UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS

Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água

Dissertação

Técnica geoestatística na avaliação de atributos físico-hídricos dos solos da sub-bacia hidrográfica Santa Rita, Pelotas/RS

Leonir Aldrighi Dutra Junior

Pelotas, 2019

Leonir Aldrighi Dutra Junior

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção de título de Mestre em Ciências.

Orientadora: Profª, Drª Cláudia Liane Rodrigues de Lima

Pelotas, 2019

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

D978t Dutra Junior, Leonir Aldrighi

Técnica geoestatística na avaliação de atributos físico-hídricos dos solos da sub-bacia hidrográfica Santa Rita, Pelotas/RS / Leonir Aldrighi Dutra Junior ; Cláudia Liane Rodrigues de Lima, orientadora. — Pelotas, 2019.

74 f.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2019.

1. Krigagem indicatriz.. 2. Ponto de corte. 3. Geoestatística. 4. Variabilidade espacial. I. Lima, Cláudia Liane Rodrigues de, orient. II. Título.

CDD : 631.4

Elaborada por Gabriela Machado Lopes CRB: 10/1842

Data da defesa: 22 de fevereiro de 2019.

Banca examinadora:

_____
Professora Dra Cláudia Liane Rodrigues de Lima (Presidente)
Departamento de Solos - Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” - UFPel

_____
Prof. Dr. Marcelo Peske Hartwig
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia - IFSul

_____
Professor Dr. Leandro Sanzi Aquino
Centro de Engenharias, UFPel

_____
Dra Marília Alves Brito Pinto (Suplente)
Pós-doutoranda do PPG-Recursos hídricos, UFPel

“O melhor de mim é aquilo que eu ainda não sei”.

Mário Cortella

Aos meus pais, avós e amigos,

Dedico.

Agradecimentos

Primeiramente à Deus, por sempre iluminar meu caminho e me dar forças para seguir em frente lutando pelos meus objetivos e colaborando com a caminhada dos demais.

Aos meus pais, Leonir e Arita, a meu irmão Frederico, minhas avós, Terezinha Lili e Eloisa Helena Rita, a minha tia Bianca, minha prima Alice e meu primo Gabriel e meus avôs Paulo e João (já falecidos), pelo apoio e incentivo, só nós sabemos o quão dura foi nossa batalha, mas com caráter, luta e dedicação colhemos e seguiremos colhendo bons frutos.

Aos meus amigos e colegas, William Borges, Rômulo Nunes, Mauricio Fornalski, Rodrigo Vasconcelos, Lizete Stumpf, Marília Alves, Luana Centeno, Eliana Cadona, Stefan Nachtigall pelo carinho, compreensão, contribuição, ensinamentos e alegrias na construção dessa jornada.

A professora Cláudia Liane Rodrigues de Lima pela orientação em vários anos dedicados ao estudo da física dos solos, e claro, pela amizade construída ao longo da jornada, Ao professor Luis Carlos Timm, pela confiança profissional, pelos desafios, pelos conceitos e discussões enriquecedoras.

Aos professores e funcionários do departamento de solos, por todo respeito e confiança, em especial a Eloy Pauletto, Pablo Miguel, Luiz Fernando Spinelli, seu Paulo e dona Ana.

Aos colegas do Departamento de Solos da FAEM/UFPel pela parceria, construção e convívio, Aos amigos do MACSA e colaboradores, por todos os momentos de dificuldades.

A CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Aos alunos de iniciação, pela contribuição e amizade, em especial a Gabriel Schroeder, Lucas Barbosa, Jefferson e Maicon Mascarello.

A todos e todas que contribuíram para a realização desta humilde contribuição para a ciência e sociedade, o meu singelo agradecimento!

Resumo

DUTRA JUNIOR, Leonir Aldrighi. **Técnica geoestatística na avaliação de atributos físico-hídricos dos solos da sub-bacia hidrográfica Santa Rita, Pelotas/RS,** 2019, 74f. Dissertação (Mestrado em Ciência) – Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Universidade Federal de Pelotas - Brasil, 2018.

Com o crescente aumento populacional é exigido mais energia elétrica e alimentos, com isso a manutenção e preservação deste recurso, se torna pauta importantíssima, para a sustentação das espécies ao longo do tempo, Neste contexto, ganha relevância o planejamento, o ordenamento e a proteção dos cursos naturais, Sendo assim, o estudo dos atributos físicos-hídricos do solo associado à escala de sub-bacia hidrográfica auxilia no entendimento da situação do manejo do solo, dinâmica da água e dos processos hidrológicos da região, O objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial dos atributos físico-hídricos do solo na camada de 0-0,20m, visando identificar e mapear sua condição, com o auxílio da krigagem indicatriz, na sub-bacia hidrográfica Santa Rita, inserida na bacia hidrográfica do arroio Moreira/Fragata, localizada no sul do Rio Grande do Sul, Foram realizadas amostragens de solo em uma malha na sub-bacia, com espaçamento amostral de 300m, onde foram analisados os seguintes atributos do solo: areia, silte argila, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, densidade do solo, condutividade hidráulica do solo saturado e carbono orgânico, Para a análise do comportamento destes, foi realizada a estatística descritiva e posteriormente aplicação da geoestatística, A krigagem indicatriz foi utilizada para auxiliar na compreensão dos fenômenos físico-hídricos da sub-bacia, e assim, identificar áreas com maior ou menor probabilidade de ocorrência de um determinado evento, Os pontos de corte utilizados neste trabalho foram embasados em valores clássicos e amplamente difundidos na ciência do solo, Foi possível caracterizar e quantificar a estrutura de dependência espacial dos atributos físico-hídricos estudados, O método de krigagem indicatriz se mostrou eficiente ferramenta para mapear a probabilidade de ocorrência de atributos físico-hídricos do solo e detectar áreas com problemas de manejo e uso.

Palavras Chaves: Krigagem indicatriz, geoestatística, variabilidade espacial e ponto de corte.

Abstract

DUTRA JUNIOR, Leonir Aldrighi, **Geostatistical technique in the evaluation of physical-water attributes of the soils of the sub-basin Santa Rita, Pelotas / RS,** 2019, 74f. Dissertation (Master's Degree in Science) – Postgraduate Program in Soil and Water Management and Conservation, Federal University of Pelotas, Pelotas – Brasil -2018.

With the increasing of population, further electric energy and food are required, thereby the maintenance and preservation of this resource becomes a very important subject for the sustainability of the species over time, In this context, increases relevance the planning, management and protection of natural courses. Therefore, the study of soil physical-hydric attributes combined to the sub-basin scale support the understanding the soil management situation, water dynamics and hydrological processes in the region. The objective of this work was to evaluate the spatial variability of soil physical-hydric attributes in the 0-0,20m layer, aiming to identify and mapping its condition, with the help of indicator kriging, in the Santa Rita sub-basin, inserted in the basin of the Arroio Moreira / Fragata, located in the south of Rio Grande do Sul, Soil samples were collected in a grid in the sub-basin, with a sample distance of 300m for each point, where the following soil attributes were analyzed: sand, silt, clay, total porosity, macroporosity, microporosity, bulk density, saturated hydraulic conductivity and soil organic carbon, For the analysis of the behavior of these soil attributes, descriptive statistics and subsequent application of geostatistics were performed, Indicator kriging was used to support the understanding of the physical-hydrological phenomena of the sub-basin, and thus to identify areas with a greater or less probability of occurrence of a given event, The cut-offs applied at this work were based on classical values and widely widespread in soil sciences, It was possible to characterize and quantify the spatial dependence structure of the physical-hydic attributes studied. The indicative kriging method proved to be an efficient tool for mapping the soil physical-hydric attributes.

Key words: Indicative kriging, geostatistics, spatial variability and cut-and cuтoπ.

Lista de Figuras

Figura 1. Variável aleatória regionalizada Z(x). 26
Figura 2. Esquema de semivariograma experimental e teórico e os parâmetros que o descrevem. 29
Figura 4. Gráfico da função indicadora para um valor de corte zc. 31
Figura 5. Localização do Estado do Rio Grande do Sul no mapa do Brasil, da bacia hidrográfica do arroio Moreira/Fragata no mapa do Estado do Rio Grande do Sul, da bacia hidrográfica do arroio Moreira/Fragata no mapa do município de Pelotas-Rio Grande do Sul e dos limites de delimitação da sub-bacia Santa Rita dentro da bacia hidrográfica do arroio Moreira/Fragata. 33
Figura 6. Mapa de ocupação e cobertura do solo na sub-bacia hidrográfica Santa Rita, inserida na bacia hidrográfica do arroio Moreira/Fragata, Pelotas-RS. 34
Figura 7. Mapa de distribuição das classes de solos na sub-bacia Santa Rita, inserida na bacia hidrográfica do arroio Moreira/Fragata, Pelotas-RS (Cunha; Siveira, 1996). 35
Figura 8. Mapa de distribuição das classes de declividades do relevo na sub-bacia Santa Rita, inserida na bacia hidrográfica do arroio Moreira/Fragata, Pelotas-RS. ..36
Figura 9. Mapa de distribuição da altitude do terreno na sub-bacia Santa Rita, inserida na bacia hidrográfica do arroio Moreira/Fragata, Pelotas-RS. 37
Figura 10. Esquema da amostragem sistemática do solo (triângulos em preto) na sub- bacia hidrográfica Santa Rita, Pelotas-RS, inserida no mapa de distribuição das classes de solo na sub-bacia. 38
Figura 11. Distribuição das partículas sólidas do solo (argila, silte e areia) na camada de 0-0,20m, na sub-bacia Santa Rita, inserida na bacia hidrográfica do arroio Moreira/Fragata, Pelotas-RS. 46
Figura 12. Semivariograma da indicadora da porosidade total (A); macroporosidade(10%) (B); macroporosidade(16,67%) (C); microporosidade do solo (D); densidade do solo (E) e condutividade hidraúlica do solo saturado (F). 49
Figura 13. Krigagem indicatriz porosidade total (vc=50%). 50
Figura 14. Krigagem indicatriz macroporosidade (vc=10%). 51
Figura 15. Krigagem indicatriz macroporosidade (vc=16,67%). 53
Figura 16. Krigagem indicatriz microporosidade (corte 33,33%). 54
Figura 17. Mapa de krigagem indicatriz para a variável densidade do solo. 55

Figura 18. Mapa de krigagem indicatriz para a variável condutividade hidraúlica do solo saturado. 56

Lista de Tabelas

Tabela 1. Valores de corte associado a cada atributo físico-hídrico do solo, na camada de 0-0,20m. 42
Tabela 2. Estatística descritiva dos diferentes atributos físico-hídricos do solo na sub-bacia hidrográfica Santa Rita. 43
Tabela 3. Teste não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov ao nível de 5% dos atributos físico-hídricos na sub-bacia Santa Rita. 45
Tabela 4. Distribuição percentual das classes texturais do solo para a camada de 0-0,20m. 46
Tabela 5. Parâmetros dos modelos dos semivariogramas ajustados para os atributos físico-hídricos do solo que apresentaram dependência espacial. 47
Tabela 6. Classificação do grau de dependência espacial dos atributos físicos-hidrícos do solo. 48

Sumário

2. Hipóteses 16
3. Objetivos 16
3.1. Objetivo geral 16
3.2. Objetivos específicos 16
4. Revisão de literatura 17
4.1. Características e atributos físico-hídrico do solo 17
4.1.1. Frações granulométricas 17
4.1.2. Densidade do solo 18
4.1.3. Porosidade total, macroporosidade e microporosidade 19
4.1.4. Condutividade hidráulica do solo saturado 20
4.1.5. Carbono orgânico do solo 22
4.2. Variabilidade espacial em escala de bacia hidrográfica 24
4.3. Análise da variabilidade espacial dos atributos do solo 25
4.3.1. Geoestatística 25
4.3.2 Semivariograma 27
4.3.3. Krigagem indicatriz 29
5. Material e métodos 32
5.1. Localização e caracterização da área de estudo 32
5.2. Estabelecimento da malha experimental 37
5.3. Amostragem de solo e análises laboratoriais 39
5.4. Metodologia estatística 39
5.4.1. Determinação dos pontos de corte 41
6. Resultados e discussão 43
6.1. Análise estatística exploratória dos dados 43
6.2. Análise geoestatística 47
7. Conclusões 57
8. Referências 58
9. Anexos 69

1. Introdução geral

A Terra consiste no único planeta habitado do universo em que se tem conhecimento, esta coberta pelos elementos que sustentam a vida: ar, água e solo, Os solos são essenciais para a vida e sua qualidade determina a capacidade da terra em sustentar a vida animal e a dos humanos. Contudo, estamos vivendo em uma época em que as atividades antrópicas estão alterando a natureza desses elementos.

A água é um recurso natural finito, vulnerável e essencial para a manutenção da vida e do meio ambiente. Suas modalidades de consumo são: produção energética, atividade industrial, agricultura e abastecimento humano, Segundo o relatório mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos (WWAP, 2014), para o ano de 2030, estima-se que o consumo populacional de alimentos será 35% maior, 40% a mais de água e 50% a mais de energia, Já para 2050, a demanda por alimentos e por energia crescerá 70% e 60%, respectivamente.

Com o crescente aumento populacional é exigido mais energia elétrica e alimentos, com isso a manutenção e preservação deste recurso, se torna pauta importantíssima, para a sustentação das espécies ao longo do tempo. Neste contexto, ganha relevância o planejamento, o ordenamento e a proteção dos cursos de água.

Em termos globais, estima-se que o Brasil possua cerca de 12% da disponibilidade de água doce do planeta (ANA, 2019). Essa aparente abundância em território brasileiro, faz com que seu uso seja realizado de forma indiscriminada, Alguns fatores preocupam essa dinâmica de uso da água como: o desmatamento acelerado, a ocupação das áreas de mananciais, a intensificação da emissão de gases estufa, erosão provocada pelo manejo inadequado do solo, assim como a sua impermeabilização contribuem para o esgotamento desse recurso vital.

A ocupação dos solos, tanto pelas atividades agrícolas quanto urbanas, demanda um planejamento adequado e o conhecimento das características deste recurso natural, sem os quais, os impactos ambientais resultantes podem ter consequências irreversíveis e causar prejuízos consideráveis de ordem social, econômica e de conservação dos ecossistemas (DEMARCHI; ZIMBACK, 2014).

Além disso, o manejo sustentável dos recursos naturais também depende do estado de conservação ambiental de uma bacia hidrográfica (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2014), uma vez que cada unidade possui características físicas, ecológicas, econômicas e hidrológicas.

Informações em escala de bacia hidrográfica com amostras espacialmente distribuídas ainda são escassas, visto que a maior parte dos estudos publicados quantificam a variabilidade espacial dos atributos físico-hídricos do solo em parcelas experimentais ou áreas de produção agrícola em escala de propriedade rural (REZA et al,, 2015).

O estudo dos atributos físicos-hídricos do solo associado à escala de sub-bacia hidrográfica auxilia no entendimento da situação do manejo do solo, dinâmica da água e dos processos hidrológicos da região, com isso, podemos avaliar a condição da sub-bacia e assim medidas de ações junto aos produtores podem ser tomadas no âmbito do planejamento local e regional. Estudos em bacias e sub-bacias hidrográficas tem se tornado cada vez mais frequente, pois permite conhecer detalhadamente a variabilidade e a ocorrência dos processos naturais e antrópicos.

Dentre os inúmeros métodos de estudos em bacias hidrográficas, tem-se destacado as amostragens em transeção (em uma direção) e em malha ou “grid” (duas direções), com o auxílio da ferramenta geoestatística.

O semivariograma é utilizado para avaliar o comportamento espacial da variável regionalizada, em termos de zona de influência em torno de uma amostra, direções de anisotropia, Neste trabalho foi utilizada a modelagem ominudirecional, ou seja, considerando o comportamento da variabilidade espacial isotrópico e o grau de continuidade dos dados em relação à distância (GRINGARTEN; DEUTSCH, 2001).

A krigagem indicatriz foi utilizada para auxiliar na compreensão dos fenômenos físico-hídricos da sub-bacia, e assim, identificar áreas com maior ou menor probabilidade de ocorrência de um determinado evento.

A bacia hidrográfica do arroio Moreira/Fragata, localizada no sul do Rio Grande do Sul, representa uma unidade de planejamento e gestão ambiental fundamental para a região, por causa da sua importância para o abastecimento de água para a população de Pelotas. É divida em sub-bacias, cada uma com características e especificidades diferentes no que se refere ao uso, manejo e

ocupação dos seus recursos naturais. Sendo assim, o estudo desta sub-bacia é estratégico e de extrema relevância para região.

2. Hipóteses

- Os atributos físico-hídricos do solo da sub-bacia hidrográfica Santa Rita, apresentam diferentes padrões de variabilidade espacial;
- As técnicas geoestatísticas podem ser utilizadas para quantificar os diferentes padrões de variabilidade espacial dos atributos físico-hídricos do solo da sub-bacia hidrográfica Santa Rita;
- A krigagem indicatriz pode ser empregada para identificar áreas problemáticas quanto ao manejo e uso do solo,

3. Objetivos

3.1. Objetivo geral

Avaliar a variabilidade espacial dos atributos físico-hídricos do solo na camada de 0-0,20m, visando identificar e mapear com o auxílio da krigagem indicatriz, na sub-bacia hidrográfica Santa Rita, inserida na bacia hidrográfica do arroio Moreira/Fragata, localizada no sul do Rio Grande do Sul.

3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar e quantificar a estrutura de dependência espacial dos atributos físico-hídricos do solo, determinados na camada de 0-0,20m, em pontos amostrais de uma malha experimental estabelecida na sub-bacia hidrográfica Santa Rita com o auxilio das ferramentas da estatística clássica e da geoestatística;

- Mapear os diferentes padrões de comportamento espacial dos atributos físico-hídricos do solo na sub-bacia hidrográfica Santa Rita, por meio da krigagem indicatriz;
- Identificar áreas com problemas de manejo e uso do solo, utilizando a krigagem indicatriz.

4. Revisão de literatura

4.1. Características e atributos físico-hídrico do solo

4.1.1. Frações granulométricas

O solo é considerado um sistema trifásico e heterogêneo, representado pelas fases sólida, líquida e gasosa. A caracterização dá-se por meio do estudo da fase sólida, pois a fase liquida e gasosa oscilam no tempo e espaço que a fase líquida e gasosa possui em sua composição. A fase sólida é representada pela fração mineral e matéria orgânica, a parte mineral é constituída de partículas unitárias, resultantes do intemperismo do material de origem do solo, apresentando diversas formas, tamanhos, arranjos e composições. O conjunto de partículas de vários tamanhos dá origem à classe textural do solo (FERREIRA, 2010).

A mineralogia do solo está relacionada com a proporção da distribuição das partículas do solo em uma determinada massa seca de solo, de acordo com o tamanho, a qual permite classificar os componentes sólidos em classes de acordo com seus diâmetros, envolvendo conceitos quantitativos e qualitativos. Quantitativamente, está relacionada com as proporções relativas dos vários tamanhos de partículas num dado solo, pois algumas são grandes o suficiente para serem vistas a olho nu, ao passo que outras são tão diminutas que apresentam propriedades coloidais, cujas frações texturais básicas ou primárias são a areia, o silte e a argila (REICHARDT; TIMM, 2016).

A distribuição das partículas do solo é de difícil alteração natural no tempo, sendo, considerada uma característica inerente ao solo. As diferentes proporções destes constituintes são agrupadas em classes texturais e representadas no triângulo de classificação textural, de acordo com o apresentado pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) (BRADY; WEIL, 2013).

Para o entendimento das características, propriedades, comportamento e manejo do solo é de suma importância a determinação das proporções dos diferentes tamanhos de partículas, por exemplo, para a classificação do solo em diferentes horizontes, a mineralogia é muitas vezes o primeiro e mais importante atributo a ser determinado, sendo que a partir desta, diversas conclusões e decisões importantes podem ser tomadas (BRADY; WEIL, 2013).

Os processos que ocorrem no solo, como capacidade de retenção de água, fluxo de nutrientes, dinâmica da água, forma e estabilidade estrutural do solo, erosão do solo, estão condicionados à distribuição das frações e das partículas do solo (DELBARI et al,, 2011). A textura é um dos principais atributos dos solos, dada a sua estreita relação com a fixação de íons e moléculas, retenção de água, manifestação de forças físicas de adesão e coesão e troca catiônica (AZEVEDO; BONOUMÁ, 2004).

