

RAYNER SVERSUT BARBIERI

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE NUTRIENTES E CALCÁRIO
PARA RECUPERAÇÃO DE UM ARGISSOLO VERMELHO SOB
PASTAGEM DEGRADADA NO CERRADO DE BAIXA ALTITUDE**

Ilha Solteira
2016

RAYNER SVERSUT BARBIERI
Zootecnista

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE NUTRIENTES E CALCÁRIO
PARA RECUPERAÇÃO DE UM ARGISSOLO VERMELHO SOB
PASTAGEM DEGRADADA NO CERRADO DE BAIXA ALTITUDE**

Dissertação apresentada à Faculdade de
Engenharia - UNESP – Campus de Ilha Solteira,
para obtenção do título de Mestre em
Agronomia.

Especialidade: Sistemas de Produção

Orientador: Prof. Dr. Rafael Montanari

Co-Orientador: Prof^a. Dr^a. Silvia Maria
Almeida Lima Costa

Ilha Solteira
2016

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

B236v Barbieri, Rayner Sversut.
Variabilidade espacial de nutrientes e calcário para recuperação de um Argissolo Vermelho sob pastagem degradada no cerrado de baixa altitude / Rayner Sversut Barbieri. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2016
49 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia . Área de conhecimento: Sistemas de Produção, 2016

Orientador: Rafael Montanari
Co-orientador: Sílvia Maria Almeida Lima Costa
Inclui bibliografia

1. Pastagens - manejo. 2. Solos - manejo. 3. Geoestatística.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Variabilidade espacial de nutrientes e calcário para recuperação de um argissolo vermelho sob pastagem degradada no cerrado de baixa altitude

AUTOR: RAYNER SVERSUT BARBIERI

ORIENTADOR: RAFAEL MONTANARI

COORDENADORA: SILVIA MARIA ALMEIDA LIMA COSTA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA, especialidade: **SISTEMAS DE PRODUÇÃO** pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. RAFAEL MONTANARI

Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. CESAR GUSTAVO DA ROCHA LIMA

Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. TALLEs EDUARDO BORGES DOS SANTOS

Departamento de Agronomia/Solos / UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS

Ilha Solteira, 30 de setembro de 2016

DEDICO

Aos meus pais, “**Vanderley Barbieri e Rosimar Sversut Barbieri**”, que me educaram e me deram a oportunidade para mais esta conquista em minha vida, que nos momentos difíceis, me compreenderam e me incentivaram, demonstrando todo carinho, respeito, confiança e amor que sentem por mim.

AMO VOCÊS

"Confie no Senhor de todo o coração e não se apoie na sua própria inteligência. Lembre-se de Deus em tudo o que fizer e ele lhe mostrará o caminho certo."

Provérbios 3:5-6

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, indubitavelmente, agradeço a Deus que me permitiu alcançar esse sonho e pela oportunidade de estar em uma das melhores Universidades do país para agregar conhecimento.

Agradeço ao meu pai, minha mãe e meu irmão Renan por terem me apoiado em minhas escolhas e me ajudado nesses dois anos.

À Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista, Campus de Ilha Solteira, Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Sistemas de Produção, pelo amparo e pelas condições de aprendizado oferecido ao longo do curso.

À Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado e apoio à pesquisa.

Ao meu orientador Professor Rafael Montanari pela valiosa orientação acadêmica, por me acolher, ouvir, acrescentar e me ajudar a desenvolver esse projeto. A quem levo não só como professor orientador, mas também como amigo.

A minha co-orientadora Professora Silvia Maria Almeida Lima Costa pelos conselhos e apoio. Por me apoiar, ensinar e contribuir de maneira muito especial desde minha entrada na pós-graduação.

Aos professores Alan Rodrigo Panosso, Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho, Omar Jorge Sabbag e Maria Aparecida Anselmo Tarsitano pela colaboração.

Aos meus colegas de pós-graduação que me ajudaram na coleta de dados em campo, análises em laboratório e momentos de confraternização. Muito obrigado!

A todos os funcionários da UNESP, principalmente do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos (DEFERS) e Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia (DFTASE).

Aos meus colegas de faculdade e principalmente aos meus amigos da “República B.O. cum Fumo”: Gui, Régim, B9, Raunei, Beiço, Curió, Susto e Kastor. Nesta casa eu aprendi, cresci e criei laços. São amigos que levarei para toda a vida, todos foram importantes para mim e fica aqui meu agradecimento. Obrigado irmãos!

RESUMO

As pastagens brasileiras, em sua maioria, têm sido exploradas utilizando-se a fertilidade natural dos solos deixando-as em algum estágio de degradação. O processo de degradação pode ser revertido por meio de práticas de recuperação dessa fertilidade. A análise espacial de dados é uma alternativa e complementação da análise de dados clássica e pode ser vista como um instrumento de gestão que, potencialmente conduz a um planejamento mais eficaz na utilização de insumos. O presente trabalho teve como objetivo avaliar alguns atributos físicos e químicos de um Argissolo Vermelho eutrófico sob pastagem degradada e sua recuperação com aplicação de nutrientes e calcário, por meio da análise geoestatística. O experimento foi desenvolvido no ano agrícola de 2015/2016 e conduzido em área de sistemas de produção em bovinocultura de corte em Selvíria (MS). Foi utilizada uma área de aproximadamente um hectare e confeccionada uma malha geoestatística composta por quarenta e seis pontos amostrais georreferenciados aleatoriamente. As amostras foram coletadas na profundidade de 0,00 a 0,20 m. Os atributos analisados foram: resistência à penetração (RP), umidade volumétrica (UV), areia, silte, argila, teor de fósforo resina (P), matéria orgânica (MO), pH, teor de potássio (K), teor de cálcio (Ca), teor de magnésio (Mg), acidez potencial (AP), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V), saturação por alumínio (m), necessidade de calagem (NC), necessidade de nitrogênio (NN), necessidade de fósforo (NP), necessidade de potássio (NK) e necessidade de enxofre (NS), os quais foram submetidos as análises estatísticas descritivas e geoestatísticas. Os atributos RP, Silte, P, K, Ca, Al, NC e NK apresentaram maiores coeficientes de variação (32,47, 31,82, 36,52, 53,79, 31,88, 235,70, 399,83 e 33,44 %, respectivamente), classificados como super alto. A Argila, Areia, Silte, P, K, SB, CTC, m, NC e NP apresentaram efeito pepita puro e todos os demais atributos apresentaram dependência espacial. A maioria dos semivariogramas experimentais foram ajustados aos modelos esférico e exponencial. A NK foi a única necessidade de fertilização que apresentou variabilidade e dependência espacial na área analisada. A região central e oeste têm baixa capacidade de retenção de água e nutrientes, isto refletiu em valores inferiores para todos os atributos, com exceção da RP.

Palavras-chave: Física do solo. Química do solo. Geoestatística. *Urochloa brizantha*.

ABSTRACT

Brazilian pastures, mostly have been explored using the natural soil fertility leaving them at some stage of degradation. The degradation process can be reversed by means of this recovery fertility practices. The spatial data analysis is an alternative and complement to the classical analysis of data and can be seen as a management tool that potentially leads to more effective planning in the use of inputs. This study aimed to evaluate some physical and chemical attributes of a soil under degraded pasture and recovery with application of nutrients and lime, through geostatistical analysis. The research was developed in the agricultural year 2015/2016 and conducted in the experimental area of production systems for beef cattle in Selviria (MS), in a Red Ultisol eutrophic. It was used an area of approximately one hectare and made geostatistical grid composed of forty-six sample points georeferenced randomly. The samples were collected in depth from 0.00 to 0.20 m. The attributes analyzed were: penetration resistance (RP) , water content (UV) , sand, silt, clay , phosphorus resin content (P) , organic matter (MO), pH, potassium content (K) , calcium content (Ca), magnesium content (Mg) , potential acidity (AP) , sum of bases (SB) , cation exchange capacity (CTC) , base saturation (V) , aluminum saturation (m) necessity of liming (NL) , nitrogen required (NR) , phosphorus required (PR) , potassium required (KR) and sulfur required (SR) to which have been submitted to descriptive statistical analysis and geostatistical analysis. The attributes RP, Silt, P, K, Ca, Al, NC and NK showed higher coefficients of variation (32,47, 31,82, 36,52, 53,79, 31,88, 235,70, 399,83 e 33,44 %, respectively), classified as super high. The clay, sand, silt, P, K, SB, CTC, m, NC and NP showed pure nugget effect and all other attributes presented spatial dependence. Most experimental semivariogram were adjusted to spherical and exponential models. NK was the only necessity of fertilization which showed variability and spatial dependence in the analyzed area. The central and western have poor water and nutrient retention capacity, this was reflected in the worst values for all attributes, with the exception of the RP.

Keywords: Geostatistics. Soil chemistry. Soil physics. *Urochloa brizantha*.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 -	Classes de condição da pastagens.....	16
Quadro 2 -	Análise inicial de fertilidade do solo.....	19
Quadro 3 -	Análise inicial de fertilidade do solo.....	22
Quadro 4 -	Análise descritiva inicial de alguns atributos do solo de um Argissolo Vermelho sob pastagem Urochloa brizantha cv. Marandu e sua necessidade de calagem e adubação. Selvíria/MS, 2016.....	25
Quadro 5 -	Matriz de correlação linear simples entre alguns atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho sob pastagem Urochloa brizantha cv. Marandu e sua necessidade de calagem e adubação. Selvíria/MS, 2016.....	30
Quadro 6 -	Segunda matriz de correlação linear simples entre alguns atributos químicos de um Argissolo Vermelho sob pastagem Urochloa brizantha cv. Marandu e sua necessidade de calagem e adubação. Selvíria/MS, 2016.....	30
Quadro 7 -	Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas experimentais para alguns atributos de um Argissolo Vermelho sob pastagem Urochloa brizantha cv. Marandu e sua necessidade de calagem e adubação. Selvíria/MS, 2016.....	32

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Representação gráfica simplificada do processo de degradação de pastagens cultivadas em suas diferentes etapas no tempo.....	16
Figura 2 -	Média de temperatura do ar e precipitação. Selvíria/MS, 2015.....	22
Figura 3 -	Semivariogramas simples dos atributos de um Argissolo Vermelho (RP, UV, Argila, Areia, Silte, P, MO, pH, K, Ca, Mg e AP) sob pastagem.....	33
Figura 4 -	Semivariogramas simples dos atributos de um Argissolo Vermelho (Al, SB, CTC, V, m, NC, NP e NK) sob pastagem.....	34
Figura 5 -	Mapas de krigagem dos atributos de um Argissolo Vermelho (RP, UV, MO, pH, Ca, Mg, AP, Al, V e NK) sob pastagem.....	36

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	OBJETIVO.....	12
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
3.1	GEOESTATÍSTICA.....	12
3.1.1	Amostragem.....	14
3.2	PASTAGENS DEGRADADAS.....	15
3.2.1	Calagem e adubação para recuperação de pastagens degradadas.....	18
3.2.2	Aspectos socioeconômicos para recuperação de pastagens degradadas.....	20
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	21
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
5.1	ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS.....	24
5.2	ANÁLISE DE CORRELAÇÃO LINEAR SIMPLES.....	29
5.3	ANÁLISE GEOESTATÍSTICA.....	31
6	CONCLUSÕES.....	37
	REFERENCIAS.....	38

1 INTRODUÇÃO

As pastagens brasileiras, em sua maioria, têm sido exploradas utilizando-se da fertilidade natural dos solos. O Brasil possui cerca 167 milhões de hectares de pasto comportando um rebanho de cerca de 208 milhões de cabeças em 2014, com uma taxa de lotação de pastagem de 1,23 cabeças ha⁻¹ (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE- ABIEC, 2015). Estima-se que 30 milhões de hectares de pastagens estejam comprometidas com algum estágio de degradação. Para o Estado de São Paulo, estima-se que cerca de 42% das pastagens estejam degradadas (BRASIL, 2014).

A mudança climática global, estratégias de lotação animal, manejo do solo, falta de acesso à informação do produtor, baixa produtividade das gramíneas, escolha da espécie forrageira, formação de pastagens, clima severo e solos frágeis são alguns fatores que podem explicar a degradação de pastagens ao longo dos anos (BARROS et al., 2002; PERON; EVANGELISTA, 2004; HARRIS, 2009). Dias-filho (2014) evidencia a existência de um potencial para o aumento de produtividade da pecuária nacional pela simples recuperação dessas áreas improdutivas. Este processo de recuperação pode ser realizado por meio de práticas de recuperação ou renovação de pastagens seguidas por diferentes tipos de manejo como: reestabelecimento da fertilidade do solo, plantio direto, integração lavoura pecuária, sistemas silvipastoris, uso de leguminosas e uso de sistemas rotativos.

A recuperação de pastagens degradadas será principal alternativa para conquista de ganhos de produtividade da pecuária brasileira, principalmente na região centro-sul do país. Esta percepção já está refletida nas preocupações e projeções de política para o setor; um exemplo foi à expressão do compromisso, divulgado no início dos anos dois mil pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, de recuperar 15 milhões de hectares de áreas de pastagens degradadas entre os anos de 2010 e 2020, como produto do programa do governo federal de redução da emissão de gases de efeito estufa (BARROS et al., 2002).

Apesar das grandes áreas de pastagens degradadas no Brasil, pouca informação existe sobre a variação das correlações das propriedades do solo sob pastagem. Tais informações podem contribuir para uma melhor caracterização de áreas de pastagem, podendo evitar mais degradações, como uma importante estratégia para enfrentar a mudança climática global e aumentar a produção de alimentos. A gestão adequada das áreas afeta a qualidade da pastagem, levando à maior capacidade de suporte de animais e, conseqüentemente, maiores rendimentos pecuários e evitar a degradação do solo e mais desmatamento para estabelecer novas pastagens (FIGUEIREDO et al., 2016).

A agricultura de Precisão (AP), segundo Mantovani (2000), é um conceito de condução de sistemas agrícolas consolidados nas mais recentes

inovações para manejo do solo, insumos e culturas, capaz de permitir a identificação de variações espaciais e temporais dos atributos do solo que afetam a produtividade. Segundo Guimarães (2004) a análise espacial de dados apresenta-se como alternativa e/ou como complementação da análise clássica de dados. A literatura apresenta alguns procedimentos de análise espacial de dados, sendo que, nos últimos tempos, uma metodologia de análise denominada “geoestatística” ganhou ênfase neste tipo de estudo.

A disponibilidade de dados em alta resolução espacial e temporal viabiliza não só maior robustez nos resultados, como também o entendimento integrado e dinâmico das correlações espaciais e temporais entre os diferentes fatores. Com a análise geoestatística é possível organizar os dados disponíveis espacialmente de acordo com a semelhança entre vizinhos georreferenciados. Assim, é possível obter um diagnóstico de problemas específicos dentro de um talhão, que requererão intervenções de manejo específicas (GREGO et al., 2014).

2 OBJETIVO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar alguns atributos físicos e químicos de um solo sob pastagem degradada e sua recuperação com aplicação de nutrientes e calcário, por meio da análise estatística descritiva e geoestatística.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 GEOESTATÍSTICA

A agricultura moderna, ao longo dos anos, tornou-se uma atividade que requer cada vez mais o gerenciamento dos seus processos produtivos. O crescente desenvolvimento de novas técnicas ligadas ao manejo das culturas, novos equipamentos, insumos mais eficientes têm proporcionado ganhos significativos no rendimento das culturas. O aumento da competitividade mundial tem promovido um amplo processo de transformação, que se caracterizam pelo crescente nível de exigência dos consumidores com relação a rendimentos elevados, preços competitivo internacionalmente, qualidade dos produtos e preservação do meio ambiente. Tais demandas só podem ser atendidas com a otimização do uso de insumos (BELLÉ, 2009).

