areia, de silte e argila por peneiramento úmido. As frações silte (2–53  $\mu\text{m}$ ) e argila (0–2  $\mu\text{m}$ ) foram separadas a partir da coleta de alíquotas das frações granulométricas de 0–53  $\mu\text{m}$  (argila + silte) e 0–2  $\mu\text{m}$  (argila), em função dos tempos de sedimentação dessas partículas.

#### 4.6 RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO DO SOLO

A resistência à penetração e a umidade do solo foram determinadas na camada de 0 a 20 cm, com duas amostragens por ponto, utilizando um penetrômetro digital da marca Falker e um aparelho TDR de marca Trime-Fm, a primeira amostragem foi feita quatro dias após uma chuva, e a segunda dez dias após uma chuva, os dados apresentados representam a média das duas avaliações.

#### 4.7 PRODUTIVIDADE DO MILHO

Na fase de colheita do milho foram avaliados, a produtividade a partir das plantas coletadas em uma área de 5 m<sup>2</sup> por ponto amostral, número de espigas por planta obtida pela quantidade média de espigas de 15 plantas e peso de 100 grãos obtidos a partir do peso médio de três repetições de 100 grãos e peso das espigas obtido a partir das relações entre o peso de 100 grãos e produção por ponto.

#### 4.8 ANÁLISE GEOESTATÍSTICA

As análises de dados foram feitas em cinco etapas: (I) estatística descritiva, (II) testes de normalidade (Kolmogorov-Smirnov), (III) parâmetros do semivariograma, (IV) correlações entre as propriedades do solo e componentes de produtividade da cultura do milho, (V) mapas das variáveis, que foram produzidos pela técnica de krigagem (ISAACS; SRIVASTAVA, 1989). O software GS+ 7.0 (Gamma Software Design) foi usado para a construção de semivariogramas e análise da estrutura espacial para variáveis.

A semivariância é definida como a metade da esperança matemática do quadrado da diferença entre os valores de pontos no espaço, separados pelo vetor distância  $h$  (lag) (TRANGMAR, 1985). A semivariância estimada no lag  $h$  é

Equação 1:

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

em que,  $N(h)$  – correspondente ao número de pares de valores experimentais medidos em  $[Z(x_i), Z(x_i + h)]$ , separados pelo vetor  $h$  (espaço lag). Os valores de  $Z$  foram os atributos físicos do solo estudado, enquanto os valores de  $x_i$  e  $x_i + h$  foram definidos de acordo com a localização geográfica das amostras feitas no campo.

Foram testados os modelos de semivariogramas: (a) esférico,  $\gamma^*(h) = C_0 + C_1 [1,5 (h/a) - 0,5 (h/a)^3]$  para  $(0 < h < a)$  e  $\gamma^*(h) = C_0 + C_1$  para  $h \geq a$ ; (b) exponencial,  $\gamma^*(h) = C_0 + C_1 [1 - \exp(-3h/a)]$  para  $(0 < h < d)$ ; e (c) gaussiano,  $\gamma^*(h) = C_0 + C_1 [1 - \exp(-3h^2/a^2)]$  para  $(0 < h < d)$ , em que  $d$  é a distância máxima na qual o semivariograma é definido. O ajuste dos semivariogramas possibilitou definir os valores do efeito pepita ( $C_0$ ), do alcance ( $A$ ) e do patamar ( $C + C_0$ ).

A seleção do modelo ajustado dos semivariogramas foi feita com base na menor soma do quadrado dos resíduos (SQR), no maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e maior grau de dependência espacial (GDE). Segundo Robertson (2008), a proporção obtida utilizando-se a Equação 2, o GDE pode ser classificado em: dependência espacial fraca em  $GDE \leq 25\%$ , dependência espacial moderada quando  $25\% < GDE \leq 75\%$  e dependência espacial forte em  $GDE > 75\%$ . Equação 2:

$$(2) GDE = \left[ \frac{c}{c + c_0} \right] \times 100$$

A validação cruzada foi feita para analisar a qualidade do modelo matemático ajustado dos semivariogramas para cada uma das propriedades do solo estudado. A

interpolação dos valores foi feita pelo método geoestatístico da Krigagem Ordinária, de modo a definir o padrão espacial das variáveis estudadas, o que permitiu a elaboração dos mapas de isolinhas, com o auxílio da Equação 3:

(3)

em que:  $Z^*(x_0)$  = variável interpolada;  $\lambda_i$  = peso da  $i$ -ésima localidade vizinha;  $Z(x_i)$  = valor da variável para a  $i$ -ésima localidade; e  $N$  = número de localidades vizinhas empregadas para interpolação do ponto (PAZ-GONZÁLEZ, 2000).

#### 4.9 CORRELAÇÕES

Foram realizadas correlações entre as frações da MOS, atributos físicos do solo e componentes de produtividade do milho para todos os pontos (Tabela 4) e para apenas 90 pontos nos sistemas com leguminosa (Leucena) e sem leguminosa (Tabela 5).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 ANÁLISE DESCRITIVA

Os valores da média e da mediana para todos os atributos foram diferentes (Tabela 1). Isso refletiu em uma assimetria positiva para os atributos: PFL (Peso da Fração Leve Livre), PFLI (Peso da Fração Leve Intragregado) e Silte, e uma assimetria negativa para as variáveis Areia, Argila e todos os componentes relacionados à produtividade do milho.

O coeficiente de assimetria mostra o afastamento da variável em relação à média. Os atributos que apresentaram assimetria positiva evidenciaram que a maioria dos valores estão acima da média, já os de assimetria negativa, indicam que a maior parte dos dados estão abaixo da média (ZANÃO JUNIOR, 2007).

Em relação ao coeficiente de curtose, que mostra a dispersão (achatamento) da distribuição em relação a um padrão, geralmente a curva normal, em que: se  $Ck = 0$  a distribuição é mesocúrtica, se  $Ck < 0$  platicúrtica e se  $Ck > 0$  leptocúrtica. Dentre as variáveis relacionadas à matéria orgânica do solo, somente PFLI apresentou uma distribuição platicúrtica. O restante dos atributos expressaram uma distribuição leptocúrtica, o que indicou o afastamento da curva de normalidade.

Os coeficientes de variação (CV) das variáveis estudadas (Tabela 1) são classificados segundo Warrick e Nielsen (1980), quando o  $CV < 12$  são de baixa variabilidade, entre 12 e 60% de média variabilidade e  $> 60\%$  de alta variabilidade dos dados. O único atributo que manifestou baixa variabilidade foi grãos/espiga. As variáveis dos Componentes do milho: Produtividade, espigas/planta e peso de 100 grãos apresentaram média variabilidade. Os atributos ligados a MOS (PFL, PFLI, AREIA, ARGILA E SILTE), praticamente todas as variáveis indicaram média variabilidade, com restrição do Silte que apresentou uma alta variabilidade, o que segundo ZUCOLOTO (2011) pode estar relacionado com a forma de determinação que é pela diferença entre as frações de argila e argila + silte. Os valores elevados de CV podem ser considerados como os primeiros indicadores da existência de heterogeneidade nos dados.

Pelo teste de Kolmogorov-Smirnov todas as variáveis manifestaram uma distribuição normal, o que pode ser verificado pela proximidade entre a média e mediana dos dados.

**Tabela 1.** Parâmetros da estatística descritiva das Frações da Matéria Orgânica do Solo e componentes da produtividade do milho

Frações da MOS	Min	Max	Média	Mediana	DP	CV (%)	Assimetria		
								Curtose	k-S
PFL	27,86	118,30	59,71	57,12	17,78	29,78	0,98	1,21	0,08*
PFLI	8,54	90,16	34,90	29,33	17,94	51,40	0,80	-0,23	0,13*
AREIA	1573,74	9322,18	4948,23	5006,05	616,15	12,45	-0,25	18,00	0,15*
ARGILA	178,5	4776,94	2312,78	2459,52	779,71	33,71	-0,31	0,21	0,08*
SILTE	11,48	295,26	47,66	32,83	39,27	82,41	2,32	7,75	0,20*
<b>Componentes de prod. milho</b>									
Produtividade . (Mg ha <sup>-1</sup> )	0,92	6,94	4,15	4,23	1,05	25,25	-0,40	0,48	0,07*
n° de espigas/plantas peso de 100 grãos (g)	0,50	1,65	1,13	1,1	0,16	14	-0,33	3,85	0,13*
grãos/espiga	1,05	42,10	25,46	26,4	3,83	15,05	-2,05	10,60	0,16*
	235	752	471,67	478	56,15	11,9	-0,08	4,41	0,12*

\*Distribuição normal ao nível de significância de 5% pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. PFL= Peso da Fração Leve Livre, PFLI= Peso da Fração Leve Intragregado; DP = desvio padrão; CV = coeficiente de variação.

## 5.2 MODELOS E PARÂMETROS GEOESTATÍSTICOS

Todas as variáveis apresentaram dependência espacial e a natureza da variação dos dados foi do tipo isotrópica (Tabela 2). O modelo que se ajustou para a maioria das variáveis foi o exponencial, com exceção do Peso da Fração Leve Intragregado (PFLI) e a produtividade do milho, ajustados respectivamente aos modelos galiano e esférico.