4.1.2. Densidade do solo

A densidade do solo, definida como sendo o quociente de massa de sólidos por seu volume, é afetada por cultivos que alteram a estrutura e, por consequência, o arranjo e o volume de poros (KLEIN, 2012).

A densidade de um solo reflete o grau de adensamento, quando resultante de causas naturais, ou compactação, quando resultante da ação antrópica, em função do uso e manejo. Está diretamente relacionada a fenômenos de retenção e armazenamento de água, ao movimento de água, a aeração do solo e ao desenvolvimento do sistema radicular (REICHARDT; TIMM, 2016).

É de grande importância para os estudos de solos, pois permite inferir sobre outros atributos físicos. Apresenta estreita relação com outros atributos, a grande maioria das pesquisas converge para o fato de que, com o seu incremento, ocorre redução da porosidade total, macroporosidade, condutividade hidráulica e aumento da microporosidade e da resistência mecânica do solo à penetração, acarretando em diminuição da produtividade agrícola (MELO FILHO et al,, 2006; SANTOS et al,, 2006; ORTIGARA et al,, 2014).

4.1.3. Porosidade total, macroporosidade e microporosidade

A porosidade total é definida como o volume de poros totais do solo ocupado pelo ar e/ou pela água. Já os macroporos e microporos são definidos quanto ao seu tamanho, os poros com diâmetro maior que 0,05 mm são ditos como macroporos, constituindo a macroporosidade, enquanto os poros com diâmetro menor que 0,05 mm correspondem aos microporos (RICHARDS, 1965). Os poros são gerados pelo arranjo das partículas sólidas, e influenciam na aeração, na condução, na retenção de água, na resistência à penetração e na ramificação das raízes no solo e, consequentemente, no aproveitamento de água e nutrientes disponíveis (HILLEL, 2003).

A microporosidade está relacionada com os poros dentro dos agregados, ou seja, a porosidade intra-agregados, que são os principais responsáveis pela retenção e armazenamento de água, já que as forças que atuam são principalmente as capilares, diferentemente dos macroporos que são poros inter agregados, sendo os responsáveis pela aeração e drenagem da água no solo. A macroporosidade é considerada um excelente indicador de degradação do solo, devido à sua relação com a compactação (STOLF et al,, 2011).

A porosidade é originária do arranjo aleatório das partículas sólidas, sendo a fração volumétrica do solo ocupada com ar ou água, representando o local onde circulam a solução (água e nutrientes) e o ar. Portanto, é o espaço onde ocorrem os processos dinâmicos do ar e da solução do solo (HILLEL, 1970). Os poros no solo variam amplamente quanto à forma, comprimento, largura, tortuosidade e, principalmente continuidade, determinando o papel que cada tipo desempenha no sistema solo-planta-atmosfera. Os poros podem ser agrupados de forma simplificada em macroporos (> que 0,05 mm) e microporos (< que 0,05 mm) (FERREIRA, 2010; BRADY; WEIL, 2013).

Macroporos também são denominados de porosidade de aeração representam o volume de poros vazios, sendo os responsáveis pela difusão de gases junto ao sistema radicular (STEPNIEWSKI et al,, 1994), Alterações na estrutura do solo ocasionadas pela compactação, especificamente em regiões úmidas, reduzem a porosidade de aeração. Trabalhos têm sido publicados na literatura adotando valores de 10% para a porosidade de aeração (VOMOCIL; FLOCKER, 1961; GRABLE; SIEMER, 1968; Reinert et al,, 2001; KUNZ et al,, 2013).

Os microporos são aqueles poros que, geralmente estão preenchidos com água em condições de campo e a maior parte da água retida nestes poros não está disponível às plantas (BRADY; WEIL, 2013).

Os poros do solo representam o reservatório de água, capazes de assegurar muitas vezes sua disponibilidade, mesmo durante longos períodos de estiagem (BRAGA, 2005). A importância desse conjunto de poros depende, dentre outros fatores, do tipo de cultivo, condições climáticas, do lençol freático, possibilidade de irrigação e controle ambiental (FERREIRA, 2010).

Reinert et al, (2001) afirmam que o suprimento de oxigênio para as raízes tem sido considerado crítico quando o espaço aéreo do solo é de aproximadamente 0,10 dm dm^{-1}, implicando em falta de oxigênio às raízes quando a aeração do solo é inferior a este limite. No entanto, existem culturas que exigem espaço aéreo superior a 10 dm dm^{-1} para se desenvolverem e outras que se desenvolvem com aeração inferior a 10 dm dm^{-1}.

4.1.4. Condutividade hidráulica do solo saturado

Infiltração é o processo no qual a água, proveniente da chuva ou irrigação, atravessa a superfície do solo. A taxa de infiltração diminui com o tempo até atingir valor constante, equivalente à condutividade hidráulica do solo saturado, influenciando todo o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica (JULIÀ et al,, 2004). Por essa razão, a condutividade hidráulica do solo saturado é um atributo hidrológico imprescindível para a modelagem chuva-vazão, dimensionamento de sistemas de irrigação e drenagem, transporte de solutos no solo, recarga de aquíferos, escoamento superficial e transporte de sedimentos (ALVARENGA et al,, 2011).

A condutividade hidráulica do solo saturado (K_{sat}), devido a sua importância em informar sobre a capacidade de transporte de água, solutos e substâncias químicas deve ser bem caracterizada, pois de um modo geral, seu valor é usado nos cálculos de fluxos de água e solutos no solo (MESQUITA et al,, 2004).

A medida da K_{sat} e da macroporosidade é proveniente do mesmo espaço poroso, portanto, entre estas variáveis, é de se esperar que haja uma correlação,

uma vez que são relatadas, inclusive, para uma mesma escala de comprimento interno da geometria dos poros (MESQUITA et al,, 2004).

A determinação, no entanto, da condutividade hidráulica do solo saturado em condições de campo de forma a representar toda a área de uma sub-bacia hidrográfica é cara, demorada e complexa, especialmente pelo fato desse atributo apresentar elevada variabilidade espacial (SEPASKHAH; ATAEE, 2004; FALLICO et al,, 2005; MONTENEGRO; MONTENEGRO, 2006). Julià et al, (2004) destacam, que a combinação de relevo, classes variadas de solos e diferentes usos e manejos manifestam um território com comportamento hidrológico diversificado e complexo (ALVARENGA et al,, 2011).

A K_{sat} é um parâmetro essencial para o manejo do solo e da água relacionados à ecologia, à agricultura e ao meio ambiente (YAO et al,, 2015). É também indispensável na avaliação dos processos de infiltração, irrigação e drenagem (AIMRUN et al,, 2004).

A K_{sat} é um importante atributo do solo que pode afetar as taxas de transporte de água e de solutos através do solo, além de influenciar os padrões de infiltração e a geração de escoamento superficial (BUTTLE; HOUSE, 1997). Sendo, caracterizada por uma grande variabilidade espacial devido aos efeitos combinados de processos físicos, químicos e biológicos, os quais atuam com diferentes intensidades e em diferentes escalas (SOBIERAJ et al,, 2004).

A variabilidade espacial da K_{sat} é uma característica inerente ao solo, que surge desde o momento da sua formação até que alcance uma condição de equilíbrio dinâmico, mesmo atingindo este estado, a variabilidade espacial persiste (MENEZES et al,, 2006). Na literatura são apresentadas análises estatísticas sobre a variabilidade dos atributos do solo mostrando que alguns atributos como aqueles relacionados à dinâmica da água no solo, variam sensivelmente, alcançando um CV de 200%, A K_{sat} se destaca como um atributo de alta variabilidade, podendo até não apresentar uma estrutura de dependência espacial definida (MENEZES et al,, 2006).

Apesar da K_{sat} uma propriedade com grande variabilidade espacial, dificultando a diferenciação entre manejos, ela tem sido usada para caracterizar a qualidade estrutural do solo, sendo analisada juntamente com outras propriedades físico-hídricas (LIBARDI, 2005), Essa propriedade representa o volume de um fluido que passa por um corpo sólido em um determinado tempo (LIBARDI, 2005). No caso do sistema solo, o fluido é a solução – tratada aqui simplesmente como água do solo

– e o corpo sólido são as partículas minerais e orgânicas, Portanto, uma vez alterada a distribuição e o arranjo dos poros do solo, as propriedades de condutividade hidráulica também variam (BAGARELLO, 1997).

Embora exista um avanço importante nas técnicas de determinação direta de K_{sat}, essas técnicas ainda requerem intensa mão-de-obra, são morosas demandam elevados custos, especialmente para aplicações em grande escala (SAXTON; RAWLS, 2006).

Segundo Reynolds e Zebchuk (1996), infiltração, drenagem e a contaminação de água subterrânea por produtos químicos são fortemente influenciadas pela magnitude e distribuição espacial da condutividade hidráulica do solo saturado, A retenção e a condução de água no solo são favorecidas por um sistema poroso estável e bem distribuído no perfil. Os poros maiores são responsáveis pela aeração do solo e pela condução de água em condições saturadas, enquanto que os poros menores atuam na retenção e condução de água em condições não saturadas, A redução da proporção de poros maiores pode restringir o fluxo saturado de água (RIBEIRO et al,, 2007) e comprometer a entrada e redistribuição de água no perfil do solo. Além disso, o fluxo de ar e de água no solo depende das propriedades dos fluidos, como viscosidade e densidade, além da macroporosidade do solo, que, por sua vez, é função da mineralogia e da estrutura e estas são influenciadas pela distribuição, forma e tortuosidade dos poros e da porosidade total (REICHARDT; TIMM, 2016).

4.1.5. Carbono orgânico do solo

Outro sensível indicador da qualidade do solo é o carbono orgânico do solo (CO), o qual está diretamente relacionada ao aporte de material orgânico, Na agricultura, esse aporte está condicionado aos cultivos empregados e ao uso e manejo do solo (ROSA et al,, 2018). Com o CO, podemos obter a matéria orgânica do solo, por meio da multiplicação pelo fator 1,724.

A matéria orgânica do solo (MOS) faz parte de um equilíbrio do ciclo do carbono total na terra (sistema terrestre, oceanos e atmosfera) e, recentemente, tem atraído grande interesse devido ao fenômeno do aquecimento global e a perspectiva

de se utilizar o solo 22 como um reservatório do carbono liberado à atmosfera (CO_2) pela atividade humana (SILVA et al,, 2010).

A MOS desempenha papel importante na qualidade do solo para o crescimento das plantas (TORMENA et al,, 2004), influenciando em inúmeros processos, como a agregação, porosidade, infiltração de água, disponibilidade de água e nutrientes e complexidade de elementos tóxicos no solo, Além de contribuir com a fertilidade química e para a vida da biota do solo, tem um efeito positivo na conservação de atributos físicos. A estabilidade estrutural depende da MOS, em geral, solos com maiores teores de carbono orgânico, apresentam menor risco de degradação estrutural (CRUZ et al,, 2003; CRUZ et al,, 2010).

A MOS afeta diretamente ou indiretamente o comportamento dos atributos indicadores da qualidade do solo, como a estabilidade de agregados (CHEN et al,, 2014; ZHAO et al,, 2017), densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade (WANG et al,, 2014), por isso torna-se importante a sua determinação.

A matéria orgânica refere-se a todos os compostos que contém carbono orgânico no solos, incluindo os microrganismos vivos e mortos, resíduos de plantas e animais parcialmente decompostos, produtos de sua decomposição e substâncias orgânicas microbiológicas e/ou quimicamente alteradas (MEURER, 2012). A compreensão e a quantificação do impacto dos sistemas de uso e manejo sobre os teores de CO e propriedades físicas do solo são fundamentais para o desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis (VIANA et al,, 2011).

A dinâmica de transformação do CO afeta diretamente a qualidade do solo (SANTOS; TOMM, 2003; HERMLE et al,, 2008), pois é componente essencial nos diversos processos químicos, físicos e biológicos que ocorrem nos ecossistemas terrestres, dentre os quais, se destacam a estruturação do solo, o suprimento de nutrientes, fonte de carbono e energia para os microrganismos, redução da contaminação de água de superfície e subterrânea pelo fenômeno de adsorção de poluentes, afeta a disponibilidade de ar e água às raízes das plantas e o desenvolvimento do sistema radicular (CONCEIÇÃO et al,, 2005).

O cultivo de espécies diferentes e práticas de manejo que adicionem matéria orgânica nos solos contribuem para uma reorganização das partículas do solo, promovendo a melhoria da qualidade de agregação e, consequentemente da estruturação (RIBON et al,, 2014), Com isso, a matéria orgânica é um componente

bastante sensível às condições ambientais e às mudanças nas práticas de manejo agrícola (SILVA et al,, 2012).

A matéria orgânica do solo é originada pela decomposição dos resíduos de plantas e animais, sendo formada por diversos compostos de carbono em vários graus de alteração e interação entre seus constituintes, mineral, gasosa e líquida (SILVA et al,, 2010).

A MOS, além de contribuir na fertilidade e na biota do solo, tem um efeito positivo na conservação de atributos físicos, A estabilidade estrutural depende da MOS, verificando-se menor risco de degradação estrutural e de compactação em solos com maiores teores de carbono orgânico (CRUZ et al,, 2010),

O carbono orgânico do solo influência direta e indiretamente as propriedades físicas, de modo que a redução do está relacionada com solos menos férteis e/ou degradados (CARDOSO et al,, 1992), A fertilidade e a condição de degradação de um solo pode ser modificada pelos sistemas de uso e manejo (BLANCO-CANQUI et al,, 2009), via modificações nos teores de CO e, por consequência, solos com teores mais elevados tentem a apresentarem características físico-hídricas mais interessantes para práticas agrícolas e sua conservação,

4.2. Variabilidade espacial em escala de bacia hidrográfica

As bacias hidrográficas são consideradas unidades básicas de recursos hídricos e o gerenciamento de bacias hidrográficas visa racionalizar o uso de recursos hídricos e terrestres para uma produção ótima com menos impactos adversos para os recursos naturais (SHARMA et al,, 2006), O conceito de gerenciamento de bacias hidrográficas reconhece os vínculos entre geomorfologia, relevo, uso da terra e manejo dos solos (MISHRA; NAGARAJAN, 2010),

A variabilidade espacial dos atributos dos solos é resultado de processos pedogenéticos e pode ser avaliada por levantamentos e análises dos solos (SILVA et al,, 2010), Diante da importância das bacias hidrográficas como provedoras de água aos mais diversos usos e como unidades de planejamento ambiental e gestão dos recursos hídricos, estudos e análises são cada vez mais necessários (TUCCI, 2002), Segundo RUFO e CRISTO, (2014), adotar a bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão possibilita uma melhor leitura do quadro de

potencialidades e suscetibilidade a algum processo por meio do diagnóstico ambiental,

Os efeitos potenciais das alterações do uso, manejo e cobertura do solo, principalmente ligados à degradação do solo, em diferentes escalas espaciais têm sido avaliados em diferentes locais e ambientes ao redor do mundo, Estes estudos incluem escalas de pequenas bacias hidrográficas (FAVIS-MORTLOCK; BOARDMAN 1995; PRUSKI; JORDAN et al,, 2005; VAN ROMPAEY et al,, 2005; CEBECAUER; HOFIERKA, 2008; OLIVEIRA, 2015; SOARES, 2018), bem como escalas regionais (YANG et al,, 2003),

Diferenças topográficas locais e propriedades do solo, dentre elas teor de argila, tipo de solo e umidade do solo (DJUKIC et al,, 2010; LEIFELD et al,, 2005) e a cobertura do solo incluindo as espécies vegetais ocorrentes e o porte da vegetação (LUYSSAERT et al,, 2008; ZHOU et al,, 2006), podem resultar em uma grande variabilidade do CO em escalas de sub-bacia, bacia hidrográfica e regional,

A variabilidade espacial do solo está associada a diferentes fatores, tais como: processos que envolvem a formação do solo, variações climáticas, práticas de manejo e outros, A descrição do padrão espacial de um atributo do solo possibilita a caracterização de subáreas que poderão ser tratadas de uma forma individualizada (NIELSEN; WENDROTH, 2003), Essa descrição é possível desde que se considere a posição no espaço dos valores amostrais e a estrutura de dependência espacial do atributo. Quando um determinado atributo varia de um local para outro, com algum grau de organização ou continuidade, expresso através da dependência espacial, a estatística clássica e a geoestatística podem ser usadas conjuntamente no estudo da variabilidade espacial (VIEIRA, 2000; REICHARDT; TIMM, 2016).

A variabilidade espacial do carbono orgânico do solo é mais intensa em áreas de topografia acidentada (MILLER et al,, 1988). Alguns estudos (SI; ZELEKE, 2005; SHE et al,, 2014) sugerem que atributos topográficos e propriedades do solo relacionadas à mineralogia, estrutura do solo e CO afetam a variabilidade espacial dos parâmetros físico-hídricos do solo (SHE et al,, 2017).

4.3. Análise da variabilidade espacial dos atributos do solo

4.3.1. Geoestatística

A geoestatística surgiu por volta de 1950, com o engenheiro Daniel Krige que procurava uma maneira de estimar os teores de ouro em uma mina na África do Sul, com a finalidade de aumentar a eficiência e melhorar o planejamento na sua exploração (LANDIM, 2006). Ele observou que era inviável estimar o conteúdo de ouro em blocos mineralizados sem levar em consideração o volume e a localização das amostras, Mais tarde, Matheron (1963), baseado nas observações de Krige (1951), desenvolveu a Teoria das Variáveis Regionalizadas, definida como uma função espacial numérica que varia de um local para outro, com uma continuidade espacial aparente e cuja variação não pode ser representada por uma função matemática simples, sendo essa continuidade estimada pelo semivariograma.

Diante disso, o termo geoestatística surgiu para enfocar o estudo estatístico de um fenômeno natural, por sua vez, caracterizado pela distribuição no espaço de uma ou mais variáveis, denominadas "variáveis regionalizadas" (JOURNEL; HUIJBREGTS, 1978), tendo como objetivo a caracterização espacial de uma variável de interesse por meio do estudo de sua distribuição e variabilidade espacial, com determinação das incertezas associadas (YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

Na teoria das variáveis regionalizadas, Z(x) pode ser definido como uma variável aleatória que assume diferentes valores Z em função da posição x dentro de uma zona ou região S, e representa uma posição geográfica por meio de pares de coordenadas (xi, yi) (Figura 1). O ponto de referência para o sistema de coordenadas é arbitrário e fixado a critério do interessado (VIEIRA, 2000), O conjunto de variáveis Z(x) medidas em toda a área S pode ser considerado uma função aleatória Z(x) uma vez que, segundo Isaaks e Srivastava (1989), são variáveis aleatórias, regionalizadas e assume-se que a dependência entre elas é especificada por algum mecanismo probabilístico.

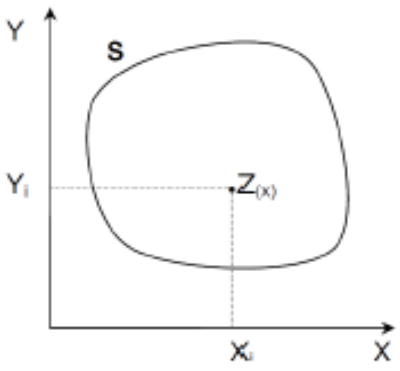

Figura 1**.** Variável aleatória regionalizada Z(x).

Segundo Soares (2006), uma função aleatória apresenta diversos graus de estacionariedade, principalmente a de 1ª e de 2ª ordem, na qual a de 1ª supõe que as variáveis aleatórias possuem médias iguais, o que raramente ocorre e a de 2ª tem como base uma variância finita e que a correlação entre as duas variáveis é independente da localização.

Segundo Vieira et al,, (2002), para a geoestatística os valores medidos em uma determinada região estão de alguma forma em concordância com a distribuição espacial, logo, as observações tomadas a curtas distâncias devem ser mais semelhantes do que aquelas a distâncias maiores. A estimativa da dependência entre amostras vizinhas no espaço pode ser realizada por meio da autocorrelação que é de grande utilidade quando se está trabalha com amostragem em uma direção. Quando a amostragem envolve duas direções, o instrumento mais indicado na estimativa da dependência entre amostras é o semivariograma, que analisa o grau de dependência espacial entre amostras dentro de uma área, além de definir parâmetros para a estimativa de valores para locais não amostrados, através da técnica de krigagem.