A Agricultura de Precisão é composta de um conjunto de tecnologias que são aplicadas de acordo com o sistema de manejo existente, permitindo considerar a variabilidade espacial dos atributos intrínsecos existentes na área. Como exemplo é possível apontar que, embora existam metodologias definidas para aplicação de adubos e defensivos, na tentativa de minimizar danos, estas podem não oferecer máxima eficácia por embasar recomendações estimadas por médias ou pontos amostrais, devido ao desconhecimento da variabilidade espacial das condições de fertilidade do solo (SOARES; MANTOVANI, 2004).

A análise espacial de dados, utilizando a geoestatística, ganhou impulso em áreas distintas da mineração e da geologia a partir de 1980. Segundo Burgess e Webster (1980) a geoestatística fornece um conjunto de ferramentas para entender uma aparente aleatoriedade dos dados, sendo aplicada ao estudo da variabilidade espacial de atributos químicos e físicos do solo, e também auxilia e contribui nos estudos e pesquisas em Ciência do Solo.

A disponibilidade de dados em alta resolução espacial e temporal viabiliza não só maior robustez nos resultados, como também o entendimento integrado e dinâmico das correlações espaciais e temporais entre os diferentes fatores. Com a análise geoestatística é possível organizar os dados disponíveis espacialmente de acordo com a semelhança entre vizinhos georreferenciados (GREGO et al., 2014).

A função básica da geoestatística é descrever a variabilidade espacial de um fenômeno de interesse, conhecido como semivariograma. O semivariograma fornece informações suficientes sobre o comportamento espacial da variável. É necessário então definir uma função para quantificar o grau e escala da variação espacial. Os modelos geoestatísticos mais utilizados são: modelo linear, modelo esférico, modelo exponencial e modelo gaussiano (GALLARDO, 2006).

A escolha do modelo de semivariograma que será utilizado é um dos aspectos mais importantes da geoestatística. Todos os cálculos dependem do modelo de semivariograma ajustado e, conseqüentemente, se o modelo ajustado não for apropriado, todos os cálculos seguintes conterão erros que poderão afetar as inferências, portanto o ajuste de semivariograma é uma fase crucial na análise geoestatística e deve receber uma atenção especial (GUIMARÃES, 2004).

Analizando a expressão da função semivariância, pode-se imaginar que quanto mais próximos estiverem os pontos amostrados, maior será a semelhança entre eles e, portanto, menor a semivariância; e quanto mais distantes estiverem os pontos amostrados, menor será a semelhança e, conseqüentemente, maior a dispersão (variância). Alguns autores recomendam que seja utilizado pelo menos 100 pontos amostrais por hectare, entretanto isso não é regra e sim recomendação, existem trabalhos com bons resultados de ajuste de semivariogramas usando 45 pontos. Quanto maior o número de pontos, maior será o número de pares para o cálculo das semivariâncias e, teoricamente, maior será a precisão das estimativas das semivariâncias (GUIMARÃES, 2004).

Conhecido o semivariograma da variável e havendo dependência espacial das amostras, pode-se interpolar valores em qualquer posição do campo de estudo, sem tendência e com variância mínima. O método de interpolação chama-se Krigagem, nome dado em homenagem ao matemático sul-africano Krige (VIEIRA, 2000).

A krigagem é um processo de estimação de valores de variáveis regionalizadas, a partir de valores adjacentes enquanto considerados

independentes na análise variográfica. A diferença entre a krigagem e outros algoritmos à disposição é que ela fornece, além dos valores estimados, o erro associado a tal estimação. Além disso, a maneira como os pesos são atribuídos às distintas amostras também são diferentes. Como o semivariograma é uma função da distância entre locais de amostragens, mesmo mantendo-se o mesmo número de amostras, os pesos serão diferentes, de acordo com seu arranjo geográfico. Além disso, a krigagem fornece, em geral, estimativas não tendenciosas e com variância mínima (ROCHA, 2005)

A maneira como é feita a coleta de amostras e a sua representatividade determinam como deverá ser calculada a Krigagem ordinária: pontual ou em bloco. A Krigagem pontual é indicada quando a coleta é de amostras simples, isto é, não foram misturadas várias amostras para compor uma amostra composta, sendo neste caso é indicado a Krigagem em bloco porque ela irá representar uma área (ZIMBACK, 2003).

Em algumas situações a determinação de variáveis é cara e difícil e isto pode comprometer o estudo da variabilidade espacial daquela variável, entretanto se sabemos que existe uma outra variável de simples determinação e que apresenta boa correlação espacial com a de difícil determinação pode-se fazer a estimativa de uma delas usando-se informações de ambas expressas no semivariograma cruzado, por meio do método chamado co-krigagem (GUIMARÃES, 2004).

Assim, é possível obter um diagnóstico de problemas específicos dentro de um talhão, que poderão requerer intervenções de manejo específicas.

3.1.1 Amostragem

Por ser capaz de promover um manejo localizado e preciso da área cultivada, a agricultura de precisão permite a otimização do uso de insumos agrícolas, redução de custos da lavoura e a possibilidade de aumento da produtividade. Para o seu uso é necessária, numa primeira etapa, uma amostragem de solo adequada, na qual o número de pontos coletados seja suficiente para detectar a variabilidade espacial dos atributos a serem analisados (MONTANARI et al., 2008)

O custo da coleta e análise das amostras a fim de caracterizar a variabilidade espacial é um fator limitante em estudos de reconhecimento e mapeamento de locais específicos de manejo, sendo a amostragem espacial o fator mais importante que influencia a eficiência na investigação dos custos (WEBSTER; OLIVER, 1990; GROENINGEN et al., 1999). Portanto, é preciso aliar um número mínimo de pontos amostrados com uma máxima representação do local (mínima variância), otimizando o esquema de amostragem e barateando os custos (MONTANARI et al., 2005).

O número de pontos amostrais é fundamental para estabelecer um programa de avaliação da variabilidade espacial dos atributos dos solos. A

eficácia das estratégias de amostragem do solo pode ser aumentada com a incorporação de um modelo de variabilidade espacial. Portanto, a característica do relevo, como a forma, pode ser de extrema importância na definição de esquemas de amostragem, bem como na definição de zonas de manejo físico e químico do solo (SOUZA et al., 2006).

O número de amostras varia segundo o relevo. Os locais da paisagem sob a mesma classe de solo e manejo semelhante, influenciados pela pedoforma e declive, apresentam padrões de variabilidade espacial dos atributos químicos do solo diferenciados. Deste modo, deve-se considerar a paisagem como fator relevante em estratégias de amostragem do solo, como também a incorporação de um modelo preditivo de variabilidade espacial (MONTANARI et al., 2005).

Em áreas côncavas, independentemente do histórico de manejo, há mais variabilidade de atributos químicos que em áreas lineares, possuindo maior instabilidade nas partes mais altas e maior estabilidade nas áreas mais baixas (RESENDE et al., 1997; SOUZA et al., 2003). Essas diferentes posições criam situações locais variadas. Nesse sentido, estas informações são válidas como critério auxiliar no planejamento de amostragem de solo, que, no caso da agricultura de precisão, representa o fator limitante nos estudos de reconhecimento e mapeamento de locais específicos de manejo. Estes mapas podem ser de grande utilidade no planejamento experimental, sendo úteis também como ferramenta aos programas de agricultura de precisão, uma vez que o número de amostras a serem coletadas representa custo elevado. (MONTANARI et al., 2005).

Outro problema que surge com estudos sobre a variabilidade espacial de atributos do solo é a grande número de semivariogramas experimentais (normalmente um para cada atributo). Isto faz com que seja difícil desenvolver uma grade de amostragem com um único espaçamento quando vários atributos do solo estão envolvidos. Assim, a agricultura necessita de melhores metodologias afim de usar o mínimo número de amostras possível. (MONTANARI et al., 2012b).

3.2 PASTAGENS DEGRADADAS

A degradação de pastagens pode ser definida como sendo a perda de vigor, produtividade e capacidade natural de cobertura do solo, diminuindo a produção e qualidade de pastagens, necessárias para suportar animais e superar os efeitos indesejáveis de insetos, doenças e plantas invasoras. São utilizados, comumente, quatro classes de condição da pastagem (Quadro 1) e a forragem produzida em cada situação podem estar:

Dependendo do estágio de degradação, é caracterizada perda de vigor e produtividade, mudança botânica da pastagem, isto é, aumento na proporção de plantas daninhas em relação às gramíneas ou leguminosas forrageiras. Neste caso não haveria necessariamente deterioração das propriedades físico-

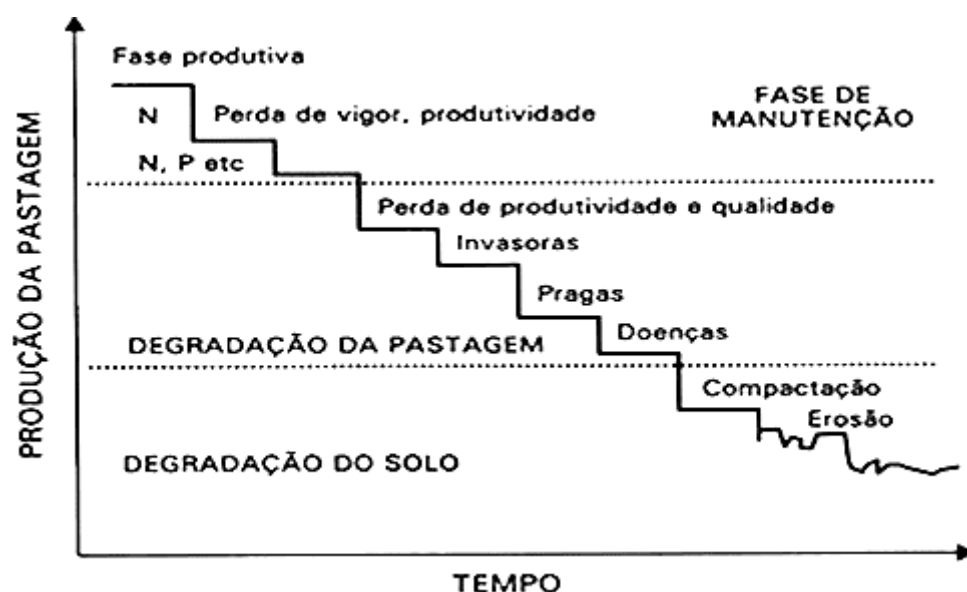
químicas do solo. Em um segundo caso haveria intensa diminuição da vegetação na área em função da compactação e consequente degradação do solo (DIAS FILHO, 2005). Nascimento Júnior et al. (1994) exemplifica com uma representação gráfica simplificada (Figura 1) o processo de degradação de pastagens

Quadro 1- Classes de condição da pastagens.

EXCELENTE	Quando produz de 75-100% de toda a forragem, sob um manejo prático;
BOM	Quando produz de 50-75%;
RAZOÁVEL	Quando produz de 25-50%;
POBRE	Quando produz menos que 25% de toda forragem.

Fonte: Nascimento Júnior et al. (1994).

Figura 1- Representação gráfica simplificada do processo de degradação de pastagens cultivadas em suas diferentes etapas no tempo.



Fonte: Martha Júnior e Vilela (2002).

A desmedida utilização da pastagem, por meio de intensidades de pastejo excessivas, tem causado perda de cobertura vegetal, invasão de espécies indesejáveis, erosão do solo e impacto ambiental, o que faz que essa variável tenha impacto central no funcionamento do sistema (NABINGER et al., 2006). A consequência desse processo degradativo é difícil ser projetada, mas, certamente irá alterar profundamente a futura evolução da biota do planeta.

Biodiversidade do solo subentende a coexistência de diferentes seres vivos num ecossistema. Sua riqueza é estabelecida pela interação desses seres com as condições edafoclimáticas predominantes ao longo do tempo.

Mas a intervenção humana afeta diretamente o equilíbrio estabelecido entre os componentes bióticos e abióticos do ecossistema, podendo alterar essa riqueza (NABINGER et al., 2006).

As mudanças no uso da terra impostas pelo homem historicamente estiveram relacionadas com o desenvolvimento econômico. Neste processo, questões ambientais passaram a serem relevantes apenas nas últimas três décadas. Tratar o ambiente de pastagens dessa maneira nos faz pensar não só nos benefícios na transformação de alimentos de elevado valor biológico (carne e leite), mas também o aumento na matéria orgânica do solo, determinando maior taxa de infiltração e armazenamento de água nele e, conseqüentemente menor perda por escoamento superficial e por erosão, fortalecendo assim a produção de alimentos de forma sustentável (MARTHA JUNIOR et al., 2006).

A conservação do solo em áreas de pastagem está diretamente relacionada a dois aspectos fundamentais. 1) o manejo animal visando controlar a quantidade de forragem, a cobertura do solo na superfície e as alterações das propriedades físicas que ocorre nele; e 2) o manejo da água de escoamento superficial, visando controlar a erosão hídrica, já que ela é, ao mesmo tempo, causa e consequência da degradação do solo (BERTOL et al., 2006).

A erosão será mais severa em regiões de relevo mais declivoso, com ocorrência de altas intensidades de precipitação pluvial. O carreamento de nutrientes com a erosão leva não apenas a queda de fertilidade do solo das pastagens, mas também à contaminação de lagos, com danos ambientais como a eutrofização. O fluxo de nutrientes na pastagem afeta diretamente a produtividade da planta forrageira e, conseqüentemente, do animal em pastejo. Além disso, pode ser a diferença entre um sistema em equilíbrio e outro que caminha para um processo de degradação (DUBEUX JÚNIOR et al., 2006).

A compactação do solo, com conseqüente diminuição do volume de macroporos, bem como a desagregação dele pelo casco dos animais, facilita o selamento superficial pela ação da energia cinética das gotas de chuva e, conseqüentemente, diminui a infiltração de água no solo. Isso propicia para o aumento da erosão hídrica (BERTOL et al., 2006).

O papel que esse bioma cerrado representa para o equilíbrio ambiental da região é inquestionável, mas, por outro lado, é evidente que nenhum produtor pode pensar em ser o guardião do ambiente sem ter o conhecimento da sua importância e uma mínima remuneração para tal. Porém, a única fonte de renda desse produtor é o animal em pastejo e, de um modo geral não contempla essa “guarda” do ambiente e da paisagem (NABINGER et al., 2006).

Por esses e outros motivos, levar ao produtor técnicas de recuperação de pastagens degradadas não só se trata de um avanço para pecuária, mas também um grande aporte de conhecimentos para preservação dos recursos naturais.

3.2.1 Calagem e adubação para recuperação de pastagens degradadas

Os solos podem ser naturalmente ácidos em função da própria pobreza em bases do material de origem ou devido a processos de formação que favorecem a remoção de elementos básicos como K, Ca, Mg, Na (LOPES et al., 1991)

Algumas técnicas têm sido indicadas para a recuperação dos pastos degradados, a utilização de grade pesada, a ressemeadura da planta forrageira associada com plantio de uma cultura anual, a vedação por longos períodos de tempo e a integração lavoura-pecuária, entre outras. No caso de recuperação rápida e efetiva dos pastos em períodos curtos, não existe alternativa senão reconstruir e melhorar a fertilidade dos solos e manejar adequadamente as plantas, considerando o período de descanso necessário para a recuperação (OLIVEIRA; CORSI, 2005).