O alcance indica o limite da dependência espacial da variável, ou seja, determinações realizadas a distâncias maiores que o alcance têm distribuição espacial aleatória e, por isso, são independentes entre si, podendo ser aplicada a estatística clássica (SILVA, 2003). Por outro lado, determinações realizadas em distâncias menores que o alcance são correlacionadas umas às outras, o que permite que se façam interpolações para espaçamentos menores que os amostrados.

Os maiores alcances para os atributos relacionados a MOS e os componentes do milho foram PFLI, silte, produtividade e peso de 100 grãos que foram de 77,25 m, 25,5 m, 87,6 m e 172,5 m respectivamente; os quais apontam que o número de amostras para estas variáveis poderia ter sido menor. Os menores alcances foram grãos/espiga, areia, argila e PFL, com valores de 9,3 m, 9,6 m, 12 m e 13,2 m respectivamente (Tabela 2).

De acordo com Corá (2004), os valores de alcance influenciam na qualidade das estimativas, uma vez que eles determinam o número de valores usados na interpolação, desse modo, estimativas feitas com interpolação por krigagem ordinária utilizando valores de alcances maiores tendem a ser mais confiáveis, apresentando mapas que representam melhor a realidade. Assim, a grade amostral utilizada neste estudo (7 x 10 m) foi adequada para caracterizar a variabilidade espacial das atributos relacionados a MOS e a produtividade do milho.

O grau de dependência espacial foi forte ( $GDE > 75\%$ ) para as variáveis PFL, areia, argila, produtividade e grãos/espiga. Foi moderado ( $25\% < GDE < 75\%$ ) para PFL, silte, produtividade e peso de 100 grãos. Quando as propriedades do solo mostram forte dependência espacial, isso pode indicar que a variabilidade nessas propriedades é controlada pela variação intrínseca das características do solo (CAMBARDELLA, 1994). O coeficiente de determinação variou de 0,34 (areia) a 0,98 (produtividade). Segundo Azevedo (2004) quando  $R^2$  for acima de 0,5, melhor será a estimativa de valores pelo método de interpolação krigagem ordinária.

**Tabela 2.** Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais das Frações da Matéria Orgânica do Solo e componentes da produtividade do milho

Frações da MOS	MOD	C <sub>o</sub>	C + C <sub>o</sub>	Alcance (m)	R <sup>2</sup>	VC	GDE %	Classe
PFL	Exponencial	15,1	303,8	13,2	0,68	0,14	95	Forte
PFLI	Galciano	124,3	248,7	77,25	0,95	0,99	50	Moderada
AREIA	Exponencial	1000	326800	9,6	0,34	0,83	99	Forte
ARGILA	Exponencial	37000	586200	12	0,6	0,43	94	Forte
SILTE	Exponencial	641	2021	25,5	0,8	0,74	68	Moderada
Componentes milho								
Produtividade (Mg ha <sup>-1</sup> )	Esférico	0,526	1,447	87,6	0,98	1,00	64	Moderada
n° de espigas/plantas	Exponencial	0,00153	0,0264	20,4	0,81	0,80	94	Forte
peso de 100 grãos (g)	Exponencial	7,04	14,09	172,5	0,62	1,00	50	Moderada
grãos/espiga	Exponencial	10,0	3523,0	9,3	0,4	0,79	99	Forte

PFL= Peso da Fração Leve Livre, PFLI= Peso da Fração Leve Intragregado; ; MOD = modelo do semivariograma; C<sub>o</sub> = efeito pepita; C+ C<sub>o</sub> = patamar; R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação; VC = coeficiente de determinação da validação cruzada; GDE = grau de dependência espacial.

### 5.3 MAPAS DE ISOLINHAS

Foram gerados mapas de isolinhas por krigagem ordinária para todas as variáveis estudadas, com intuito de estimar valores em locais não medidos.

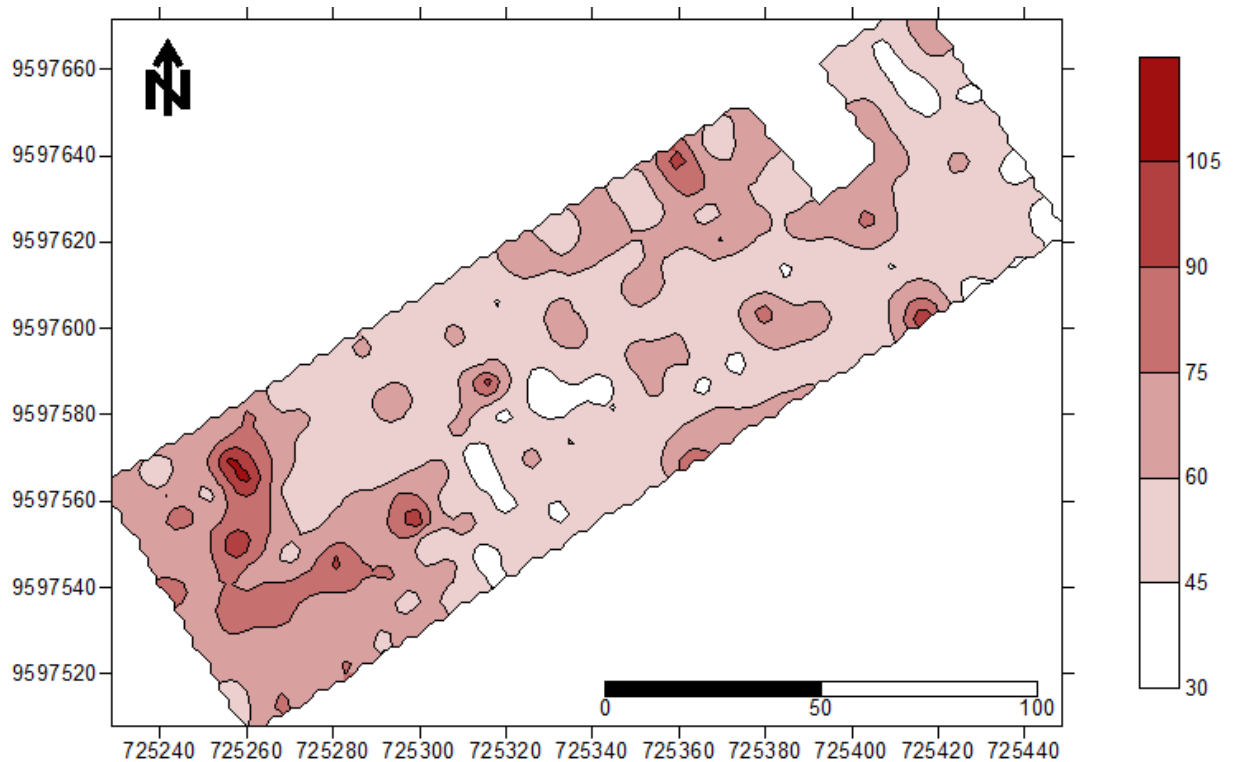
#### 5.3.1 Fração Leve Livre da MOS

As maiores concentrações da Fração Leve Livre (FLL) da MOS ocorreram na sentido oeste da área (Figura 2), a qual apresentou maior quantidade de valores aproximados de 75 a 115 kg/ha. A porção central e no extremo leste foram as que manifestaram teores mais baixos nos níveis de 30 a 60 kg/ha aproximadamente.

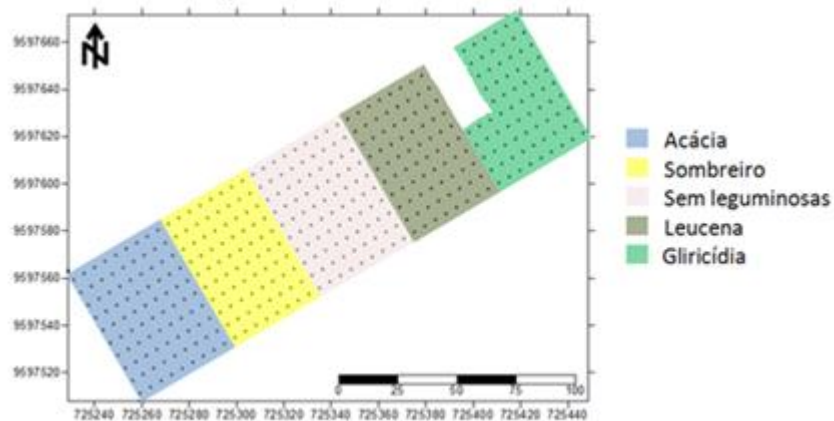
Na parte Oeste da área, onde foram obtidas as concentrações mais altas da FLL da MOS, estão implantadas as árvores leguminosas (Figura 3) *Acacia mangium* (Acacia) e *Clitoria fairchildiana* (Sombreiro), que são espécies leguminosas perenes de baixa qualidade de resíduo (AGUIAR, 2010). Segundo Young (1997), plantas de baixa qualidade de resíduo, são menos eficientes na ciclagem de nutrientes por possuírem alta relação C/N, altas concentrações de lignina e polifenóis. Devido às características apresentadas, os resíduos permanecem mais tempo sobre o solo e como a Fração Leve Livre (FLL) compreende principalmente grandes detritos de origem vegetal (folhas, galhos e raízes) que sofreram pouca transformação físico-química. Outro fator preponderante que pode explicar a maior concentração de FLL, é que nesta área nunca foi procedida gradagem, o que manteve conservada a FLL da MOS (MOURA, 2006).