Inicialmente a geoestatística aplicava-se somente em geologia mineira na lavra e prospecção, como nos trabalhos de Journel e Huijbregts (1978), Valente (1982) e Yamamoto (2001). Posteriormente, sua aplicação estendeu-se para outros campos como cartografia, climatologia, geologia ambiental, geotecnia, hidrogeologia, pedologia e agricultura de precisão (LANDIM, 2006).

Quando se utiliza de ferramentas da geoestatística, podemos identificar na região amostrada, características e necessidades que requerem manejos diferenciados. Desta forma, é possível avaliar as respostas dos atributos do solo às práticas de manejo adotadas, bem como minimizar os efeitos negativos das práticas realizadas de maneira ineficiente na produtividade agrícola (RIBEIRO et al,, 2016).

4.3.2 Semivariograma

O semivariograma é uma ferramenta básica de suporte às técnicas de krigagem, que permite representar quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado no espaço (HUIJBREGTS, 1975). Para avaliar se há dependência

espacial entre as amostras utiliza-se o semivariograma, que mede e descreve a dependência espacial e expressa o grau de semelhança entre o ponto e os seus vizinhos (VIEIRA, 2000).

A função para obtenção do semivariograma mede a variância entre pontos separados por uma distância, Assim, para pontos próximos, a diferença é pequena e, portanto, a variância é pequena, Conforme a distância aumenta, os valores dos pontos tomam-se mais diferentes e, consequentemente, a variância aumenta (GOVAERTS, 1997; ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989), Muitas vezes, a variância se estabiliza em tomo de uma variância máxima, a partir de certa distância, Isso significa que, mesmo com o aumento da distância, a função variograma irá oscilar ao redor da variância máxima, denominada patamar (YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

A estimativa da dependência entre amostras vizinhas no espaço pode ser realizada através da autocorrelação que é de grande utilidade quando se está fazendo amostragem em uma direção, Quando a amostragem envolve duas direções (x,y) o instrumento mais indicado na estimativa da dependência entre amostras é o semivariograma, que analisa o grau de dependência espacial entre amostras dentro de uma área, além de definir parâmetros para a estimativa de valores para locais não amostrados, através da técnica de krigagem (ANDRIOTTI, 2013).

O semivariograma é um gráfico que representa a estimativa das semivariâncias dos dados, em relação ao número (h) de vetores (lag ou espaçamento) que os separa. A estimativa das semivariâncias pode ser obtida pela equação 1 (REICHARDT; TIMM, 2016).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} \left[Z_{(xi+h)} - Z_{(xi)} \right]^2 \qquad (1)$$

Onde: γ(h) é a semivariância dos dados distantes entre si de um número h de vetores de espaçamento, $Z_{(xi+h)}$ e $Z_{(xi)}$ são os pares de valores medidos separados por um vetor h, n(h) é o número de pares de valores [z(xi) - z(xi+h)] separados pelo vetor h, e z são os valores medidos da variável Z em estudo, Cabe ressaltar que

esta equação é conhecida como estimador clássico de semivariância ou estimador de Matheron (1963).

Após obtenção do semivariograma experimental é ajustada a curva que proporcione a máxima correlação possível com os valores experimentais de semivariância, O modelo ajustado é chamado de modelo teórico do semivariograma, Na região onde se observa a continuidade espacial, ferramentas da geoestatística podem ser aplicadas, Ajustar do modelo ao semivariograma experimental é de grande importância, o modelo ajustado deve se aproximar ao máximo da descrição do fenômeno no campo (YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

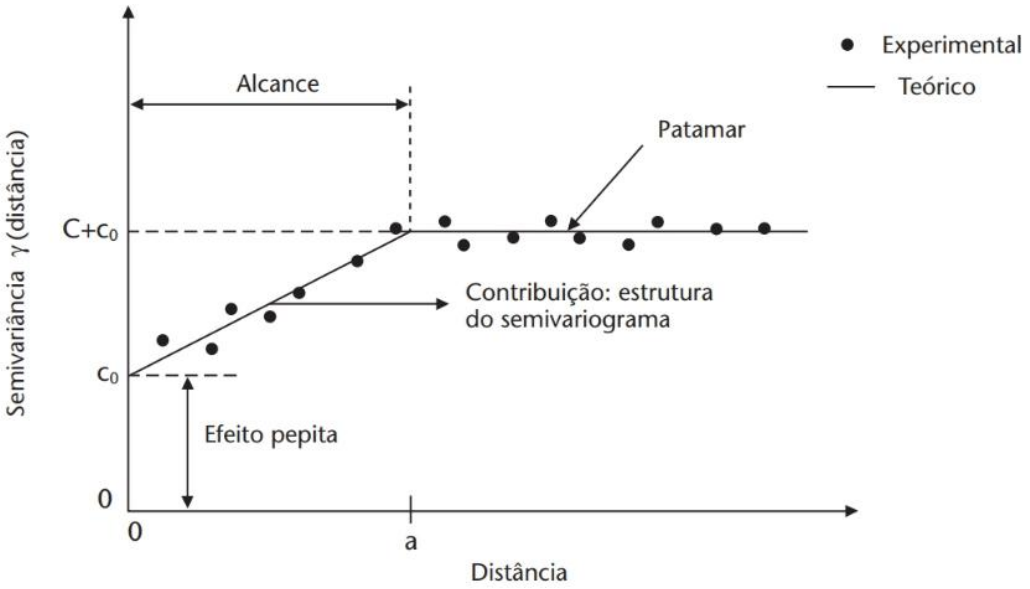

Figura 2. Esquema de semivariograma experimental e teórico e os parâmetros que o descrevem.

Fonte: Reichardt; Timm (2016)

4.3.3. Krigagem indicatriz

Com a tradução do frânces, o termo krigeage e do inglês kriging, foi cunhado pela escola francesa de geoestatística em homenagem ao engenheiro de minas sul-africano e pioneiro na aplicação de técnicas geoestatísticas em avaliação de áreas de extração de ouro, Daniel G, Krige (YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

A Krigagem é a designação genérica adotada em geoestatística para o conjunto de métodos dos mínimos-quadrados baseados na combinação linear Z*(x0) dos pontos amostrais, enquanto considerados interdependentes pelas funções

covariância ou semivariograma, Dentre as formas mais comuns de krigagem pode-se citar a Krigagem Simples, Krigagem Ordinária, Krigagem Indicatriz, Krigagem Universal, entre outras (DEUTSCH; JOURNEL, 1992), Abaixo temos um esquema que demonstra os caminhos que uma variável pode assumir dentro da análise geoestatística.

A krigagem é uma técnica da geoestatística utilizada para estimar valores em locais não amostrados, baseado na teoria das variáveis regionalizadas e com capacidade de identificar e quantificar a variabilidade espacial dos atributos do solo e das culturas, no espaço. A krigagem indicatriz passa a ser interessante por ter como objetivo indicar a probabilidade de ocorrência desse valor, e não apenas determinar um único valor, como a krigagem ordinária (LANDIM; STURARO, 2002).

A krigagem indicatriz é um método de interpolação não linear que consiste na aplicação da Krigagem Ordinária sobre uma variável transformada, isto é, a variável resultante da aplicação de uma função indicadora dicotômica (LANDIM; STURARO, 2002).

Na krigagem indicatriz os dados são transformados em variáveis categóricas, realizando uma transformação matemática não linear, denominado de codificação por indicação, Seu objetivo não é apenas estimar um determinado valor, mas definir áreas com maior ou menor PROBABILIDADE de ocorrência de um evento (SILVA; LIMA, ZUCOLOTO, 2011; YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

Landim; Sturaro (2002) e Yamamoto; Landim (2013) descreveram que o procedimento estabelecido para indicar os pontos de cortes na krigagem indicatriz podem ser realizados em função dos percentis, decis e/ou quartis de uma função acumulada ou até mesmo da existência ou ausência da variável estudada, Em se tratando da existência ou não do atributo estudado o procedimento é a transformação e codificação arbitrária, em zero (0) e um (1), dos dados originais em valores que estão acima ou abaixo de um determinado nível de corte,

A aplicação dessa técnica resulta em um novo conjunto de dados, os quais serão utilizados para estimar valores de distribuição em um determinado local, cuja função pode ser ajustada pelo semivariograma (LANDIM; STURARO, 2002).

Na krigagem indicatriz, o objetivo passa a ser o de definir áreas com maior ou menor probabilidade de ocorrência de um determinado evento, A krigagem indicatriz requer que os valores do conjunto de dados amostrais sejam modificados

segundo uma transformação não linear f(x) =0 ou f(x)=1, Consiste em transformar uma variável aleatória contínua em uma variável binária definindo o nível de corte, ou seja, transformar valores que estão abaixo de um determinado valor de corte em “0” e os que estão acima em “1”, ou o contrário, também pode ser utilizado (YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

Neste tipo de transformação, os maiores valores (1) indicam maior probabilidade de ocorrência de valores abaixo do nível de corte e, os menores valores (0) indicam menor probabilidade de ocorrência de valores inferiores ao nível de corte, conforme descrito abaixo:

$$\mathrm{i}_{\mathrm{j}(vc)} = \begin{cases} 1 \ \text{se} \ \mathrm{i}_{\mathrm{j}} \ \leq \ vc \\ 0 \ \ \text{se} \ \ \mathrm{i}_{\mathrm{j}} \ > \ vc \end{cases}$$

A finalidade de sua utilização pode ser a determinação de teores anômalos de um determinado bem mineral, com valores acima do nível de corte, como em análise ambiental para determinação de níveis de poluição abaixo de certo teor crítico. Esta técnica tem como principal vantagem ser não paramétrica, não requerendo um conhecimento prévio da função de distribuição para a variável regionalizada, Abaixo temos um gráfico ilustrativo da krigagem indicatriz.

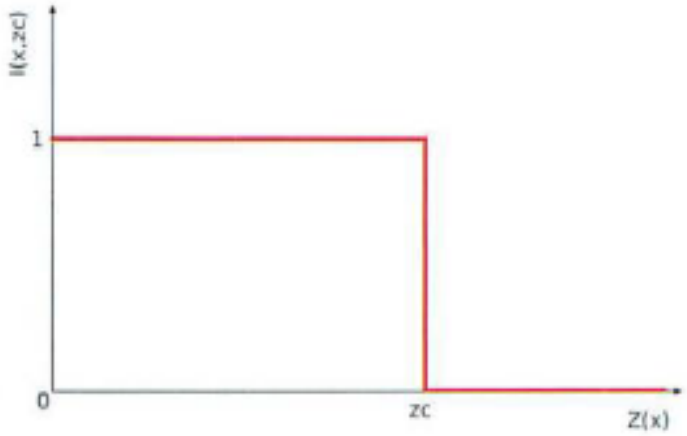

Figura 3. Gráfico da função indicadora para um valor de corte zc.

Fonte: Yamamoto; Landim 2013.

O objetivo da krigagem indicatriz é estimar a probabilidade de um ponto desconhecido (não amostrado) ser inferior ou superior a determinado nível de corte, Esta estimativa é baseada no modelo de correlação espacial da variável indicatriz, em função de corte (vc) e nos pontos amostrais, já discretizados também em função do vc, Neste sentido, faz-se necessário o cálculo do semivariograma experimental indicativo calculado segundo a expressão:

$$\gamma(h, vc) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} \left[\mathrm{i}_{(x,+h,vc)} - i_{(xi,vc)} \right]^2 \qquad (2)$$

Onde: h: lag; vc = valor de corte e n=número de pares

O semivariograma experimental obtido em função de vc é modelado obtendo-se o semivariograma teórico indicativo. Subsequentemente, aplica-se a krigagem ordinária para os indicadores de cada *cutoff,* denominada de krigagem indicatriz, tendo como base o semivariograma teórico indicativo para o cálculo dos pesos ótimos, associados a cada valor amostral.

5. Material e métodos

5.1. Localização e caracterização da área de estudo

A área de estudo compreende a sub-bacia hidrográfica Santa Rita possui, localizada no município de Pelotas, no Sul do Estado do Rio Grande do Sul, apresentando área total de 10,54 km^2. A mesma esta inserida na bacia hidrográfica do arroio Moreira, conhecida como bacia hidrográfica Moreira/Fragata (BHAM). Situa-se entre as coordenadas geográficas: 355168,619 O e 6495482,457 S no sistema de projeção UTM, Zona 22J, Datum SIRGAS 2000 (Figura 5).

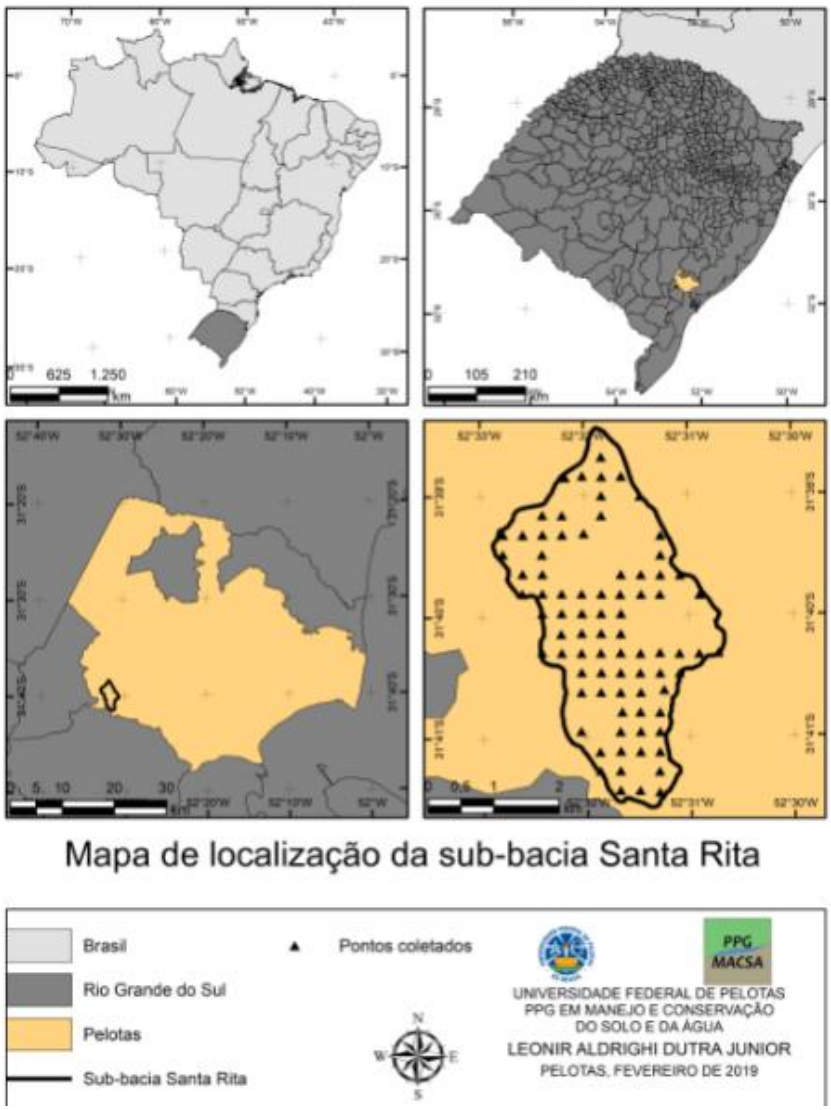

Figura 4. Localização do Estado do Rio Grande do Sul no mapa do Brasil, da bacia hidrográfica do arroio Moreira/Fragata no mapa do Estado do Rio Grande do Sul, da bacia hidrográfica do arroio Moreira/Fragata no mapa do município de Pelotas-Rio Grande do Sul e dos limites de delimitação da sub-bacia Santa Rita dentro da bacia hidrográfica do arroio Moreira/Fragata.

Elaborada por: Stefan Domingues Nachtigall

A ocupação e uso da área correspondente a sub-bacia Santa Rita é voltada a atividade de produção leiteira, razão pela qual se destaca o uso do solo com pastagem (campo e pastagem cultivada – 36,49%), seguido por mata nativa (29,51%), agricultura com cultivo de milho (cultura anual) e pêssego (cultura permanente) com 22,73%, De forma menos expressiva, solo exposto (7,80%) e área de mineração (3,47%) (Figura 6).

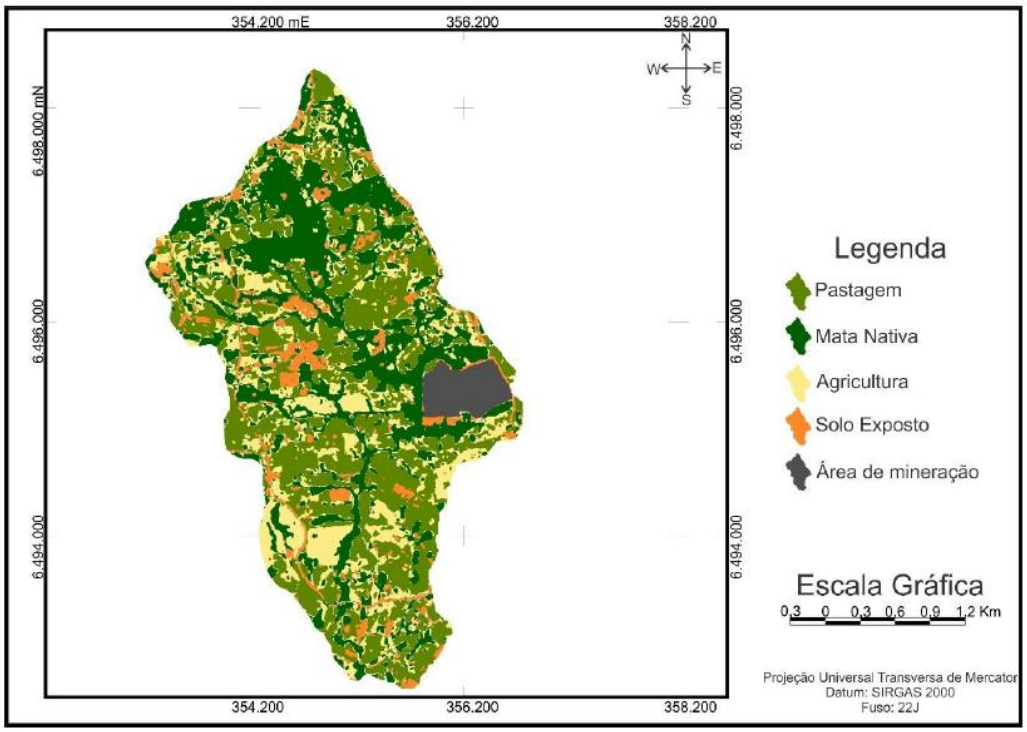

Figura 5**.** Mapa de ocupação e cobertura do solo na sub-bacia hidrográfica Santa Rita, inserida na bacia hidrográfica do arroio Moreira/Fragata, Pelotas-RS.

Elaborada por: Ivana Kruger Tuchtenhagen

A classificação de solos da sub-bacia Santa Rita foi baseada no trabalho de Cunha; Silveira (1996) e de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al,, 2013), as classes de solos ficaram distribuídas da seguinte maneira: Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (PVAd) (63,87%); Argissolo Bruno-Acinzentado (PBACal) (24,10%); Associação de Planossolo Háplico Eutrófico e Gleissolo Háplico (SXe3) (7,77%) e Associação de Neossolo Regolítico, Neossolo Litólico e Argissolo Bruno-Acinzentado (RLd1) (4,26%) (Figura 7).

