UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA

JADER FELIPE ARAÚJO JUSTO

VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DO SOLO NO PERÍMETRO IRRIGADO BAIXO-AÇU

Mossoró
2020

JADER FELIPE ARAÚJO JUSTO

VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMCOS DO SOLO NO PERÍMETRO IRRIGADO BAIXO-AÇU

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de "Mestre em Manejo de Solo e água"

Linha de Pesquisa: Impactos Ambientais pelo Uso do Solo e da Água

Orientador: Prof. D. Sc. Miguel Ferreira Neto

Mossoró

2020

JADER FELIPE ARAÚJO JUSTO

VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO NO PERÍMETRO IRRIGADO BAIXO-AÇU

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de "Mestre em Manejo de Solo e Água".

Linha de pesquisa: Impactos ambientais pelo uso do solo e da água

Defendida em: 31/01/2020

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Miguel Ferreira Neto

Prof. Dr. Nildo da Silva Dias

Dr. Artênio Cabral Barreto

Mossoró
2020

©Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei n° 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei n° 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

JA91v Justo, Jader Felipe Araújo.
VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICO QUÍMICOS DO SOLO NO PERÍMETRO IRRIGADO BAIXO-AÇU / Jader Felipe Araújo Justo. – 2020.
53 f. : il.

Orientador: Miguel Ferreira Neto.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em , 2020.

1. Geoestatística. 2. Semivariograma. 3. Dependência espacial. 4. Krigagem. I. Neto, Miguel Ferreira , orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC´s) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me sustentar durante essa jornada de dois anos, o qual por intermédio de sua palavra me dava força, saúde, sabedoria e esperança para nunca retroceder. O qual mais uma vez se mostrou amigo fiel para todas as horas, sendo meu refúgio nos momentos difíceis.

A minha mãe, Sandra Maria, pelo apoio e motivação nas horas em que mais precisei, por ser o meu porto seguro sempre que precisei voltar ao cais;

Aos meus irmãos, João Victor e Julia Vitória, por serem a minha motivação e me fazerem ser melhor a cada dia para ser exemplo;

A Universidade Federal Rural do Semi-Árido por ter me proporcionado a oportunidade de realização do curso;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa, a qual foi indispensável para a realização do trabalho;

Ao professor Miguel Ferreira Neto, pela confiança e ajuda, o qual sempre se mostrou arauto de disponibilidade e presteza em fornecer orientação. Pensávamos ser impossível duas áreas tão semelhantes e ao mesmo tempo tão diferentes executarem um trabalho em conjunto. Sem sua ajuda seria impossível;

Ao perímetro irrigado do Baixo-Açu, representado pelo seu diretor, Marcílio Torres;

Aos amigos de convivência Romualdo Cortez, Iago do Vale e Alberto Dias pela constante ajuda, apoio e pelas histórias construídas. Vocês foram chaves fundamentais não só para a realização desse trabalho, mas no meu amadurecimento humano;

Ao Renan Nóbrega, pela amizade construída e ajuda na realização do trabalho;

Ao Gleydson Freitas, o qual sem a ajuda seria impossível a realização desse trabalho. Testifico a minha gratidão eterna não somente aos momentos laborais, mas também ao quanto você ensinou como pessoa;

Ao professor Nildo Dias, o qual tenho como exemplo de vida, trabalho e dedicação. Serei sempre grato pela confiança na execução de pesquisas e trabalhos em conjunto. Durante a jornada acadêmica sempre nos espelhamos em grandes pesquisadores, tenha a certeza de que você é um dos que me inspiram;

As irmãs, Rutilene e Elidayane, vocês foram minhas pernas e braços dentro do laboratório, as quais forneceram ajuda inestimável. Louvo a Deus pela vida de vocês;

A minha amiga, Kellyane Mendes pela ajuda em Laboratório, risadas, companheirismo e aconselhamentos. Você é importante não somente na minha vida acadêmica, mas também na minha vida pessoal;

Ao Artênio pelo compartilhamento de conhecimento e introdução as pesquisas no ramo da salinidade do solo. Serei eternamente grato pelas lições e trabalhos que construímos através de parceria;

Ao Vaniês, pela confiança e aprendizado proporcionado na execução de experimentos. Além da paciência na realização e correção de trabalhos;

Aos laboratoristas que proveram ajuda para a realização das análises, em especial, Antônio Carlos, pelos ensinamentos divididos e paciência para a execução da pesquisa;

Ao grupo de pesquisa em Reuso de Água pelo aprendizado proporcionado e ajuda nos diversos trabalhos realizados;

A todos os professores do departamento de solos pela imensa ajuda, disponibilidade e dedicação em dividir seus conhecimentos;

A todos não citados, que de alguma maneira colaboraram para realização desse trabalho.