Já na porção central e no extremo leste da área, demonstraram valores mais baixos da FLL, devido serem áreas onde persistem resíduos vegetais do capim mulato (sem leguminosas, Figura 3) e das leguminosas de alta qualidade de resíduo, a saber: *Leucaena leucocephala* e *Gliricídia (Gliricídia sepium)* (Figura 3) que quando comparadas com as leguminosas de baixa qualidade de resíduo decompõem rapidamente (MOURA, 2013), por consequência de menores concentrações da FLL da MOS. Mas outra causa da menor desta menor concentração é que esta área foi submetida a gradagem a qual expôs a camada arada aos rigores da insolação equatorial o que acelerou a queima da MOS (MOURA, 2006).





**Figura 2:** Mapas de isolinhas da Fração Leve Livre da MOS (kg/ha)

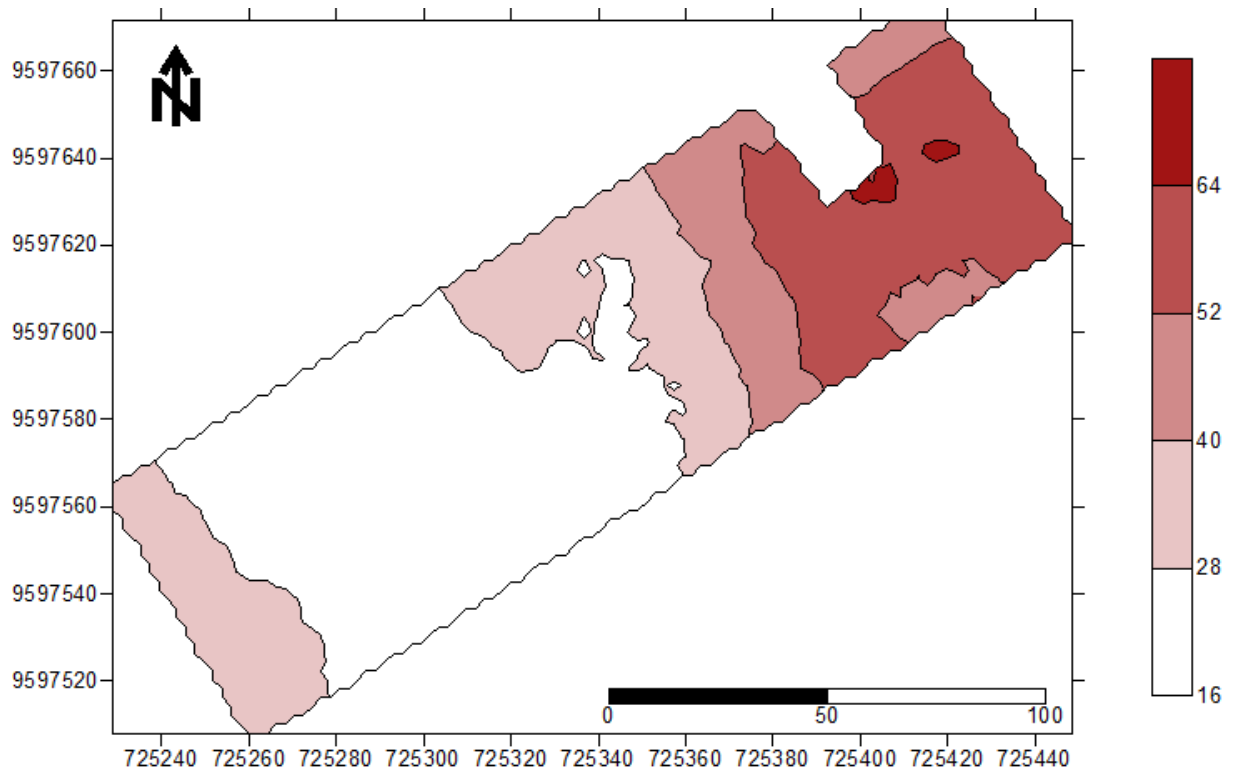


**Figura 3:** Divisão da área de acordo com as leguminosas implantadas

### 5.3.2 Fração Leve Intragregado (FLI) da MOS

Os valores mais altos da Fração Leve Intragregado (FLI) da MOS foram encontrados na parte centro-leste (Figura 4), quando a maioria dos valores variaram entre 28 Kg/ha e 64 Kg/ha. O que pode ser esclarecido pela presença de árvores leguminosas de alta qualidade de resíduo (Leucena e Gliricídia) (Figura 3), que depositaram durante três anos seguidos resíduos que decompõem-se rapidamente e se aglomeram aos agregados, o que propiciaram o acúmulo da Fração Leve Intragregado (MOURA, 2013). Outra explicação é que esta área foi revolvida o que incorporou a matéria orgânica nos agregados.

Os menores teores da FLI da MOS foram manifestados na parte centro-oeste (Figura 4), o que é explicado pela decomposição lenta dos resíduos das leguminosas de baixa qualidade de resíduo (acácia e Sombreiro) (Figura 3) e pelo pouco tempo de acúmulo dos resíduo do capim mulato, primeiro ano de plantio, (*Brachiaria híbrida cv. Mulato*), já que apresenta decomposição rápida quando comparado às leguminosas arbóreas, o que propiciaria o maior acúmulo de FLI da MOS (MOURA, 2013).



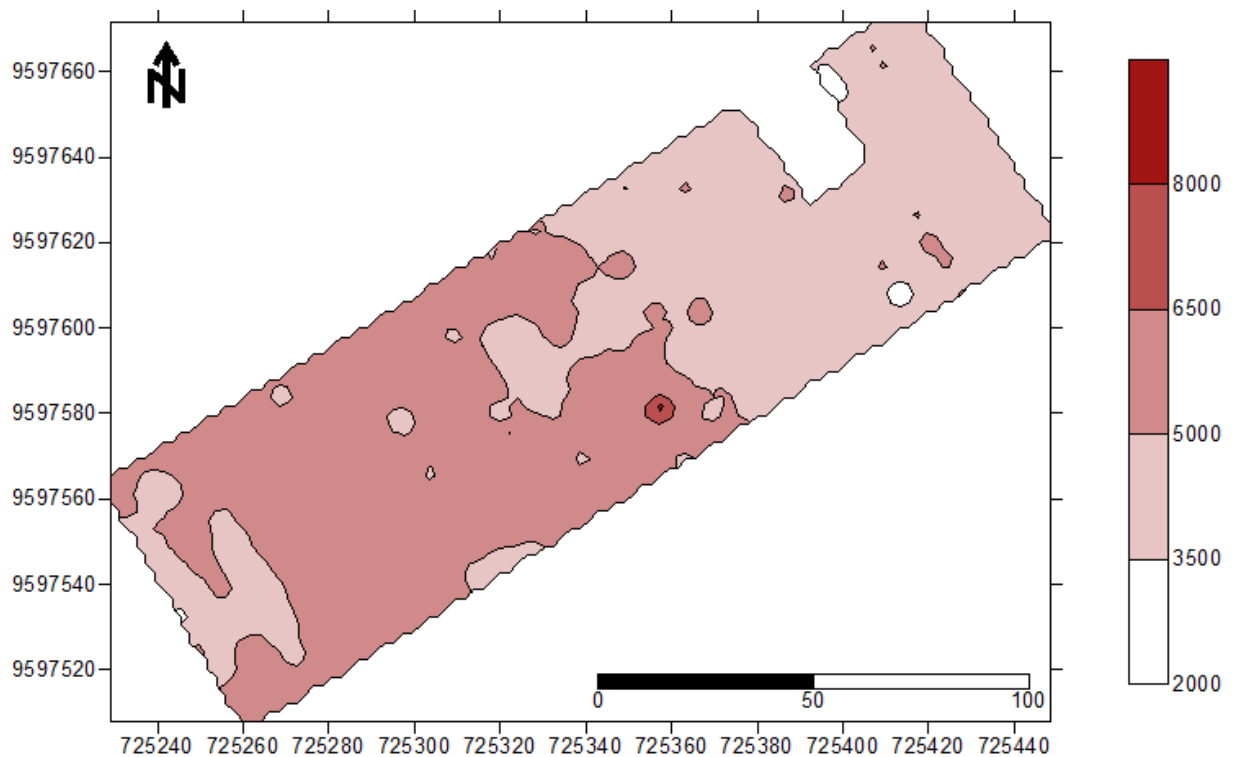
**Figura 4:** Mapas de isolinhas da Fração Leve Intragregado da MOS (kg/ha)