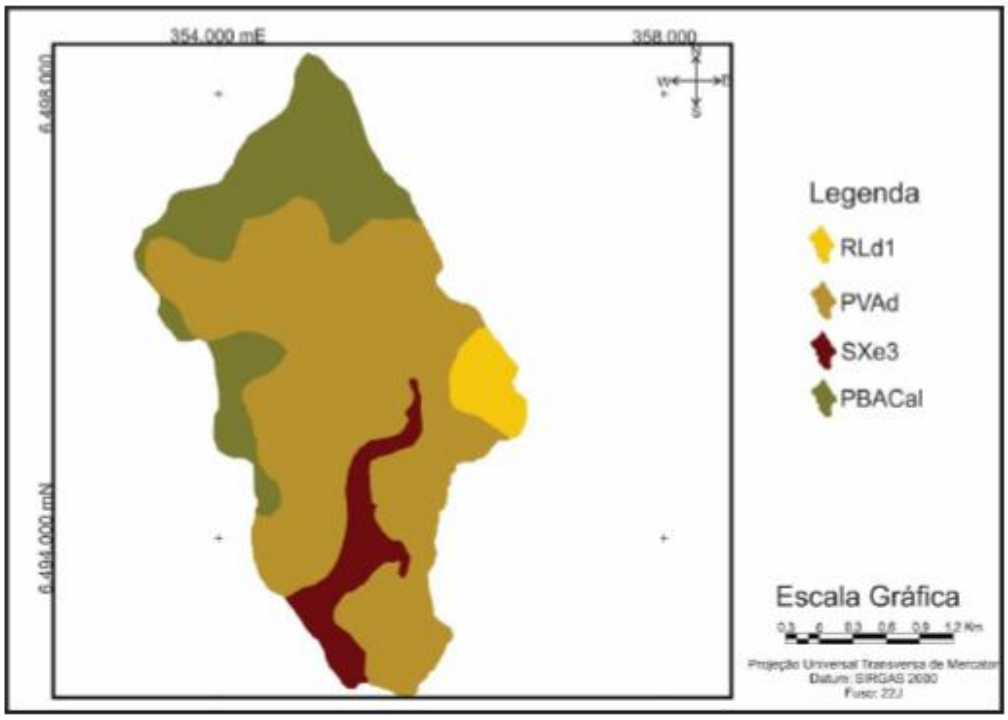

Figura 6. Mapa de distribuição das classes de solos na sub-bacia Santa Rita, inserida na bacia hidrográfica do arroio Moreira/Fragata, Pelotas-RS (Cunha; Siveira, 1996).

RLd1: Associação de Neossolo Regolítico, Neossolo Litólico e Argissolo Bruno-Acinzentado; PVAd: Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico; SXe3: Associação de Planossolo Háplico Eutrófico e Gleissolo Háplico e PBACal: Argissolo Bruno-Acinzentado.

Elaborada por: Ivana Kruger Tuchtenhagen

O relevo predominante é ondulado (declividade de 8-20%), ocupando 49,71%, seguido do relevo suave-ondulado (declividade de 3-8%), com 39,44% da área, plano (declividade 0-3%) representando 6,24% da área, e o relevo forte-ondulado (declividade de 20-45%), com 1,14% da área total, segundo classificação de Santos et al, (2013). Cabe salientar que 3,47% referente à área de mineração, não foi considerada na avaliação, por apresentar solo construído (Figura 8).

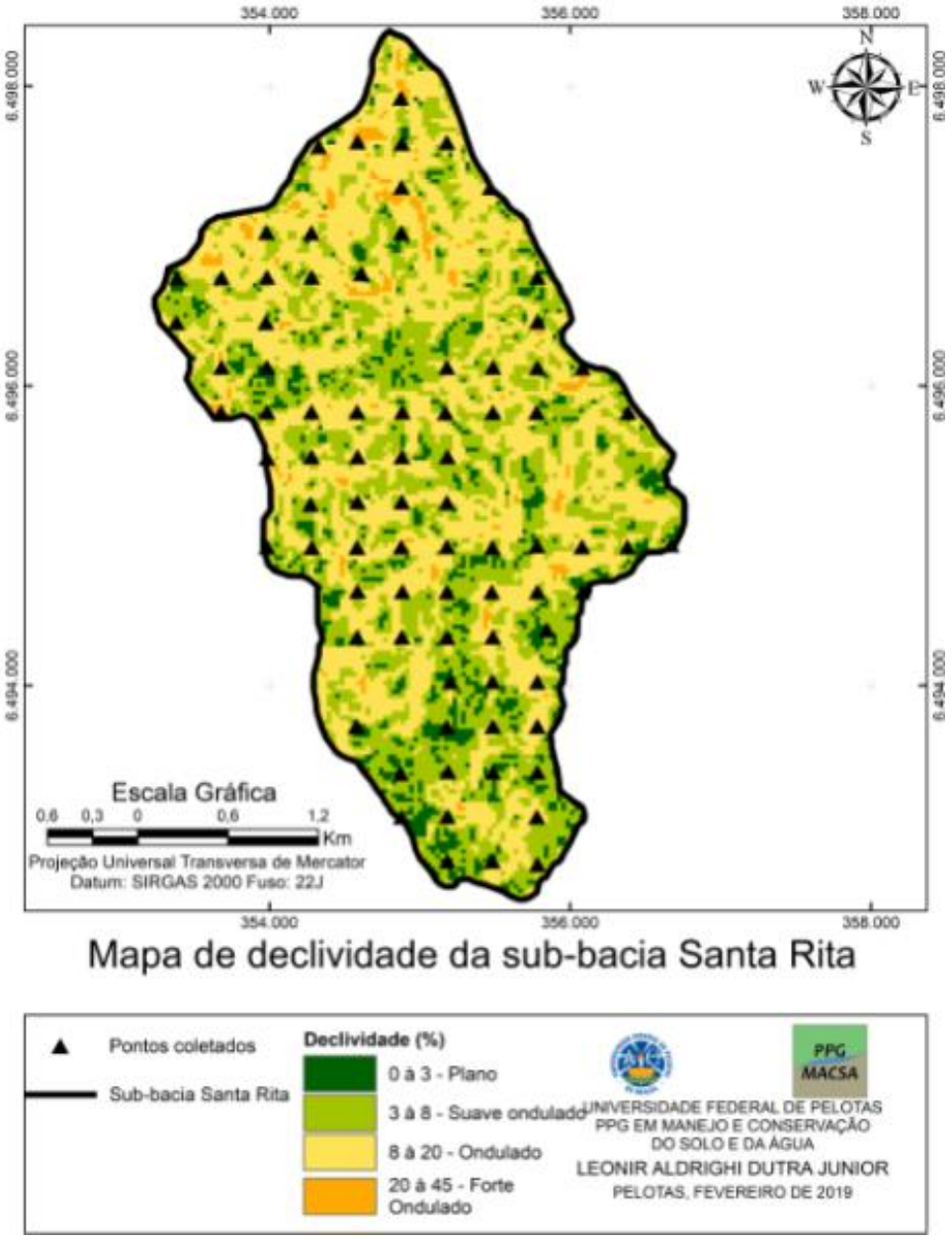

Figura 7. Mapa de distribuição das classes de declividades do relevo na sub-bacia Santa Rita, inserida na bacia hidrográfica do arroio Moreira/Fragata, Pelotas-RS.

Elaborada por: Stefan Domingues Nachtigall

A altitude do terreno máxima é de 228m e a altitude mínima de 38m, sendo observados os valores mais elevados de altitude na porção norte do mapa, enquanto que, altitudes mais baixas, na parte sul do mapa (Figura 9).

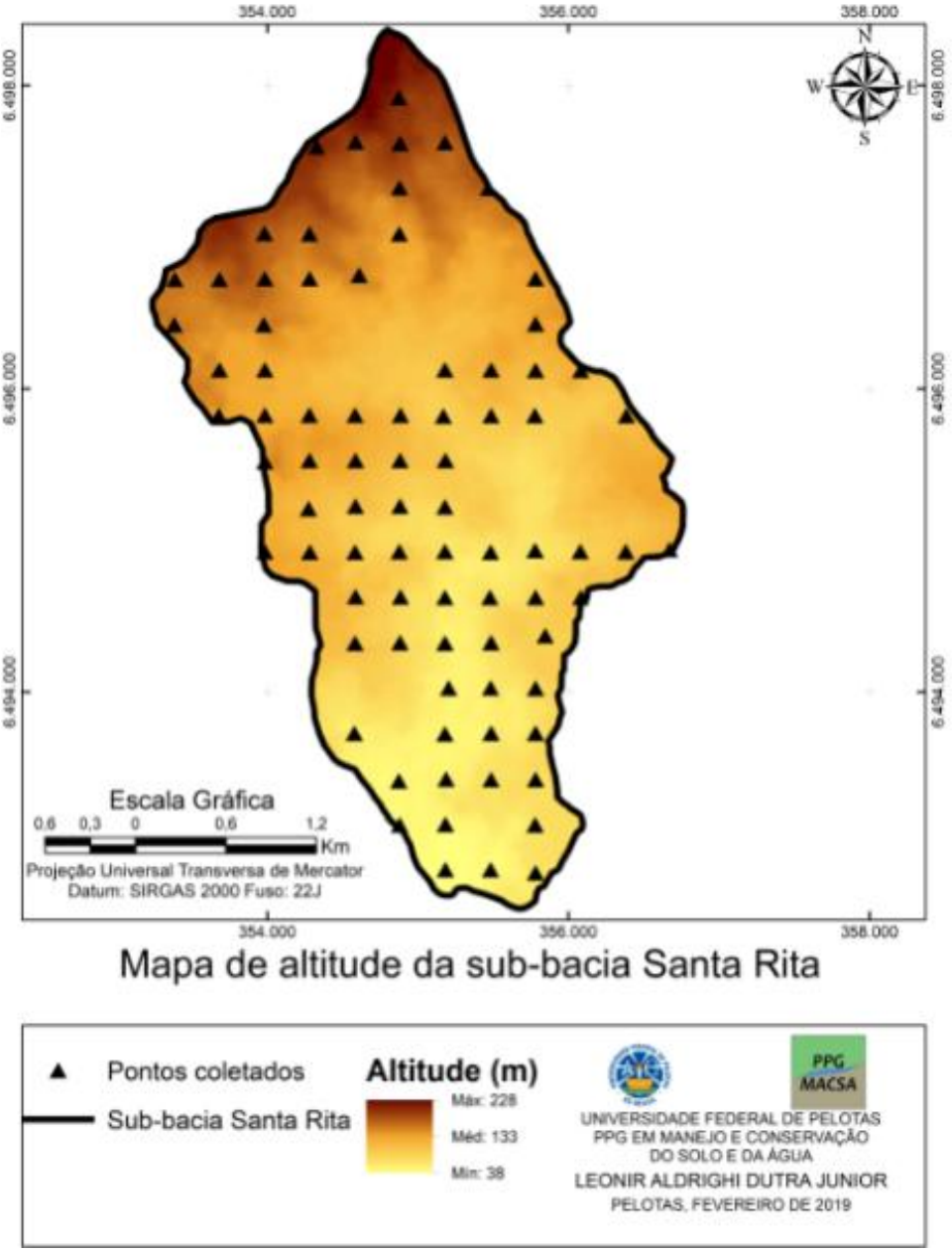

Figura 8**.** Mapa de distribuição da altitude do terreno na sub-bacia Santa Rita, inserida na bacia hidrográfica do arroio Moreira/Fragata, Pelotas-RS.

Elaborada por: Stefan Domingues Nachtigall

5.2. Estabelecimento da malha experimental

A malha experimental apresenta 81 pontos coletados, espaçados em 300m, previamente determinados (Figura 10). Para a localização dos pontos foi utilizado o sistema de posicionamento global (GPS), A marcação das coordenadas foi realizada pelo aparelho de GPSGARMIN etrex 30.

As amostras foram coletadas em quatro classes de solos, sendo: 63% das amostras coletados em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico; 23% Argissolo Bruno-Acinzentado; 11% Associação de Planossolo Háplico Eutrófico e Gleissolo Háplico e 2% Associação de Neossolo Regolítico, Neossolo Litólico e Argissolo Bruno-Acinzentado (Figura 10).

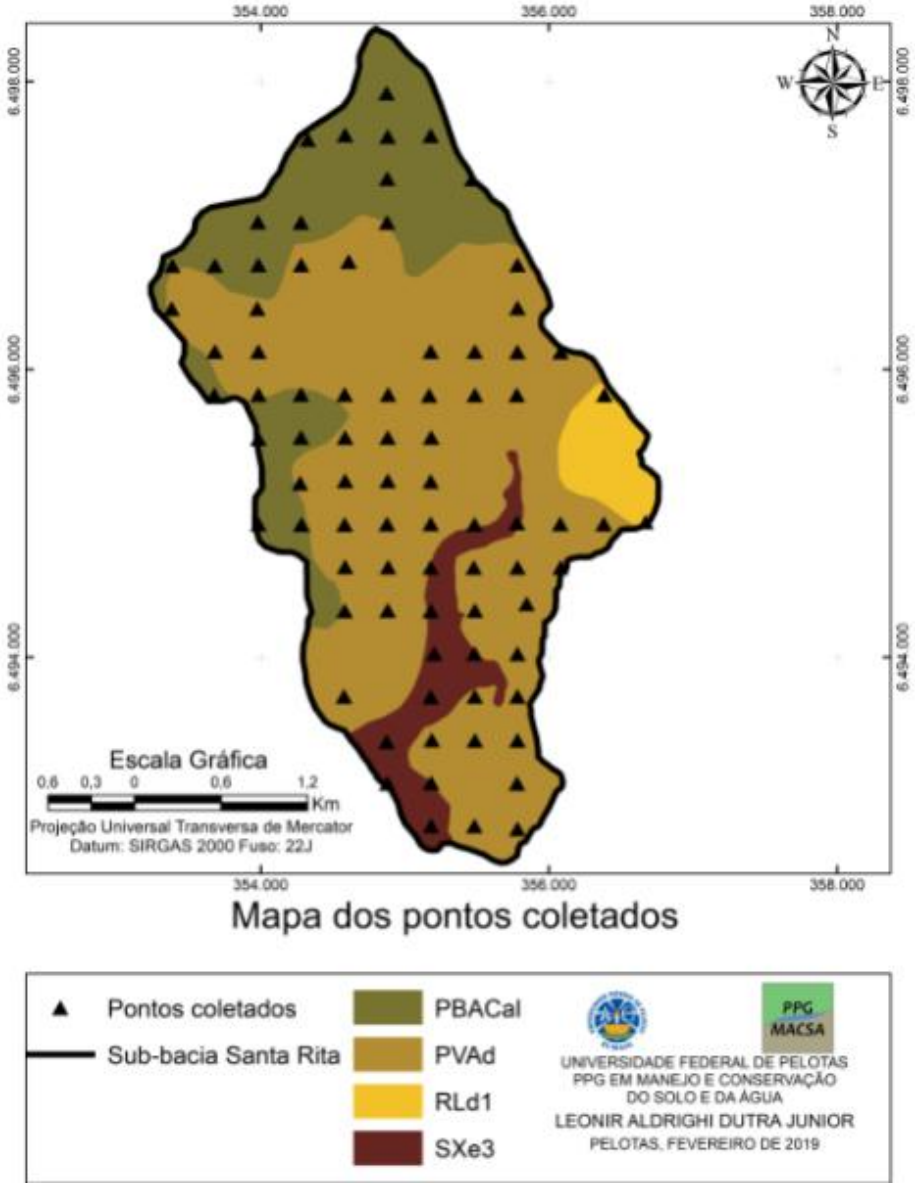

Figura 9. Esquema da amostragem sistemática do solo (triângulos em preto) na sub- bacia hidrográfica Santa Rita, Pelotas-RS, inserida no mapa de distribuição das classes de solo na sub-bacia.

PBACal: Argissolo Bruno-Acinzentado; PVAd: Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico; RLd1: Associação de Neossolo Regolítico, Neossolo Litólico e Argissolo Bruno-Acinzentado e SXe3: Associação de Planossolo Háplico Eutrófico e Gleissolo Háplico.

Elaborada por: Stefan Domingues Nachtigall

5.3. Amostragem de solo e análises laboratoriais

Foram coletados amostras com estrutura preservada e não preservada em cada ponto previamente georreferenciado da malha, na camada de 0-0,20m. Para estrutura preservada foram coletados três anéis volumétricos em cada ponto, com dimensões de 5,0 x 4,7cm de altura e diâmetro, respectivamente. As amostras com estrutura não preservadas foram coletadas com o auxilio de uma pá de corte, posteriormente, foram encaminhadas ao Laboratório de Física do solo da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM), da Universidade Federal de Pelotas (UFPel).

Em laboratório, com as amostras com estrutura preservada foram realizadas determinações da condutividade hidráulica do solo saturado (Ksat), conforme (LIBARDI, 2005), densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), da macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi), respectivamente, conforme Embrapa (2011). Já as amostras com estrutura não preservada, foram colocadas em tabuleiros de madeira para a secagem ao ar, até atingirem o ponto de friabilidade, em que ocorre uma facilidade de ruptura da amostra de solo ao ser comprimida, Sendo peneirada em peneira com malha de 2 mm, para a determinação da densidade de partículas (Dp) (FORSYTHE, 1975), granulometria, pelo método da pipeta (GEE; BAUDER, 1986) e carbono orgânico, conforme Embrapa (2011) a partir de uma adaptação de (Girotto 2007).

5.4. Metodologia estatística

Em um primeiro momento, as séries de dados foram submetidos à estatística descritiva, com a finalidade de análise exploratória e avaliação do comportamento da distribuição. Para isso, foram calculadas as medidas de posição (média aritmética e mediana), de dispersão (desvio padrão e coeficiente de variação) e as que indicam o formato da distribuição (coeficientes de assimetria e curtose). Para verificar a normalidade dos conjuntos de dados, foi realizado um teste de aderênciade Kolmogorov-Smirnov (K-S), a 5% de significância, empregado para analisar a tendência de normalidade de todas séries de dados.

O próximo passo foi a aplicação da geoestatística para caracterizar e quantificar a estrutura da variabilidade espacial de cada atributo físico-hídrico trabalhado. Ressalta-se que foi pressuposto que todas as variáveis apresentavam um comportamento isotrópico, ou seja, a estrutura de variabilidade é igual em todas as direções, Com base no teste de K-S foi selecionado o estimador de semivariância, i,e,, selecionou-se o estimador de Matheron (Equação 1) para as variáveis que tenderam à normalidade (KERRY; OLIVER, 2007).

Para os semivariogramas experimentais foram ajustados aos modelos teóricos e assim, foram obtidos os parâmetros efeito pepita (Co), patamar (C+Co) e alcance (*a*). O semivariograma teórico modelado permite também determinar o grau de dependência espacial da variável em estudo. O GDE, segundo Cambardella et al, (1994), é calculado através da relação entre o efeito pepita Co e o patamar (Co+C), dado em porcentagem (Equação 3).

$$GDE = \frac{\mathrm{Co}}{\mathrm{Co} + \mathrm{C}} \text{ x } 100 \qquad (3)$$

Cambardella et al, (1994) classificam o GDE da seguinte maneira:

• Forte dependência espacial: Efeito pepita representa até 25% do patamar.

$$GDE \leq 25\%$$

• Moderada dependência espacial – Efeito pepita representa entre 25% e 75% do patamar.

$$25\% < GDE \leq 75\%$$

• Fraca dependência espacial – Efeito pepita representa mais que 75% do patamar.

$$GDE > 75\%$$

Os *softwares* Gretl e Stanford Geostatistical Modeling Software (SGeMS), foram utilizados para as análises estatísticas, o programa Gretl usado para o teste de aderência, enquanto o SGeMS, para a análise descritiva dos dados, obtenção dos semivariogramas, parâmetros de ajustes e principalmente, para a krigagem indicatriz.

Primeiramente, de posse do banco de dados, realiza-se a transformação indicatriz, Para realização da transformada indicatriz determina-se um ponto de corte para cada atributo físico-hídrico em estudo, Posteriormente, realizou-se a estatística exploraória, analisando cada atributo de forma individual e avalia-se a condição de corte, Após a determinação da variância dos atributos, realizou-se a modelagem variográfica isotrópica e por fim, de posse dos parâmetros de ajuste dos semivariogramas se obteve a krigagem indicatriz para cada atributo estudado.

5.4.1. Determinação dos pontos de corte

Existe uma grande dificuldade na determinação de valores limitantes ao estabelecimento e desenvolvimento das espécies vegetais, devido, principalmente a capacidade de adaptação desses organismos. Ao longo das décadas de evolução da ciência do solo, muitos pesquisadores se dedicaram à determinação dos mesmos, os pontos de corte utilizados neste trabalho foram embasados em valores clássicos e amplamente difundidos no meio acadêmico.

Para o atributo Pt, utilizou o valor de corte de 50%, ou seja, valores acima deste valor ficam com zero (0) e valores iguais ou abaixo ficaram com um (1), este corte foi baseado no trabalho de Kiehl (1979), onde é demonstrado que um solo ideal apresenta 50% de porosidade total.