À minha mãe, **Sandra Maria Araújo Justo**

Aos meus irmãos **João Victor** e **Julia Vitória**

Dedico

“Sucesso é ir de fracasso em fracasso
sem perder o entusiasmo”

- Winston Churchill

RESUMO

O manejo inadequado dos recursos naturais pode causar impactos ambientais negativos, comprometendo a sua disponibilidade. A salinização é um problema limitante para o desenvolvimento de culturas, diminuindo a produtividade e ocasionando relevantes impactos ambientais, sociais e econômicos. Nesse contexto, a identificação e caracterização dos solos *in loco* é oneroso e demanda muito tempo, dessa forma, a modelagem geoestatística se configura como uma ferramenta prática que viabiliza estudos de diagnósticos em diversas áreas afetadas pelo excesso de sais contribuído para a análise de dependência ou não entre pontos. Deste modo, objetivou-se analisar o padrão da dependência espacial de atributos físico-químicos dos solos relacionados a salinidade do Distrito Irrigado do Baixo Açu – DIBA utilizando modelagem geoestatistica. Foi selecionado o lote 79 e, estabeleceu-se uma malha com 5 linhas e 9 colunas com a finalidade de realizar coleta dos solos nos pontos de intercessão, totalizando 45 pontos coletados a profundidade 0,30 cm equidistantes em 40 m. As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de solo, água e planta para a caracterização físico-química. Para estudo geoestatístico, avaliou-se dependência espacial, curtose, assimetria, coeficiente de determinação e o melhor modelo aplicado (esférico, exponencial ou gaussiano).Os resultados mostram que, o modelo que melhor explicou a distribuição dos dados dos atributos químicos foi o exponencial, com a maioria dos dados classificados com moderada dependência espacial. As maiores concentrações de sódio e cálcio e, Condutividade elétrica do solo foram encontradas nas áreas mais baixas. Em relação aos micronutriente, os modelos esférico e gaussiano foram os que melhor explicaram o comportamento destes atributos no solo. O ferro e o cobre tiveram relação direta com o relevo, onde as maiores concentrações foram encontradas nas áreas mais altas da área de estudo. Para a granulometria, o modelo esférico foi o melhor para explicar a variação das partículas no solo e, nas áreas mais baixas notou-se maior concentração das partículas de areia. Os atributos analisados apresentaram dependência espacial, o que demonstra a importância desses estudos afim de executar correto manejo nas áreas avaliadas e suas diferentes necessidades. A krigagem se mostrou uma ferramenta importante no conhecimento da dinâmica espacial do solo e seus atributos, podendo ser utilizada para gerir e tomar decisões para manter a conservação e qualidade do solo.

Palavras-chave: Geoestatística. Semivariograma. Dependência espacial. Krigagem

ABSTRACT

The management of natural resources can cause environmental damage, compromising their availability. Salinization is a limiting problem for the development of cultures, reducing research and causing environmental, social and economic impacts. In this context, the identification and characterization of soils at the site is costly and requires a lot of time, thus, a geostatistical modeling is configured as a useful tool to enable diagnostic studies in several areas affected by the excessive contribution of taxpayers to an evaluation analysis. or not between points. In this way, the objective is to analyze or define the distribution pattern of physical-chemical factors of products related to the salinity of the Irrigated District of Baixo Açu - DIBA using geostatistical modeling. It was selected in lot 79 and a mesh with 5 rows and 9 columns was established with the possibility of collecting the soil at the points of intercession, totaling 45 points collected at a depth of 0.30 cm equidistant in 40 m. As adhesives, they were sent to the soil, water and plant laboratory for physical-chemical characterization. For geostatistical study, with space restriction, kurtosis, asymmetry, coefficient of determination and the best applied model (spherical, exponential or Gaussian). The results show that, or the model that best shows the distribution of data of exponential chemical use, with most data classified with moderate spatial dependence. The higher the levels of sodium and calcium, the electrical conductivity of the soil is also found in the lower areas. Regarding micronutrients, the spherical and Gaussian models were the ones that best explained the behavior of these characters in the soil. Iron and copper were directly related to the relief, where the largest were identified in the higher areas of the study area. For a granulometry, the spherical model was the best to explain the variation of variations in the soil and, in the lower areas, except for the highest concentration of sands. The analyzed attributes, which are subject to spatial restrictions, which demonstrates the importance of these studies to correctly perform the management in the evaluated areas and their different needs. If you have shown an important tool in the knowledge of space and its attributes, it can be used to use and make decisions to maintain soil conservation and quality.

Keywords: Geostatistics. Semivariogram. Spatial dependence. Kriging

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema do processo de salinização primária 4
Figura 2: Processo de salinização secundária do solo 5
Figura 3: Delimitação da área do perímetro irrigado do Baixo-Açu 11
Figura 4: Distribuição dos pontos de coletas na área de estudo 12
Figura 5: Mapa de krigagem com curvas de relevo na área de estudo para a condutividade elétrica e pH do solo 18
Figura 6: Mapa de krigagem com curvas de relevo na área de estudo para a M.O e P do solo. 19
Figura 7: Mapa de krigagem com curvas de relevo na área de estudo para a K e Na do solo. 18
Figura 8: Figura 8: Mapa de krigagem com curvas de relevo na área de estudo para Ca e H+Al do solo. 18
Figura 9: Mapa de krigagem com curvas de relevo na área de estudo para SB e V do solo ... 19
Figura 10: Mapa de krigagem com curvas de relevo na área de estudo para PST e CTC do solo. 19
Figura 11: Mapa de krigagem com curvas de relevo na área de estudo para Mg no solo. 20
Figura 12: Mapa de krigagem com curvas de relevo na área de estudo para zinco e manganês no solo. 26
Figura 13: Mapa de krigagem com curvas de relevo na área de estudo para ferro e cobre no solo. 26
Figura 14: Mapa de krigagem com curvas de relevo na área de estudo para areia e argila no solo. 30
Figura 15: Mapa de krigagem com curvas de relevo na área de estudo para fração silte no solo. 30
Figura 16: Mapa de krigagem com curvas de relevo na área de estudo dos agregados no solo 33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Limites e critérios para classificação dos solos quanto a salinidade 7