### 5.3.3 Frações granulométricas da MOS

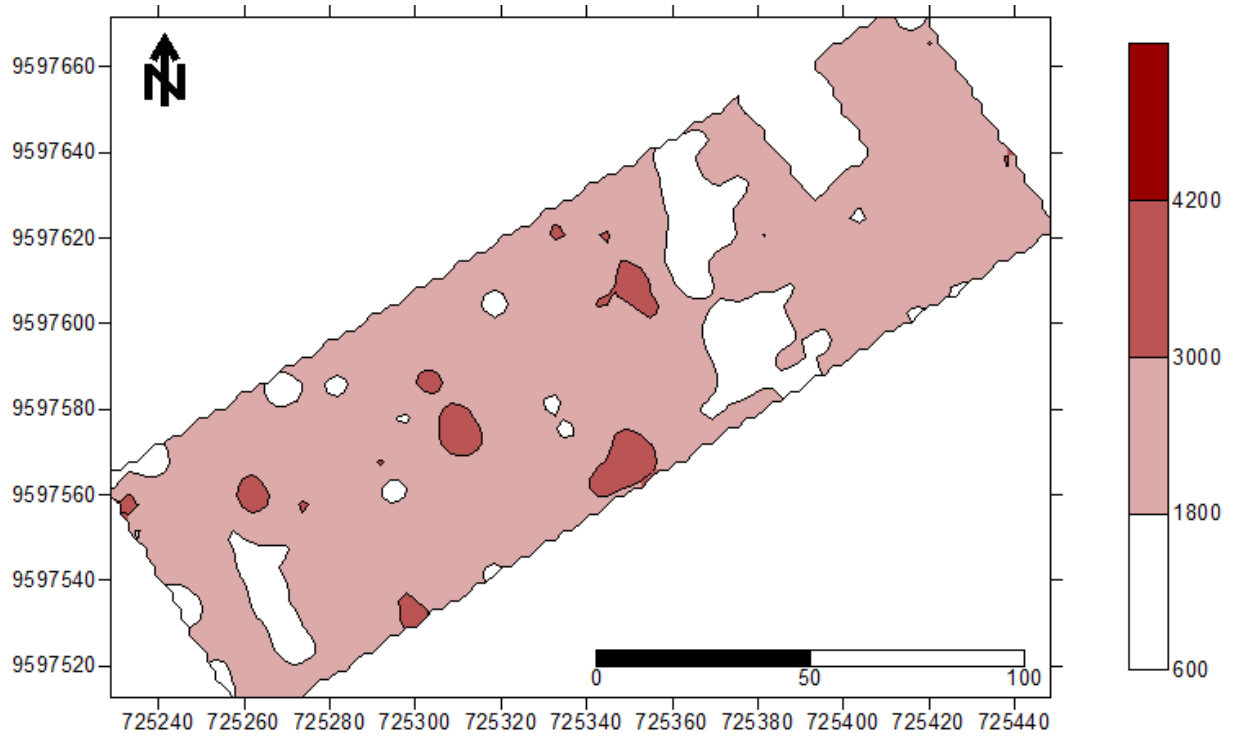
As frações granulométricas da MOS do solo: areia, argila e silte são formadas por compostos orgânicos em elevado grau de decomposição não identificáveis visualmente e fortemente ligados à fração mineral (CHRISTENSEN, 2001). Acredita-se que essa fração seja dominada por materiais orgânicos de elevada recalcitrância, como remanescentes de cutina e suberina, assim como materiais resistentes, sintetizados pela microbiota durante o processo de decomposição (BALDOCK, 1992).

A maior parte dos valores encontrados para a fração areia variou entre 2000 kg/ha e 8000 kg/ha (Figura 5). A qual atingiu as maiores concentrações no sentido centro-oeste (Figura 5). Na fração argila, a maioria dos valores ficou entre 600 kg/ha e 4200 kg/ha, os teores da fração argila praticamente não apresentaram oscilação na área, com pequenos picos em lugares aleatórios (Figura 6). No que diz respeito à fração silte os valores encontrados foram diminutos ( $>10$  kg/ha), com pequenos picos com variação de 50 a 170 kg/ha aproximadamente (Figura 7).

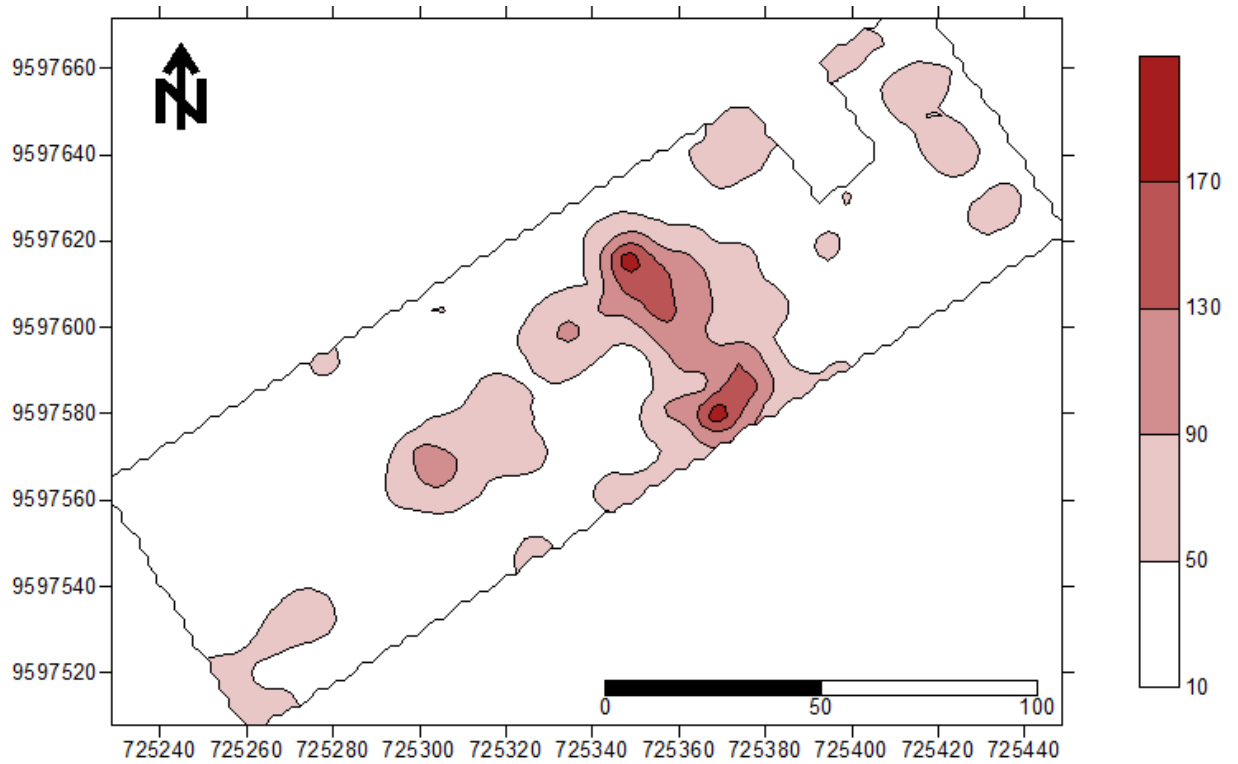
A variabilidade espacial apresentada pelas frações pesadas está relacionada aos fatores de formação do solo, já que dificilmente o manejo do solo alteraria a composição granulométrica, tampouco promoveria seu arranjo espacial (BERNER, 2007).



**Figura 5:** Mapas de isolinhas da Fração Pesada da MOS Areia (kg/ha)



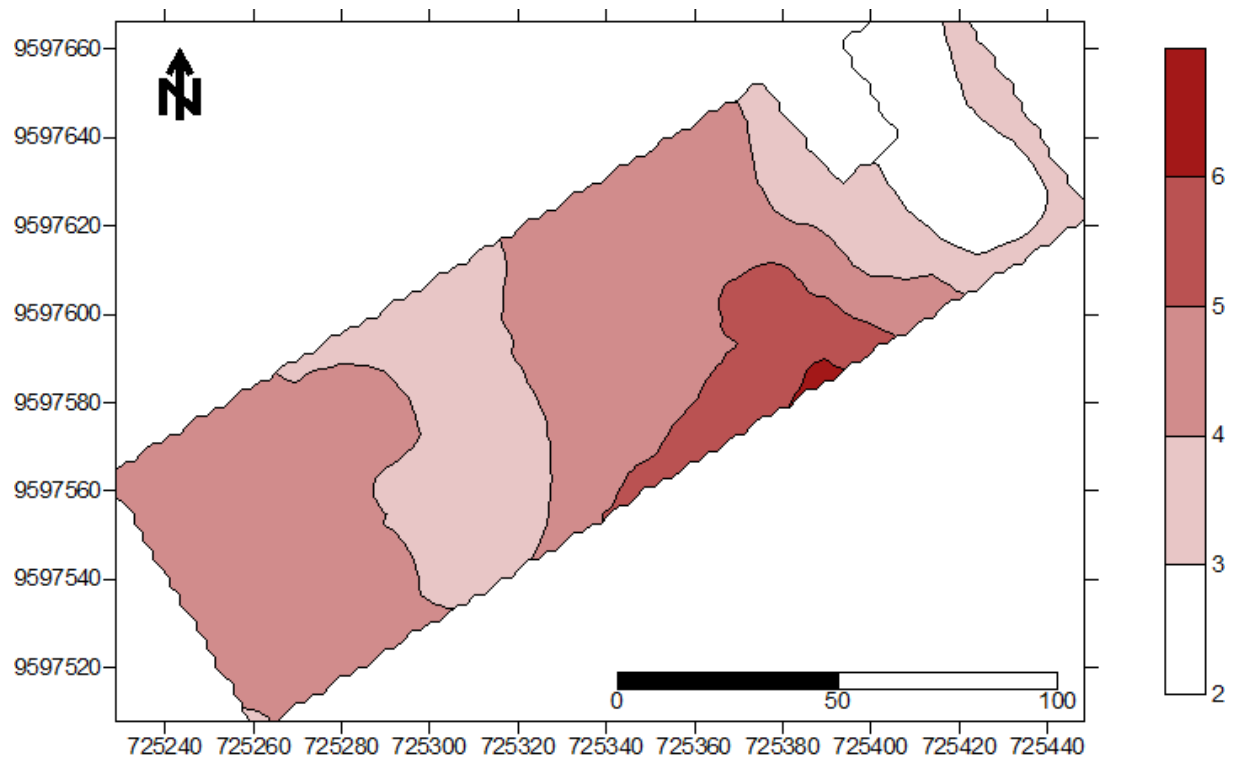
**Figura 6:** Mapas de isolinhas da Fração Pesada da MOS Argila (kg/ha)