Para a Ma, foram adotados dois valores de corte, pois foi realizada duas krigagens indicatriz, com base em autores distintos, Uma com o valor de 10%, com referência nos trabalhos de: Vomocil; Flocker, (1961); Grable; Siemer, (1968); Baver, (1949); Gupta; Allmaras, (1987) Erickson (1982); Tormena et al, (1998); Reinert et a, (2001) e outra com o valor de 16,67%, seguindo a sugestão de 1/3 da porosidade total, sugerida por Kiehl (1979), Valores abaixo ou igual a 10% e 16,67%, respectivamente, receberam valor um (1), enquanto que valores acima de 10% e 16,67% receberam valor zero (0).

Já para a Mi, utilizou-se o valor de 33,33%, seguindo a sugestão de 2/3 da porosidade total (KIEHL,1979) e Azevedo; Dalmolin (2006), Valores abaixo ou igual a 33,33% receberam valor um (1), enquanto que valores acima receberam valor zero (0).

Para a Ds, o valor de corte utilizado foi de 1,65 g cm^{-3}, com base no trabalho de Reichert et al, (2003), Sendo assim, valores abaixo ou igual receberam valor um (1) e valores acima receberam valor zero (0).

Para a K_{sat}, o valor de corte foi 29,42 mm h^{-1}, a metodologia para obtenção deste corte está descrito em Reichert et al, (2007), onde se utiliza do valor de K_{sat} para a Ma de 10%, Valores abaixo ou igual, receberam valor zero (0), enquanto que valores acima receberam valor um (1).

Podemos observar os cortes utilizados e as referências consultadas para sua definição para cada atributo físico-hídrico do solo na camada de 0-0,20m, de maneira resumida na tabela abaixo.

Tabela 1. Valores de corte associado a cada atributo físico-hídrico do solo, na camada de 0-0,20m.

Atributo	Valor de corte	Referências
Porosidade Total (Pt)	50%	Kiehl (1979)
Macroporosidade (Ma)	10%	Vomocil; Flocker, (1961); Grable; Siemer, (1968) Baver, (1949); Gupta; Allmaras, (1987) Erickson (1982); Tormena et al, (1998); Reinert et a, (2001)
Macroporosidade (Ma)	16,67%	Kiehl (1979)
Microporosidade (Mi)	33,33%	Kiehl (1979); Azevedo; Dalmolin (2006),
Densidade do solo (Ds)	1,65 g cm^{-3}	Reichert et al, (2003)
Condutividade Hidráulica do solo Saturado (K_{sat})	29,42 mm h^{-1}	Reichert et al, (2007)

6. Resultados e discussão

6.1. Análise estatística exploratória dos dados

Inicialmente realizou-se a análise exploratória dos atributos físico-hídricos do solo, sendo este um procedimento de suma importância para a análise estatística, pois a partir do mesmo, obtemos um ponto de partida e considerações iniciais podem ser obtidas, Cada atributo do solo foi avaliado por meio da estatística clássica para obtenção da média aritmética, mediana, desvio padrão, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria e curtose (Tabela 2),

Tabela 2. Estatística descritiva dos diferentes atributos físico-hídricos do solo na sub-bacia hidrográfica Santa Rita.

Atributo	N	$\overline{X}$	Med,	S	CV	Ass,	Curt,
Argila	80	19,73	17,01	8,18	41,46	1,13	0,90
Silte	80	21,69	20,94	6,50	29,97	1,21	4,48
Areia	80	58,58	60,45	10,52	17,96	-0,22	1,04
CO	81	11,71	10,92	4,86	41,50	0,59	-0,49
Pt	81	39,34	39,10	5,05	12,84	0,74	1,82
Ma	81	9,30	7,29	5,83	62,69	1,30	1,36
Mi	81	30,14	30,37	6,27	20,80	0,41	3,68
Ds	81	1,52	1,55	0,14	9,21	-0,94	1,84
Ksat	81	72,54	27,15	137,55	189,62	4,36	22,39

Atributo do solo: CO: Carbono orgânico (g,Kg^{-1}); Pt: Porosidade total (%); Ma: Macroporosidade (%); Mi: Microporosidade (%): Ds: densidade do solo (g cm^{-3}); Ksat: Condutividade hidráulica do solo saturado (mm h^{-1}); Parâmetros estatísticos: N: Número de dados; $\overline{X}$: Média; Med,: Mediana; S: Desvio Padrão; CV (%): Coeficiente de Variação; Ass,: Coeficiente de Assimetria; Curt,: Coeficiente de Curtose.

Analisando as médias e medianas de todos os conjuntos de dados, podemos observar que apenas na K_{sat} (72,54 mm h^{-1}; 27,15 mm h^{-1}, média e mediana, respectivamente), esses valores se afastam, enquanto que nos demais atributos esses valores são próximos, Este pode ser considerado um primeiro indicativo que a distribuição dos dados desta variável não segue uma distribuição normal, corroborando com diversos resultados encontrados na literatura (LOGSTON et al,, 1990; KUTILEK; NIELSEN, 1994; OLIVEIRA, 2015; SOARES, 2018),

Quanto ao desvio padrão, um baixo valor indica que os pontos do conjunto de dados tendem a estar próximos da média, enquanto que, um alto desvio padrão indica que os pontos do conjunto de dados estão afastados da média por uma ampla gama de valores, O menor DP foi observado para a variável Ds (0,14), enquanto que o maior DP foi apresentado pela K_{sat} (137,55), O desvio padrão da Pt, Ma, Mi e Ds são similares aos encontrados por Oliveira, (2015) para esses atributos,

O CV pode ser usado para comparar e avaliar os atributos, onde os que apresentam um baixo coeficiente de variação indicam uma pequena variação dos dados em relação à média, representando uma distribuição homogênea, ou seja, quanto menor o CV, maior a homogeneidade dos dados, O CV da distribuição dos conjuntos de dados ao longo da malha amostral variou de 9,21% para a Ds à 189,62% da K_{sat}, Warrick e Nielsen (1980) consideram como baixo (CV < 12,0%); moderado (12,0% ≤ CV ≤ 60,0%) e alto (CV > 24%), Sendo assim, Ds apresentou baixo CV; argila, silte, areia, CO, Pt, Mi apresentaram moderado CV, enquanto que Ma e K_{sat}, apresentaram alto CV,

A amplitude de assimetria do conjunto de dados variou de -0,94 (Ds) à +4,36 (K_{sat}), Os atributos areia e Ds apresentaram assimetria negativa (coeficiente de assimetria < 0), no qual indica que a média está deslocada para o lado direito da distribuição, As demais variáveis (argila, silte, CO, Pt, Ma, Mi e K_{sat}) apresentaram assimetrias positivas (coeficiente de assimetria > 0),

Quanto ao coeficiente de curtose, que nos indica grau de achatamento das distribuições de cada conjunto de dados, constatamos que a maioria das variáveis é considerada como leptocúrtica, ou seja, apresenta coeficiente de curtose maior que zero (0), sendo assim, a curva da função de distribuição com um pico mais alto que a distribuição normal, Apenas o CO apresentou coeficiente de curtose menor que zero (0), sendo considerada platicúrtica, assim sendo, sua função de distribuição é mais achatada do que a distribuição normal,

Na tabela 3, podemos observar os dados obtidos pelo teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de 5% para todas as variáveis estudadas, O teste foi realizado com o intuito de confirmar a normalidade de cada conjunto de dados em questão, A avaliação para verificação do ajustamento da série de dados à normal foi elaborada com base no P-valor, O P-valor é definido como a probabilidade de se obter uma estatística de teste igual ou mais extrema quanto àquela observada em uma

amostra, assumindo verdadeira a hipótese nula, Segundo Vereecken; Herbst (2004), este é o teste recomendado para conjunto de dados superior a 50 observações.

Tabela 3. Teste não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov ao nível de 5% dos atributos físico-hídricos na sub-bacia Santa Rita.

Atributo	N	K-S		Norm,
		Teste	P-valor	
Argilla	80	0,161	0,000	Não
Silte	80	0,125	0,000	Não
Areia	80	0,107	0,020	Não
CO	81	0,096	0,060	Sim
Pt	81	0,090	0,100	Sim
Ma	81	0,183	0,000	Não
Mi	81	0,105	0,030	Não
Ds	81	0,097	0,050	Sim
Ksat	81	0,301	0,000	Não

Atributo do solo: CO: Carbono orgânico (g,Kg^{-1}); Pt: Porosidade total (%); Ma: Macroporosidade (%); Mi: Microporosidade (%): Ds: densidade do solo ($g\ cm^{-3}$); Ksat: Condutividade hidráulica do solo saturado ($mm\ h^{-1}$); Parâmetros estatísticos: N: Número de dados; K-S: Valor do teste Kolmogorov-Smirnov (valor critico para séries com N=80:0,103; N=81:0,101; Norm,: normalidade.

Para o teste em questão, a hipótese nula H_0 indica que a série de dados apresenta distribuição normal e, portanto, a hipótese alternativa H_1 indica que a série de dados não segue uma distribuição de probabilidade normal. Para o presente trabalho, foi adotado o valor de 5% como nível de significância, sendo considerada para os P-valores acima desse nível a hipótese H_0 (distribuição normal), Para as séries de dados que apresentaram P-valores menores que 5%, a hipótese nula H_0 foi rejeitada, e neste caso, foi considerado que os dados não seguem uma distribuição normal.

Analisando-se a Tabela 3, verifica-se que o P-valor para as variáveis, CO, Pt, Ds está acima do nível de significância adotado, apresentando distribuição normal, Enquanto que, para a argila, silte, areia, Ma, Mi e Ksat, onde o P-valor é inferior ao nível de significância de 5%, a distribuição não apresenta normalidade.

Foi determinada a classe textural para cada amostra de solo, com base na classificação do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) adotada pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (KLEIN, 2012), E essas diferentes

proporções constituintes foram agrupadas em classes texturais e representadas no triângulo de classificação textural (Figura 11),

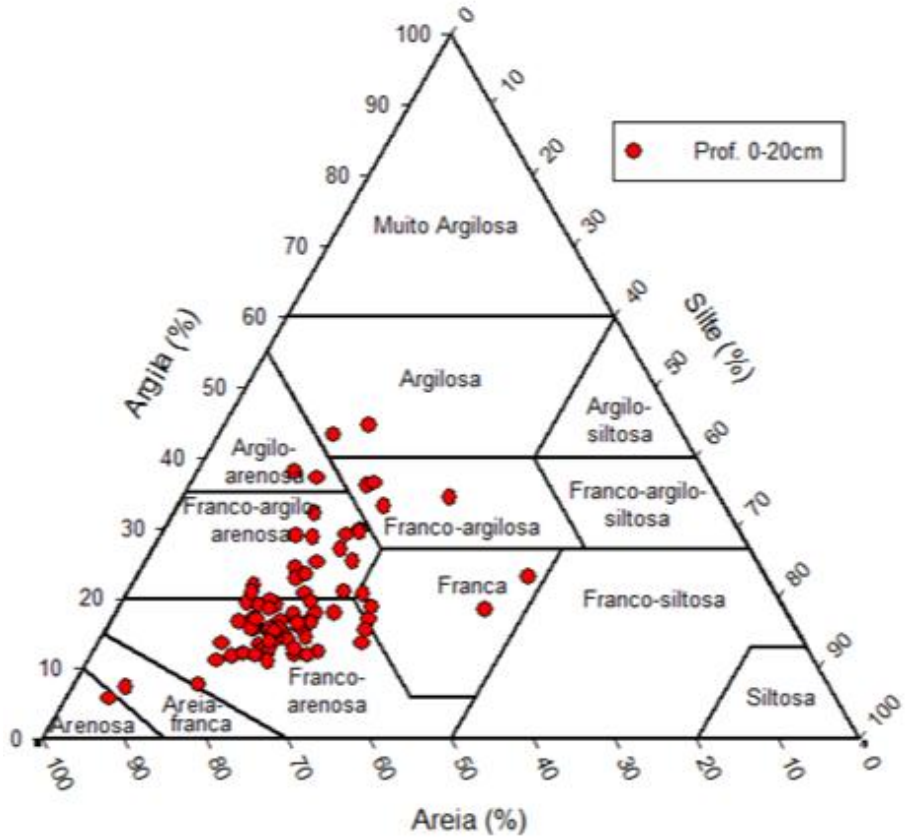

Figura 10**.** Distribuição das partículas sólidas do solo (argila, silte e areia) na camada de 0-0,20m, na sub-bacia Santa Rita, inserida na bacia hidrográfica do arroio Moreira/Fragata, Pelotas-RS.

As amostras de solo foram classificadas em seis classes texturais, sendo que a classe franco arenosa representou o maior numero de amostras (58,75%) seguida pela classe franco argilo arenosa (21,25%), franca (7,5%), franca argilosa (5%), argilo arenosa (2,5%), argila (2,5%) e areia franca (1,25%), Estes resultados estão compilados na Tabela 4.

Tabela 4**.** Distribuição percentual das classes texturais do solo para a camada de 0-0,20m.

Classe	**%**
Franco arenosa	58,75
Franco argilo arenosa	21,25

Franca	7,50
Franco argilosa	5,00
Argilo arenosa	2,50
Argila	2,50
Areia franca	1,25
Areia	1,25

6.2. Análise geoestatística

A análise geoestatística realizada por meio de semivariogramas mostrou que, todos os atributos físico-hídricos avaliados, apresentaram dependência espacial, Os semivariogramas foram ajustados por meio dos modelos teóricos, exponencial (Pt, Ma(10%), Ma(16,67%), Mi e Ds) e esférico (K_{sat}) (Tabela 5).

Tabela 5. Parâmetros dos modelos dos semivariogramas ajustados para os atributos físico-hídricos do solo que apresentaram dependência espacial**.**

Atributo	Modelo	Co	Co+C	a(m)
Pt	Exponencial	0,002	0,024	1428
Ma(10%)	Exponencial	0,042	0,242	756
Ma(16,67%)	Exponencial	0,040	0,109	1008
Mi	Exponencial	0,140	0,211	561
Ds	Exponencial	0,050	0,136	306
K_{sat}	Esférico	0,100	0,150	561

Atributos: Pt: Porosidade total (%); Ma : Macroporosidade (%); Mi: Microporosidade (%): DS: densidade do solo (g cm^{-3}); Ds: densidade do solo (g cm^{-3}); K_{sat}: Condutividade hidráulica do solo saturado (mm h^{-1}); Parâmetros geoestatísticos: Co: Efeito pepita; Co+C: Patamar; a: Alcance,

Na tabela 6, são apresentadas as classificações de cada conjunto de dados, de acordo com Cambardella et al, (1994), Podemos observar que a Pt e Ma(10%) apresentaram forte GDE (GDE ≤ 25%), enquanto que Ma(16,67%), Mi, Ds e Ksat, apresentaram GDE moderado (25% <GDE ≤ 75%), A dependência espacial moderada pode indicar que a relação de similaridade entre as amostras deve ocorrer nesta área de estudos, a distâncias inferiores a menor distância amostrada (300m), ou seja, em trabalhos futuros, para se detectar a dependência espacial com maior

acurácia será necessário que as amostras sejam realizadas a distâncias menores entre si (STEPIEN et al, 2013; COSTA JUNIOR, 2017),

Tabela 6. Classificação do grau de dependência espacial dos atributos físicos-hidrícos do solo.

Atributo	GDE	
	%	Classe
Pt	8,33	Forte
Ma (10%)	17,35	Forte
Ma (16,67%)	36,69	Moderada
Mi	66,35	Moderada
Ds	36,76	Moderada
Ksat	66,67	Moderada

Atributos: Atributos: Pt: Porosidade total (%); Ma : Macroporosidade (%); Mi: Microporosidade (%): DS: densidade do solo (g cm^{-3}); Ds: densidade do solo (g cm^{-3}); Ksat: Condutividade hidráulica do solo saturado (mm h^{-1}); GDE: Grau de dependência espacial.

O semivariograma nada mais é que uma função de correlação espacial que representa a base da estimativa da variabilidade espacial em geoestatística (YAMAMOTO; LANDIM, 2013). Através do semivariograma é possível medir o grau de dessimilaridade entre amostras vizinhas, pois se espera que quanto mais próximas forem coletadas essas amostras, maior será a semelhança entre elas e, portanto, menor a variância e maior a correlação espacial, quanto mais afastada, menor será a semelhança, até que estas diferenças sejam atribuídas somente ao acaso (VILELA, 2004).

Na Figura 12, são apresentados os semivariogramas dos indicadores e os respectivos modelos ajustados, para os diferentes atributos físico-hídricos avaliados neste trabalho.

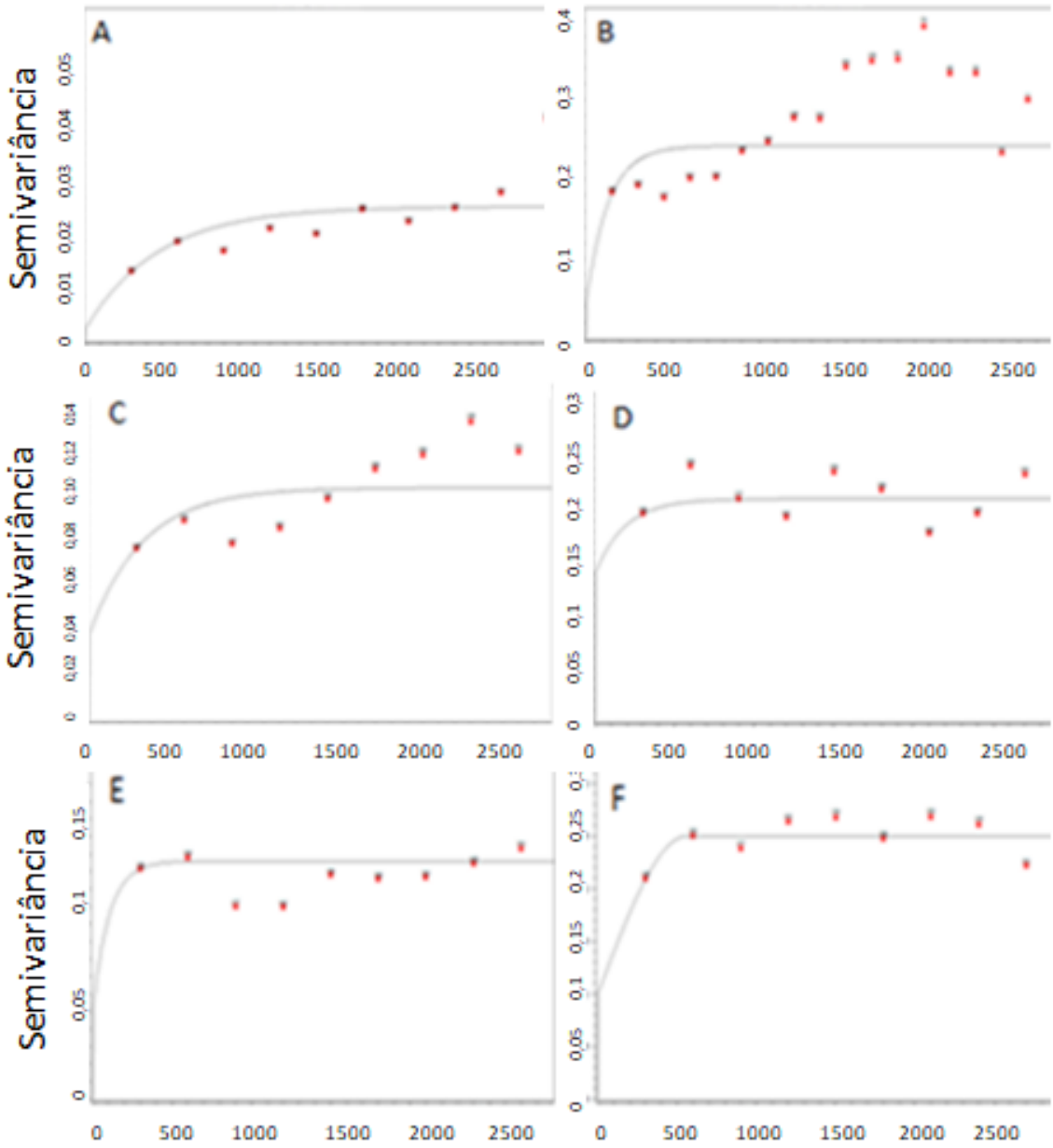

Figura 11. Semivariograma da indicadora da porosidade total (A); macroporosidade(10%) (B); macroporosidade(16,67%) (C); microporosidade do solo (D); densidade do solo (E) e condutividade hidraúlica do solo saturado (F).