Tabela 2: Estatística descritiva dos atributos químicos do solo analisado 15

Tabela 3: Medidas de distribuição espacial dos atributos químicos do solo analisado..... 16

Tabela 4: Estatística descritiva micronutrientes do solo analisado 24

Tabela 5: Medidas de distribuição espacial dos micronutrientes do solo analisado..... 25

Tabela 6: Estatística descritiva para as frações granulométricas do solo analisado 28

Tabela 7:Medidas de distribuição espacial dos micronutrientes do solo analisado 29

Tabela 1: Estatística descritiva para as frações granulométricas do solo analisado.....31

Tabela 2: Medidas de distribuição espacial dos micronutrientes do solo analisado.....32

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....1

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....3

2.1 Salinização do solo.....3

2.2 Efeitos dos sais no solo e na planta.....6

2.3 Mapeamento da salinidade.....8

2.4 Perímetro Irrigado Baixo Açu.....9

3. MATERIAL E MÉTODOS 11

3.1 Localização e caracterização da área de Estudo.....11

3.2 Amostras e análises de solo.....1

3.3 Análise geoestatística.....13

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....14

4.1 Atributos Químicos do Solo.....14

4.1.1 Micronutrientes.....24

4.2 Atributos Físicos.....27

4.2.1 Textura.....27

4.2.2 Agregados.....31

5. CONCLUSÕES.....34

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....35

1. INTRODUÇÃO

O solo é um recurso natural de papel fundamental na manutenção da vida humana, visto que é o local onde se concentra maior parte dos processos que ocorrem na litosfera (MUGLER et al., 2006).

Em condições naturais, o solo é sujeito a poucos processos de degradação devido a existência do equilíbrio dos fatores ambientais e, quando há ações antrópicas nestes ambientes pode ocorrer a quebra desse equilíbrio e o solo pede matéria orgânica, nutrientes e, em estágios avançados de degradação, pode se desestruturar , perdendo características essenciais como o filtro ambiental (RAIJ, 2011).

A agricultura irrigada, constituída pelo conjunto de técnicas de aplicação de água no solo por vias artificiais, tanto de forma complementar ou total para o desenvolvimento de culturas, muitas vezes está atrelada a uma solução de desenvolvimento regional, principalmente no nordeste brasileiro (Castro, 2013).

Implementada em regiões áridas e semiáridas como estratégia para suprir a necessidade hídrica, a agricultura irrigada proporciona aumento de produtividade e aplicação de recursos financeiros em determinadas regiões, o que tem por finalidade otimizar a distribuição da água e um maior retorno econômico-financeiro.

No semiárido, a técnica de irrigação é utilizada como complemento de necessidades hídricas a fim de tornar tais áreas produtivas (LIMA, 2010). Entretanto, o manejo inadequado da irrigação pode causar a salinização das terras, principalmente quando associado com o uso de águas salobras (MOREIRA et al., 2016).

A salinização é o acúmulo de sais solúveis no solo, esse processo de degradação ambiental pode ocorrer devido à ausência de sistema de drenagem e lavagem do solo, podendo ser potencializado em locais onde a taxa de evapotranspiração ultrapassa ou se equaliza a precipitação pluviométrica efetiva, o que ocorre em regiões áridas e semiáridas. Tal fator ocasiona diversos problemas para a produção agrícola, no solo, o alto valor de porcentagem de sódio trocável pode ocasionar a dispersão de argilominerais e matéria orgânica, o que altera a estrutura do solo e ocasiona problemas relacionados a infiltração (BATISTA et al., 2002).

A salinização é um processo devastador de degradação do solo e, atualmente existem mais de 397 milhões de hectares de terras completamente salinizadas (Koohafkan, 2012).

Segundo Farifteh (2007), a percepção do processo de salinização em seu estágio inicial é de suma importância para o correto manejo de uma área cultivada, pois permite o uso de medidas corretivas ou preventivas para diminuição do impacto do problema.

Os crescentes avanços tecnológicos na área das ciências agrícolas mostram a necessidade e importância de se medir a distribuição espacial de propriedades que afetam a produtividade das culturas, com o objetivo de aumentar a produtividade e diminuir custos com aplicação de insumos.

Nesse contexto, a geoestatística se caracteriza como uma ferramenta com alta eficiência de mapeamento de características de solos, pois a mesma permite realizar mapeamento orientação de futuras amostragens e modelagens, permitindo, assim, estimar o valor do atributo em locais não amostrados, facilitando a gestão dos recursos naturais e uso e manejo do solo (LEMOS et al., 2017). Estudos como os de GUIMARÃES et al., 2016; VIEIRA et al., 2007; HÉBRAD et al., 2006 mostram correlação ou dependência espacial de atributos físicos e químicos do solo.

Objetivou-se avaliar a variabilidade e distribuição espacial de atributos físico-químicos relativo afim de caracterizar o grau de salinidade dos solos no Distrito Irrigado do Baixo-Açu (DIBA).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Salinização do solo

A salinização do solo é um problema relacionado a degradação do solo, sua ocorrência está comumente relacionada a regiões áridas e semiáridas em todo o mundo. Define-se salinidade o processo de acúmulo de sais solúveis no solo, como sódio (Na^{+}), potássio (K^{+}), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2-}), carbonato (CO_3^{2-}), bicarbonato (HCO^{3-}), cloreto (Cl^{-}) e sulfato (SO_4^{2-}). Tal processo compromete e ameaça a segurança da produção agrícola a nível mundial além de comprometer a sustentabilidade da agricultura (QIAN, 2018).