Segundo Dubeux Júnior et al. (2006), as principais fontes de nutrientes para as plantas são: material de origem, matéria orgânica do solo, resíduo vegetal e animal, deposição atmosférica, fixação simbiótica e não simbiótica e adubação. Além dos fatores já citados, Souza Neto e Pedreira (2004) destacam que os aspectos de reposição ou elevação da fertilidade com trabalho de calagem e adubação são componentes fundamentais à longevidade de pastagens produtivas.

O solo não é uma fonte inesgotável de nutrientes, há variações na quantidade de cada um dos elementos, de solo para solo, bem como existem nutrientes que se esgotam mais rapidamente do que outros, em virtude de lixiviação, maior absorção, remoção pelas plantas etc (WERNER et al., 2001). Além disso, esta variação de nutrientes pode ser a diferença entre um sistema em equilíbrio e outro que caminha para um processo de degradação (DUBEUX JÚNIOR et al., 2006).

Para a recuperação da pastagem, deve-se estabelecer o manejo fisiológico da planta forrageira, compatível com a exploração, dar atenção para reconstituição da fertilidade do solo, iniciando-se pelas práticas corretivas (LUZ et al., 2004). Quando o manejo é incorreto a degradação da pastagem pode ser desencadeada mesmo em situações de alta fertilidade do solo ou em áreas adubadas intensivamente (SOUZA NETO; PEDREIRA, 2004).

Para o manejo adequado é necessário conhecer a espécie forrageira implantada e seguir corretamente as instruções técnicas para atingir nas necessidades de manutenção e produção da planta. O sistema de pastejo deve ser tratado como um sistema de produção como outro qualquer. Porém, Oliveira e Corsi (2005) comenta que não é toda pastagem degradada que aceita a recuperação, já que em muitos casos a densidade populacional da forrageira está tão ruim que não existe número suficiente de plantas para restabelecer a pastagem.

Assim, primeiramente é preciso caracterizar as condições da pastagem e verificar se trata de um caso de recuperação ou reforma, para então, seguir as recomendações corretas de calagem e adubação para implantação ou manutenção. Oliveira e Corsi (2005) propõem alguns critérios para essa caracterização, apresentados na Tabela 2.

Quadro 2- Critérios para tomada de decisão quanto à reforma ou a recuperação de uma pastagem degradada.

É possível recuperar	Há necessidade de reforma
Áreas com ausência de plantas da espécie forrageira de interesse menores que 2 m ²	Áreas com solo exposto ou coberto por plantas daninhas maiores do que 2 m ² .
Existe pelo menos uma touceira/m ² de capim-colonião ou capim-elefante.	Em vários locais da pastagem, encontra-se área de 1 m ² com ausência de plantas da espécie de interesse.
Existem pelo menos duas touceiras/m ² das variedades de capim-braquiária.	Quando há necessidade de se trocar a espécie forrageira, por motivos como a implantação de uma espécie forrageira resistente a cigarrinhas ou o uso de uma pastagem com maior potencial produtivo

Fonte: Oliveira e Corsi (2005).

Conhecendo a resposta diferencial das distintas espécies à fertilidade do solo, é possível manipular e corrigir a composição por meio da calagem e adubação para então, recuperar a produtividade dessas pastagens (NABINGER et al., 2006; VILELA et al., 2004).

A utilização da prática corretiva da calagem traz benefícios para os atributos químicos do solo, principalmente aqueles envolvidos no processo de acidificação, proporcionando a base para um programa de manejo para recuperação da pastagem. A aplicação superficial do calcário promove reflexos significativos no perfil do solo (0-0,20/0,20-0,40 m), porém tem sua eficiência aumentada se incorporado (LUZ et al., 2004).

A fertilização corretiva é muito importante para garantir características de solo mais favoráveis. Ela é realizada após pelo menos 90 dias da execução da calagem, dependendo da chuva (OLIVEIRA; CORSI, 2005). Apesar da baixa fertilidade dos solos do cerrado, eles apresentam características físicas interessantes, como profundidade do perfil e relevo plano, fatores que favorecem a mecanização e, portanto, viabilizam técnica e economicamente o emprego de correção e fertilização (LUZ et al., 2004).

Além de atender as necessidades das plantas e garantir produtividade, as decisões sobre calagem e adubação devem visar manter o solo com teores de nutrientes médios ou altos. O teor de fósforo deve ter 16 a 80 mg/dm³;

potássio 1,5 a 6,0 mmol_c/dm³; magnésio >5 mmol_c/dm³; cálcio >3 mmol_c/dm³; enxofre >5 mg/dm³ (CANTARELLA et al., 2002).

3.2.2 Aspectos socioeconômicos para recuperação de pastagens degradadas

Do ponto de vista ecológico, o principal benefício da recuperação de pastagens degradadas é a redução da pressão de desmatamento em áreas de vegetação nativa, visando a formação de novas pastagens. Do ponto de vista econômico, o principal benefício é a recuperação da capacidade produtiva de áreas economicamente improdutivas (DIAS FILHO, 2006).

Essa condição de perdas ambientais e ganhos socioeconômicos são inerentes ao uso da terra. Portanto, benefícios sociais e impactos negativos sobre a funcionalidade dos ecossistemas resultantes do uso da terra, numa ampla escala temporal (curto médio e longo prazo), precisam ser considerados visando estratégias que agreguem as duas condições (MARTHA JUNIOR et al., 2006).

As transformações da cadeia produtiva da carne bovina trazem a necessidade de mudança no perfil de exploração da pecuária para garantir a continuidade do crescimento em uma base sólida, pautada em sistemas de produção eficientes em termos biológicos, econômicos, ambientais e sociais (MARTHA JUNIOR et al., 2006). Portanto, estimular a recuperação de pastagens degradadas é estimular o aumento de produtividade pecuária e, consequentemente, a produção de alimento e renda (DIAS FILHO, 2006).

Nesse sentido, Cezar (2001) ressalta que a orientação deve ser desenvolvida com base em um diagnóstico de todo sistema produtivo e gerencial, visando detectar os “gargalos” e oferecer soluções para maximizar os benefícios provenientes dos investimentos da recuperação das pastagens.

A estratégia de ter uma contínua e crescente incorporação de novas tecnologias aos sistemas de produção agrícola, no sentido de garantir competitividade pelo aumento da produtividade e consequentemente redução do custo médio de produção é perfeitamente válida (MARTHA JUNIOR et al., 2006).

Entretanto, reconhece-se que os componentes econômicos e financeiros são decisivos no processo de tomada de decisão, constituindo-se em fatores cruciais para relação das alternativas e dimensionamento dos investimentos. Com a correta individualização de cada caso, recomenda-se a análise criteriosa do fluxo de caixa e o cálculo dos parâmetros Valor Presente Líquido (VPL), Relação Benefício/Custo (B/C) e Taxa Interna de Retorno (TIR) (CEZAR, 2001).

Desta forma, as universidades, centros de pesquisa e os produtores devem ter o compromisso de discutir e traçar estratégias para a recuperação dessas pastagens, uma vez que a reforma dificilmente resolverá a questão num período de curto/médio prazo, pela necessidade de investimento, que é

muito maior do que aquela considerada para recuperação (LUZ et al., 2004).

Segundo Oliveira e Corsi (2005) as vantagens da recuperação de pastagens por meio da recomposição e da manutenção da fertilidade do solo e do manejo adequado da planta forrageira são várias, entre elas, perenidade do sistema, custo operacional baixo, uma vez que suprime ao máximo o uso de implementos agrícolas, rapidez no retorno à utilização da pastagem, em algumas ocasiões de 30 a 40 dias após o início dos trabalhos, viabilidade econômica e preservação do agroecossistema.

A viabilidade econômica da adubação de pastagem para manutenção e recuperação frequentemente tem sido questionada. Contudo, a degradação de pastagens, o maior obstáculo para o estabelecimento de uma pecuária bovina sustentável, está quase sempre associada à deficiência de nutrientes no solo (VILELA et al., 2004).

A orientação de se recuperar pequenas áreas com altos níveis de fertilizantes resolve o problema da baixa lotação e baixa rentabilidade (BALSALOBRE et al., 2002). Porém, Vilela et al. (2004) comenta que uma das principais demandas apresentada por técnicos e pecuaristas às instituições de pesquisa e ensino sobre o que é mais vantajoso, adubar mais intensamente uma área menor da fazenda ou adubar de maneira menos intensa uma parcela maior da propriedade. Normalmente, o risco de produção em sistemas intensivos é maior do que aquele verificado em sistemas com uso baixo e moderado de insumos, em razão da necessidade de se manter maior taxa de lotação no sistema.

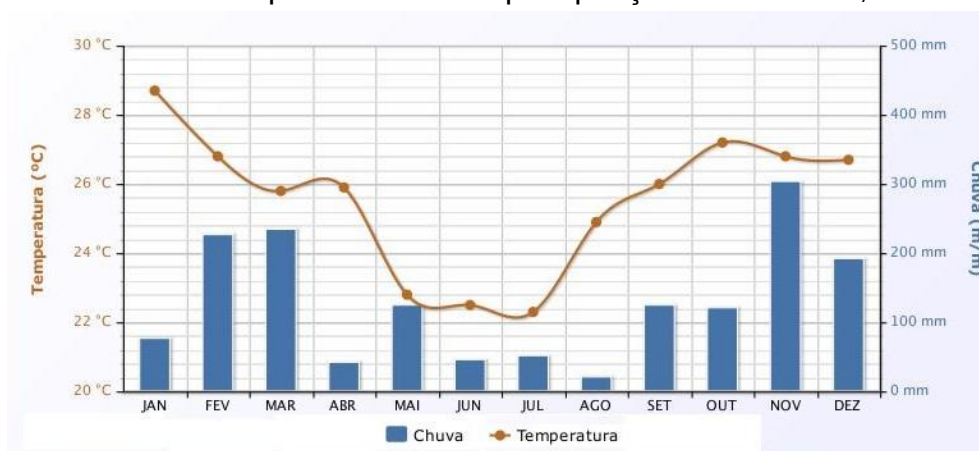
A falta de capital, por parte dos pecuaristas, e os altos custos de insumos (adubos e corretivos) são indicados como fatores limitantes para a solução do problema das pastagens degradadas (CEZAR, 2001). Assim, técnicas para utilização de fertilizantes em zonas específicas de manejo em pastagem torna-se um diferencial, visando recuperação da fertilidade do solo, alta produtividade das forrageiras, maior taxa de lotação com custos reduzidos de corretivos e fertilizantes. Esta visão nos deixa mais próxima à ideia de produtividade sustentável, isto é, aumentar a produtividade e consequente rentabilidade por área preservando os recursos naturais.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho de pesquisa foi desenvolvido no ano agrícola de 2015/2016 e conduzido em área experimental de sistemas de produção em bovinocultura de corte pertencente à Faculdade de Engenharia – UNESP, Campus de Ilha Solteira, localizada no município de Selvíria – MS, situada aproximadamente a 51° 22' de longitude Oeste de Greenwich e 20° 22' de Latitude Sul, com altitude de 335 metros. O tipo climático é Aw de acordo com a classificação de Köppen, caracterizado com invernos secos e verões chuvosos. Sua média e temperatura média no ano de 2015 consta no Gráfico 1. O solo foi classificado como Argissolo Vermelho eutrófico, textura arenosa de acordo com a

Embrapa (2013), com 146 g Kg⁻¹ de argila, 814 g Kg⁻¹ de areia e 40 g Kg⁻¹ de silte.

Figura 2- Média de temperatura do ar e precipitação. Selvíria/MS, 2015.



Fonte: Ilha Solteira (2016).

Em 1978 a área de pastagem da fazenda experimental foi formada. Foram aplicadas 2 t ha⁻¹ de calcário dolomítico e 1 t ha⁻¹ de fosfato natural GAFSA (25,6% de P₂O₅ solúvel). Em 2009 a área foi reformada e aplicado 2 t ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT: 86%). A área do estudo é formada com a forrageira *Brachiaria* (Syn. *Urochloa brizantha*) cv. Marandu e não recebeu mais nenhum tipo de adubação ou calagem. Foi realizado anteriormente controle de cupins e aplicação de regente.

Foi realizado uma análise química para caracterização inicial do solo (Quadro 3), com amostragem na profundidade de 0,00-0,20 m, apresentando os seguintes resultados:

Quadro 3- Análise inicial de fertilidade do solo.

P	M.O	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC	V	m
mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂				mmol _c dm ⁻³				%	
9.0	20.0	5.4	0.8	15.0	18.0	0.0	0.0	33.8	51.8	65.0	0.0

Fonte: Dados do autor

Foi utilizada uma área de aproximadamente 3 ha confeccionada uma malha geoestatística composta por 46 pontos amostrais georreferenciados de maneira irregular e as coletas retiradas na profundidade de 0,00 a 0,20 m. As amostras foram coletadas no dia 29 de outubro de 2015 e foram submetidas a análises químicas e físicas no laboratório de fertilidade e física do solo da UNESP de Ilha Solteira. Foram determinados os teores de fósforo (P), matéria orgânica (MO), potássio (K⁺), cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺). Além disso, foram determinados os valores de pH (CaCl₂), acidez potencial (AP), teor de alumínio (Al), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%), resistência a penetração (RP), argila, areia, silte e umidade volumétrica (UV).

As análises químicas, as necessidades de calagem (NC) e de adubação com nitrogênio (NN), fósforo (NP – P_2O_5), potássio (NK – K_2O) e enxofre (NS) foram calculadas de acordo com Raij et al. (1997) para gramíneas do “Grupo II” para manutenção, sendo que a NC foi atribuído valor zero para os pontos amostrais em que o cálculo resultou em uma recomendação de aplicação menor que uma tonelada por hectare.

A resistência a penetração foi avaliada com penetrômetro de impactos segundo Stolf (1991) e calculada segundo a expressão (Equação 1) contida em (ROSA FILHO et al., 2009).

$$RP = \left[5,581 + 6,891 \cdot \left(\frac{N}{PA} \cdot 10 \right) \right] \cdot 0,0981 \quad (1)$$

onde RP é a resistência do solo a penetração (MPa); N é o número de impactos efetuados com o martelo do penetrômetro para obtenção da leitura; A e P as leituras antes e depois da realização dos impactos. A umidade volumétrica ($m^3 m^{-3}$) foi determinada com o HS2 Hydrosense II System, de acordo com as instruções determinadas por (CAMPBELLSCI, 2014).

Para cada atributo estudado, foi realizada a análise descritiva clássica, com auxílio do software estatístico SAS (SCHLOTZHAVER; LITTELL, 1997), em que foram calculados a média, mediana, valores mínimos e máximos, desvio-padrão, coeficiente de variação, curtose, assimetria e distribuição de frequência. Para testar a hipótese de normalidade, ou de lognormalidade foi utilizado o teste de Shapiro e Wilk a 5% de significância. Além disso, foi montada a matriz de correlação, com o objetivo de efetuar as correlações lineares simples para as combinações, duas a duas, entre todos os atributos estudados.

A variabilidade de um atributo pode ser classificada, de acordo com Pimentel Gomes e Garcia (2002), segundo a magnitude de seu coeficiente de variação (CV). Suas classes foram determinadas como baixa ($CV \leq 10\%$), média ($10\% < CV \leq 20\%$), alta ($20\% < CV \leq 30\%$) e muito alta ($CV > 30\%$).