A krigagem indicatriz constitui-se em um método geoestatístico não paramétrico, utilizado para estimar a distribuição de probabilidade acumulada nos locais não amostrados. Este método representa uma alternativa para efetuar estimativas para distribuições com alta assimetria e coeficientes de variação elevados (>100%) (LANDIM; STURARO, 2002).

Nas Figuras 13, 14, 15, 16, 17 e 18, são apresentados os mapas da probabilidade de ocorrência dos atributos físico-hídricos do solo, Pt, Ma(10%), Ma(16,67%), Mi, Ds e K_{sat}, respectivamente, Para todos os mapas a menor

probabilidade de ocorrência é representada pela cor azul, enquanto que a maior probabilidade é representada pela cor vermelha,

Na figura 13, é apresentado o mapa de probabilidade da ocorrência de valores acima e abaixo de 50% de porosidade total, tal valor de corte foi utilizado baseado no trabalho de (KIEHL, 1979),

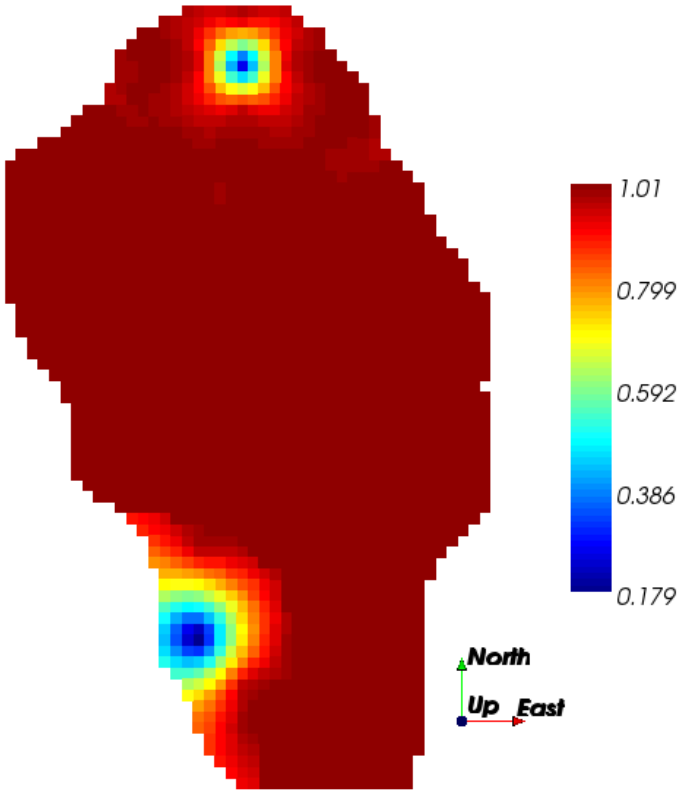

Figura 12. Krigagem indicatriz porosidade total (vc=50%).

A coloração vermelha mostra a probabilidade de ocorrência de valores menores que 50% de porosidade total, ou seja, há uma predominância na sub-bacia desse evento. Tal acontecimento demonstra que a área está com valores abaixo do considerado ótimo para um solo ideal, segundo Kiehl (1979), Este fato pode estar relacionado com as práticas de manejo e uso do solo na sub-bacia, a predominância das atividades é a produção leiteira, o pisoteio animal, O pisoteio animal altera as propriedades físico-hídricas do solo (DIAS JUNIOR; PIERCE (1996); SILVA et al, (2002) e ORTIGARA et al, 2014), O valor de corte, não foi sensível para observar as probabilidades de ocorrência, visto que poucos valores ficaram acima do corte,

Foram estabelecidos dois valores de cortes diferentes para a macroporosidade do solo (10% e 16,67%), utilizando diferentes autores amplamente difundidos na ciência do solo, com isso foi gerado dois mapas de distribuição de probabilidade para a sub-bacia Santa Rita.

Na figura 14, é apresentado o mapa de probabilidade da ocorrência de valores acima e abaixo de 10% de macroporosidade, empregado como valor de corte, devido vários trabalhos amplamente difundidos na literatura empregar como sendo limitante ao desenvolvimento das espécies vegetais (VOMICIL; FLOCKER (1961); GRABLE; SIEMER (1968); BAVER (1949); GUPTA; ALLMARAS, (1987); ERICKSON (1982); TORMENA et al, (1998) e REINERT et a, (2001).

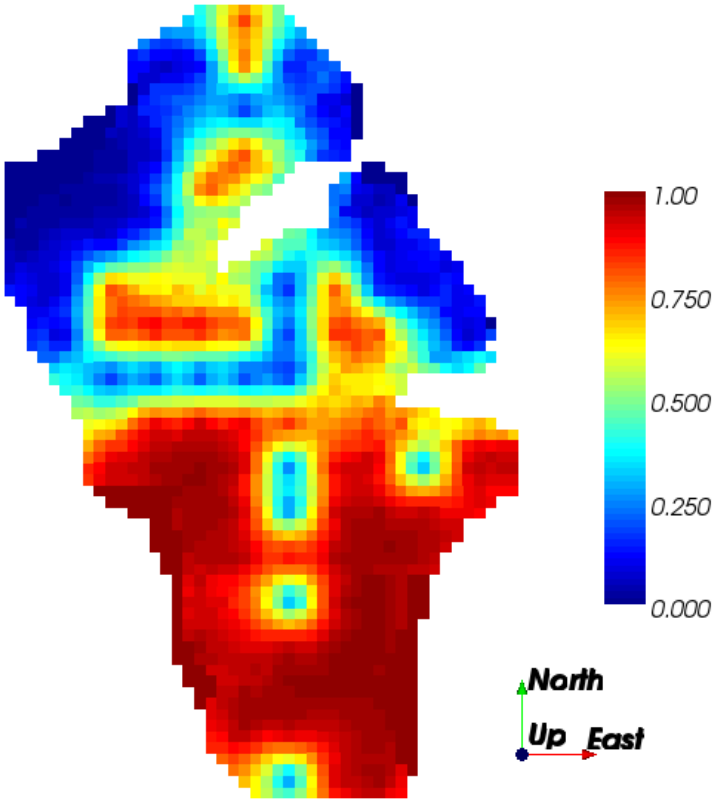

Figura 13**.** Krigagem indicatriz macroporosidade (vc=10%).

A coloração vermelha mostra a probabilidade de ocorrência de valores menores que 10% de macroporosidade (vc=10%). Podemos visualizar uma separação na sub-bacia, ou seja, parte superior com tendência a valores maiores que o corte, enquanto que na parte inferior, maior probabilidade de ocorrência de valores superiores a 10% (Figura 14).

Esta separação diagnosticada no mapa de probabilidade pode ser devido a características da sub-bacia Santa Rita, quando observamos os mapas de distribuição das classes de solos, declividade e altitude (Figura 7, 8 e 9, respectivamente), notamos a presença da Associação de Planossolo Háplico Eutrófico e Gleissolo Háplico, nesta parte inferior da mesma, assim como, as menores declividades e altitudes da sub-bacia. Os planossolos e os Gleissolos, são naturalmente solos mal drenados, ou seja, apresentam baixa Ma, visto que a mesma auxilia na permeabilidade dos solos.

Concordando com Baquero et al, (2012), a macroporosidade é um dos melhores parâmetros para detectar a degradação da estrutura do solo pelo manejo, pois afeta a difusão de oxigênio, drenagem da água e desenvolvimento do sistema radicular das plantas no perfil do solo.

Quanto ao manejo, podemos observar que a parte inferior da sub-bacia, apresenta predominância de cobertura vegetal por pastagem, enquanto que a parte superior apresenta uma distribuição mais equilibrada entre mata nativa e pastagem (Figura 6). Com isso, também podemos identificar a contribuição do pisoteio animal para as probabilidades de valores menores de 10% de macroporosidade, A redução da Ma, com o pisoteio animal também foi constada por (LANZANOVA et al, (2007); BALBINOT et al, (2009); MOREIRA et al, (2014); ORTIGARA et al, 2014).

Na figura 15, é apresentado o mapa de probabilidade da ocorrência de valores acima e abaixo de 16,67% de macroporosidade, utilizou-se este corte com base na distribuição de 1/3 da porosidade total (50%), proposta por Kiehl (1979) e Azevedo & Dalmolin (2006).

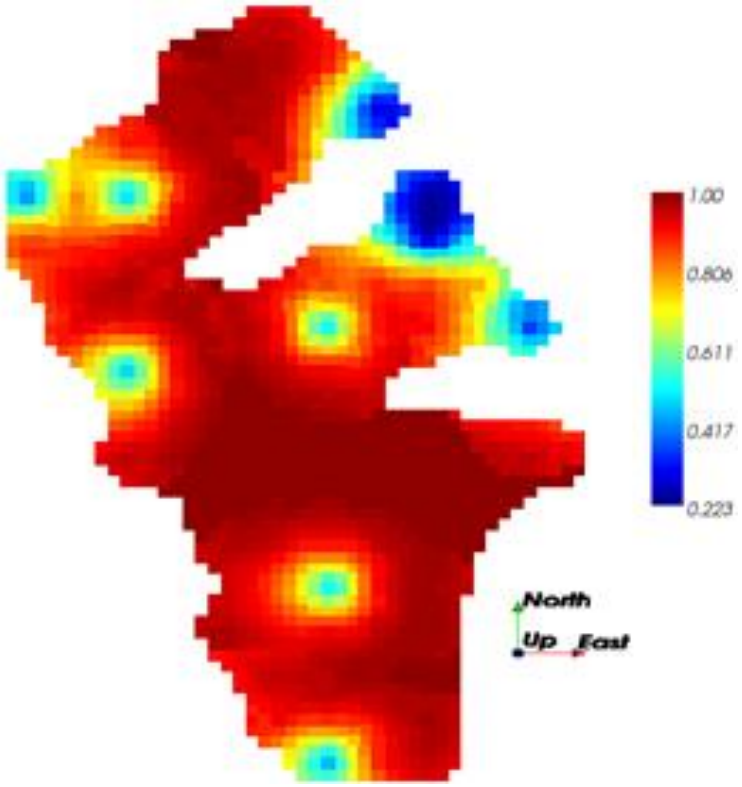

Figura 14**.** Krigagem indicatriz macroporosidade (vc=16,67%).

A coloração vermelha indica a probabilidade de ocorrência de valores menores que 16,67%, sendo assim, podemos observar que a maior parte da área se encontra com valores acima do corte. Algumas manchas com probabilidade menor que o corte, apareceram, mas sem continuidade espacial, pode ser pelo fato de alguns pontos isolados, apresentarem valores maiores. Este corte, não se apresentou sensível para a obtenção do mapa.

Na figura 16, é apresentado o mapa de probabilidade da ocorrência de valores acima e abaixo de 33,33% de microporosidade, este corte foi estabelecido com base na distribuição de 2/3 da porosidade total (50%), proposta por Kiehl (1979).

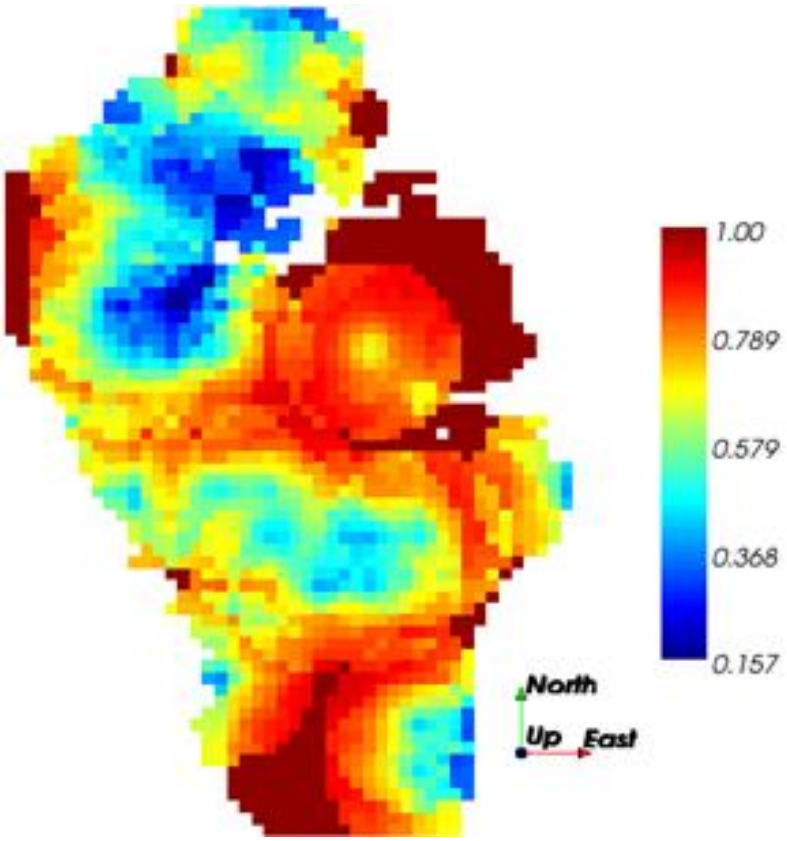

Figura 15. Krigagem indicatriz microporosidade (corte 33,33%).

A coloração vermelha indica a probabilidade de ocorrência de valores menores que 33,33%, sendo assim, podemos observar algumas manchas com probabilidade menor que o corte, na parte inferior e superior direita.

Também relatam Bonini et al, (2015) que a microporosidade do solo é um atributo pouco influenciado pelo manejo do solo. Solos degradados ou em boas condições de estrutura a macroporosidade é afetada diretamente, a microporosidade altera pouco, pois está mais relacionada a sua textura.

Porém, as pressões sobre o solo, por exemplo, pelo pisoteio animal oriundo da principal atividade econômica da sub-bacia, pode alterar a porosidade do solo, fazendo com que haja redução no volume de macroporos e aumento da microporosidade (SCHJONNING; LAMANDE, (2010); Reichert; Suzuki; Reinert (2007); Rosa, et al, (2018). Com isso, a microporosidade de encontra com valores acima do limite de corte, em maior parte da área. Os microporos do solo são responsáveis pela retenção de água em condições não saturadas, com tudo, o aproveitamento da mesma pelas plantas, depende do seu potencial de retenção, Seu estudo se torna importa, para entendimento do comportamento da dinâmica do

solo-planta, porém deve ser de maneira complementar a avaliação de outros atributos físico-hídricos do solo,

Na figura 17, é apresentado o mapa de probabilidade da ocorrência de valores acima e abaixo de 1,65 g cm^{-3} de densidade do solo, este corte foi utilizado com base no trabalho de Reichert et al, (2003), segundo a classe textural predominante neste trabalho.

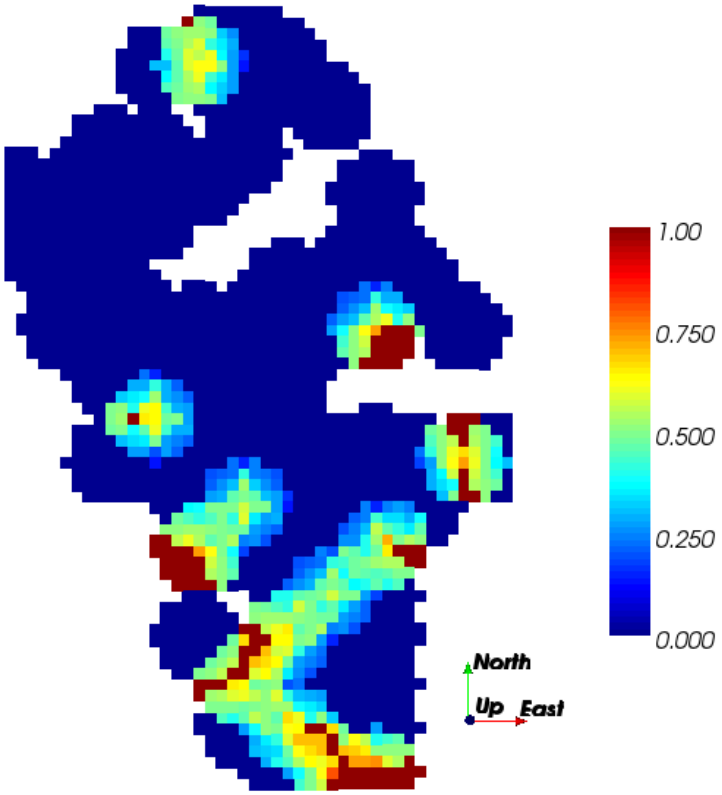

Figura 16. Mapa de krigagem indicatriz para a variável densidade do solo.

A coloração vermelha mostra a probabilidade de ocorrência de valores maiores que 1,65 g cm^{-3}. Podemos visualizar que a maior área da sub-bacia encontra-se com probabilidade abaixo do corte, apenas, pequenas manchas em vermelho são observadas na parte inferior e direito, Indicando boa condição física da densidade do solo, para este limite de corte.

As manchas de maior probabilidade de ocorrência de valores acima do corte, concentram-se na média/inferior da sub-bacia, onde também se concentram a maioria das propriedades que trabalham com atividades mais intensivas, Sendo assim, o manejo inadequado das áreas, aliado ao trafego de animais, podem estar contribuindo para esta tendência,

Dentre os vários atributos físicos que podem ser utilizados para avaliar a ação antrópica do manejo do solo, a densidade do solo é de suma importância (REICHERT et al,, 2007), Sistemas de manejo podem promover alterações nas propriedades físicas do solo, nas quais pode-se verificar aumento da densidade (VASCONCELOS et al, (2014),

Na figura 18, é apresentado o mapa de probabilidade da ocorrência de valores acima e abaixo de 29,42 mm h^{-1} de condutividade hidráulica do solo saturado, o valor de corte foi baseado na metodologia apresentada por Reichert et al, (2007), na qual leva-se em consideração a Ksat para a Ma (10%).

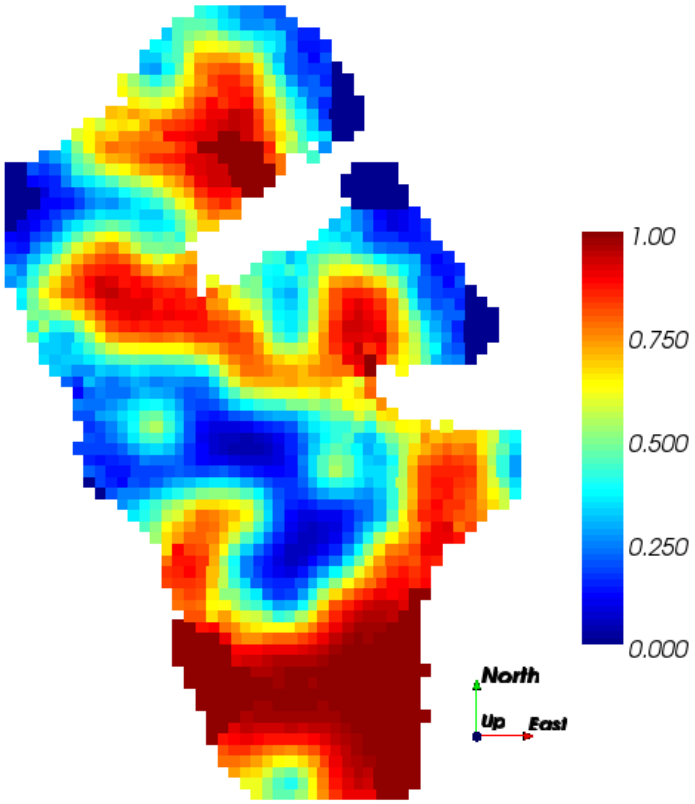

Figura 17. Mapa de krigagem indicatriz para a variável condutividade hidraúlica do solo saturado.

A coloração vermelha mostra a probabilidade de ocorrência de valores menores que 29,42 mm h^{-1}, Podemos observar que na parte inferior da sub-bacia temos uma maior concentração de zonas vermelhas, que também são visualizadas na parte superior da bacia,

A K_{sat} é um atributo físico-hídrico que depende de outras variáveis do solo, como argila, silte, areia, densidade do solo e macroporosidade, A condutividade hidráulica do solo é uma medida da facilidade na passagem de água pelo sistema

poroso (Wu et al,, 1999), logo é dependente da forma e continuidade do sistema poroso, e varia de um local para outro, muitas vezes em um curto espaço de amostragem. Tornando o trabalho geoestatístico com essa variável extremamente difícil.