Solos com salinos ou sódicos, também denominados solos halomórficos tem suas características físicas e químicas afetadas, a modificação da estrutura danifica o processo de transporte de água, diminuindo consideravelmente a produtividade em áreas afetadas pelo referido processo (Daliakopoulos, 2016).

Ao redor do mundo, a salinização já atingiu todos os continentes, excetuando-se a Oceania, a problemática atinge principalmente regiões áridas e semiáridas, onde faz-se necessária uma grande quantidade de água para irrigação, tendo uma alta evapotranspiração (ACOSTA et al.,2016)

De acordo com Szabolcs (1981) se considerado apenas a salinização como fator de degradação, estima-se que cerca de 7,0% da superfície terrestre apresenta problemas relacionados a concentração de sais, seja natural ou induzida por atividades antrópicas. Isto é, em 1981 a salinidade atingia uma área equivalente 9.500.000 km² de solo distribuídas em todos os continentes, excetuando-se a Oceania.

A FAO estima que no ano de 2015, a salinidade induzida pela ação humana tenha atingido uma área de 760.000 km² de terra em todo o mundo, o que abrange uma região maior que toda a área arável do Brasil (Montanarella, 2015).

Essa taxa pode ser aumentada por consequência das modificações climáticas, utilização de águas subterrâneas (próximas a áreas costeiras) e aumento da utilização de águas de baixa qualidade, dificultando o desenvolvimento de diversas culturas em áreas afetadas pela problemática (Machado, 2017).

A salinização ser ocasionada por conta de uma combinação de fatores climáticos (taxa de evapotranspiração acima ou se igual a precipitação pluviométrica efetiva), edáficos (solos com baixa permeabilidade) e de manejo do solo (Ribeiro, 2010). Nesse contexto, definem-se dois tipos de desenvolvimento do processo de salinização, a primária e a secundária.

Entende-se por salinização primária, toda aquela ocasionada pelo desenvolvimento de sais através de processos naturais, incluindo principalmente condições físicas do ambiente, transporte de material geológico e águas subterrâneas.

Devido a algumas formações geológicas, a existência da rocha original constituída por material rico em carbonato e feldspato ocasiona o aumento dos sais dispostos nas águas subterrâneas (Daliakopoulos, 2016). Dessa forma, por capilaridade a água subterrânea ascende as camadas sobrepostas do solo, onde acumulam-se sais previamente dissolvidos (Pedritti, 2015).

Conquanto, a decomposição de minerais no próprio meio raramente ocasiona o acúmulo de sais no solo a um nível que posso limitar e dificultar o desenvolvimento das culturas. Geralmente a formação de solos afetados por sais são carreados pela água. que se configura como o principal transportador (Wanderley, 2009).

O solo também pode sofrer acúmulo de sais devido a intrusão marítima e transporte de sais pelo ar (Figura 1). O processo de aumento da maré ocasiona a deposição de sais em regiões costeiras, aumento de salinidade atrelados a intrusão lateral do mar já foram observados em países europeus.

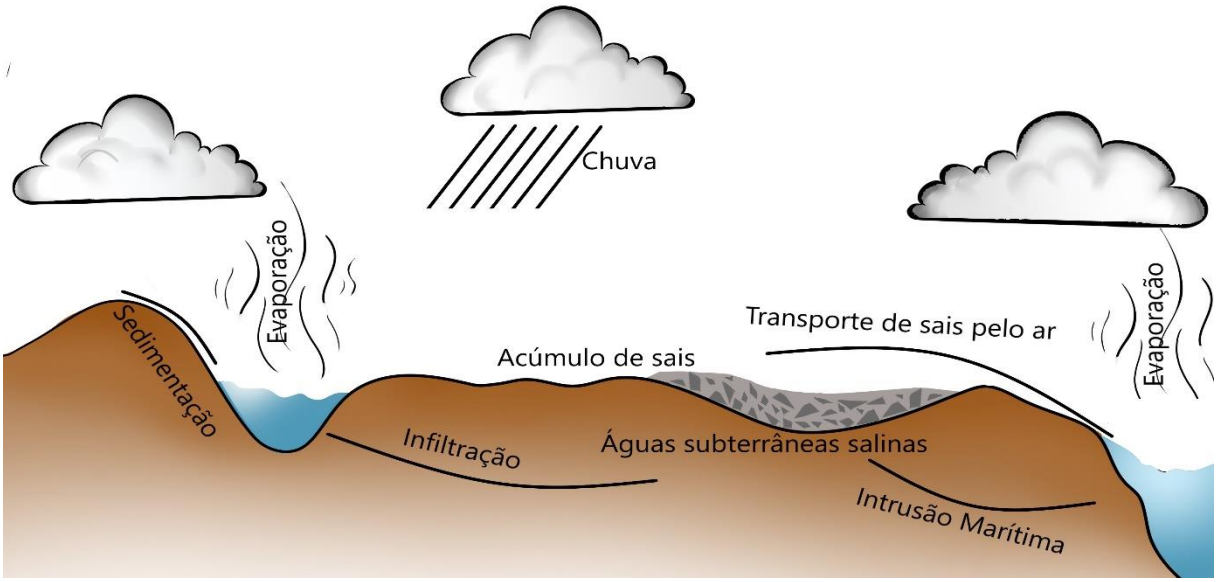


Figura 1: Esquema do processo de salinização primária
Fonte: Elaborado pelo autor

Segundo Daker (1988), os sais são transportados pela água e depositados em solo, onde acumulam-se de acordo com o consumo da água pelas culturas e evaporação, dando início ao processo de salinização.