O componente espacial foi caracterizado pela dependência espacial entre as amostras, que foram analisadas pelo método do semivariograma. Este se baseia na teoria de variáveis regionalizadas (WEBSTER, OLIVER, 1990) e descreve a continuidade espacial das variáveis como uma função da distância entre os dois locais (Equação 2):

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

onde $\hat{\gamma}(h)$ é a semivariância experimental para uma distância de separação h ; $z(x_i)$ é o valor da propriedade no ponto i e $N(h)$ é o número de pares de pontos separados pela distância h . A plotagem $\hat{\gamma}(h) \times h$ produz o semivariograma

experimental, que apresenta um comportamento puramente aleatório ou algum comportamento sistemático por modelos teóricos (esférico, exponencial e gaussiano). A escolha do modelo de semivariograma ajustado e seus parâmetros baseou-se a soma do quadrado dos resíduos e sobre o coeficiente de determinação (R^2) obtido ajustando um modelo teórico para um semivariograma experimental. Para verificar a confiabilidade do modelo matemático, foi usada uma técnica de validação cruzada (dados não mostrados). Depois de ajustar o modelo para o semivariograma, foram estimados valores nos locais não amostrados pela técnica de krigagem por ser um estimador linear não enviesado (WEBSTER; OLIVER, 1990). Os semivariogramas, ajuste de modelos e interpolação pela krigagem ordinária foram realizadas pelo programa GS+ versão 9.0 Geostatistics for the Environmental Sciences (ROBERTSON, 2004).

O avaliador de dependência espacial foi avaliado de acordo com Dalchiavon et al. (2012), onde: a) $ADE < 20\%$ = variável espacial de muito baixa dependência (MB); b) $20\% \leq ADE < 40\%$ = baixa dependência (BA); c) $40\% \leq ADE < 60\%$ = média dependência (ME); d) $60\% \leq ADE < 80\%$ = alta dependência (AL) e e) $80\% \leq ADE < 100\%$ = muito alta.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS

Considerando os coeficientes de variação dos atributos (Quadro 4), a RP e Silte apresentaram variabilidade muito alta (32,47 e 31,82 % respectivamente). Negreiros Neto et al. (2010) trabalhando com um Argissolo vermelho com capim Marandu na profundidade de 0,00 a 0,20 m diferenciou ao presente estudo quando analisaram a RP, tendo uma variação alta (28,59 %). Pariz et al. (2011) trabalharam com solo de cerrado, apresentando na camada de 0,00-0,20 m, 520 g kg⁻¹ de argila, 410 g kg⁻¹ de areia e 70 g kg⁻¹ de silte e *Urochloa decumbens*; Torres et al. (2013) em um Latossolo Vermelho distrófico sob pastagem, apresentando na camada de 0,00-0,20 m, 180 g kg⁻¹ de argila, 770 g kg⁻¹ de areia e 50 g kg⁻¹ de silte, também obtiveram variações diferentes com relação a RP, classificados como variação média (17,71 e 19,40 %).

A argila e a UV tiveram variabilidade média (11,22 e 16,37 % respectivamente). Pedron et al. (2012), analisando o horizonte B do Argissolo também obtiveram variação média para argila (16,00 %) e baixa para areia (7,00 %). Suzuki (2008), analisou a qualidade físico-hídrica de um Argissolo Vermelho distrófico com textura média/argilosa sob pastagem no sul do Brasil, obteve variação baixa para a umidade volumétrica (9,26 %), diferenciando do presente estudo. Torres et al. (2012) avaliando um Latossolo Vermelho distrófico sob pastagem irrigada; Montanari et al. (2013) estudando um Argissolo Vermelho-Amarelo sob pastagem com *Urochloa decumbens*, encontraram variações bem semelhantes de UV (15,11 e 12,64 %).

Quadro 4- Análise descritiva inicial de alguns atributos do solo de um Argissolo Vermelho sob pastagem *Urochloa brizantha* cv. Marandu e sua necessidade de calagem e adubação. Selvíria/MS, 2016.

Medidas estatísticas descritivas										
Atributo ^(a)	Média	Mediana	Valor		Desvio Padrão	Coeficiente			Probabilidade do teste ^(b)	
			Mínimo	Máximo		Variação (%)	Curtose	Assimetria	Pr<w	DF
Atributos físicos do solo										
RP (MPa)	2,58	2,24	1,224	4,942	0,837	32,47	1,248	1,307	0,0001	IN
UV (m³ m⁻³)	0,11	0,12	0.060	0.150	0,019	16,37	0,755	-0,813	0,0079	IN
Argila (g kg⁻¹)	143,56	143,50	113	191	16,107	11,22	0,457	0,503	0,2708	NO
Areia (g kg⁻¹)	810,76	811,50	759	856	18,824	2,32	0,464	-0,295	0,7495	NO
Silte (g kg⁻¹)	45,62	41,50	23	94	14,516	31,82	1,793	1,310	0,0001	IN
Atributos químicos do solo										
P (mg dm⁻³)	6,48	6,00	3	14	2,367	36,52	0,708	0,829	0,0070	IN
MO (g dm⁻³)	17,84	17,50	15	23	2,034	11,40	-0,023	0,787	0,0018	IN
pH (CaCl₂)	5,21	5,20	4,5	6,3	0,442	8,47	0,539	0,598	0,0200	TN
K (mmol _c dm⁻³)	1,00	0,80	0,6	2,9	0,541	53,79	4,117	2,111	0,0001	IN
Ca (mmol _c dm⁻³)	12,52	12,00	6	24	3,991	31,88	0,242	0,785	0,0165	TN
Mg (mmol _c dm⁻³)	13,24	13,50	6	21	3,703	27,99	-0,164	0,311	0,1226	NO
AP (mmol _c dm⁻³)	18,92	18,00	12	28	3,193	16,88	0,741	0,557	0,0091	IN
Al (mmol _c dm⁻³)	0,30	0,00	0	2	0,707	235,70	2,255	2,020	0,0001	IN
SB (mmol _c dm⁻³)	27,00	27,05	13,7	46,6	7,726	28,61	-0,071	0,452	0,3344	NO
CTC (mmol _c dm⁻³)	45,64	44,85	35,7	61,6	5,833	12,78	0,431	0,849	0,0205	TN
V (%)	58,40	60,00	33	86	10,315	17,66	0,731	-0,187	0,2695	NO
m (%)	1,62	0,00	0	13	3,870	238,87	2,924	2,128	0,0001	IN
Necessidade de calagem e adubação										
NC (t ha⁻¹)	0,06	0,00	0	1	0,240	399,830	13,124	3,821	0,0001	IN
NP (kg ha⁻¹)	35,00	40,00	20	40	5,803	16,58	-0,523	-0,653	0,0001	IN
NK (kg ha⁻¹)	31,60	30,00	0	40	10,568	33,44	2,753	-1,630	0,0001	IN

^(a) RP, UV, Argila, Areia e Silte são, respectivamente, a resistência à penetração, umidade volumétrica, teor de argila, teor de areia e teor de silte; P, MO, pH, K, Ca, Mg, AP, Al, SB, CTC, V e m são, respectivamente, fósforo resina, matéria orgânica, potencial hidrogeniônico, potássio, cálcio, magnésio, acidez potencial, alumínio, soma de bases, capacidade de troca catiônica, saturação por bases e saturação por alumínio; NC, NP, NK são, respectivamente, necessidade de calagem, necessidade de fósforo e necessidade de potássio; ^(b) DF = distribuição de frequência, sendo NO, TN e IN respectivamente do tipo normal, tendendo a normal e indeterminada.

Alguns atributos químicos apresentaram maiores coeficientes de variação, classificados como muito alto (Quadro 4). Souza et al. (2008a) estudaram um Argissolo Vermelho-Amarelo com textura argilosa sob pastagem e obtiveram CV semelhante para teor de P (47,88 %), teor de K (30,56 %), teor de Ca (45,88 %) e m (97,21 %). Santos e Gontijo (2013), em um solo sob pastagem, também verificaram valores próximos ao teor de P (76,90 %), teor de K (34,10%) e teor de Ca (33,00 %). Outros autores (Rodrigues et al., 2014; Vicente e Araújo, 2013; Lima et al., 2014; Silveira Junior et al., 2014) também relataram valores muito altos para os teores de P, K e Ca, mostrando que esses atributos em Argissolos sob pastagem ou pastagens consorciadas tendem a ter variações muito altas. Considerando o teor de Al e m%, Silveira Junior et al. (2014), estudando um Neossolo Quartzarênico Órtico típico sob diferentes usos agrícolas e Silva et al. (2003) analisando um Argissolo

Vermelho-Amarelo distrófico arênico, encontraram valores semelhantes, com variação alta (145,70, 154,73 e 34,90 % para teor de Al e 47,90 % para m%).

O teor de Mg e SB tiveram coeficientes de variação considerados altos (Quadro 4), com 27,99, 28,61 % respectivamente. Souza et al. (2008b) conduzindo em área cultivada com pastagem de variedade da *Urochloa* atingiram valores similares ao teor de Mg, com valor de variação alto (26,10 %), assim como Souza et al. (2008a) que obtiveram 28,57 %. Porém, outros autores (Montanari et al., 2008; Rodrigues et al., 2014; Vicente e Araújo, 2013; Silveira Junior et al., 2014; Lima et al., 2014) alcançaram variações muito altas (acima de 30,00 %), diferenciando do presente estudo. Com relação à SB, Souza et al. (2010), trabalhando com um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico sob sistema de pastejo extensivo, obtiveram variação muito alta (37,13 %). Além deste, outros autores também encontraram variações muito altas (LIMA et al., 2010; RODRIGUES et al., 2014; VICENTE; ARAÚJO, 2013).

Os atributos MO, AP, CTC e V% (Quadro 4) apresentaram variações médias (11,40, 16,88, 12,78 e 17,66 %, respectivamente), talvez explicada pela reforma da área com aplicação de calcário em 2009, resultando em menor variação destes atributos na área. Richter et al. (2011), pesquisando atributos da fertilidade do solo em razão da profundidade e da altitude do relevo em um Latossolo Vermelho distrófico com 18 anos de integração Lavoura Pecuária se depararam com variações semelhantes para MO, CTC, V% (10,51, 10,43 e 18,92 %, respectivamente). Montanari et al. (2008), trabalhando com um Argissolo Vermelho eutrófico abrupto, também encontraram variações parecidas de CTC e V% (12,95 e 16,05 %). Lima et al. (2010) encontraram variação média para CTC (15,57 %) analisando atributos químicos de um solo em área de vegetação natural em regeneração. Porém, Pariz et al. (2011) estudaram um solo de cerrado e *Urochloa decumbens*, Lima et al. (2014) em um Argissolo Vermelho-Amarelo sob pastagem mal manejada, obtiveram variações altas para MO (21,20, 24,60 e 35,28 %). Souza et al. (2010) trabalharam com uma pastagem de *Urochloa decumbens*, implantada no ano de 2000 em substituição a pastagem nativa e chegaram a uma variação semelhante para AP, com valor médio de 18,89 %.

O pH foi o único atributo a apresentar variação baixa segundo Gomes e Garcia (2002) com valor de 8,47 %. Este dado corrobora com muitos autores na literatura (SILVA et al., 2003; SOUZA et al., 2008; MONTANARI et al., 2008; LIMA et al., 2010; SOUZA et al., 2010; RICHTER et al., 2011; BEZERRA, 2013; LIMA et al., 2014), mostrando que esse atributo é pouco variável em solos.

A NC e NK apresentaram variações muito altas (399,83 e 33,44 %, respectivamente) e a NP apresentou variação média (16,58 %) em função da fosfatagem realizada em toda a área. Campos et al. (2008) estudaram a aplicação de adubo e corretivo após o corte da cana-planta em um Latossolo Vermelho distroférrico textura média e um Latossolo Vermelho eutroférrico textura argilosa e também encontraram variações muito altas para NC e NK, com valores de 56,60 e 31,70 %, respectivamente. Corá e Beraldo (2006)

selecionaram três talhões de cana-de-açúcar sob reforma num Latossolo Vermelho distroférico textura argilosa, outra parte Latossolo Vermelho eutroférico textura argilosa e parte sob Latossolo Vermelho eutrófico textura média. Estes autores também encontraram variações altas para NC (37,00, 32,00 e 66,00 %) e para NP, variações médias (17,00 e 14,00 %), corroborando com este estudo. Apenas para um talhão foi encontrado variação baixa para NP (7,00 %). Barbieri et al. (2008) analisaram a variabilidade espacial de atributos químicos de um Argissolo para aplicação de insumos à taxa variável em diferentes formas de relevo e obtiveram variação muito alta para NC (56,00 %), variações médias para NK (16,00 e 18,00 %) e variações altas para NP (20,00 e 24,00 %). Os dados de autores da literatura mostram que necessidades de calagem e adubação, estudados como variabilidade espacial, tendem a ter variações médias a muito altas em pastagens, em função da alta heterogeneidade desse sistema. A NN e NS não variaram, pois, segundo Raji et al. (1997), gramíneas do grupo II para manutenção, devem ser aplicados 60 e 20 kg ha⁻¹, respectivamente, em todos os pontos.

A argila e areia apresentaram distribuição normal (Quadro 4) e foram significativos ($p < 0,05$) com coeficientes de assimetria de 0,503 e -0,295 para argila e areia, respectivamente e, coeficientes de curtose de 0,457 e 0,464 para argila e areia, respectivamente. A RP, UV e Silte demonstraram distribuição indeterminada, com coeficiente de assimetria de 1,307; -0,813 e 1,310, respectivamente e, coeficiente de curtose de 1,248; 0,755 e 1,793 respectivamente. Pariz et al. (2011) encontraram distribuição normal para RP e tendendo a normal para UV.

Os teores de Mg, SB e V apresentaram distribuição normal (Quadro 4) e foram significativos ($p < 0,05$). O teor de Mg e SB demonstraram coeficiente de assimetria positivo (0,311 e 0,452, respectivamente) e coeficiente de curtose negativo (-0,164 e -0,071, respectivamente), já o V apresentou coeficiente de assimetria negativo (-0,187) e coeficiente de curtose positivo (0,731). Outros autores também encontraram distribuição normal para os atributos teor de Mg, SB e V. (SILVA et al., 2003; CAMPOS et al., 2008; MONTANARI et al., 2008; SOUZA et al., 2008b).

O pH, teor de Ca e CTC evidenciaram distribuição tendendo a normal (Quadro 4) com coeficiente de assimetria positivos de 0,598; 0,785 e 0,849, respectivamente e coeficientes de curtose também positivos (0,539; 0,242 e 0,431, respectivamente). Souza et al. (2010) obtiveram distribuição normal para o pH e Silva et al. (2003) constataram distribuição normal para CTC. A distribuição indeterminada foi verificada para os atributos teor de P, MO, teor de K, AP, teor de Al e m. Estes atributos apresentaram coeficiente de assimetria positivo de 0,829; 0,787; 2,111; 0,557; 2,020 e 2,128, respectivamente e, coeficiente de curtose de 0,708; -0,023; 4,117; 0,741; 2,255 e 2,924, respectivamente. Souza et al. (2008a) também não encontraram normalidade nos dados dos teores de P, K e Al. A NC, NP e NK apresentaram distribuição indeterminada (Quadro 4), com coeficiente de assimetria de 3,821;

-0,653 e -1,630, respectivamente e, coeficiente de curtose de 13,124; -0,523 e 2,753, respectivamente. Campos et al. (2008) também não se depararam com distribuição normal para NP, NK e NC.

A RP apresentou uma mediana de 2,24 MPa (Quadro 4), considerada alta segundo Soil Survey Staff (1993) adaptado por Arshad et al. (1996). Considerando que alguns autores, que afirmam que a resistência à penetração limitante ao crescimento radicular é de 2 MPa (TORMENA et al., 1998; BEUTLER et al., 2006). Torres et al. (2012), estudando uma área de pastagem de capim tifton, influenciada pelo pisoteio e irrigação, observaram que os maiores valores de RP ocorreram na camada de 0,0-0,10 m de 2,71 e 4,46 MPa e na camada 0,10-0,20 m de 2,75 e 3,90 MPa. Magalhães et al. (2009) estudaram resistência do solo a penetração sob diferentes sistemas de cultivo em um Latossolo e chegou a resultados parecidos em relação à área da pastagem, na profundidade de 0,00-0,18 m, apresentando valores de 2,25 e 2,64 MPa. Cavallini et al. (2010) verificaram que o aumento da resistência mecânica à penetração, no cultivo de *Urochloa brizantha*, promove a redução do teor de proteína bruta e da matéria seca da forrageira.