Se observarmos o comportamento da krigagem indicatriz para a macroporosidade (Figura 14), se aproxima do visualizado para a K_{sat} (Figura 18), segundo MESQUITA et al,, 2004, a K_{sat} e a Ma são provenientes do mesmo espaço poroso, portanto, é de se esperar que haja um comportamento semelhante.

7. Conclusões

Com o emprego da geoestatistíca foi possível caracterizar e quantificar a estrutura de dependência espacial dos atributos físico-hídricos estudados.

O método de krigagem indicatriz se mostrou eficiente ferramenta para mapear a probabilidade de ocorrência de atributos físico-hídricos do solo e detectar áreas com problemas de manejo e uso.

Com o emprego da krigagem indicatriz foi possível identificar áreas com problemas de manejo e uso do solo.

Apesar da variabilidade dos solos e da distância de amostragem, todos os atributos físico-hídricos apresentaram dependência espacial forte ou moderada.

O valor de corte de 50% para porosidade total homogeneizou a área da sub-bacia, se mostrando incapaz de identificar no mapa estimado as diferenças do fenômeno observadas no campo.

8. Referências

AIMRUN, W; AMIN, M,S,M; ELTAIB, S,M. Effective porosity of paddy soils as an estimation of its saturated hydraulic conductivity, **Geoderma,** [s,l,], v, 121, n, 3-4, p,197-203, ago, 2004, Elsevier BV, http://dx,doi,org/10,1016/j,geoderma,2003,11,010.

ALVERENGA, C, C,, MELLO, C, R,, MELLO, J, M., VIOLA, M, R. Continuidade espacial da condutividade hidráulica saturada do solo na bacia hidrográfica do alto Rio Grande, MG, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v, 35, n, 5, p, 1745 - 1758, 2011.

ANA (Agência Nacional de Águas) – Disponível em:< http://www3,ana,gov,br/>, Acesso em: 03 de janeiro de 2019.

ANDRIOTTI, J, L, S. **Fundamentos de Estatística e Geoestatística**, Porto Alegre: Editora Unisinos, 2013, 165p.

AZEVEDO, A, C,, BONUMÁ, A, S, Partículas coloidais, dispersão e agregação em latossolos, **Ciência Rural**, Santa Maria, v, 34, n, 02, p, 609 - 617, 2004.

AZEVEDO, A,C,; DALMOLIN, R,S,D. **Solos e ambiente: uma introdução**, 2, ed, Santa Maria: Pallotti, 2006, 100 p.

BAGARELLO, V. Influence of well preparation on field-saturated hydraulic conductivity measured with the Guelph permeameter, **Geoderma**, Amsterdam, v, 80, n, 1-2, p, 169-180, oct, 1997.

BALBINOT JUNIOR, A.A., MORAES, A., VEIGA, M., PELISSARI, A., DIECKOW, J. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas, **Ciência Rural**, 39: 1925-1933, 2009.

BAQUERO, J,E; RALISCH R,; MEDINA, C, C; TAVARES FILHO, J,; GUIMARÃES, M,F. Soil physical properties and sugarcane root growth in a red oxisol, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36(1): 63-70, 2012.

BAVER, L, D. Practical values from physical analyses of soils, **Soil Sci**,, 68:1-13, 1949.

BLANCO-CANQUI, H,, STONE, L, R,, SCHLEGEL, A, J,, LYON, D, J,, VIGIL, M, F,, MIKHA, M, M,, STAHLMAN, P, W,, RICE, C, W. No-till induced increase in organic carbon reduces maximum bulk density of soils, **Soil Science Society of America Journal**, v, 73, n, 6, p, 1871-1879, 2009.

BONINI, C,S,B,; ALVES, M,C,; MONTANARI, R. Recuperação da estrutura de um Latossolo vermelho degradado utilizando lodo de esgoto**, Agrária**, v,10, n,1, p,34-42, 2015, http://dx,doi,org/10,5039/ agraria,v10i1a4513.

BRADY, N,C,; WEIL, R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**, 3°Edição, Editora Bookman, 2013, 286p.

BRAGA, B,; HESPANHOL, I,; CONEJO J, G, L,; MIERZWA J, C,; EIGER S. **Introdução à Engenharia Ambiental**, 2,ed, São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005, 317p.

BUTTLE, J,M.; HOUSE, D, A. Spatial variability of saturated hydraulic conductivity in shallow macroporous soils in a forested basin, **Journal Of Hydrology,** [s,l,], v, 203, n, 1-4, p,127-142, dez, 1997, Elsevier BV, http://dx,doi,org/10,1016/s0022-1694(97)00095-4.

CAMBARDELLA, C, A,, MOORMAN, T, B,, PARKIN, T, B,, KARLEN, D, L,, NOVAK, J, M,, TURCO, R, F, KONOPKA, A, E. Field-Scale Variability of Soil Properties in Central Iowa Soils, **Soil Science Society Of America Journal**, v, 58, n, 5, p,1501-1511, 1994.

CARDOSO, A. POTTER, R,, DEDECEK, R, A Estudo comparativo da degradação de solos pelo uso agrícola no Noroeste do estado do Paraná, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v, 27, n, 2, p, 349 - 353, 1992.

CEBECAUER, T; HOFIERKA, J. The consequences of land-cover changes on soil erosion distribution in Slovakia, **Geomorphology,** [s,l,], v, 98, n, 3-4, p,187-198, jun, 2008, Elsevier BV, http://dx,doi,org/10,1016/j,geomorph,2006,12,035.

CHEN, Y,; DAY, S,D,; WICK, A,F,; MCGUIRE, K,J, Influence of urban land development and subsequent soil rehabilitation on soil aggregates, carbon, and hydraulic conductivity, **Science of the Total Environment**, v,494, p,329–336, 2014.

CONCEIÇÃO, P, C,; AMADO, T, J, C,; MIELNICZUK, J,; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria Orgânica e atributos relacionados, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v,29, p,777-788, 2005.

COSTA JÚNIOR, L, C. **Krigagem indicadora de atributos físicos do solo na bacia do Alto Taquari**, Universidade Federal de Uberlândia, 2017.

CRUZ, A, C, R,, PAULETTO, E, A,, FLORES, C, A,, SILVA, J, B. Atributos físicos e carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob sistemas de manejo, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v,27, n,6, p,1105 - 1112, 2003.

CRUZ, J, S,, JÚNIOR, R, N, A,, MATIAS, S, S, R,, TAMAYO, J, H, C,, TAVARES, R, C, Análise espacial de atributos físicos - hídricos e carbono orgânico em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar, **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v, 34, n, 2, p, 271-278, 2010.

CUNHA, N, G,; SILVEIRA, R, J, C. **Estudo dos solos do município de Capão do Leão**, EMBRAPA-CPACT (Documentos, 12/96), Pelotas: Ed, UFPel, 1996, 50p.

DELBARI, M,; AFRASIAB, P,; LOISKANDL, W. Geostatistical Analysis of Soil Texture Fractions on the Field Scale, **Soil & Water Res**, [s,i], v, 4, n, 6, p,173-189, 2011.

DEMARCHI, J, C,; ZIMBACK, C, R, L. Mapeamento, erodibilidade e tolerância de perda de solo na sub-bacia do ribeirão das perobas, **Energia na Agricultura**, Botucatu, v,29, p,102-114, 2014.

DEUTSCH, C,V,, JOURNEL, A,G. GSLIB **Geostatistical Software Library and User's Guide**, Oxford University Press, 1992, 340 p.

DIAS JUNIOR MS; PIERCE FJ,. O processo de compactação do solo e sua modelagem, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 20: 175-182, 1996.

DJUKIC, I., Zehetner, F., Tatzber, M., Gerzabek, M. H. Soil organic-matter stocks and characteristics along an Alpine elevation gradient, **Journal Of Plant Nutrition And Soil Science,** [s,l,], v, 173, n, 1, p,30-38, fev, 2010, Wiley-Blackwell, http://dx,doi,org/10,1002/jpln,200900027.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, **Manual de Métodos de Análise do Solo,** 3,ed, Rio de Janeiro: Embrapa CNPS, 2011, 230p.

ERICKSON, A, E. Tillage effects on soil aeration, In, PREDICTING TILLAGE EFFECTS ON SOIL PHYSICAL PROPERTIES AND PROCESSES. Madison, Proceedings, American Society of Agronomy, 1982, p,91-104, 1982.

FALLICO, C,; MIGLIARI, E,; TROISI, S. Characterization of the field saturated hydraulic conductivity on a hillslope: measurement techniques, data sensitivity analysis and spatial correlation modelling, **Hydrology And Earth System Sciences Discussions,** [s,l,], v, 2, n, 4, p,1247-1298, 28 jul, 2005, Copernicus GmbH, http://dx,doi,org/10,5194/hessd-2-1247-2005.

FAVIS-MORTLOCK, D,; BOARDMAN, J. Nonlinear responses of soil erosion to climate change: a modelling study on the UK South Downs, **Catena,** [s,l,], v, 25, n, 1-4, p,365-387, jun, 1995, Elsevier BV, http://dx,doi,org/10,1016/0341-8162(95)00018-n.

FERREIRA, M, M. Caracterização Física do Solo, In: Física do Solo, Viçosa: Sociedade **Brasileira de Ciência do Solo**, 2010, p, 2 – 27.

FORSYTHE, W. **Física de suelos**, Costa Rica: IICA, 1975, 212p.

GEE, G,W, & BAUDER, J,W. Particle size analysis, In: KLUTE, A, (Ed,), **Methods of Soil Analysis**, Part 1, Physical and mineralogical methods, 2, ed, Madison: American Society of Agronomy, 1986, 411p.

GIROTTO, E. **Cobre e zinco no solo sob uso intensivo de dejeto líquidos de suínos,** Dissertação de Mestrado do Programa de PósGraduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), 2007, 121 f.

GOOVAERTS, P. **Geostatistics for Natural Resources Evaluation**, Applied Geostatistics Series, Oxford: Oxford University Press, p,483, 1997.

GRABLE A, R,; SIEMER E, G. Effects of bulk density, aggregate size, and soil water suction on oxygen diffusion, redox potential and elongation of corns roots, **Soil Science Society of America Proceedings,** V, 32, p, 6-180, 1968.

GRINGARTEN, E,; DEUSTSH, C,V. Variogram interpretation and modeling**,**
HILLEL, D, **Introduction to Environmental Soil Physics,** New York: Academic Press, 2003, 494p.

GUPTA, S,C, & ALLMARAS, R,R. Models to access the susceptibil ity of soi l to excess ive compacti on, Adv, **Soil Sci**,, 6:65-100, 1987.

HILLEL, D. **Solo e Água: Fenômenos e princípios físicos**, Porto Alegre: UFGRS, 1970, 231p.

HERMLE, S,; ANKEN, T,; LEIFELD, J,; WEISSKOPF. The effect of the tillage system on soil organic carbon content under moist, cold temperate conditions, **Soil & Tillage Research**, v,98, p, 94–105, 2008.

HILLEL, D. **Introduction to Environmental Soil Physics,** New York: Academic Press, 2003, 494p.

HUIJBREGTS, C, J. **Regionalized variables and quantitative analysis of spatial data**, In: DAVIS, J, C,; McCULLAGH, M, J, (Eds,), Display and analysis of spatial data, New York: John Wiley & Sons, 1975, p, 38-53.

ISAAKS, E,H,; SRIVASTAVA, R,M, **An introduction to applied geostatistics,** Oxford: University Press, 1989, 592p.

JORDAN, G, et al, Historical land use changes and their impact on sediment fluxes in the Balaton basin (Hungary), **Agriculture, Ecosystems & Environment,** [s,l,], v, 108, n, 2, p,119-133, jun, 2005, Elsevier BV, http://dx,doi,org/10,1016/j,agee,2005,01,013.

JOURNEL, A,; HUIJBREGTS, C J. **Mining geostatistics,** London: Academic Press, 1978, 600 p.

JULIÀ, M, F, et al, Constructing a saturated hydraulic conductivity map of Spain using pedotransfer functions and spatial prediction, **Geoderma,** [s,l,], v, 123, n, 3-4, p,257-277, dez, 2004, Elsevier BV, http://dx,doi,org/10,1016/j,geoderma,2004,02,011.

KERRY, R,; OLIVER, M,A, Determining the effect of asymmetric data on the variogram, I, Underlying asymmetry, **Computers & Geosciences,** [s,l,], v, 33, n, 10, p,1212-1232, out, 2007, Elsevier BV, http://dx,doi,org/10,1016/j,cageo,2007,05,008,

KIEHL, E, J, **Manual de edafologia: Relação solo-água-planta**, São Paulo, Agronômica Ceres, 1979, 262p,

KLEIN, V, A, **Física do Solo**, 2,ed, Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2012, 240 p,

KRIGE, D, G, A statistical approch to some basic mine evaluation problems on the Witwatersrand, **Johanesburg Chemistry Metallurgy Mining Society South African**, v,52, n,6, p,119-139, 1951,

KUNZ, M,; GONÇALVES, A, D, M, REICHERT, J, M; GUIMARÃES R,M,L,; REINERT D,J, Compactação do solo na integração soja-pecuária de leite em Latossolo argiloso com semeadura direta e escarificação, **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** v,37, p,1669-1708, 2013,

KUTILEK M,; NIELSEN, D,R, Soil Hydrology, **Catena Verlag**, Cremlingen-Destedt, Germany, 1994,,

LANDIM, P,M,B,; STURARO, J,R, **Krigagem indicativa aplicada á elaboração de mapas e probabilidades de riscos**, DGS, IGCE, UNESP/Rio Claro, Lab, Geomatematico, Texto Didático 06, 19 p,2002,

LANDIM, P, M, B, **Sobre Geoestatística e Mapas**, Terra Didática, v, 2, n,1, 19 - 33, 2006,

LANZANOVA ME et al, 2007, Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto, **Rev, Bras, Ciênc, Solo**, 31: 1131-1140,

LEIFELD, J,; BASSIN, S,; FUHRER, J,Carbon stocks in Swiss agricultural soils predicted by land-use, soil characteristics, and altitude, **Agriculture, Ecosystems & Environment,** [s,l,], v, 105, n, 1-2, p,255-266, jan, 2005, Elsevier BV, http://dx,doi,org/10,1016/j,agee,2004,03,006,

LIBARDI, P, L, **Dinâmica da água no solo,** Piracicaba, EDUSP, 2005, 335p,

LOGSTON, S, D,; ALLMARAS, R, R,; WU, L,; SWAN, J, B,; RANDALL, G, W, Macroporosity and its relation to saturated hydraulic conductivity under different tillage practices, **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v, 54, p, 1096-1101, 1990,

Luyssaert, S,; Schulze, E,-D,;Börner, A,, K,; Hessenmöller,; A, Dominik, L,, B,E,,; Ciais, P,; Grace, J,, 2008, Old-growth forests as global carbon sinks: **Nature**, v, 455, no, 7210, p, 213–215, http://dx,doi,org/10,1038/nature07276,

MATHERON, G, Principles of geostatistics, **Economic Geology**, n, 58, n, 8, p, 1246–66, 1963, http://dx,doi,org/10,2113/gsecongeo,58,8,1246.

MELO FILHO, J, F,, OLIVEIRA, A, S,, LOPES, L, C,, VELLAME, L, M, Análise estatística exploratória e variabilidade da densidade do solo em um perfil de Latossolo Amarelo coeso dos Tabuleiros costeiros da Bahia, **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v, 30, n, 2, p, 199 - 205, 2006.

MENEZES, S, M,; SAMPAIO, F, M, T,; RIBEIRO, K, D, (2006) **Estudo da condutividade hidráulica relacionada com alguns parâmetros físicos do solo**, In: XIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica/ IV Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas/ III Congresso Luso-Brasileiro de Geotecnia, Curitiba: 149-153.

MESQUITA, M, G, B, F,; MORAES, S, O, A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo, **Ciência Rural,** [s,l,], v, 34, n, 3, p,963-969, jun, 2004, FapUNIFESP (SciELO), http://dx,doi,org/10,1590/s0103-84782004000300052.

MEURER, E, J, **Fundamentos de Química do Solo,** 5ª Ed, Porto Alegre: Evangraf, 2012.

MILLER, M, P,; SINGER, M, J,; NIELSEN, D, R, Spatial Variability of Wheat Yield and Soil Properties on Complex Hills, **Soil Science Society Of America Journal,** [s,l,], v, 52, n, 4, p,1133-1141, 1988, Soil Science Society of America, http://dx,doi,org/10,2136/sssaj1988,03615995005200040045x.

MISHRA, S,; NAGARAJAN, R, Morphometric analysis and prioritization of subwatersheds using GIS and Remote Sensing techniques: a case study of Odisha, India, **Sangita mishra,s,** [s,l,], v, 1, n, 3, p,501-510, 2010.

MONTENEGRO, A, A,; MONTENEGRO, S, M, G, L, Variabilidade espacial de classes de textura, salinidade e condutividade hidráulica de solos em planície aluvial, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** [s,l,], v, 10, n, 1, p,30-37, mar, 2006, FapUNIFESP (SciELO), http://dx,doi,org/10,1590/s1415-43662006000100005.

MOREIRA WH et al, 2014, Influência da altura de pastejo de azevém e aveia em atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférrico, após sete anos sob integração lavoura-pecuária, **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 38: 1315-1326.

NIELSEN, D,R, & WENDORTH, O, Spatial and temporal statistics – sampling field soils and their vegetation, **Catena Verlag**, 2003.

OLIVEIRA, L, M, **Relação entre atributos do solo aplicando a abordagem em Espaço de Estados em duas bacias hidrográficas na região Sul do Rio Grande do Sul**, Pelotas, 2015, 78p, Dissertação de mestrado - Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Pelotas.

ORTIGARA, C,; KOPPE, E,;LUZ, F, B,; BERTOLLO, A, M,; KAISER, D, R,; SILVA, V,R, Uso do solo e propriedades físico-mecânicas de Latossolo vermelho, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v, 38, p, 619-626, 2014.

PRUSKI, F, F,; NEARING, M, Runoff and soil-loss responses to changes in precipitation: A computer simulation study, **Journal Of Soil And Water Conservation,** [s,i,], v, 1, n, 57, p,7-16, 2002.

REICHARDT, K; TIMM, L, C, **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**, 3, ed, – Barueri, SP : Manole, 2016.

REICHERT, J, M,; REINERT, D, J,; BRAIDA, J, A, Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas, **Ciência & Ambiente**, v,27, p, 29-48, 2003.

REICHERT, J, M,; SUZUKI, L, E, A, S,; REINERT, D, J, Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação, In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, Tópicos em Ciência do Solo, Viçosa, MG: SBCS, 2007, p, 1-48.

REICHERT, J, M,; SUZUKI, L, E, A, S,; REINERT, D, J, Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos mitigação, In: Tópicos em Ciência do Solo, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p,49-134.

REINERT, D, J,; REICHERT, J, M,; SILVA, V, R, Propriedades físicas de solos em sistema de plantio direto irrigado, In: Carlesso, R,; Petry, M, T,; Rosa, G, M,; Ceretta, C, A,(ed,), Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul, Santa Maria: UFSM, 2001, 165p.

REYNOLDS, W,D,; ZEBCHUK, W,D,,Use of contact material in tension infiltrometer measurements, **Soil Technology,** [s,l,], v, 9, n, 3, p,141-159, set, 1996, Elsevier BV, http://dx,doi,org/10,1016/s0933-3630(96)00009-8.

REZA, S,k, et al, Spatial distribution of soil physical properties of alluvial soils: a geostatistical approach, **Archives of Agronomy And Soil Science,** [s,l,], v, 62, n, 7, p,972-981, 3 nov, 2015.

RIBEIRO, K, D,; MENEZES, S, M,; MESQUITA,M, G, B, & SAMPAIO, F, M, T, Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG, Ciência Agrotécnicas, Lavras, v, 31, n,4, p, 1167 - 1175, 2007.