A salinização antrópica, ou seja, aquela ocasionada por atividades humanas se configura mais perceptível em condições de alta evapotranspiração e baixa pluviosidade. Geralmente

atrelado a prática da irrigação e inexistência de sistema de drenagem adequada para carreamento e remoção dos sais (Seydehmet, 2018).

No Brasil, o semiárido nordestino possui características propícias ao desenvolvimento de solos halomórficos. A composição física e química dos solos atrelados ao déficit hídrico que oportuniza o do uso de irrigação com águas de má qualidade, concede uma maior probabilidade de acúmulo de sais em perímetros irrigados (Silva, 2011).

Mesmo o sal não possuindo associação carcinogênica, seu excesso ocasiona alteração não só das características do solo, como também das águas subterrâneas. A inexistência de um manejo adequado tem afetado cerca de 25% dos solos do nordeste pelo acúmulo de sais (Barros, 2005).

Além disso, a utilização excessiva e indiscriminada de fertilizantes tem se mostrado fator relevante para o desenvolvimento de áreas salinas (Figura 2). As altas doses de aplicação ocasionam dificuldades na germinação de sementes e desenvolvimento de algumas culturas (Pereira, 2018). É necessário ainda salientar a superficialidade do lençol freático, se houver há acúmulo de sais por capilaridade

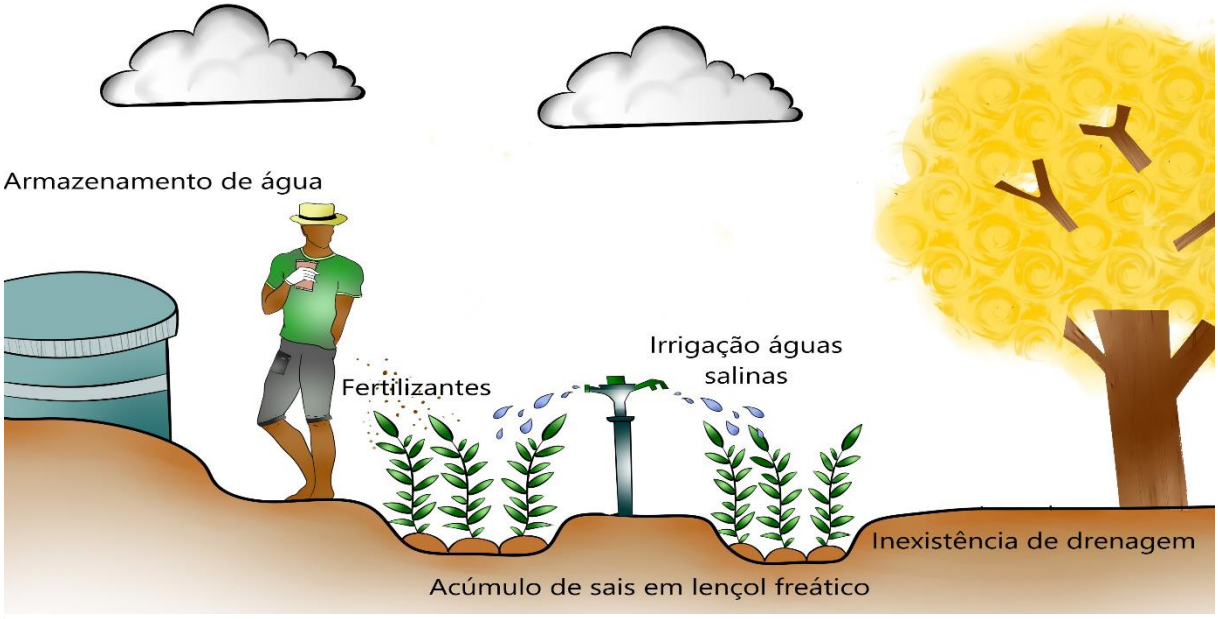


Figura 2: Processo de salinização secundária do solo
Fonte: Elaborado pelo autor

Em algumas regiões, o despejo de rejeito de subprodutos de dessalinizadores sem o devido tratamento em corpos hídricos ou no solo ocasiona concentração de sais no solo, além de alterar toda a comunidade biológica da região (Pedrotti, 2015).

2.2 Efeitos dos sais no solo e na planta

A alta concentração de Na^{+} desloca cátions de Ca^{2+} e Mg^{2+} que permanecem ligados a argila, ocasionando alteração considerável da estrutura. O excesso de cátions monovalentes produz aumento da dupla camada iônica difusa, gerando expansão das partículas de argila, ocasionando dispersão das mesmas (Paix, 2013). Diminuindo a quantidade de espaço poroso e, consequentemente a movimentação de água no solo, tal processo ocasiona dispersão da argila aumentando a susceptibilidade da área a erosão.

Sob altas temperaturas, o processo de secagem de solos sódicos tem sua estrutura danificada, devido a este fator torna-se densos, formando camadas impermeáveis na superfície que dificulta o enraizamento de plantas e a germinação de sementes, além de ter sua capacidade de armazenamento de água diminuída (Chhabra, 2017).