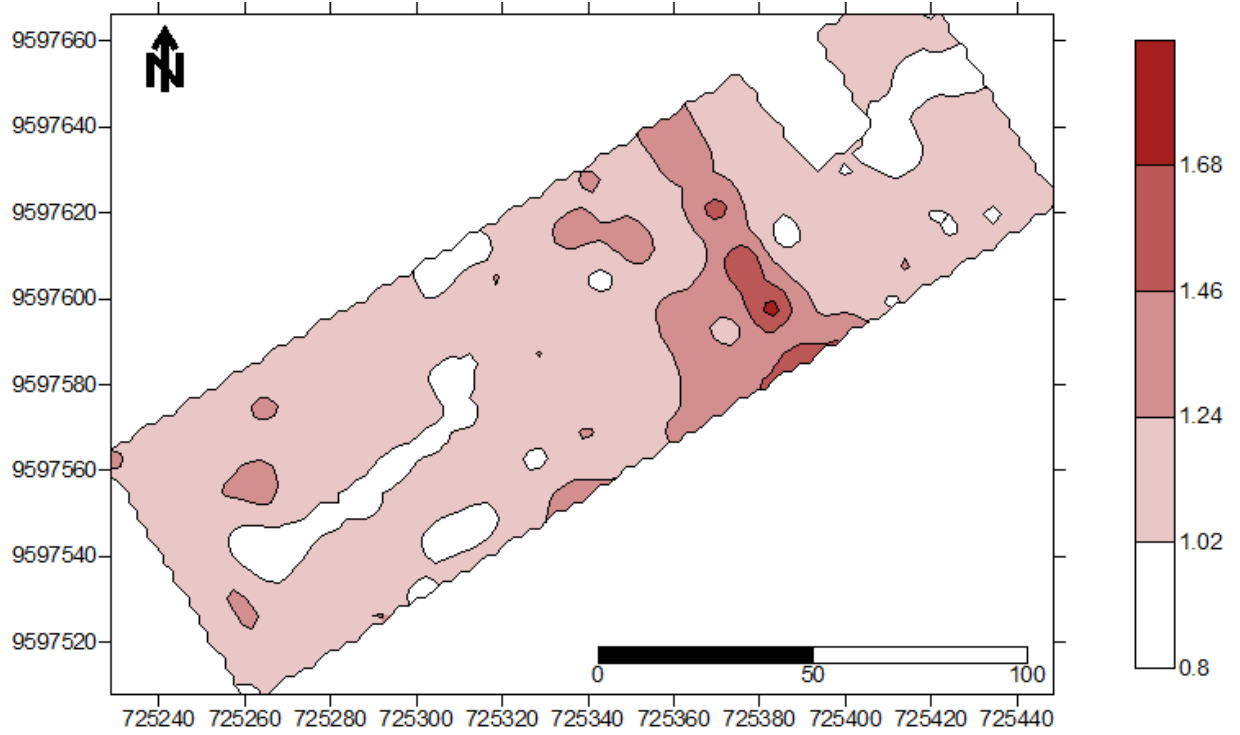
**Figura 7:** Mapas de isolinhas da Fração Pesada da MOS Silte (kg/ha)

### 5.3.4 Componentes do Grão do Milho

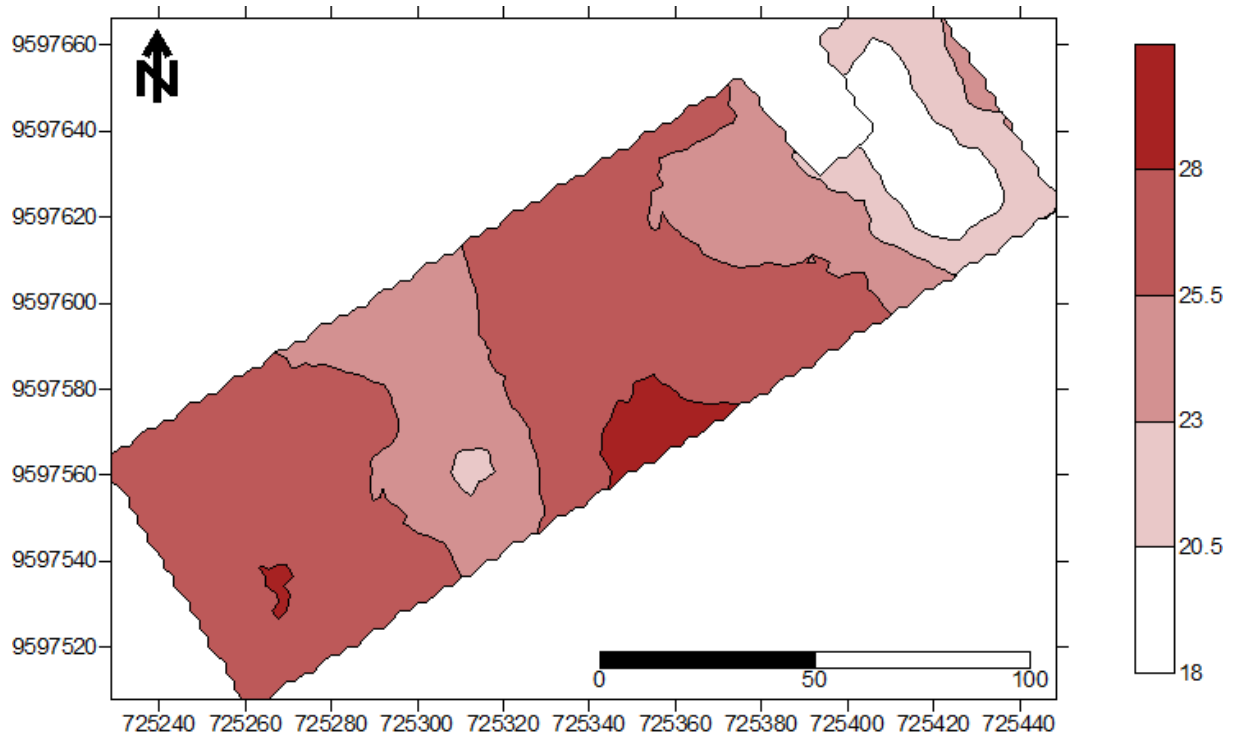
Os valores mais baixos de produtividade (Figura 8) foram encontrados no extremo leste do campo experimental enquanto os maiores, na parte central e na extremidade oeste do campo experimental. O número de espigas por planta (Figura 9), peso de 100 grãos (Figura 10) e grãos/espiga (Figura 11) seguiram o mesmo padrão dos encontrados para produtividade. Os baixos valores encontrados na extremidade leste da área podem ser explicados pela competição por luz entre a gliricídia e o milho.