A UV apresentou mediana de $0,12 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Torres et al. (2012) avaliaram a UV de 0,00-0,18 m de profundidade num Latossolo Vermelho distrófico, dezesseis meses após a implantação da pastagem com capim Tifton e conseguiram valores semelhantes ($0,16$ e $0,19 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). Montanari et al. (2013) obtiveram $0,13$ e $0,15 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para UV analisando alguns atributos físicos de um Argissolo sob pastagem de braquiária. Já, Pariz et al. (2011) estudaram um solo de cerrado com *Urochloa decumbens* alcançaram valor superior de UV ($0,22 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). As médias para Argila, Areia e Silte foram 143, 810 e $48,62 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente. Estes valores são típicos de Argissolos (NEGREIROS NETO et al., 2010; CAJAZEIRA; ASSIS JUNIOR, 2011; MION et al., 2012; Santos et al., 2010; PEDRON et al., 2012).

Os valores de MO, teor de Ca e Mg foram considerados altos ($17,84 \text{ g dm}^{-3}$; $12,52$ e $13,24 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), tendo em vista um solo potencialmente degradado. Souza et al. (2010) estudaram um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico sob pastagem e obteve pH e SB semelhantes ($5,08$ e $16,30 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), no entanto encontraram valor muito superior para AP ($52,70 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Esta diferença pode ter ocorrido em função do presente estudo ter valores altos para o teor de Ca, teor de Mg e pH, devido a calagem realizada na área.

Os valores de pH foram semelhantes a Santos et al. (2010) que, realizaram um estudo interessante comparando uma área sob pastagem semi-degradada e degradada em um Argissolo Vermelho Amarelo ($5,04$ e $4,49$ para pastagem semi-degradada e degradada, respectivamente). No entanto, quando comparado o teor de Al e AP, os valores dos autores foram muito superiores ao presente estudo, tanto na pastagem semi-degradada ($7,4$ e $97,8 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), quanto para a pastagem degradada ($15,05$ e $96,65 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Isso indica que o maior problema para a pastagem no presente estudo não foi a acidez do

solo. Siqueira Neto et al. (2009) trabalhando com um Latossolo Vermelho distrófico caulínítico de textura argilosa, no cerrado, sob pastagem, encontraram valores semelhantes a esta pesquisa para os teores de P ($6,0 \text{ mg dm}^{-3}$), K ($1,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), Ca ($10,7 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), Mg ($13,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), SB ($24,8 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e V (45,3 %). Outros autores (OLIVEIRA et al., 2005; MONTANARI et al., 2008) também obtiveram valores semelhantes aos teores de Al, P, K, Ca, Mg e SB.

As médias para NC, NP e NK foram $0,06 \text{ t ha}^{-1}$, $35,00$ e $31,60 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente. Souza et al. (2008b) obtiveram NC superior ($1,33 \text{ t ha}^{-1}$) ao presente estudo avaliando a variabilidade espacial do fósforo, potássio e da necessidade de calagem numa área sob pastagem. Barbieri et al. (2008) também notaram a resultados superiores a este estudo para NP, NK e NC com valores de $121,00$, $110,00 \text{ kg ha}^{-1}$ e $1,0 \text{ t ha}^{-1}$, respectivamente.

5.1 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO LINEAR SIMPLES

A análise de correlação linear simples entre os atributos físicos e químicos do solo e as recomendações de calagem e adubação constam nos Quadros 5 e 6. A UV apresentou correlação significativa e negativa com a NC ($r = -0,351^*$) e NK ($r = -0,334$; $p < 0,05$). Isto indica que quanto maior a umidade volumétrica do solo, menor a necessidade de calagem e potássio, uma vez que houve correlação significativa positiva entre os pares UV $\times$ CTC ($r = 0,334$; $p < 0,05$) e UV $\times$ V ($0,314$; $p < 0,05$). A dispensabilidade de calagem neste estudo pode ser explicada, segundo Raij et al. (1997), pelos altos teores Ca e Mg (Quadro 4), uma vez que a calagem já foi realizada na área.

Outra hipótese para a dispensabilidade da calagem e correlação negativa com a NK gira em torno da CTC, que apresentou correlação significativa e positiva para os pares CTC $\times$ MO ($r = 0,445$; $p < 0,01$); CTC $\times$ Ca ($r = 0,925$; $p < 0,01$) e CTC $\times$ Mg ($r = 0,945$; $p < 0,01$). A CTC de um solo, de uma argila ou do húmus representa a quantidade total de cátions retidos à superfície desses materiais em condição permutável ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$). Um índice V baixo significa que há pequenas quantidades dos cátions básicos (Ronquim, 2010). Mesmo o solo sendo arenoso (Argila $< 15\%$) resultando em baixa retenção de nutrientes, o V apresentou um valor de 58% (Quadro 4), considerado um valor médio segundo Raij et al. (1997) para gramíneas do grupo II, indicando a presença dos cátions básicos necessários para anular a NC e reduzir a NK.

A NC apresentou correlação linear positiva com os atributos AP, teor de Al e m (Quadro 6) com $r = 0,577(p < 0,01)$; $r = 0,611(p < 0,01)$ e $r = 0,704(p < 0,01)$, respectivamente e, correlação linear negativa com Mg ($r = -0,341$; $p < 0,05$) e V ($r = -0,566$; $p < 0,01$).

Quadro 5- Matriz de correlação linear simples entre alguns atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho sob pastagem *Urochloa brizantha* cv. Marandu e sua necessidade de calagem e adubação. Selvíria/MS, 2016.

Atributos ^(a)	Coeficiente de correlação (b)										
	RP	UG	Argila	Areia	Silte	P	MO	pH	K	Ca	Mg
UV	0,133	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Argila	0,258	0,277	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Areia	0,086	0,064	0,367*	-	-	-	-	-	-	-	-
Silte	-0,157	-0,146	-0,637**	-0,950**	-	-	-	-	-	-	-
P	-0,003	0,042	0,008	0,030	-0,028	-	-	-	-	-	-
MO	0,477	0,230	0,111	-0,005	-0,033	0,406**	-	-	-	-	-
pH	0,081	0,335*	0,292*	-0,042	-0,060	-0,100	-0,011	-	-	-	-
K	0,035	0,188	-0,125	0,119	-0,056	0,194	-0,103	0,122	-	-	-
Ca	-0,045	0,280	0,271	-0,040	-0,056	0,067	0,365*	0,600**	-0,115	-	-
Mg	-0,014	0,322*	0,305*	-0,034	-0,072	0,191	0,400**	0,564**	0,053	0,932**	-
AP	0,040	-0,134	-0,113	-0,047	0,075	0,162	0,030	-0,701**	-0,086	-0,537**	-0,543**
Al	0,120	-0,192	0,069	0,062	-0,076	-0,086	-0,177	-0,516**	-0,084	-0,416**	-0,453**
SB	-0,019	0,327*	0,292*	0,000	-0,097	0,156	0,377**	0,606**	0,085	0,9655**	0,985**
CTC	-0,011	0,334*	0,297*	-0,014	-0,086	0,234	0,445**	0,453**	0,072	0,925**	0,945**
V	-0,022	0,314*	0,206	0,063	-0,120	0,078	0,337*	0,703**	0,135	0,836**	0,846**
m	0,122	-0,219	0,063	0,059	-0,072	-0,108	0,179	-0,527**	-0,090	-0,420**	-0,460**
NC	0,009	-0,351*	0,004	0,032	-0,030	-0,165	-0,139	-0,414	-0,102	-0,289	-0,341*
NP	-0,011	0,013	-0,060	-0,102	0,106	-0,873**	-0,403**	0,013	-0,144	-0,034	-0,161
NK	0,040	-0,334*	0,066	-0,131	0,087	-0,239	-0,044	-0,211	-0,845**	-0,004	0,196

^(a) RP, UV, Argila, Areia, Silte, P, MO, pH, K, Ca, Mg, AP, Al, SB, CTC, V, m, NC, NP, NK são, respectivamente, resistência à penetração, umidade volumétrica, teor de argila, teor de areia e teor de silte, fósforo resina, matéria orgânica, potencial hidrogeniônico, potássio, cálcio, magnésio, acidez potencial, alumínio, soma de bases, capacidade de troca catiônica, saturação por bases, saturação por alumínio, necessidade de calagem, necessidade de fósforo e necessidade de potássio; ^(b) * Significativo a 5%, ** Significativo a 1%.

Quadro 6- Segunda matriz de correlação linear simples entre alguns atributos químicos de um Argissolo Vermelho sob pastagem *Urochloa brizantha* cv. Marandu e sua necessidade de calagem e adubação. Selvíria/MS, 2016.

Atributos ^(a)	Coeficiente de correlação (b)							
	AP	Al	SB	CTC	V	m	NC	NN
Al	0,706**	-	-	-	-	-	-	-
SB	-0,559**	-0,455**	-	-	-	-	-	-
CTC	-0,294*	-0,269	0,956**	-	-	-	-	-
V	-0,838**	-0,712**	0,872**	0,710**	-	-	-	-
m	0,722**	0,989**	-0,460**	-0,271	-0,729**	-	-	-
NC	0,577**	0,611**	-0,326*	-0,178	-0,566**	0,704**	-	-
NP	-0,087	0,129	-0,121	-0,167	-0,117	0,156	0,227	-
NK	0,145	0,075	-0,198	-0,184	-0,231	0,101	0,209	0,215

^(a) Al, SB, CTC, V, m, NC, NP são, respectivamente, alumínio, soma de bases, capacidade de troca catiônica, saturação por bases, saturação por alumínio, necessidade de calagem e necessidade de fósforo; ^(b) * Significativo a 5%, ** Significativo a 1%.

A relação da NC com a AP, teor de Al e m é explicada pela conexão do pH com esses atributos. O pH teve correlação significativa com a maioria dos atributos (Ca, Mg, AP, Al, SB, CTC, V e m). Segundo Santos e Gontijo (2013), a correção do solo tem por objetivo elevar o pH em H₂O aos níveis de 6,0 a 6,5; proporcionando maiores disponibilidades dos nutrientes para as plantas. A vantagem decorrente da elevação do pH do solo tropical é correção da acidez e neutralização de toxidez por Al, além de fornecer cálcio e magnésio e influir sobre a soma de bases. (CATANI; ALONSO, 1969; RONQUIM, 2010; RAIJ, 2011). Primavesi et al. (2004) relataram que com a aplicação de calcário na superfície do solo, e consequente, elevação do pH, a saturação por bases pode ser elevada para 70% ou mais. Além disso, o teor de cálcio trocável no solo acompanha a resposta de pH e este pode diminuir drasticamente ao longo do tempo.

Dalchiavon et al. (2011), estudando a matriz de correlação linear de atributos químicos de um Latossolo Vermelho Distroférrico, também conseguiram correlação linear significativa entre pH × AP ($r = -0,798$; $p < 0,01$); pH × SB ($r = 0,180$; $p < 0,05$) e pH × V ($r = 0,497$; $p < 0,01$). Praticamente todos os atributos de solo são influenciados pelo pH. O pH correlaciona-se positivamente com os valores de P, Ca, Mg, K, soma e saturação por bases e CTC e negativamente com a saturação de Al. Com a neutralização de parte da acidez, as cargas negativas são liberadas no complexo de troca e ocupadas por Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺, aumentando a fertilidade do solo e a produção agrícola (ABREU JUNIOR et al., 2003).

Os teores de P e MO obtiveram correlação linear negativa com a NP (Quadro 5) ($r = -0,873$; $p < 0,01$ e $r = -0,403$; $p < 0,01$, respectivamente). Quanto maior a concentração de P e MO neste sistema, menor será a NP, evidenciado pela correlação linear significativa positiva entre MO × P ($r = 0,406$; $p < 0,01$). Petrere e Cunha (2010) explicam que a MO, além de melhorar as características atributos físicos do solo, é importante para aumentar a capacidade de troca catiônica (CTC), que é a capacidade que o solo tem de armazenar nutrientes para as plantas, tais como: cálcio, potássio e magnésio. Além disso, a matéria orgânica é capaz de fornecer nitrogênio, fósforo e enxofre para a nutrição das plantas. Junto com o pH, a MO foi o atributo que mais correlacionou positivamente entre os outros atributos químicos do solo, confirmando ser importante para interferir na dose a ser aplicada na calagem e adubação.

5.2 ANÁLISE GEOESTATÍSTICA

Os parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas para alguns atributos físicos e químicos de um Argissolo Vermelho eutrófico, textura arenosa de Selvíria (MS) constam no Quadro 7. Nas Figuras 2 e 3 foram apresentados seus respectivos semivariogramas.

A Argila, Areia, Silte, P, K, SB, CTC, m, NC e NP apresentaram efeito pepita puro, sendo que todos os demais atributos e necessidades de fertilização apresentaram dependência espacial. Com relação ao desempenho dos semivariogramas, a relação decrescente deles, analisada por meio do coeficiente de determinação espacial (r^2), foi a seguinte: 1) Ca (0,790), 2) V (0,721), 3) pH e NK (0,610), 4) Mg (0,580), 5) Al (0,557), 6) MO (0,552), 7) RP (0,543), 8) UV (0,398) e 9) AP (0,388).