Na planta, a presença excessiva de sais na solução do solo dificulta absorção da água diminuindo a produtividade das culturas, visto que no momento em que a água quando atinge uma concentração de sais maior que a das células das raízes da planta a mesma não consegue absorver devido o processo de osmose, fazendo com que a planta perca água para o meio ocasionando a plasmólise, fazendo com que a planta entre em seca fisiológica (Batista et al., 2002). Quanto mais salino o solo, mais energia a planta necessita para absorver a água do solo (Munns & Termaat, 1986)

Além da inibição osmótica, os efeitos tóxicos da salinidade no crescimento das culturas afetam a nutrição, devido as alterações do processo de absorção, transporte e assimilação de nutrientes. O excesso de Na dificulta a assimilação de nutrientes como cálcio e potássio. (Farias et al., 2009)

As culturas podem apresentar diferentes mecanismos de defesa e tolerância a ambientes salinos, fornecendo respostas adaptativas ao estresse de salinidade em níveis moleculares, metabólicos e celulares (Gupta e Huang, 2014). Atualmente, o foco das pesquisas internacionais acerca da fisiologia em condições de estresse salino é a seleção de espécies e genótipos tolerantes aos sais com o objetivo de diminuir as perdas de produtividade e rendimento (Koubouris et al., 2015).

Denominam-se halófitas as plantas que possuem a capacidade de se desenvolverem em ambientes salinos externando características dos mecanismos de defesa adotados pela cultura, como por exemplo a suculência, que funciona como meio de regulação do balanço salino, fato decorrente da sua plasticidade fenotípica (Boeger et al. 2006).

Como resposta aos danos causados pelo estresse salino, enumeram-se estratégias como modificação nas estruturas das membranas; alteração dos níveis hormonais e enzimáticos e

compartimentalização de íons. Proporcionando um manuseio mais eficiente dos sais (Mudgal et al., 2010)

Algumas características observadas em campo se configuram como indicadores do processo de salinização, como a ausência de vegetação, presenças de manchas de solo, áreas onde não há infiltração da água e o aparecimento de crostas brancas em superfície (Lin e Bañuelos, 2015). Também associasse como um bio-indicador a presença excessiva de halófitas em determinadas regiões (Wong et al., 2010).

Contudo, devido as incertezas e limitada compreensão dos ecossistemas do solo, pesquisas são direcionadas a evidenciar a salinidade no solo através de características físicas e químicas dos mesmos (Huber et al., 2008).

Diferentes tipos de solos são caracterizados pela sua capacidade de adsorver componentes de sais dissolvidos, o processo, envolve a troca de cátions em uma extensão que depende da concentração de cátions, sua natureza e quantidade de cátions presentes no complexo de troca (Amorim, 2010). Nesse contexto, a salinidade expressa pelos íons de sódio é expressa por meio da razão de porcentagem de sódio trocável (Van Beek; Toth, 2012).

A porcentagem de sódio trocável (PST) é definida como a quantidade de sódio adsorvido no complexo de troca do solo, a PST é calculada pela equação 2:

$$\boldsymbol{PST}\ (\%) = \frac{Na}{CTC}\ .100$$

Onde: CTC representa o total de cátions que o solo pode reter na superfície e está disponível para a absorção da planta.

Solos afetados por sais contém sais solúveis e/ou sódio trocável com a capacidade de interferir no desenvolvimento das culturas, dessa forma classificam-se o nível de degradação dos solos por sais através do pH, condutividade elétrica do extrato de saturação e porcentagem de sódio trocável, conforme a Tabela 1.

Tabela 1: Limites e critérios para classificação dos solos quanto a salinidade

Critérios	Tipos de solos			
	Normal	Salino	Salino-sódico	Sódico
CE (dS m^{-1})	< 4	> 4	> 4	< 4
PST (%)	< 15	< 15	> 15	> 15
RAS	< 13	< 13	> 13	> 13
pH	< 8,5	< 8,5	> 8,5	> 8,5

Fonte: Richard (1969)

Os solos salinos se caracterizam por apresentarem altas concentrações de sais solúveis, constituídos por íons Ca^{++}, Mg^{++}, Cl^{-}, Na^{+} e SO_4. Nessa classificação os teores do sódio são relativamente baixos se comparados aos de cálcio e magnésio, por conta disso a PST nesses solos é sempre inferior a 15%

Solos salinos-sódicos apresentam altas concentrações de sais solúveis e sódio trocável, sendo resultantes dos processos combinados de salinização e sodificação. Usualmente apresenta, características físicas semelhantes à de solos normais.

Solos sódicos possuem PST acima de 15%, entretanto baixos teores de sais solúveis, possuem pH elevado (entre 8,5 e 10). Tais solos apresentam dispersão coloidal o que diminui a permeabilidade e consequente diminuição da capacidade de absorção de água e nutrientes das plantas.

2.3 Mapeamento da salinidade

A utilização de tecnologias de mensuração da salinidade e estimativa de áreas com potencial desenvolvimento do problema é de fundamental importância para mitigação e recuperação do solo. Técnicas de monitoramento da salinidade no solo são aplicadas de forma não-intrusiva, como a utilização de imagens de satélite e aplicação de índices espectrais (Domra Kana et al., 2015).

Práticas de mapeamento remoto se mostram eficientes para o monitoramento da salinidade em solo, superando os métodos tradicionais, visto que são mais ágeis e possuem resultados com alta confiabilidade, onde utilizam-se imagens diretamente do sal depositado em superfície (espectro visível) ou através de detecção remota multiespectral (Farifteh, 2008).

A geoestatística se caracteriza como uma ferramenta com alta eficiência de mapeamento de características de solos, pois a mesma permite realizar mapeamento orientação de futuras amostragens e modelagens, permitindo, assim, estimar o valor do atributo em locais não amostrados, facilitando a gestão dos recursos naturais e uso e manejo do solo (Lemos et al., 2017). Estudos como os de Almeida et al., 2016; Vieira et al., 2007; Hébrad et al., 2006 mostram correlação ou dependência espacial de atributos físicos e químicos do solo.