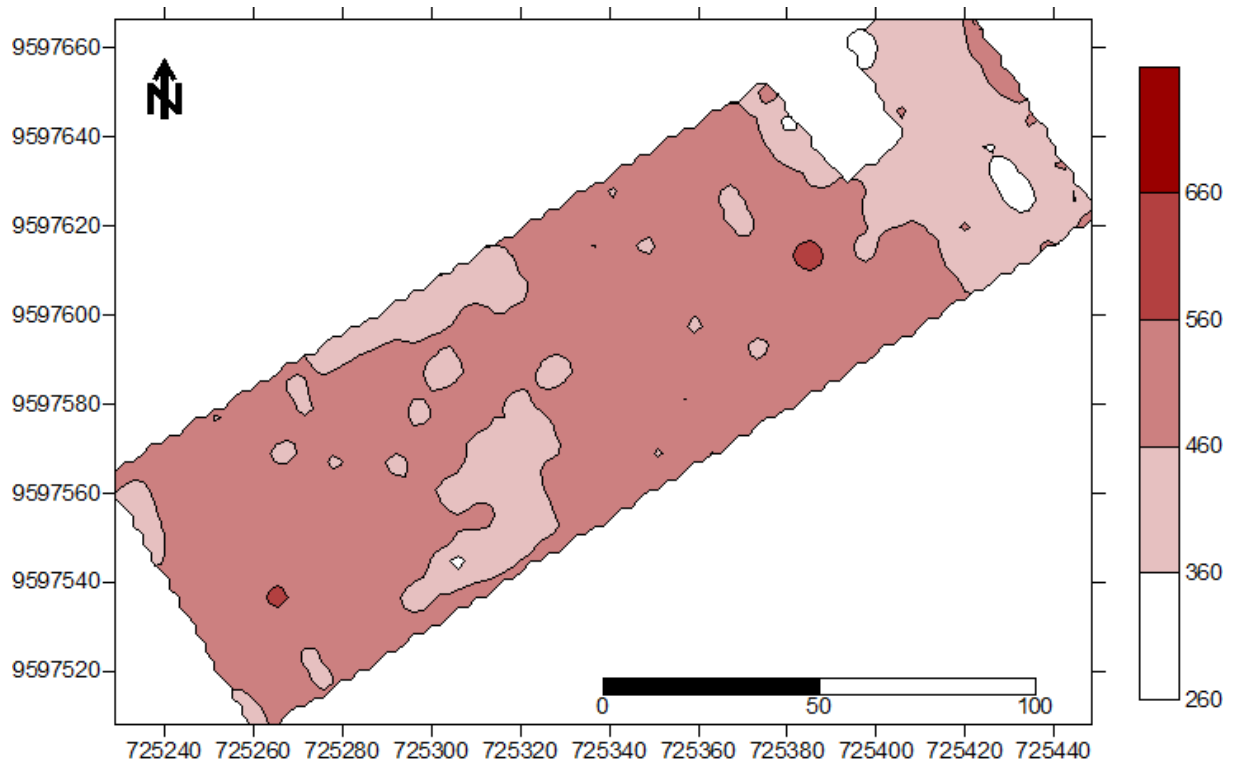
**Figura 8:** Mapas de isolinhas da produtividade do milho (kg/ha)



**Figura 9:** Mapas de isolinhas espigas/planta (kg/ha)



**Figura 10:** Mapas de isolinhas peso de 100 grãos (kg/ha)



**Figura 11:** Mapas de isolinhas grãos/espiga (kg/ha)

#### 5.4 CORRELAÇÕES

Houve a necessidade de se fazer duas matrizes de correlações, em virtude das correlações entre as frações da MOS e componentes de produtividade do milho com os dados de todos os pontos amostrais, não resultarem em correlações significativas. Tais resultados podem não condizer com a realidade por terem sido provocados pela competição, principalmente por luz, entre os componentes arbóreos e a cultura do milho. A competição foi mais sensível na porção nordeste do campo experimental, na área onde está implantada a gliricídia em função do manejo inadequado no desenvolvimento das culturas, o que pode ser constatado nos mapas de isolinhas dos componentes de produtividade do milho (Figura 8).

A partir destes resultados tornou-se necessário fazer a correlação com dados oriundos de áreas onde não foi observada a competição. Para isso foram utilizados 90 pontos da grade amostral localizados nas áreas sem leguminosas (45 pontos) e com Leucena (45 pontos). No que condiz as correlações entre as frações da MOS e os atributos físicos do solo com os dados de todos os pontos amostrais, houve correlações significativas entre FLI e alguns atributos do solo ( $P < 0,05$ ).

Nesse contexto, os atributos físicos do solo: Pressão máxima, profundidade da pressão máxima, RP (resistência à penetração) 11 a 15cm, RP 16 a 20cm, RP Média (0-20cm)

apresentaram correlação negativa com a FLI (Tabela 3), o que indica função decrescente entre causa e efeito, que pode ser explicado pela influência direta que FLI exerce sobre a estabilidade dos agregados do solo. Segundo Shepherd (2002) a estabilidade dos agregados fornece proteção contra colapso estrutural. De acordo com Tisdall & Oades (1982) apenas uma parte do MOS estabiliza agregados: geralmente o MOS mais jovem ou menos decomposta, como é caso da FLI, com um teor maior de polissacarídeos, raízes e hifas fúngicas, que segundo HAYNES; NAIDU (1998), são capazes de ligar partículas em conjunto que transmitem estabilidade ao agregados. Com o aumento da estabilidade dos agregados acontece o acréscimo do número total de poros do solo (PAGLIAI, 1981) a qual provoca a descompactação do solo e por consequência a diminuição da resistência à penetração do solo (SHEPHERD, 2002).

**Tabela 3.** Matrix de correlação entre as frações da MOS e atributos físicos do solo de todos os pontos, em um Latossolo Amarelo Distrocoeso.

	Frações da MOS				
	FLL (Kg/ha)	FLI (Kg/ha)	AREIA (Kg/ha)	ARGILA (Kg/ha)	SILTE (Kg/ha)
<b>Atributos físicos do solo</b>					
<i>Pressão Máxima (kPa)</i>	0,08	<b>-0,20</b>	0,11	-0,05	-0,15
<i>Prof. da Pressão Máx. (cm)</i>	0,00	<b>-0,23</b>	0,13	0,05	-0,06
<i>RP 0 a 5 cm (MPa)</i>	0,02	-0,03	-0,06	-0,05	0,01
<i>RP 6 a 10 cm (MPa)</i>	0,05	-0,10	0,07	-0,03	-0,12
<i>RP 11 a 15 cm (MPa)</i>	0,03	<b>-0,15</b>	0,02	-0,10	-0,12
<i>RP 16 a 20 cm (MPa)</i>	0,07	<b>-0,25</b>	0,13	-0,09	-0,12
<i>RP Média (0 a 20 cm) (MPa)</i>	0,05	<b>-0,19</b>	0,07	-0,08	-0,13

RP= Resistência à penetração; Números em negrito são significativos a  $P < 0,05$

Na tabela 4, são apresentados os dados de noventa pontos amostrais de correlações entre as frações da MOS, atributos físicos do solo e componentes de produtividade do milho nos sistemas com leguminosa (Leucena) e sem leguminosa. A Fração Leve Livre (FLL) da MOS não apresentou correlação significativa para nenhum atributo físico, já para os componentes de produtividade do milho apresentou correlação significativa positiva para as variáveis Produtividade e Número de espigas/planta, a qual indica função crescente entre causa e efeito, o que é aclarado por a FLL da MOS ser a matéria orgânica menos decomposta e de maior tamanho, em que refletiu em um aumento da cobertura do solo e por consequência a conservação da umidade do solo por um período mais longo, Khaleel et ai. (1981), Metzger & Yaron (1987) e Haynes e Naidu (1998), concluíram que, geralmente, que FLL da MOS aumenta o teor de umidade tanto na capacidade de campo quanto no ponto de murcha e a água por ser essencial para fisiologia da planta, a Produtividade e Número de espiga/planta



aumentou. No que condiz a FLI da MOS, a única variável que apresentou correlação significativa foi a profundidade da pressão máxima, que manifestou correlação negativa, como discutido anteriormente devido à estabilidade dos agregados que causa o acréscimo do número total de poros do solo (PAGLIAIET, 1981) a qual provoca a descompactação do solo e por consequência a diminuição da resistência à penetração do solo (SHEPHERD, 2002). A fração Areia também só apresentou correlação significativa com a variável Profundidade da Pressão máxima, porém com uma correlação positiva, o que pode ser esclarecido por a fração ser constituída em sua maioria parte por macroporos, na qual promove uma drenagem mais rápida e uma menor retenção de água no solo, o que prejudica a conservação da umidade do solo. Segundo Bengough (2001), a Profundidade da pressão máxima diminui com o aumento do conteúdo de água no solo. As frações Argila e Silte não apresentaram correlações significativas com nenhuma variável.

Em termos gerais, as correlações lineares simples entre as frações da MOS com os atributos físicos do solo e componentes de produtividade do milho, ao manifestarem correlações significativas, apresentaram coeficientes de correlação baixos, isso se deve ao pouco tempo de deposição de resíduos vegetais.

**Tabela 4.** Matrix de correlação entre as frações da MOS, atributos físicos do solo e componentes de produtividade do milho com apenas 90 pontos, nos sistemas com leguminosa (Leucena) e sem leguminosa, em um Latossolo Amarelo Distrocoeso.