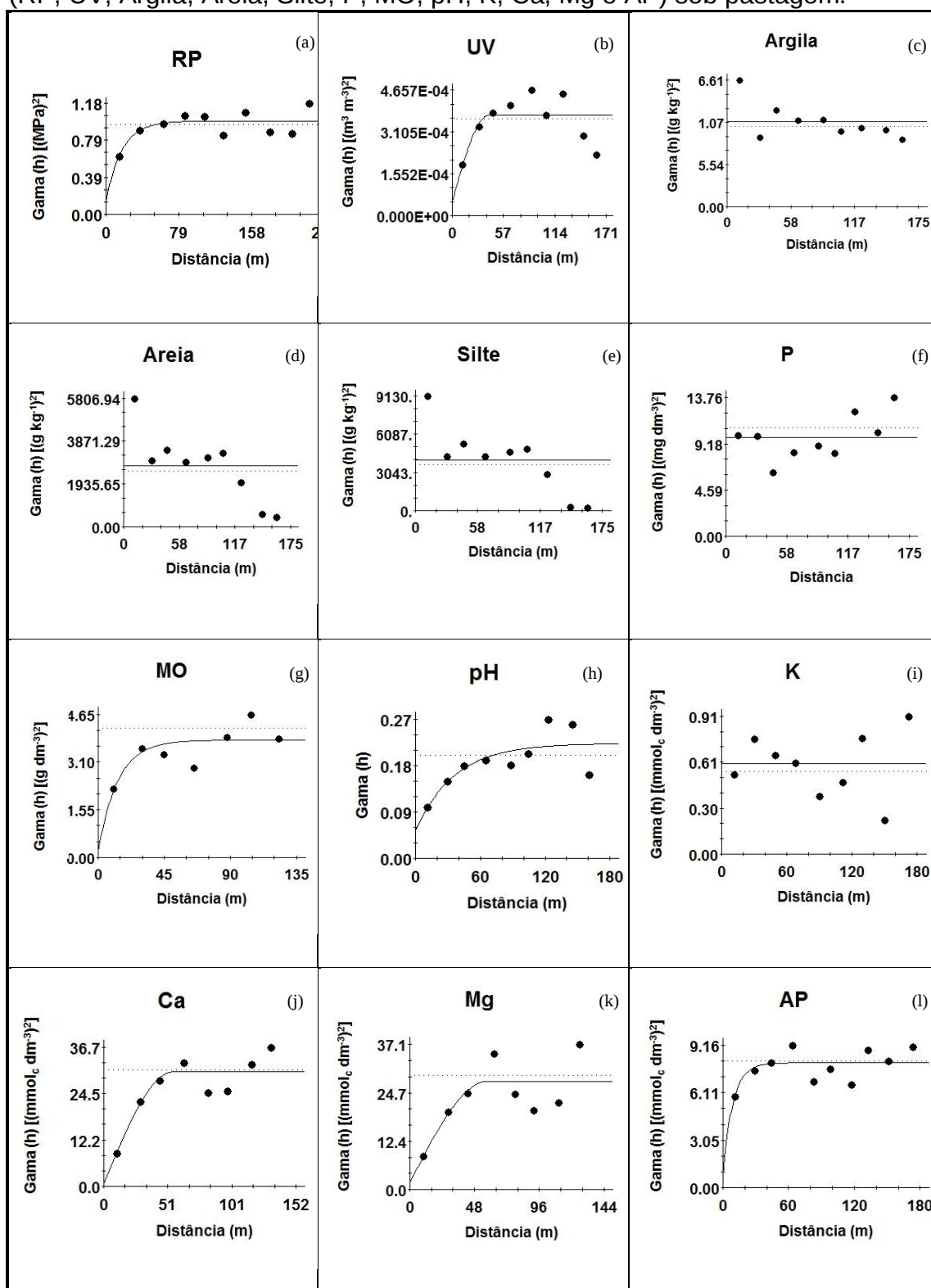
Quadro 7- Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas experimentais para alguns atributos de um Argissolo Vermelho sob pastagem *Urochloa brizantha* cv. Marandu e sua necessidade de calagem e adubação. Selvíria/MS, 2016.

Atributos (a)	Modelo (b)	Efeito pepita (C ₀)	Patamar (C ₀ + C)	Alcance (a) (m)	r^2	SQR ^(c)	ADE ^(d)		Validação cruzada		
							%	Classe	a	b	r
RP	exp. (43)	1,310.10 ⁻¹	9,950.10 ⁻¹	51,6	0,543	1,060.10 ⁻¹	86,8	MA	3,06	-0,153	0,505
UV	esf. (26)	5,300.10 ⁻⁵	3,720.10 ⁻⁴	40,4	0,398	4,407.10 ⁻⁸	85,8	MA	8,00.10 ⁻²	0,335	0,578
Argila	epp.	4,348.10 ²	4,348.10 ²	-	-	-	-	-	-	-	-
Areia	epp.	2,745.10 ³	2,745.10 ³	-	-	-	-	-	-	-	-
Silte	epp.	4,014.10 ³	4,014.10 ³	-	-	-	-	-	-	-	-
P	epp.	9,820	9,820	-	-	-	-	-	-	-	-
MO	exp. (23)	2,000.10	3,814	40,2	0,552	1,610	94,8	MA	4,05	0,773	0,879
pH	exp. (28)	5,260.10 ⁻²	2,222.10 ⁻¹	107,7	0,610	8,589.10 ⁻³	86,3	MA	1,29	0,754	0,868
K	epp.	5,950.10 ⁻¹	5,950.10 ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca	esf. (25)	6,400.10 ⁻¹	3,019.10	55,0	0,790	1,070.10 ²	97,9	MA	7,44	0,430	0,655
Mg	esf. (24)	1,780	2,712.10	57,9	0,580	2,340.10 ²	93,7	MA	9,14	0,328	0,572
AP	exp. (23)	7,900.10 ⁻¹	8,033	26,7	0,388	6,660	90,2	MA	3,79.10	-1,013	0,630
Al	esf. (26)	4,000.10 ⁻¹	4,820.10 ⁻¹	40,9	0,557	4,530.10 ⁻²	91,7	MA	2,50.10 ⁻¹	0,154	0,392
SB	epp.	4,425.10	4,425.10	-	-	-	-	-	-	-	-
CTC	epp.	8,500.10	8,500.10	-	-	-	-	-	-	-	-
V	esf. (25)	4,030.10	1,162.10 ²	63,8	0,721	1,236.10 ³	65,3	AL	1,79.10	0,693	0,832
m	epp.	1,038.10	1,038.10	-	-	-	-	-	-	-	-
NC	epp.	3,900.10 ²	3,900.10 ²	-	-	-	-	-	-	-	-
NP	epp.	3,347.10	3,347.10	-	-	-	-	-	-	-	-
NK	exp. (24)	6,500	4,875.10	37,5	0,610	1,810.10 ⁻²	86,7	MA	3,24.10	0,042	0,204

(a) RP, UV, Argila, Areia, Silte, P, MO, pH, K, Ca, Mg, AP, Al, SB, CTC, V, m, NC, NP, NK são, respectivamente, resistência à penetração, umidade volumétrica, teor de argila, teor de areia e teor de silte, fósforo resina, matéria orgânica, potencial hidrogeniônico, potássio, cálcio, magnésio, acidez potencial, alumínio, soma de bases, capacidade de troca catiônica, saturação por bases, saturação por alumínio, necessidade de calagem, necessidade de fósforo e necessidade de potássio; (b) exp = exponencial, esf = esférico, epp = efeito pepita puro, com seus devidos pares de lags; (c) SQR = soma dos quadrados dos resíduos; (d) ADE = avaliador da dependência espacial, sendo MA = muito alta, AL = alta.

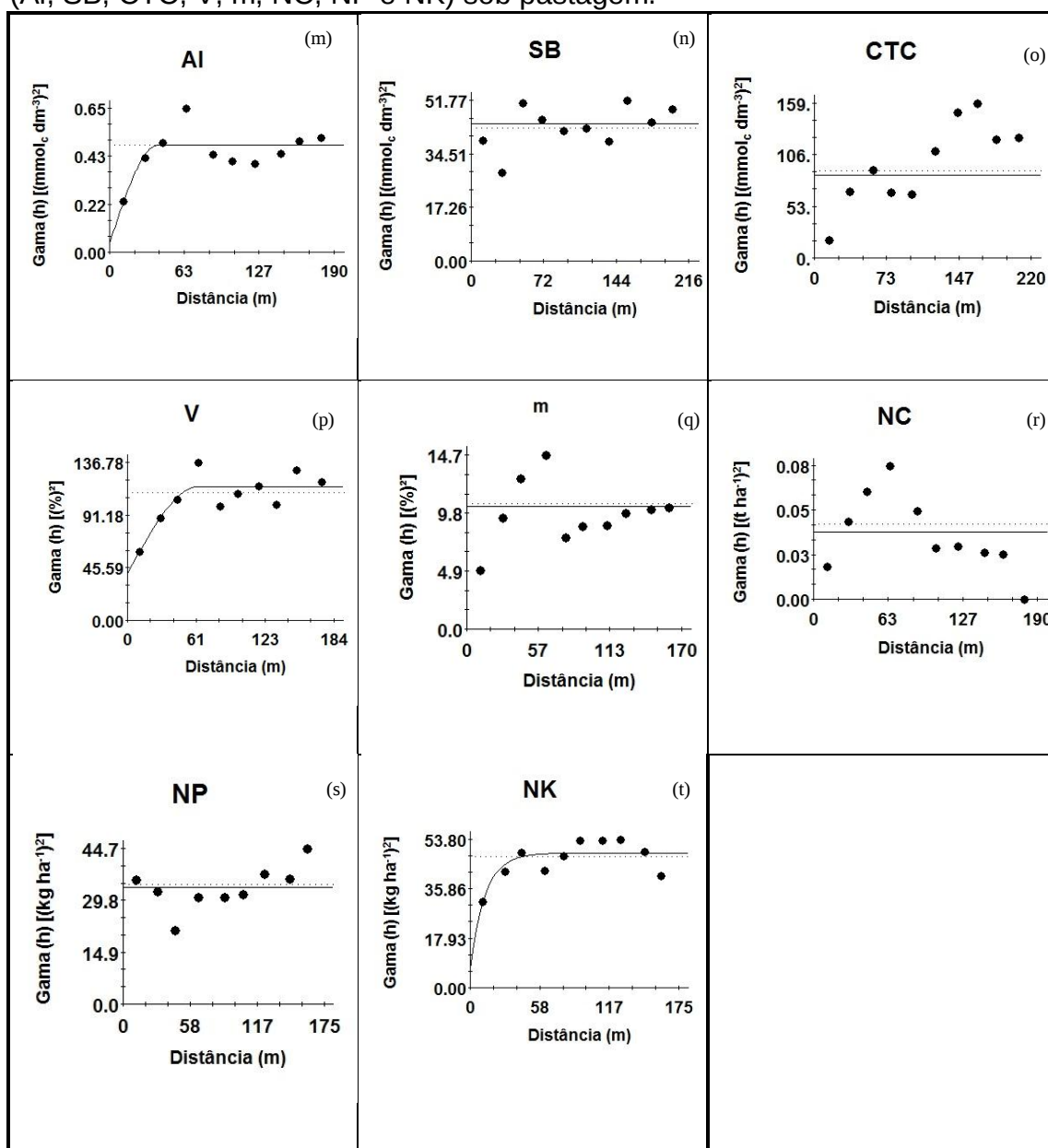
A maioria dos semivariogramas foram ajustados aos modelos esférico e exponencial (Quadro 7), em concordância com Lima et al. (2010) e Neves Neto et al. (2013) que indicaram os modelos exponenciais e esféricos como os mais comuns aos atributos do solo. Assim, com relação ao teor de Ca, que apresentou o mais elevado coeficiente de determinação espacial, observou-se o seguinte: Seu ADE também foi classificado como muito alto (Quadro 7) com semivariograma foi ajustado obtendo um modelo esférico e $r^2 = 0,790$, com alcance de 55,0 m. Santos e Gontijo (2013) avaliando a variabilidade espacial de alguns atributos conduzido em área cultivada com pastagem de variedade capim-braquiária, com uma malha de 12.200 m², com 126 pontos amostrais e uma distância mínima de 5 m também obtiveram semivariograma ajustado no modelo esférico com $r^2 = 0,939$ para o teor de Ca, com alcance de 16,3 m, porém, com dependência espacial moderada, diferenciando deste estudo.

Figura 3- Semivariogramas simples dos atributos de um Argissolo Vermelho (RP, UV, Argila, Areia, Silte, P, MO, pH, K, Ca, Mg e AP) sob pastagem.



Fonte: Dados do autor.

Figura 4- Semivariogramas simples dos atributos de um Argissolo Vermelho (Al, SB, CTC, V, m, NC, NP e NK) sob pastagem.



Fonte: Dados do autor.

Outros autores como Pereira et al. (2011) e Santos et al. (2015), estudando atributos químicos do solo sob pastagem, obtiveram semivariogramas ajustados no modelo exponencial com alcances e r^2 semelhantes a esta avaliação para o Ca ($A_0 = 110,0$ e $86,1$ m; $r^2 = 0,990$ e $0,953$).

Com relação à NK, esta foi a única necessidade de fertilização que apresentou variabilidade e dependência espacial na área analisada, revelou semivariograma ajustado em um modelo exponencial, ADE classificado como muito alta (86,7 %), $r^2 = 0,610$ e alcance de 37,5 m. Alguns autores (BARBIERI et al., 2008; CAMPOS et al., 2008) apresentaram NK com semivariogramas

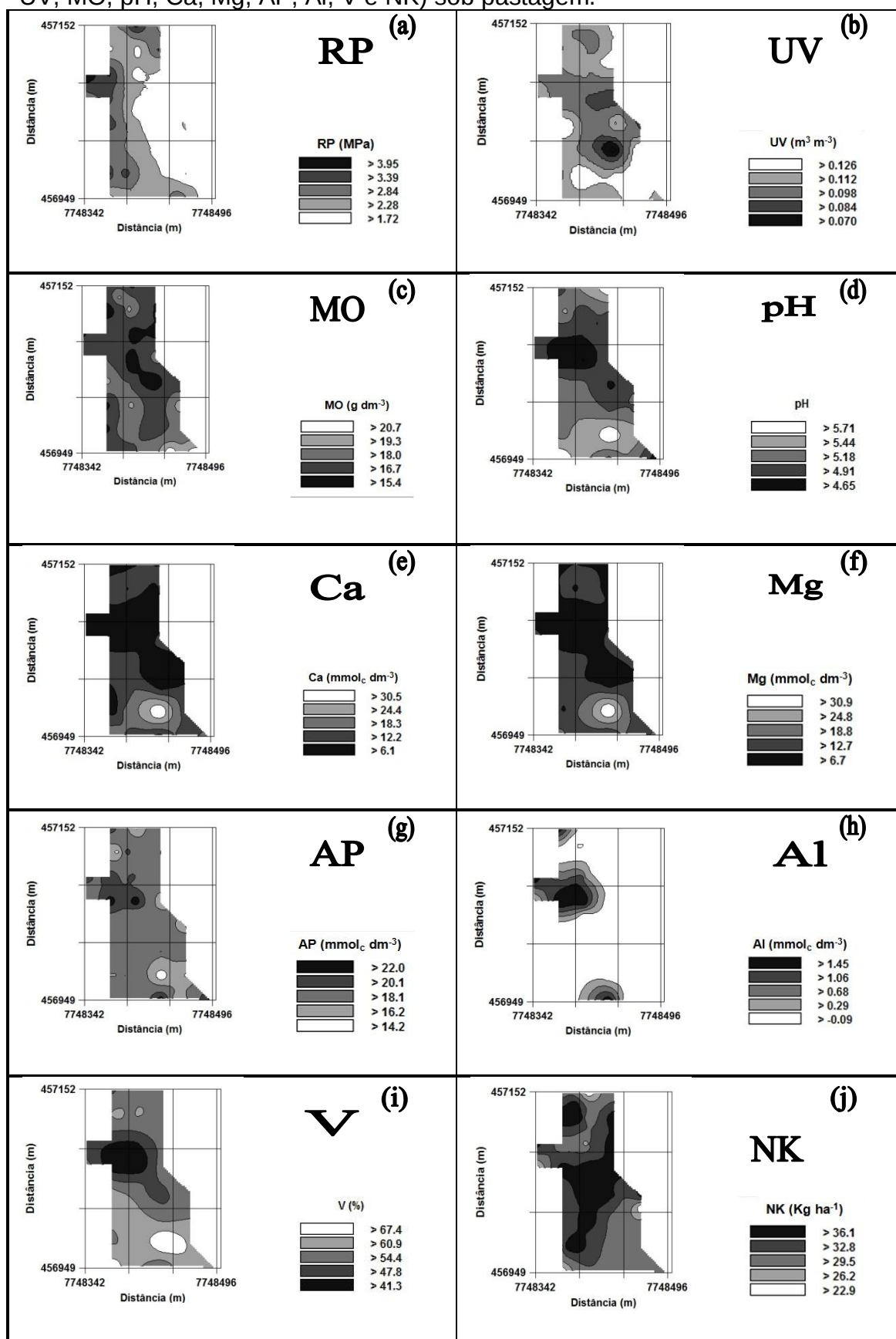
ajustados no modelo esférico e r^2 superiores (0,900 e 0,970), diferenciando desta pesquisa. Oliveira et al. (2008) verificaram um semivariograma ajustado com modelo esférico, com ADE de 71 % e alcance 11,10m. Isto mostra que, estudar a variabilidade espacial para necessidades de calagem e adubação em pastagens se trata de uma carência em função dos poucos resultados encontrados neste trabalho.