A capacidade de mapear informações do solo atreladas a dados terrestres fornecem uma possibilidade de monitoramento e inovações aplicados a salinidade. A aplicação de metodologias como a geoestatística de mostraram eficientes em trabalhos na Espanha (Martínez-Sánchez et al., 2011) e na Grécia (Alexakis et al., 2015).

A variação das características do solo vem sendo alvo de estudo de pesquisadores ao longo dos últimos anos. Ainda em 1910, estudos como o de Smith (1910) abordaram avaliar os efeitos da variação das características do solo em um experimento que analisou a produtividade

de diferentes variedades de milho. A variação de nitrogênio e carbono no solo foram objeto de pesquisa afim de conhecer a variabilidade dos mesmos em diferentes amostragens por Waynick e Sharp (1919).

Nesse âmbito, Krige (1951) trabalhando com concentração de ouro em minas na África do Sul verificou que não conseguira seguir uma linha lógica entre as variâncias caso não levasse em consideração a distância entre as amostras. Baseado nas informações obtidas por Krige, Matheron (1971) desenvolveu a Teoria das Variáveis Regionalizadas, a mesma é definida como uma função numérica espacial, cuja função não pode ser representada por uma simples função matemática, a dependência espacial é representada por semivariograma por meio de krigagem (homenagem ao matemático D.G. Krige), utilizando qualquer posição dentro de um campo de amostras para estimar valores.

A krigagem se mostra um excelente interpolador pelo fato não ter tendência e trabalhar com mínima variância. Pode-se utilizar duas variáveis medidas em uma mesma área de amostragem, avaliando a taxa de semelhança das mesmas, como por exemplo textura do solo e taxa de infiltração, considera-se que pontos que apresentem maior teor de argila a infiltração será menor, e, pontos onde há maior concentração de partículas de areia haverá maior infiltração.

Dessa forma, a análise geoestatística aplicada a atributos físicos e químicos do solo se configura como uma potente ferramenta, permitindo identificar dependência espacial e estimar valores a pontos não amostrados. Além de facilitar o manejo e percepção da distribuição dos elementos no solo, contribui para a correta gestão em subáreas que necessitam de cuidado diferenciado.

2.4 Perímetro Irrigado Baixo Açu

Entre a década de 1960 e 1970 o governo direcionou esforços afim de tornar áreas com potencial agricultável mais produtivas, dessa forma, iniciaram-se no Nordeste as obras para implementação dos perímetros irrigados (Hespanhol, 2015). No Rio Grande do Norte, foram implementados cinco perímetros irrigados de domínio público, desenvolvidos pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) e a Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e Parnaíba (CODEVASF). Dentro do processo de modernização da agricultura e revolução verde, os perímetros foram estabelecidos em regiões que apresentassem rios perenes.

Admitindo a dificuldade que a problemática da seca traz ao semiárido nordestino, pesquisadores visam propor projetos e políticas que viabilizem estratégias de desenvolvimento na região (Pontes, 2013). Até a década de 1950, os empenhos em diminuir as dificuldades de

convivência se restringiam a aplicação de medidas de cunho assistencial, como exemplo, a construção de açudes. Nessa conjuntura, o Grupo de Trabalho para o Desenvolvimento do Nordeste (GTDN) apontou como solução a implantação de perímetros irrigados nas regiões onde essa atividade fosse viável (Ortega; Sobel. 2010).

O desenvolvimento e implementação dos perímetros irrigados no semiárido nordestino atuam como estratégia geopolítica afim de expandir as áreas agricultáveis no país. Dado o enquadramento, os perímetros irrigados são definidos como áreas delimitadas pelo estado para a implementação de projetos de irrigação que ofereçam um melhor desempenho agrícola, situados em regiões que ofereçam uma série de fatores que propiciem o desenvolvimento das culturas (Sampaio, 1999).

A aplicação de infraestruturas como canais, tanques, piscinas e bombas atreladas a significativo potencial agricultável em regiões que oferecem solos férteis, força de trabalho e presença hídrica favorecem amplo progresso agrícola.

Situado no estado do Rio Grande do Norte, o Perímetro Irrigado do Baixo Açu situa-se nos municípios de Afonso Bezerra e Alto do Rodrigues. Composta por aproximadamente 28.000 hectares de terras férteis, sua modificação afim de aumentar a produtividade agrícola iniciou na metade da década de 1980 (NUNES; ORTEGA; GODEIRO, 2007).

Segundo Albano (2008), a região do Vale do Açu sofreu importantes transformações estruturais, tem se por exemplo a construção da barragem Armando Ribeiro em 1981. O estado via-se determinado a incorporar o Nordeste ao restante do país utilizando a agricultura. Após implementação da barragem, o começo de um longo processo de modernização da agricultura se instalou na região com a entrada de diversas empresas agrícolas (Amaral, 2006).

Com o objetivo de gerir, operar e coordenar a estrutura do perímetro irrigado, foi fundado em 1997 o Distrito Irrigado Baixo-Açu (DIBA), entretanto, é necessário compreender que a responsabilidade do perímetro irrigado é dividida entre o estado e o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS).