	Frações da MOS				
	FLL (Kg/ha)	FLI (Kg/ha)	AREIA (Kg/ha)	ARGILA (Kg/ha)	SILTE (Kg/ha)
<b>Atributos físicos do solo</b>					
<i>Pressão Máxima (kPa)</i>	-0,07	0,15	0,02	0,11	-0,13
<i>Prof. da Pressão Máx. (cm)</i>	-0,12	<b>-0,23</b>	<b>0,21</b>	0,00	0,01
<i>RP 0 a 5 cm (MPa)</i>	0,07	0,09	0,19	0,05	0,02
<i>RP 6 a 10 cm (MPa)</i>	0,08	0,16	0,09	0,08	-0,11
<i>RP 11 a 15 cm (MPa)</i>	0,14	0,17	0,12	0,05	-0,09
<i>RP 16 a 20 cm (MPa)</i>	0,09	0,13	0,06	0,04	-0,07
<i>RP Média (0 a 20 cm) (MPa)</i>	0,13	0,15	0,16	0,08	-0,08
<b>Componentes de produtividade do milho</b>					
<i>Produtividade. Mg.ha-1</i>	<b>0,26</b>	0,12	-0,02	-0,16	0,00
<i>n° de espigas/plantas</i>	<b>0,32</b>	0,19	-0,05	-0,30	0,07
<i>peso de 100 grãos (g)</i>	0,06	-0,11	0,16	0,17	0,02
<i>grãos/espiga</i>	-0,06	0,02	-0,03	0,03	-0,10

RP= Resistência à penetração; Números em negrito são significativos a  $P < 0,05$

## 6 CONCLUSÕES

- O aumento do teor da Fração Leve Intragregado da MOS diminui a compactação do solo.
- A Fração Leve Livre da MOS foi a única que apresentou correlação positiva com produtividade e Número de espigas por planta, portanto pode ser utilizada como indicador no delineamento de zonas de manejo específico para o cultivo do milho no trópico úmido.

## REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A.C.F. et al., Nutrient recycling and physical indicators of an alley cropping system in a sandy loam soil in the pre-Amazon region of Brazil. **Nutr. Cyc. Agroecosyst.** v. 86, p. 189–198, 2010.
- AGUIAR, A.C.F., et al., Organic matter fraction and pools of phosphorus as indicators of the impact of land use in the Amazonian periphery. **Ecological Indicators**, v. 30, p.158-164, 2013.
- AZEVEDO, E.C. **Uso da geoestatística e de recursos de geoprocessamento no diagnóstico da degradação de um solo argiloso sob pastagem no estado de Mato Grosso**. Campinas: 2004. 141 f. Tese (Doutorado em Engenharia na Agricultura) UNICAMP, 2004.
- ALPHEN, V.B.J.; STOORVOGEL, J.J., A functional approach to soil characterization in support of precision agriculture. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.64, p.1706–1713, 2000.
- BALDOCK, J.A., Aspects of chemical structure of soil organic materials as revealed by solid-state <sup>13</sup>C NMR spectroscopy. **Biogeochemistry**, v. 16, p. 1-42, 1992.
- BALDOCK, J.A., SKJEMSTAD, J.O., Role of the soil matrix and minerals in protecting natural organic materials against biological attack. **Organic Geochemistry**, v. 31, p. 697–710, 2000.
- BARRIOS, E., BURESH, R.J., SPRENT, J.I.. Nitrogen mineralization in density fractions of soil organic matter from maize and legume cropping systems. **Soil Biol. Biochem.** v. 28, p. 1459–1465, 1996.
- BAYER, C. et al. Armazenamento de Carbono em frações lábeis na matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 39, p. 677-683, 2004.
- BENGHOUGH, A.G., CAMPBELL, D.J., O’SULLIVAN, M.F., Penetrometer techniques in relation to soil compaction and root growth. In: Smith, K.A., Mullins, C.E. (Eds.), **Soil and Environmental Analysis: Physical Methods**. Marcel Decker, New York, USA, pp. 377–404, 2001.
- BERNER, P.G.M. et al., Variabilidade espacial de propriedades físicas e químicas de um Cambissolo sob dois sistemas de manejos de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v. 31, p. 387-396, 2007.
- BLAIR, G.J.; LEFROY, R.D.B.; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, Collingwood, v. 46, p. 1459-1460, 1995.
- BLEVINS, R.L. et al. Changes in soil properties after 10 years of no-tillage and conservation tilled corn. **Soil Till. Res.**, v. 3, p.135-146, 1983.

BONGIOVANNI, R.; LOWENBERG-DEBOER, J., Precision Agriculture and Sustainability. **Precision Agriculture**, v.5, p.359-387, 2004.

BOONE, R.D., Light-fraction soil organic matter: origin and contribution to net nitrogen mineralization. **Soil Boil. Biochem.** v. 26, p. 1459–1468, 1994.

BOOLTINK, H., Tools for optimizing management of spatially-variable fields. **Agricultural Systems**, v. 70 (2–3), p. 445–476, 2001.

BOUMA, J., STOOORVOGEL, J., BOOLTINK, H., Pedology, precision agriculture, and the changing para-digm of agricultural research. **Soil Science Society of America Journal**, v. 63(6), p. 1763–1768, 1999.

BRUINSMA, J., The resource outlook to 2050: by how much do land, water and crop yields need to increase by 2050? In: **Proceedings of FAO Expert Meeting on How to Feed the World in 2050**, 2009 (also available at [www.fao.org](http://www.fao.org)).

BUYANOVSKY, G.A., ASLAM, M., WAGNER, G.H. Carbon turnover in soil physical fractions. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, p. 1167 – 1173, 1994.

CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOTT, E.T. Particulate soil organic matter change across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, p. 777-783, 1992.

CAMBARDELLA, C. A., et al., Field-Scale Variability of Soil Properties in Central Iowa Soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 58(5), 1501-1511, 1994  
doi:10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x

CAPELLI, N.L., **Agricultura de precisão – Novas tecnologias para o processo produtivo.** LIED/DMAQ/FFAGRI/UNICAMP, 1999. Disponível em: <http://www.bases.cnptia.embrapa.br.cria/gip/gipap/capelli.doc>

CASSMAN, K.G., Ecological intensification of cereal production systems: yield potential, soil quality, and precision agriculture. **Proc. Natl. Acad. Sc.** v. 96, p. 5952-5959, 1999.

CERLIA, C. et al., Separation of light and heavy organic matter fractions in soil—Testing for proper density cut-off and dispersion level, **Geoderma**, v.170, p.403-416, 2012.

CONCEIÇÃO, P.C. et al., Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos correlacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 2005. No Prelo.

COOK, S. E.; BRAMLEY, R. G. V., Precision agriculture — Opportunities, benefits and pitfalls of site-specific crop management in Australia. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 38(7), p. 753-760, 1998.

COOK, S. E. et al. Is precision agriculture irrelevant to developing countries? In J. V. Stafford & A. Werner (Eds.), *Proceedings of the 4th European conference on precision agriculture Wageningen*: **Wageningen Academic Publishers** (pp. 115–119), 2003.

CORÁ, J.E., **The potential for sites-específicos management of soil and yield variability induced by tillage**. East Lansing, Michigan State University, 1997. 104p. (Tese de Doutorado)

CORÁ, J. E. et al., 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, p.1013-1021, 2004. Disponível em: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=180214041010>

CHRISTENSEN, B.T. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. **Eur. J. Soil Sci.**, v. 52, p. 345-353, 2001.

DORÉ, T. et al., Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: revisiting methods, concepts and knowledge. **European Journal of Agronomy**, v. 34, p.197-210, 2011.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGRICULTURA . Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

FAO, **The State of Food Insecurity in the World: Addressing Food Insecurity in Protracted Crises**. Rome, 2010.

FELLER, C.; BEARE, N.H., Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, v. 79, 69–116, 1997.

FERRAZ JUNIOR, A.S.L., O cultivo em aleias com alternativa para a produção de alimentos na agricultura familiar no trópico úmido. IN: MOURA, E.G. (Ed.). **Agroambientes de transição: entre o trópico úmido e o semi-árido do Brasil**. São Luís: Universidade Estadual do Maranhão, cap. , p. 71-100, 2004.

FISCHER, G., World Food and Agriculture to 2030/50: how do climate change and bioenergy alter the long-term outlook for food agriculture and resource availability. In: **Proceedings of FAO Expert Meeting on How to Feed the World in 2050**, 2009 (also available at [www.fao.org](http://www.fao.org)).

GALINDO, P.A. et al., Participative site-specific Agriculture analysis for smallholders. **Precision Agric**. Press DOI: 10.1007/s11119-012-9267-4, 2012

GOLCHIN, A. et al., Study of free and occluded particulate organic matter in soil by solid state <sup>13</sup>C CP/MAS NMR spectroscopy and scanning electron microscopy. **Australian Journal of Soil Research**, v. 32, p. 285-309, 1994.

GOVAERTS, B.; SAYRE, K. D.; DECKERS, J. A minimum data set for soil quality assessment of wheat and maize cropping in the highlands of Mexico. **Soil and Tillage Research**, v. 87, n. 2, p. 163-174, 2006.

GOVERNO DO ESTADO DO MARANHÃO. Gerencia de Planejamento e Desenvolvimento Economico. Universidade Estadual do Maranhão. **Atlas do Maranhão**. Sao Luis-MA, 2002.

HASSINK, J. Density fractions of macroorganic matter and microbial biomass as predictors of C and N mineralization. **Soil Biol. Biochem.** v. 27, p. 1099–1108, 1995.

HATFIELD, J. **Precision Agriculture and Environmental Quality: Challenges for Research and Education.** National Soil Tilth Laboratory, Agricultural Research Service, 2011.

HAYNES RJ; NAIDU R., Influence of lime fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 51, p. 123 – 137, 1998.