A relação decrescente dos alcances foi a seguinte (Quadro 7): 1) pH (107,7m), 2) V (63,8 m), 3) Mg (57,9 m), 4) Ca (55,0 m), 5) RP (51,6 m), 6) Al (40,9 m), 7) UV (40,4 m), 8) MO (40,2 m), 9) NK (37,5 m) e 10) AP (26,7 m). Portanto, nas condições da presente pesquisa, assim como, visando auxiliar pesquisas futuras, na qual os mesmos atributos estejam envolvidos, os valores dos alcances a serem utilizados nos pacotes geoestatísticos, que alimentarão os pacotes computacionais empregados na agricultura de precisão, no geral, não deverão ser maiores do que 26,7 m.

Na Figura 4 estão apresentados os mapas de krigagem de alguns atributos físicos e químicos de um Argissolo Vermelho eutrófico, textura arenosa de Selvíria (MS) e necessidade de adubação potássica. Em relação aos mapas apresentados, alguns apresentaram elevada semelhança espacial para efeito prático de manejo do solo. Desta forma, foi observada a referida semelhança espacial entre o mapa de pH, teor de Ca, teor de Mg, AP e V. Todos esses atributos apresentaram maiores valores ($\text{pH} > 5,73$; $\text{Ca} > 30,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Mg} > 36,9 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e $\text{V} > 67,4 \%$), com exceção da AP, que mostrou os menores valores ($14,2$ e $16,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) na região sul da área. Esses atributos estão relacionados de alguma maneira entre si e com a calagem (Quadros 5 e 6). Sendo esta uma região em que foi depositado calcário dolomítico para futura aplicação, uma vez que o restante da área apresentam valores inferiores para estes atributos. Souza et al. (2010) também notaram uma semelhança espacial entre pH e AP. Santos et al. (2013) e Pereira et al. (2011) analisando um solo sob pastagem e eucalipto, respectivamente, obtiveram semelhança espacial entre Ca e Mg, corroborando com este estudo. Santos et al. (2015) analisando a distribuição espacial dos atributos químicos do solo notaram mapas semelhantes entre os atributos Ca, Mg, AP e V. Isto mostra que esses atributos tem grande dependência espacial.

A UV também apresentou valores ideais na região sul, mas também nas regiões sudeste, oeste e Norte ($\text{UV} > 0,126 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), o que corroborou com os dados da RP que obteve melhores valores nas regiões sul, sudeste, norte e noroeste (RP entre 1,75 e 2,31 MPa). Houve exceção, porém, na região central do mapa, onde foi notado maior umidade volumétrica e menores valores de RP. Bergamin et al. (2010) afirmam que a compactação do solo é mais prejudicial em solo seco e em condições de maior umidade no solo pode haver crescimento radicular em valores de resistência mecânica do solo à penetração. Essa relação inversa entre RP e UV também foi obtida por outros autores (CAMPOS et al., 2013; CORADO NETO et al., 2015).

Figura 5- Mapas de krigagem dos atributos de um Argissolo Vermelho (RP, UV, MO, pH, Ca, Mg, AP, Al, V e NK) sob pastagem.



Fonte: Dados do autor.

As maiores quantidades de fertilização potássica foram justamente na área central ($NK > 36,1 \text{ kg ha}^{-1}$), além de parte das regiões norte e noroeste. Menores quantidades de fertilização potássica são necessárias em parte das extremidades das regiões norte, oeste e sudoeste.

6 CONCLUSÕES

A aplicação de calcário depende principalmente do pH e MO. Estes foram os atributos que mais correlacionaram positivamente entre os outros atributos químicos do solo.

A NK foi importante nesse estudo sendo a única necessidade de fertilização que apresentou variabilidade e dependência espacial na área analisada.

A região central e oeste não tem boa capacidade de retenção de água e nutrientes, isto refletiu em valores inferiores para todos os atributos, com exceção da RP.

REFERENCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE- ABIEC. **O ano da carne bovina brasileira**. São Paulo: [s.n.], 2015. Disponível em: <http://www.abiec.com.br/news_view.asp?id={505B16C6-87D7-4B41-8434-B25FCF147723}>. Acesso em: 29 ago. 2015

ABREU JUNIOR, C. H.; MURAOKA, T.; LAVORANTE, A. F. Relações entre acidez e propriedades químicas de solos brasileiros. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, p. 337-343, 2003.

AGUIAR, A. de P. A. Possibilidades de intensificação do uso de pastagem através de rotação sem ou com uso mínimo de fertilizantes. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM, 14., 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1997. p. 85-138.

ANDRADE, R. G. et al. Uso de técnicas de sensoriamento remoto na detecção de processos de degradação de pastagens. **Engenharia da Agricultura**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 234-243, jun. 2013.

ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical test for monitoring soil quality. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J.(Ed.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society, 1996. p. 123-141.

BALSALOBRE, M. A. A.; SANTOS, P. M.; BARROS, A. L. M. de. Inovações tecnológicas, investimentos financeiros e gestão de sistema de produção animal em pastagens. In: PEIXOTO, A. M. et al. (Ed.). **Inovações tecnológicas no manejo de pastagens**. Piracicaba: Fealq, 2002. p. 1-30.

BARBIERI, D. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos de um argissolo para aplicação de insumos à taxa variável em diferentes formas de relevo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, p. 645-653, 2008.

BARROS, G. S. C. de et al. **Economia da pecuária de corte na região norte do Brasil**. Piracicaba: Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada, 2002. 75 p.

BELLÉ, G. L. **Agricultura de precisão: manejo da fertilidade com aplicação a taxa variada e fertilizantes e sua relação com a produtividade de culturas**. 2009. 139 f. Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

BENETT, C. G. S.; BUZETTI, S.; SILVA K. S.; BERGAMASCHINE, A. F.; FABRICIO, J. A. Produtividade e composição bromatológica do capim-marandu a fontes e doses de nitrogênio. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1629-1636, 2008.

BERGAMIN, A. C.; VITORINO, A. C. T.; FRANCHINI, J. C.; SOUZA, C. M. A.; SOUZA, F. R. Compactação em um Latossolo Vermelho Distroférrico e suas

relações com o crescimento radicular do milho. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 681-691, 2010.

BEZERRA, M. D. L. **Cinza vegetal como corretivo e fertilizante no cultivo de capim-marandu em solos do cerrado mato-grossense**. 2013. 64 f. Dissertação (Mestrado)- Faculdade Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Mato Grosso, Rondonópolis, 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Embrapa mapeia degradação das pastagens do Cerrado**. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2014 Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/recuperacao-areas-degradadas>>. Acesso em: 10 nov. 2010.

BERTOL, I. et al. Conservação do solo em pastagens. In: PEDREIRA, C. G. S. et al (Ed.). **As pastagens e o meio ambiente**. Piracicaba: Fealq, 2006. p. 139-164.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SILVA, A.P.; BARBOSA, J. C. Intervalo hídrico ótimo e produtividade de cultivares de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 639-45, 2006.

PIMENTEL-GOMES, F. P.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.

BURGESS, T. M.; WEBSTER, R. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. I. The semivariogram and punctual kriging. **J. Soil Sci.**, Oxford, v. 31, p. 315-331, 1980.

CAJAZEIRA, J. P.; ASSIS JÚNIOR, R. N. Variabilidade espacial das frações primárias e agregados de um Argissolo no Estado do Ceará. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 42, n. 2, p. 258-267, 2011.

CAMARGO, F. A. O.; GIANELO, C.; TEDESCO, M. J. Nitrogênio orgânico do solo. In: CAMARGO, F. A. O.; SANTOS, F. A. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Gênese: Porto Alegre, 1999. p.117-137.

CAMPBELL SCIENTIFIC. **Revision: 3/14: HS2 and HS2P**. Logan: Campbell Scientific, 2014. 46 p.

CAMPOS, M. C. C.; AQUINO E. A.; OLIVEIRA, I. A.; BERGAMIN, A. C. Variabilidade espacial da resistência mecânica do solo à penetração e umidade do solo em área cultivada com cana-de-açúcar na região de Humaitá, Amazonas, Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 8, n. 2, p. 305-310, 2013. doi: 10.5039/agraria.v8i2a2091

CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M.; BARBIERI, D. M. Aplicação de adubo e corretivo após o corte da cana-planta

utilizando técnicas geoestatísticas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4, p. 974-980, 2008.

CAVALLINI, M. C.; ANDREOTTI, M.; OLIVEIRA, L. L.; PARIZ, C. M.; CARVALHO, M. P. Relações entre produtividade de *Brachiaria Brizantha* e atributos físicos de um latossolo do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1007-1015, 2010.

CATANI, R.A.; ALONSO, O.. Avaliação da exigência de calcário do solo. **An. Esc. Super. Agric. Luiz de Queiroz**, Piracicaba, v. 26, n. .., p. 141-156, 1969.

CANTARELLA, H. et al. Fertilidade do solo em sistemas intensivos de pastejo rotacionado. In: PEIXOTO, A. M. et al. (Ed.). **Inovações tecnológicas no manejo de pastagens**. Piracicaba: Fealq, 2002. p. 99-132.

CEZAR, I. M. Racionalização de investimentos em pastagens: uma abordagem sistêmica no processo decisório. In: PEIXOTO, A. M. et al. (Ed.). **Planejamento de sistemas de produção em pastagens**. Piracicaba: Fealq, 2001. p. 351-367.

COELHO, D. C. L.; BATISTA, R. O.; OLIVEIRA, A. F. M.; SILVA, K. B. Alterações químicas de Argissolo irrigado com percolato de aterro sanitário e água de abastecimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 6, p. 598-604, 2015.

CORÁ, J. E.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 374-387, 2006.

CORSI, M.; NUSSIO, G. Manejo do capim elefante: correção e adubação do solo. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 10., 1992, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1993. p. 87-117.

DIAS FILHO, M. B. Os desafios da produção animal em pastagens na fronteira agrícola brasileira. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Brasília, v. 40, p. 243-252, 2011.

DIAS FILHO, M. B. Degradação e recuperação de pastagens. In: PEDREIRA, C. G. S. et al. (Ed.). **As pastagens e o meio ambiente**. Piracicaba: Fealq, 2006. p. 185-220.

DIAS FILHO, M. B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2005a. 173 p.

DIAS FILHO, M. B. **Diagnóstico das pastagens no Brasil**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. 38 p.

DIAS FILHO, M. B. **Produção de bovinos a pasto na fronteira agrícola**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2010. 34 p.

DUBEUX JUNIOR, J. C. B. et al. Fluxo de nutrientes em ecossistemas de pastagens: impactos no ambiente e na produtividade. In: PEDREIRA, C. G. S. et al (Ed.). **As pastagens e o meio ambiente**. Piracicaba: Fealq, 2006. p. 439-506.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Recife, 2006. 306 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília, DF: Recife, 2013. 20 p.

FIGUEIREDO, E. B.; PANOSSO, A. R.; BORDONAL, R. O.; TEICEIRA, D. B.; BERCHIELLI, T. T. SCALA JUNIOR, N. Soil CO₂-C emissions end correlations with soil properties in degraded and managed pastures in southern Brazil. **Land Degrad & Development**, Wiley, 2016. doi: 10.1002/ldr.2524

FOTH, H. D; ELLIS, B. G. 1996. **Soil fertility**. 2nd ed. New York: Lewis Pub, 1996. 304 p.

GALLARDO, A. Geostadística. **Revista Ecossistemas: Revista científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente**, Móstoles, v. 3, n. 15, p. 48-58, set. 2006.

GREGO, C. R; OLIVEIRA, R. P. de; VIEIRA, S. R. Geoestatística aplicada a Agricultura de Precisão. In: BERNARDI, A. C. C. et al. **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília: Embrapa Instrumentação, 2014. cap. 5, 12, p. 74-83.

GROENIGEN, Van J. W. et al. Contrained optmisation of soil sampling for minimisation of the kriging variance. **Geoderma**, Amsterdam, v. 87, n. 3-4, p. 239-259, 1999.

GUIMARÃES, E. C. **Geoestatística básica e aplicada**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2004. 77 p.

HARRIS, R. B. Rangeland degradation on the qinghai-tibetan plateau: a review of the evidence of its magnitude and causes. **Journal Of Arid Environments**, San Diego, v. 74, p. 1-12. jul. 2009.

IEIRI, A. Y.; LANA, R. M. Q.; KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S. Fontes, doses e modos de aplicação de fósforo na recuperação de pastagem com brachiaria. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 5, p. 1154-1160, 2010.

ILHA SOLTEIRA. UNESP. (Ed.). **Canal clima da UNESP Ilha Solteira: área de hidráulica e irrigação**. [S.l.: s.n.], 2016. Disponível em: <<http://clima.feis.unesp.br/>>. Acesso em: 17 out. 2016.

LIMA, E. S.; MONTANARI, R. Correlação linear e espacial da produtividade de forragem com atributos físicos e químicos de um argissolo em Aquidauana-MS. In: EPEX, 2., 2011, Aquidauana. **Anais...** . Aquidauana: Uems, 2011. p. 1 - 6.

LIMA, G. C.; SILVA, M. L. N.; OLIVEIRA, M. S. de; CURI, N.; SILVA, M. A. da; OLIVEIRA, A. H. Variabilidade de atributos do solo sob pastagens e mata atlântica na escala de microbacia hidrográfica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 5, p. 517-526, 2014.

LIMA, J. S. S.; SOUZA, G. S.; SILVA, S. A. Amostragem e variabilidade espacial de atributos químicos do solo em área de vegetação natural em regeneração. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 127-136, 2010.

LOPES, F. Valor da produção no campo pode atingir R\$ 470 bi. **Valor Econômico**, São Paulo, 2015. Disponível em: <<http://www.valor.com.br/agro/4179510/valor-da-producao-no-campo-pode-atingir-r-470-bi>> Acesso em: 10 jun. 2016

LOPES, A. S.; SILVA, M. C.; GUILHERME, L. R. G. **Boletim técnico nº 1:** acidez do solo e calagem. 3. ed. São Paulo: ANDA, 1991. 22 p.

LUZ, P. H. de C. et al. Uso da calagem na recuperação e manutenção da produtividade das pastagens. In: PEDREIRA, C. G. S.; MOURA, J. C. de; FARIA, V. P. de (Ed.). **Fertilidade do solo para pastagens produtivas**. Piracicaba: Fealq, 2004. p. 33-62.

MACHADO, L. O.; LANA, A. M. Q.; LANA, R. M. Q.; GUIMARAES, E. C.; FERREIRA, C. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 591-599, 2007.

MAGALHÃES, J. A.; CARNEIRO, M. S. S.; ANDRADE, A. C.; RODRIGUES, B. H. N.; CARVALHO, K. N.; COSTA, N. L. Produtividade do capim-marandu sob irrigação e adubação. In: CONGRESSO NORDESTINO DE PRODUÇÃO ANIMAL, 6., 2010, Mossoró. **Anais...** Mossoró: Bnpa, 2010. p. 1 - 4.

MAGALHÃES, W. A.; CREMON, C.; MAPELI, N. C.; MENDES SILVA, W.; CARVALHO, J. M.; MOTA, M. S. Determinação da resistência do solo a penetração sob diferentes sistemas de cultivo em um Latossolo sob Bioma Pantanal. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 6, n. 2, p. 21-32, 2009.

MALAVOLTA, E. **ABC da adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1989. 292 p.