RIBON, A,A,; CENTURION, J,F; CENTURION, M,P,C; FERNANDES, K,L, & HERMÓGENES, V,T,L, Alterações na estabilidade de agregados de Latossolo e Argissolo em função do manejo, na entrelinha da seringueira, **Revista Árvore**, v,38, p,1065-1071, 2014.

RIBEIRO, L, S,; OLIVEIRA, I, R,; DANTAS, J, S,; SILVA, C, V,; SILVA, G, B,; AZEVEDO, J, R, Variabilidade espacial de atributos físicos de solo coeso sob

sistemas de manejo convencional e de plantio direto, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v, 51, n, 9, p, 1699-1702, 2016, http://dx,doi,org/10,1590/S0100-204X2016000900071.

RICHARDS, L, A, Physical conditions of water in soil, In: BLACK, C, A,(Ed,), **Methods of soil analysis**, Madison: American Society for Testing and Materials, 1965, p,128-152.

ROSA, S,F,, REINERT, D,J, REICHERT, J,M,, FLEIG, F,D, RODRIGUES, M,F,, GELAIN, N,S, PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DE UM ARGISSOLO SOB CULTIVO DE Eucalyptus dunnii Maiden NO PAMPA GAÚCHO, **Ciência Florestal** v, 28, n, 2, p, 580-590, 2018.

RUFO, R,L,T, & CRISTO, S,S,V, de, Sensoriamento remoto aplicado na análise do uso e ocupação da bacia hidrográfica do Córrego Titira, Porto Nacional, Tocantins, **Revista Interface (Porto Nacional)**, p,47-60, 2014.

SANTOS, M, L,, CARVALHO, M, P,, RAPASSI, R, M, A,, MURAISHI, C, T,, MALLER, A,, MATOS, F, A, Correlação linear e espacial entre produtividade de milho (Zea mays L,) e atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférrico sob plantio direto do Cerrado Brasileiro, **Acta Scientiarium Agronomy**,, v, 28, n, 3, p, 313 - 321, 2006.

SANTOS, J,P, **Erosividade determinada por desagregação de chuva diária no lado brasileiro da Bacia da Lagoa Mirim, Pelotas**, 2013, 89p, (dissertação mestrado) PPG MACSA.

SANTOS, H,P,; TOMM, G,O, Disponibilidade de nutrientes e teor de matéria orgânica em função de sistemas de cultivo e de manejo de solo, Ci, Rural, 33:477-486, 2003.

SAXTON, K, E,; RAWLS, W, J, Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions, **Soil Science Society Of America Journal,** [s,l,], v, 70, n, 5, p,1569-1578, 2006, **Soil Science Society of America**, http://dx,doi,org/10,2136/sssaj2005,0117.

SCHJONNING, P,; LAMANDE, M, A note on the vertical stresses near the soil-tyre interface, **Soil & Tillage** Research, v,108, p,77-82, 2010, http://dx,doi,org/10,1016/j,still,2010,03,006.

SEPASKHAH, A,R,; ATAEE, J, A. Simple Model to determine Saturated Hydraulic Conductivity for Large-scale Subsurface Drainage, **Biosystems Engineering,** [s,l,], v, 89, n, 4, p,505-513, dez, 2004, Elsevier BV, http://dx,doi,org/10,1016/j,biosystemseng,2004,08,013.

SHARMA, V, K, et al, 2006, Status of available major and micronutrients in the soils of different blocks of Leh district of cold arid region of Ladakh in relation to soil characteristics, **Journal of the Indian** Society of Soil Science, 54, 248-250.

SHE, D,; TANG, S,; SHAO, M, A,; XIA, Y, Characterizing scale specific depth

persistence of soil water content along two landscape transects, **Journal of hydrology,** V,*519*, p,1149-1161, 2014.

SHE, D, et al, Multi-scale correlations between soil hydraulic properties and associated factors along a Brazilian watershed transect, **Geoderma,** [s,l,], v, 286, p,15-24, jan, 2017, Elsevier BV, http://dx,doi,org/10,1016/j,geoderma,2016,10,017.

SI, B, C,; ZELEKE, T,B, Wavelet coherency analysis to relate saturated hydraulic properties to soil physical properties, **Water Resources Research,** [s,l,], v, 41, n, 11, p,303-306, nov, 2005, Wiley-Blackwell, http://dx,doi,org/10,1029/2005wr004118.

SILVA VR et al, 2002, Fatores controladores da compressibilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico e de um Latossolo Vermelho distrófico típico, II – grau de saturação em água, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 6: 9-15,

SILVA, L, S,, CAMARGO, F, A,, CERETTA, C, A, **Composição da fase sólida orgânica do solo**, In: Fundamentos de química do solo, Porto Alegre: Ed, Evangraf LTDA, 2010, p, 60 - 83,

SILVA, B, M, et al, Índice S no diagnóstico da qualidade estrutural de latossolo muito argiloso sob manejo intensivo, **Bioscience Journal,** Umuarama, v, 28, n, 3, p,338-345, 2012,

SILVA, S, A,; LIMA, J, S, S,; ZUCOLOTO, M, Distribuição espacial das frações granulométricas em um Latossolo Vermelho utilizando krigagem indicativa, **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v, 19, n, 3, p, 195-202, 2011,

SOARES, A, **Geoestatística para as ciências da terra e do ambiente** 2, Ed, Lisboa: IST Press, 2006.

SOARES, M, F**, Análise da variabilidade espacial dos atributos físico-hídricos do solo de uma bacia hidrográfica**, 2018, 101f, Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018,

SOBIERAJ, J,A,; ELSENBEER, H, & CAMERON, G, Scale dependency in spatial patterns of saturated hydraulic conductivity, **Catena**, 55:49-77, 2004.

STEPIEN, M,; GOZDOWSKI, D,; SAMBORSKI, S, A case study on the estimation accuracy of soil properties and fertilizer rates for different soil-sampling grids, **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v,176, p,57-68, 2013, DOI: 10,1002/jpln,201100422.

STEPNIEWSKI, W, et al, **Effects of compaction on soil aeration properties**, In: SOANE, B, D,; OUWERKERK, C, (Ed,) Soil compaction in crop production, Amsterdam: Elsevier, p, 167-169, 1994.

STOLF, R,; THURLER, A, M,; BACCHI, O, O, S,; REICHARDT, K, Method to estimate soil macroporosity and microporosity based on sand content and bulk density, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v,35, p,447-459, 2011.

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

TORMENA, C,A,; VIDIGAL FILHO, P,S,; GONÇALVES, A,C,A,; ARAÚJO, M, A,; PINTRO, J, C. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas de um Latossolo vermelho distrófico, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v, 8, 65-71, 2004.

TUCCI, C,E,M, (Org,), **Hidrologia: Ciência e aplicação**, 3, ed, Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2002.

TUNDISI, J, G,; MATSUMURA-TUNDISI, T, The ecology of UHE Carlos Botelho (Lobo-Broa Reservoir) and its watershed, São Paulo, Brazil, **Freshwater Reviews**, Washington, v, 6, n, 2, p, 75-91, 2014.

VALENTE J, M, G, P, **Geomatemática, Lições de Geoestatística**, Ed, Fundação Gorceix, vol, I-VIII, 1982.

VAN ROMPAEY, A, et al, Modeling sediment yields in Italian catchments, **Geomorphology,** [s,l,], v, 65, n, 1-2, p,157-169, fev, 2005, Elsevier BV, http://dx,doi,org/10,1016/j,geomorph,2004,08,006.

VASCONCELOS, R, F, B,; SOUZA, E, R,; CANTALICE, J, R, B,; SILVA, L, S, Qualidade física de um Latossolo Amarelo de tabuleiros costeiros em diferentes sistemas de manejo da cana-de-açúcar, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v, 18, n, 4, p, 381-386, 2014.

VEREECKEN, H, & HERBST, **M, Statistical Regression,** In: Y, Pachepsky, & W, J, Rawls (Eds,), Developments in Soil Science Series (pp, 3-19), Amsterdam: Elsevier BV, 2004.

VIANA, E, T,; BATISTA M, A,; TORMENA C, A,; COSTA A, C, S,; INOUE T, T, Atributos físicos e carbono orgânico em Latossolo vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v,35, p, 2105-2114, 2011.

VIEIRA, S,R, **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo**, In: NOVAIS, R,F; ALVAREZ, V,H; SCHAEFER, C,E,G,R, (eds,) Tópicos em ciência do solo, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa,v,1, p, 1-54, 2000.

VIEIRA, S, R,; MILLETE, J, A,; TOPP, G, C,; REYNOLDS, W,D, Handbook for Geostatistical analysis of variability in soil and meteorological parameters, In: ALVAREZ, V, H, (Ed,) **Tópicos em Ciência do Solo 2,** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p,1-45, 2002.

VILELA, L,C,; **Comparação entre as redes neurais artificiais e o método de interpolação krigagem aplicados à pesquisa agronômica,** 2004, 136 f, Tese

(Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP-Campus de Botucatu, Universidade Estadual Paulista, Botucatu 2004.

VOMOCIL, J,A, & FLOCKER, W,J, Effect of soil compaction on storag e and movement of soil air and water, **Trans, Am, Soc, Agric, Eng**,, 4:242-246, 1961,

WU, L,; PAN, L,; MITCHELL, J, & SANDEN, B, Measuring saturated hydraulic conductivity using a generalized solution for single-ring inûltrometers, **Soil Science Society of America Journal**, 63:788-792, 1999.

WANG, Y,Q,; SHAO, M,A,; LIU, Z,P, & ZHANG, C,C, Prediction of bulk density of soils in the Loess Plateau Region of China, **Surveys in Geophysics**, v,35, p,395–413, 2014.

WARRICK, A,W, & NIELSEN, D,R, Spatial variability of soil physical properties in the field, In: HILLEL, D,, ed, **Applications of soil physics**, New York, Academic Press, 1980, 350p.

WWAP (United Nations World Water Assessment Programme), 2014, The United Nations World Water Development Report 2014: Water and Energy, Paris, UNESCO.

YAMAMOTO J, K, (Ed,), **Avaliação e classificação de reservas minerais**, São Paulo: Edusp, 2001, p, 226.

YAMAMOTO, J, K,; LANDIM, P, M, B, **Geoestatísstica: Conceitos e Aplicacões**, Editora Oficina de Textos, 1,ed,, 2013.

YANG, D, et al, Global potential soil erosion with reference to land use and climate changes, **Hydrological Processes,** [s,l,], v, 17, n, 14, p,2913-2928, 2003, Wiley-Blackwell, http://dx,doi,org/10,1002/hyp,1441.

YAO, Z, et al, Organically fertilized tea plantation stimulates N2O emissions and lowers NO fluxes in subtropical China, **Biogeosciences,** [s,l,], v, 12, n, 20, p,5915-5928, 16 out, 2015, CopernicusGmbH, http://dx,doi,org/10,5194/bg-12-5915-2015.

ZHAO, Y,, LEI, J,, TUMARBAY, H,, XUE, J, (2017), Using sequential Gaussian simulation to assess the uncertainty of the spatial distribution of soil salinity in arid regions of Northwest China, **Arid Land Research and Management**, DOI: 10,1080/15324982,2017,1378771.

ZHOU, G, et al, Old-Growth Forests Can Accumulate Carbon in Soils, **Science,** [s,l,], v, 314, n, 5804, p,1417-1417, 1 dez, 2006, **American Association for the Advancement of Science**, http://dx,doi,org/10,1126/science,1130168.

9. Anexos

Anexo 1. Percentuais de argila, silte e areia para cada ponto amostrado na sub-bacia Santa Rita na camada de 0-0,20m.

Amostra	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)
1	16,74	15,76	67,50
2	5,82	5,28	88,90
3	11,85	17,35	70,80
4	13,38	19,82	66,80
5	21,79	14,96	63,25
6	44,53	17,67	37,80
7	15,03	22,02	62,95
8	15,75	18,10	66,15
9	19,20	19,00	61,80
10	37,96	11,84	50,20
11	19,75	18,00	62,25
12	19,34	15,36	65,30
13	28,72	18,68	52,60
14	17,00	31,40	51,60
15	37,16	14,99	47,85
16	12,62	20,53	66,85
17	16,63	23,02	60,35
18	16,84	20,71	62,45
19	16,75	24,40	58,85
20	43,18	14,02	42,80
21	14,16	22,89	62,95
22	20,82	21,73	57,45
23	14,53	25,02	60,45
24	12,40	27,50	60,10
25	29,12	22,63	48,25
26	27,00	22,95	50,05
27	24,37	18,78	56,85
28	17,97	26,73	55,30
29	12,85	21,35	65,80
30	25,28	25,32	49,40
31	14,28	21,47	64,25
32	15,64	19,81	64,55
33	11,26	15,74	73,00
34	18,44	44,96	36,60
35	33,07	25,23	41,70
36	35,98	21,67	42,35
37	20,86	15,24	63,90
38	16,93	17,17	65,90
39	34,28	32,67	33,05

40	7,74	15,21	77,05
41	20,96	26,44	52,60
42	36,38	22,42	41,20
43	28,92	16,63	54,45
44	12,18	18,57	69,25
45	32,07	17,28	50,65
46	22,77	19,68	57,55
47	15,68	17,77	66,55
48	20,56	28,94	50,50
49	17,78	21,92	60,30
50	17,08	31,42	51,50
51	15,02	20,73	64,25
52	23,48	20,52	56,00
53	15,80	21,05	63,15
54	15,43	31,87	52,70
55	19,00	17,05	63,95
56	17,04	17,66	65,30
57	15,74	20,06	64,20
58	12,12	24,83	63,05
59	15,87	23,53	60,60
60	17,92	24,43	57,65
61	18,51	18,59	62,90
62	15,38	20,72	63,90
63	12,19	18,61	69,20
64	29,79	24,06	46,15
65	29,44	24,06	46,50
66	13,65	15,10	71,25
67	16,58	24,57	58,85
68	18,80	30,90	50,30
69	19,54	23,06	57,40
70	16,42	23,13	60,45
71	13,62	32,28	54,10
72	11,07	22,08	66,85
73	23,02	47,98	29,00
74	12,82	24,48	62,70
75	12,00	26,40	61,60
76	28,22	20,84	50,98
77	13,87	20,83	65,30
78	25,11	21,04	53,85
79	7,40	6,50	86,10
80	11,97	20,08	67,95

Anexo 2, Condutividade hidráulica do solo saturado (Ksat), Densidade do solo (Ds) e Carbono orgânico do solo (CO), para cada ponto amostrado na sub-bacia Santa Rita na camada de 0-0,20m,

Amostra	Ksat (mm h^{-1})	Ds (g,cm^{-3})	CO (g kg^{-1})
1	34,04	1,55	14,28
2	30,67	1,48	17,49
3	29,23	1,73	5,82
4	27,19	1,30	19,32
5	37,38	1,57	12,00
6	109,38	1,47	10,23
7	25,70	1,57	14,49
8	181,77	1,39	14,76
9	21,58	1,32	20,22
10	24,69	1,34	22,20
11	5,43	1,57	11,01
12	159,05	1,51	11,49
13	36,95	1,57	7,14
14	146,11	1,40	16,05
15	11,84	1,44	22,50
16	368,89	1,26	18,00
17	64,71	1,62	5,10
18	1,10	1,50	12,27
19	130,63	1,43	21,60
20	23,98	1,60	7,14
21	1,50	1,43	14,40
22	233,31	1,42	14,34
23	1,57	1,65	11,94
24	26,87	1,30	9,66
25	56,61	1,40	18,24
26	79,65	1,53	11,07
27	20,48	1,33	16,65
28	2,33	1,42	17,16
29	2,31	1,37	14,70
30	13,12	1,44	10,38
31	919,93	1,28	4,29
32	2,39	1,47	11,79
33	7,08	1,66	6,75
34	695,51	1,24	21,90
35	174,41	1,44	15,54
36	58,23	1,65	8,97
37	131,93	1,56	14,16
38	22,39	1,51	7,05
39	16,47	1,35	12,42
40	3,62	1,75	9,30
41	43,81	1,60	10,17

42	188,05	1,56	6,69
43	167,68	1,56	11,59
44	34,98	1,48	18,95
45	38,72	1,65	8,10
46	31,31	1,53	8,25
47	39,79	1,59	9,96
48	34,05	1,60	6,00
49	7,59	1,62	7,80
50	94,76	1,62	9,38
51	26,33	1,49	12,00
52	24,19	1,67	9,16
53	263,62	1,59	11,13
54	3,62	1,65	8,49
55	9,51	1,66	12,63
56	104,54	1,59	6,60
57	51,17	1,50	14,53
58	197,51	1,45	22,65
59	15,16	1,63	7,89
60	1,70	1,74	10,92
61	51,02	1,56	8,10
62	48,70	1,43	14,94
63	46,79	1,53	9,15
64	26,10	1,67	8,05
65	73,16	1,28	17,21
66	25,19	1,69	9,85
67	15,50	1,54	12,21
68	3,68	0,97	20,01
69	16,80	1,80	6,00
70	27,16	1,54	4,95
71	7,05	1,60	9,98
72	6,34	1,66	6,39
73	20,53	1,65	6,90
74	9,22	1,55	10,65
75	1,16	1,59	10,36
76	3,11	1,64	6,30
77	3,38	1,69	5,64
78	7,10	1,60	17,34
79	112,72	1,48	3,60
80	23,61	1,69	7,96
81	29,07	1,67	6,57

Anexo 3. Condutividade hidráulica do solo saturado (Ksat), Densidade do solo (Ds) e Carbono orgânico do solo (CO), para cada ponto amostrado na sub-bacia Santa Rita na camada de 0-0,20m.

Amostra	Pt (%)	Ma (%)	Mi (%)
1	38,99	6,18	32,80
2	41,96	11,52	30,44
3	32,21	13,49	18,72
4	50,17	7,40	42,76
5	39,10	13,45	25,65
6	41,77	12,56	29,21
7	37,60	9,95	27,65
8	44,37	23,99	20,37
9	46,53	13,90	34,22
10	46,01	11,93	34,08
11	44,91	4,02	40,90
12	45,02	18,40	26,62
13	41,95	13,56	28,38
14	43,83	20,16	23,66
15	42,85	7,13	35,72
16	38,25	23,74	14,52
17	37,94	12,27	25,67
18	37,59	10,12	34,61
19	44,60	17,72	26,88
20	35,33	10,20	25,13
21	41,53	2,96	38,57
22	40,87	14,28	26,59
23	34,38	2,58	31,79
24	42,56	12,53	30,03
25	45,43	13,76	31,67
26	41,23	15,36	25,87
27	49,00	7,46	41,54
28	42,21	5,06	37,15
29	43,27	7,90	35,36
30	38,31	7,08	31,23
31	40,08	29,31	10,77
32	40,04	6,93	33,11
33	32,51	6,19	26,33
34	43,92	22,28	21,64
35	40,86	21,44	19,42
36	35,52	9,53	26,00
37	42,58	12,21	30,37
38	38,23	13,88	24,35
39	42,37	10,02	32,35

40	29,21	3,36	25,85
41	35,78	5,70	30,08
42	36,72	9,08	27,64
43	37,64	5,25	32,39
44	44,09	6,40	37,68
45	33,85	3,68	30,17
46	37,92	4,83	33,09
47	39,18	4,77	34,41
48	34,50	10,24	24,27
49	35,13	4,52	30,62
50	34,67	5,23	29,44
51	37,18	10,23	26,95
52	31,61	2,31	29,30
53	39,53	6,34	33,19
54	33,27	4,21	29,06
55	39,19	3,64	35,55
56	37,91	9,92	27,99
57	41,52	6,22	35,29
58	41,64	4,89	36,75
59	34,81	7,29	27,52
60	32,77	2,31	30,46
61	37,67	6,58	31,09
62	46,51	8,19	38,32
63	42,95	8,56	34,39
64	37,82	6,25	31,57
65	45,84	18,27	27,58
66	32,70	4,54	28,17
67	40,28	8,30	31,98
68	59,30	3,30	56,00
69	30,35	5,64	24,72
70	36,92	6,39	30,54
71	36,89	4,64	32,25
72	34,94	6,67	28,27
73	33,20	7,67	25,53
74	39,14	7,11	32,03
75	36,03	3,21	32,82
76	34,75	3,30	31,44
77	31,97	4,72	27,25
78	40,09	4,92	35,17
79	44,91	21,59	23,32
80	34,45	7,27	27,18
81	35,89	3,58	32,30