HOCHMAN, Z. et al., Prospects for ecological intensification of Australian agriculture. **European Journal of Agronomy**, v.xxx, n.x, p.xxx-xxx, 2011. doi: 10.1016/j.eja.2011.11.003

ISAAKS E.H.; SRIVASTAVA R.M., **An Introduction to Applied Geostatistics**, Oxford University Press, 561p, 1989.

JANZEN, H.H., et al. Light fraction organic matter in soils from long-term crop rotations. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v. 56, p. 1799–1806, 1992

KHALEEL R; REDDY K.R.; OVERCASH M.R. Changes in soil physical properties due to organic waste applications: A review. **Journal of Environmental Quality**, v. 10, p. 133-141, 1981.

LAMB, D. W., FRAZIER, P.; ADAMS, P.. Improving pathways to adoption: Putting the right p's in precision agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture.** v. 61(1), p. 4–9, 2008.

LEITE, A.A.L. et al. Comportamento de dois genótipos de milho cultivados em sistemas de aleias pré estabelecidos com diferentes leguminosas arbóreas. **Bragantia**, v. 67, n. 4, p. 817-825, 2008.

MACEDO, V.R.A. **Variabilidade espacial dos atributos físicos do solo e componentes de produtividade do milho em um Latossolo amarelo distrocoeso**, 2014, 70 f. Dissertação (Mestrado em Agroecologia), Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, MA, 2014

MACHADO, P.L.O. **Fracionamento físico do solo por densidade e granulometria para a quantificação de compartimentos da matéria orgânica do solo – um procedimento para a estimativa pormenorizada do sequestro de carbono pelo solo.** Embrapa Report 9, 6pp 2002.

MANN, K., SCHUMANN, A.; OBREZA, T., Delineating productivity zones in a citrus grove using citrus production, tree growth and temporally stable soil data. **Precision Agriculture**, v. 12, p. 457–472, 2011.

MATSON, P.A. et al. Agricultural intensification and ecosystem properties. **Science**, v.277, p.504-509, 1997.

METZGER L; YARON B. Influence of sludge organic matter on soil physical properties. **Advances in Soil Science**, v. 7, p. 141-163, 1987.

MIKUTTA, R. et al., Mineralogical impact on organic nitrogen across a longterm soil chronosequence (0.3–4100 kyr). **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 74, p. 2142–2164, 2010.

MOLIN, J. Agricultura de precisão, parte 1: O estado da arte em sensoriamento remoto [Precision agriculture part 1: Remote sensing state of the art]. **Engenharia Agrícola (Brazil)**, v. 17(2), p. 97–107, 2007.

MOURA, E.G. Agroambientes de transição avaliados numa perspectiva da agricultura familiar. In: MOURA E.G. (Org.) Agroambientes de transição entre o tropico úmido e o semi-árido do Brasil: atributos; alternativas; uso na produção familiar. 2 ed. São Luis: UEMA, 2006, p. 15-51.

MOURA, E.G. et al., Patents on Periphery of the Amazon Rainforest. **Recent Patents on Food, Nutrition e Agriculture** v.1, n. 2, p. 142-148, 2009a.

MOURA, E.G. et al., Evaluating chemical and physical quality indicators for a structurally fragile tropical soil. **Soil and Use Management**, doi: 10.1111/j.1475-2743.2009b.

MOURA, E. G. et al., The Importance of an Alternative for Sustainability of Agriculture around the Periphery of the Amazon Rainforest, **Recent Patents on Food, Nutrition & Agriculture**, v. 5, No. 1, p.70-78, 2013.

MZUKU, M.; KHOSLA, R.; REICH, R.; INMAN, D.; SMITH, F.; MACDONALD, L. Spatial Variability of Measured Soil Properties across Site-Specific Management Zones. **Soil Science Society of America Journal**, v. 69, n. 5, p. 1572-1579, 2005/9 2005.

NELSON, G.C. et al., **Food security, farming, and climate change to 2050: scenarios, results, policy options**. Washington: International Food Policy Research Institute, 2010, 20p.

NICOLOSO, R.S., **Dinâmica da matéria orgânica do solo em áreas de integração lavoura-pecuária sob sistema plantio direto**, 2005, 150 f., Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2005.

NOVAES FILHO, J. P. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos de solo usada na identificação de classes pedológicas de microbacias na Amazônia meridional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.91-100, 2007.

ORTEGA, R. A.; SANTIBÁÑEZ, O. A. Determination of management zones in corn (*Zea mays* L.) based on soil fertility. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 58, n. 1, p. 49-59, 2007.

PAGLIAI M. et al. Effects of sewage sludges and composts on soil porosity and aggregation. **Journal of Environmental Quality**, v. 10, p. 556-561, 1981.

PAZ-GONZÁLEZ, A., VIEIRA, S. R.; TABOADA Castro, M. T. The effect of cultivation on the spatial variability of selected properties of an umbric horizon. *Geoderma*, v. 97, n. 3–4, p. 273-292, doi:http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7061(00)00066-5.

RASMUSSEN, C., TORN, M.S., SOUTHARD, R.J.,. Mineral assemblage and aggregates control carbon dynamics in a California conifer forest. **Soil Science Society of America Journal** v. 69, p. 1711–1721, 2005.

ROBERTSON, G. P. **GS+: Geostatistics for the environmental sciences - GS+ User's Guide**. Plainwell: Gamma Desing Software, 152p, 2008.

ROLDÁN, A. et al. No-tillage, crop residue additions, and legume cover cropping effects on soil quality characteristics under maize in Patzcuaro watershed (Mexico). **Soil and Tillage Research**, v. 72, n. 1, p. 65-73, 2003.

ROSCOE, R.; MACHADO, P.L.O.A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. Embrapa Solos. 86p, 2002.

SANTI, L.A., et al. Análise de componentes principais de atributos químicos e físicos do solo limitantes à produtividade de grãos. **Pesq. agropec. bras.**, v.47, n.9, p.1346-1357, 2012.

SCHUELLER, J. K. A review and integrating analysis of spatially-variable control of crop production. **Fertilizer Research**, v. 33(1), p. 1–34, 1992.

SETA, A.K., Reducing soil erosion and agricultural chemical losses with conservation tillage. **J. Environ. Qual.**, v.22, p.661-665, 1993.

SHEPHERD, M.A.; HARRISON, R.; WEBB, J. Managing soil organic matter – implications for soil structure on organic farms. **Soil Use Manag.**, v. 18, p. 284-292, 2002

SILVA, V.R. et al., Características químicas do solo e produtividade de milho em um argissolo vermelho-amarelo distrófico arênico, **R. Bras. Ci. Solo**,v. 27, p. 1013-1020, 2003.

SIX, J., et al., Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 62, p. 1367-1377, 1998.

SOUZA, Z. M. et al. Dependência espacial da resistência do solo à penetração e do teor de água do solo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, v.36, p.128-134, 2006.

SWINTON, S. et al. Ecosystem services and agriculture: Cultivating agricultural ecosystems for diverse benefits. **Ecol. Econ** v. 64, p. 245-252, 2007.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in agronomy**. Vol. 38, p. 45-94, 1985.

TISDALL J.M.; OADES J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science** v. 33, p.141-163, 1982.

TSCHIEDEL, M.; FERREIRA, M.F., Introdução à agricultura de precisão: Conceitos e Vantagens. **Ciência Rural**, v.32, n.01, p.159-163, 2002.

U.N., **World population prospects: the 2008**. Revision, 2010



VEZZANI, F.M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.743-755, 2009.

von LÜTZOW et al., Stabilization of organic matter in temperate soils: mechanisms and their relevance under different soil conditions—a review. **European Journal of Soil Science**, v. 57, p. 426–445, 2006.

WAGAI, R., MAYER, L.M., KITAYAMA, K., KNICKER, H., Climate and parent material controls on organic matter storage in surface soils: a three-pool, density-separation approach. **Geoderma**, v. 147, p. 23–33, 2008.

WBCSD, **Eco-efficiency – creating more value with less impact**. 2000  
[http://www.wbcsd.org/web/publications/eco\\_efficiency\\_creating\\_more\\_value.pdf](http://www.wbcsd.org/web/publications/eco_efficiency_creating_more_value.pdf).

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R., Spatial Variability of Soil Physical Properties in the Field. In D. Hillel (Ed.), **Applications of Soil Physics (pp. 319-344): Academic Press**, 1980.

YOUNG A. **Agroforestry for soil management**. Cab International: London 1997.

ZANÃO JUNIOR, L. A. et al. Variabilidade espacial do pH, teores de matéria orgânica e micronutrientes em profundidades de amostragem num Latossolo Vermelho sob semeadura direta, **Ciência Rural** [On-line], v. 37 (julho-agosto) : [Data de consulta: 28 / mayo / 2014] Disponível em:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33137413>> ISSN 0103-8478

ZHANG, W. et al. Ecosystem services and dis-services to agriculture. **Ecol. Econ.**, v. 64, p.253–260, 2007.

ZUCOLOTO, Moiseis et al., Variabilidade espacial das frações granulométricas e da produção de bananeira ‘Prata Anã’, **IDESIA (Chile)**, v. 29, n. 2, 2011.