MANTOVANI, E. C.. Agricultura de precisão e sua organização no Brasil. In: BORÉM, A.; GIÚDICE, M. P.; QUEIRÓZ, D. M.; MANTOVANI, E. C. **Agricultura de Precisão**. Viçosa: Brasília, [s.n.], 2000. p. 77-92.

MARTHA JUNIOR, G. B. et al. A planta forrageira e o agrossistema. In: PEDREIRA, C. G. S. et al. (Ed.). **As pastagens e o meio ambiente**. Piracicaba: Fealq, 2006. p. 87-138.

MARTHA JÚNIOR, G.B.; VILELA, L. **Pastagens no cerrado**: baixa produtividade pelo uso de fertilizantes. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. 32p.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO-MAPA. **Recuperação de áreas degradadas**. Brasília: [s.n.], 2010. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/recuperacao-areas-degradadas>>. Acesso em: 29 maio 2015.

MION, R. L.; NASCIMENTO, E. M. S.; SALES, F. A. L.; SILVA, S. F.; DUARTE, J. M. L.; SOUSA, B. M. Variabilidade espacial da porosidade total, umidade e resistência do solo à penetração de um Argissolo Amarelo. **Semina**, Londrina, v. 33, n. 6, p. 2057-2066, 2012.

MONTANARI, R. et al. Forma da paisagem como critério para otimização amostral de latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 1, p. 69- 77, 2005.

MONTANARI, R. et al. Variabilidade espacial de atributos químicos em Latossolo e Argissolos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 5, p.1266-1272, 2008.

MONTANARI, R.; SOUZA, G. S. A.; PEREIRA, G. T.; MARQUES JR. J.; SIQUEIRA, D. S.; SIQUEIRA, G. M. The use of scaled semivariograms to plan soil sampling in sugarcane fields. **Precision Agriculture**, Nova York, v. 35, n. 5, p. 1-11, 2012b.

MONTANARI, R.; LIMA, E.S.; LOVERA, L.H.; GODOY, L.T.R.; HENRIQUE, A.F.; DALCHIAVON, F.C. Correlación de la productividad de un forraje con las propiedades físicas de un Ultisol en Aquidauana. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 1, p.102-110, 2013.

NABINGER, C. et al. Biodiversidade e produtividade em pastagens. In: PEDREIRA, C. G. S. et al. (Ed.). **As pastagens e o meio ambiente**. Piracicaba: Fealq, 2006. p. 37-86.

NASCIMENTO JUNIOR, D. do et al. Degradação de pastagens e critérios para avaliação. In: PEIXOTO, A. M. et al. (Ed.). **Manejo da pastagem**. Piracicaba: Fealq, 1994. p. 107-152.

NEGREIROS NETO, J. V.; SANTOS, A. C.; SANTOS, P. M.; SANTOS, T. M.; FARIA, A. F. G. Atributos físicos de solos sob a consorciação gramíneas-leguminosas no norte do estado do Tocantins. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 18, n. 2, p.140-150, 2010.

NEVES NETO, D. N.; SANTOS, A. C. dos; SANTOS, P. M.; MELO, J. C.; SANTOS, J. S. Análise espacial de atributos do solo e cobertura vegetal em diferentes condições de pastagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n. 9, p. 995-1004, 2013.

OLIVEIRA, P. P. A.; CORSI, M. **Recuperação de pastagens degradadas para sistemas intensivos de produção de bovinos**. São Carlos: Embrapa, 2005. 23 p.

OLIVEIRA, P. P. A.; OLIVEIRA, W. S.; BARTONI JUNIOR, W. **Produção de forragem e qualidade de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu com *Azospirillum brasilense* e fertilizada com nitrogênio**. São Carlos: Embrapa, 2007. 6 p.

OLIVEIRA, P. P. A.; TRIVELIN, P. C. O.; OLIVEIRA, W. S. de; CORSI, M. Fertilização com N e S na recuperação de pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em Neossolo Quartzarênico. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 1121-1129, 2005.

OLIVEIRA, R. B.; LIMA, J. S. S.; XAVIER, A. C.; PASSOS, R. R.; SILVA, S. A.; SILVA, A. F. Comparação entre métodos de amostragem do solo para recomendação de calagem e adubação do cafeeiro conilon. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 1, p.176-186, 2008.

PARIZ C. M.; CARVALHO M. P.; CHIODEROLI C. A.; NAKAYAMA F. T.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Spatial variability of forage yield and soil physical attributes of a *Brachiaria decumbens* pasture in the Brazilian Cerrado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Lavras, v. 40, n. 10, p. 2111-2120, 2011.

PEDRON F.A.; SAMUEL R. A.; DALMOLIN R, S. D. Variação das características pedológicas e classificação taxonômica de Argissolos derivados de rochas sedimentares. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 1-9, 2012.

PEREIRA, D. N. et al. Diagnóstico e recuperação de áreas de pastagens degradadas. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, n. 1, p. 49-53, ago. 2013. Edição Especial.

PEREIRA, D. P.; FIEDLER, N. C.; LIMA, J. S. S.; BAUER, M. O.; SIMÃO, J. B. P. Distribuição espacial de atributos químicos do solo para implantação de um povoamento de eucalipto. In: SIMPÓSIO DE GEOESTATÍSTICA APLICADA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS, 2., 2011, Botucatu. **Anais...** Botucatu: Sgea, 2011. p. 1 - 5.

PERON, A. J.; EVANGELISTA, A. R. Degradação de pastagens em regiões de cerrado. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 3, p. 655-661, jun. 2004.

PETRERE, V. G.; CUNHA, T. J. F. **Cultivo da videira: manejo e conservação do solo**. 2. ed. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. 8 p.

PORTO, E. M. V.; ALVES, D. A.; VITOR, C. M. T.; GOMES, V. M.; SILVA, M. F. da; DAVID, A. M. S. S. Rendimento forrageiro da *Brachiaria brizantha* cv. marandu submetida à doses crescentes de fósforo. **Scientia Agrária Paranaensis**, Cascavel, v. 11, n. 3, p. 25-34, 2012.

PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A. C.; CORREA, L. de A.; ARMELIN, M. J. A.; FREITAS, A. R. F. **Calagem em pastagem de *Brachiaria decumbens* recuperada com adubação nitrogenada em cobertura**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2004. 32 p. (Circular Técnica, 37).

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. rev. ampl. Campinas: Instituto Agrônomo e Fundação- IAC, 1997. 285 p. (Boletim Técnico, 100)

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: IPNI, 2011. p. 420.

RESENDE, M.; CURI, N.; RESENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. **Pedologia**: base para distinção de ambientes. 2. ed. Viçosa: Núcleo de Estudo de Planejamento e Uso da Terra, 1997. 367 p.

REZENDE, A. V. ; LIMA, J. F.; RABELO, C. H. S.; RABELO, F. H. S.; NOGUEIRA, D. A.; CARVALHO, M.; FARIA JÚNIOR, D. C. N. A. de; BARBOSA, L. de A. Características morfofisiológicas da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em resposta à adubação fosfatada. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 4, n. 14, p. 335-343, 2011.

RICHTER, R. L.; AMADO, T. J. C.; FERREIRA, A. O.; ALBA, P. J.; HANSEL, F. D. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um latossolo sob plantio direto influenciados pelo relevo e profundidade de amostragem. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 7, n. 13, p. 1043-1059, 2011.

ROBERT, P. The economical feasibility of precision agriculture. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE– ECPA, 3.; In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO 2., 2002, Viçosa. . **Anais...** Viçosa: [s.n.], 2002. 1CD-ROM.

ROBERTSON, G. P. **GS+**: geostatistics for the environmental sciences – GS+ user's guide. Plainwell: Gamma Desing Software, 2004. 152 p.

ROCHA, A. C. B. da. **A geoestatística aplicada à avaliação e caracterização de reservatórios petrolíferos**. 2005. 84 f. Dissertação (Mestrado)- Curso de Matemática, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2005.

RODRIGUES, C. A. J.; GREGO, C. R.; VALLADARES, G. S.; TORRESAN, F. E.; QUARTAROLI, C. F. Fertilidade do solo de pastagens com *brachiaria* sob diferentes níveis de degradação em Guararapes (SP). In: CONGRESSO

BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2014, Uberlândia. **Anais...**
Uberlândia: Cbcs, 2014. p. 1 - 4.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010. v. 8, 26 p.

ROSA FILHO, G.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R.; BINOTTI, F. F. S.; GIOIA, M. T. Variabilidade da produtividade da soja em função de atributos físicos de um latossolo vermelho distroférico sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 283-293, 2009.

RUIZ, H. A.; MIRANDA, J.; CONCEIÇÃO, J. C. S. Contribuição dos mecanismos de fluxo de massa e de difusão para o suprimento de K, Ca, Mg às plantas de arroz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 1015-1018, 1999.

SANTOS, A. C.; LIMA, J. S.; OLIVEIRA, L. B. T.; SILVA NETO, S. P. Variabilidade espacial das características qualitativas e quantitativas da pastagem de capim Marandú em topossequência no Tocantins. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 10, n. 3, p. 83-89, 2015.

SANTOS, J.T.; ANDRADE, A.P.; SILVA, I.F.; SILVA, D.S.; SANTOS, E.M. e SILVA, A.P.G. Atributos físicos e químicos do solo de áreas sob pastejo na microrregião do Brejo Paraibano. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 12, p. 2486-2492, 2010.

SANTOS, E. O. J.; GONTIJO, I. Distribuição espacial dos macronutrientes em um Latossolo cultivado com pastagem. In: SIMPÓSIO DE GEOESTATÍSTICA APLICADA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS, 3., 2013, Botucatu. **Anais...** Botucatu: Sgea, 2013. p. 1 - 6.

SCHLOTZHAVER, S. D.; LITTELL, R. C. **SAS: system for elementary statistical analysis**. 2. ed. Cary: [s.n.], 1997. 905 p.

SILVA NETO, S. P.; SANTOS, A. C.; LEITE, R. L. L.; DIM, V. P.; NEVES NETO, D. N.; CRUZ, R. S. Inclusão da dependência espacial em levantamentos do estoque de carbono em áreas de pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 42, n. 4, p. 547-556, 2012.

SILVA NETO, S. P.; SANTOS, A. C.; LEITE, R. L. L.; DIM, V. P.; NEVES NETO, D. N.; SILVA, J. E. C. Variação espacial do teor de matéria orgânica do solo e produção de gramínea em pastagens de capim-marandu. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 1, p. 41-53, 2012.

SILVA, C. B.; MORETTO, A. C.; RODRIGUES, R. L. Viabilidade econômica da agricultura de precisão: o caso do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE

ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL; CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL - DINÂMICAS SETORIAIS E DESENVOLVIMENTO REGIONAL, 42., 2004, Cuiabá. **Congresso...** Cuiabá: [s.n.], 2004. p. 1-10.

SILVA, D. J.; ALVAREZ, V. H.; RUIZ, H. A. Fluxo de massa e difusão de enxofre para raízes de milho em solos ácidos de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 109-114, 1998.

SILVA, V. R.; REICHERT, L. M.; STORCK, L. FEIJÓ, S. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1013-1020, 2003.

SILVEIRA, J. P. F. da et al. Considerações sobre o planejamento de sistemas rotativos. In: SILVEIRA, J. P. F. da et al. **Estratégias para intensificar a produção de bovinos em pasto**. São Carlos: Compacta Gráfica e Editora, 2013. cap. 2, p. 53-86.

SILVEIRA JUNIOR, O.; SANTOS, A. C.; SANTOS, P. M.; ROCHA, J. M. L.; ALEXANDRINO, E. Distribuição espacial de atributos químicos do solo em áreas sob diferentes usos agrícolas. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 22, n. 5, p. 442-455, 2014.

SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M. de C.; SCOPEL, E.; COSTA JUNIOR, C.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 4, p. 709-717, 2009.

SOARES, A. F.; MANTOVANI, E. C. Uso de interpoladores determinísticos na espacialização de algumas propriedades químicas dos solos para projetos de agricultura de precisão. In: CONGRESSO LUSOBRASILEIRO DE TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA AGROPECUÁRIA, 1., 2004, Santarém. **Congresso...** Santarém: [s.n.], 2004. p. 1-9.

SOUZA NETO, J. M. de; PEDREIRA, C. G. S. Caracterização do grau de degradação de pastagens. In: PEDREIRA, C. G. S.; MOURA, J. C. de; FARIA, V. P. de (Ed.). **Fertilidade do solo para pastagens produtivas**. Piracicaba: Fealq, 2004. p. 7-32.

SOUZA, C. K et al. Influência do relevo na variação anisotrópica dos atributos químicos e granulométricos de um Latossolo em Jaboticabal, SP. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 23, n. 3, p. 486-495, 2003.

SOUZA, G. S.; LIMA, J. S. S.; SILVA, S. A.; OLIVEIRA, R. B. Variabilidade espacial de atributos químicos em um Argissolo sob pastagem. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 30, n. 4, p. 589-596, 2008.

SOUZA, G. S.; LIMA, J. S. S.; SILVA, S. A. Variabilidade espacial do fósforo, potássio e da necessidade de calagem numa área sob pastagem. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 39, n. 3, p. 384-391, 2008.

SOUZA, G. S.; LIMA, J. S. S.; XAVIER, A. C.; ROCHA, W. S. D. Krigagem ordinária e inverso do quadrado da distância aplicados na espacialização de atributos químicos de um argissolo. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 11, n. 1, p. 73-81, jan./fev. 2010.

SOUZA, Z. M. de et al. Otimização amostral de atributos de latossolos considerando aspectos solo-relevo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 829-836, jun. 2006.

SUZUKI, L. E. A. S. **Qualidade físico-hídrica de um argissolo sob floresta e pastagem no sul do Brasil**. 2008. 138 f. Tese (Doutorado)- Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

STAFFORD, J. V. Implementing precision agriculture in the 21st century. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Camden, v. 76, n. 3, p. 267-275, 2000.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n. 3, p. 229-235, 1991.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciado por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 301-309, 1998.

TORRES, J. L. R.; RODRIGUES JUNIOR, D. J.; SENE, G. A.; JAIME, D. G.; VIEIRA, D. M. S. Resistência a penetração em área de pastagem de capim Tifton, influenciada pelo pisoteio e irrigação. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 1p. 232-239, 2012.

VAN GROENIGEN, J. W.; SIDERIUS, W.; STEIN, A. Constrained optimization of soil sampling for minimization of the kriging variance. **Geoderma, Amsterdam**, v. 87, n. 3, p. 239-259, 1999.

VANNI, S. M. **Modelos de regressão: estatística aplicada**. São Paulo: Legmar Informática e Editora, 1998. 177 p.

VIEIRA, S. R. 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**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1, p.1-54.

VILELA, L. et al. Adubação na recuperação e na intensificação da produção animal em pastagens. In: PEDREIRA, C. G. S.; MOURA, J. C. de; FARIA, V. P. de (Ed.). **Fertilidade do solo para pastagens produtivas**. Piracicaba: Fealq, 2004. p. 425-472.

VICENTE, G. C. M. P.; ARAUJO, F. F. Uso de indicadores microbiológicos e de fertilidade do solo em áreas de pastagens. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 1, p. 137-146, 2013.

WEBSTER, R.; OLIVER, M. A. **Statistical methods in soil and land resource survey**. Oxford: Oxford University Press, 1990. 316 p.

WERNER, J. C. et al. Adubação de pastagens. In: PEIXOTO, A. M. et al. (Ed.). **Planejamento de sistemas de produção em pastagens**. Piracicaba: Fealq, 2001. p. 129-156.

ZIMBACK, C. R. L. **Geoestatística**: grupo de estudos e pesquisas agrárias georreferenciadas. Botucatu: Universidade Estadual Paulista, 2003. p. 1-2