O perímetro possui características propícias para ocorrência do processo de salinização do solo, dessa forma, algumas áreas já se encontram abandonas devido ao aumento dos níveis de sais dissolvidos no solo que dificultam o processo de cultivo da área. A área do perímetro irrigado é dividida em 139 lotes, cada lote possui aproximadamente 7,8 hectares. A região possui alta notoriedade agrícola devido à grande produção de bananas. Na região existe a predominância do clima tropical, visto que a área está inserida no semiárido, possuindo temperatura média de 28 ºC.

Dentro do perímetro irrigado, realizou-se levantamento prévio acerca da condição dos lotes quanto a salinização afim de escolher o lote para execução da pesquisa. A partir do relato

dos moradores e visita a área, foi selecionado o lote número 79. Na área compreendida para estudo, foi desenvolvido o cultivo de banana, abóbora e manga. Segundo o proprietário, algumas regiões dentro do lote já apresentam baixa produtividade e o não-desenvolvimento das plantas

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado no Distrito Irrigado do Baixo Açu (DIBA), situado na região do Vale do Açu. O perímetro é localizado entre os municípios de Alto do Rodrigues e Afonso Bezerra. (Figura 3).

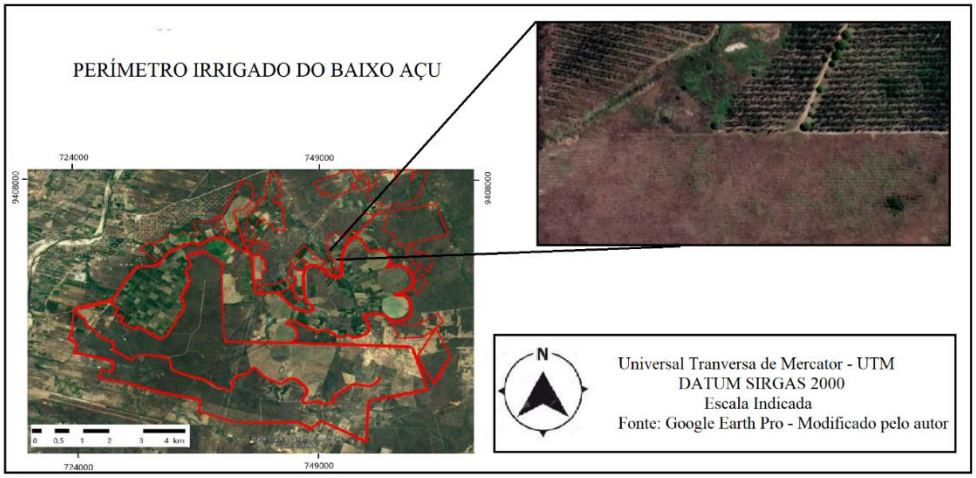


Figura 3 Delimitação da área do perímetro irrigado do Baixo-Açu

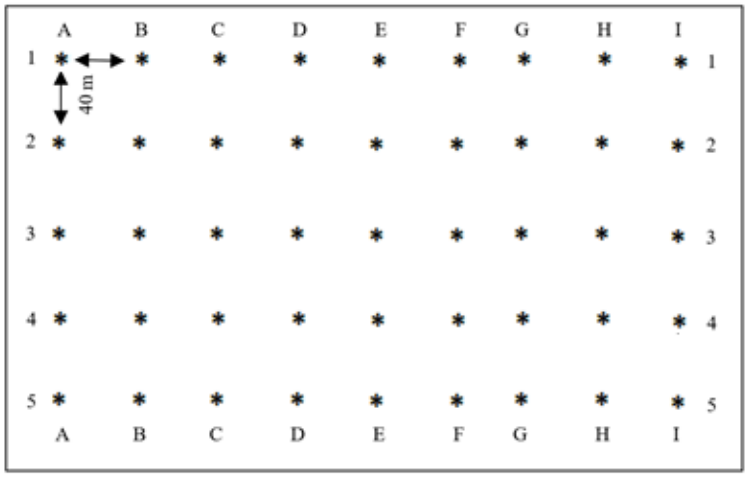
Fonte: Google Earth PRO – Modificado pelo autor

Na Figura 3 está destacado o lote selecionado para o estudo, o mesmo é utilizado para o cultivo de banana, manga e jerimum. De acordo com o responsável pela área, alguns locais dentro do lote foram abandonados dado a baixa produtividade, sendo como motivo suspeito o desenvolvimento do problema de salinização.

Acerca da classificação do solo na região do perímetro irrigado, há o predomínio de neossolos, planossolos e cambissolos, derivados do calcário jandaíra, possuindo textura arenosa (EMBRAPA, 2013).

3.2 Amostras e análises de solos

A área selecionada para execução do estudo análise possui 7,3 hectares e, as amostras de solo foram coletadas em 45 pontos de interseção do grid formado por 5 linhas e 9 colunas espaçados de 0,40 cm (Lima, 2010) conforme esquema da Figura 4.



* Pontos determinados para a coleta do solo

Figura 4 Distribuição dos pontos de coletas na área de estudo

Fonte: Elaborado pelo autor

Os pontos foram referenciados com o auxílio do software Google Earth Pro® e localizados em campo com o auxílio de um GPS portátil modelo Garmin MAP 78S com precisão de 5m.

As amostras foram coletadas com auxílio de um trado na camada de 0-20 cm, aramazenado em sacos plásticos transparentes devidamente identificadas e encaminhadas ao Laboratório de solo, água e planta para a caracterização físico-química. As amostras foram secas ao ar, destorroadas e submetidas ao peneiramento com malha de 2 mm de abertura para a obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA).

As análises de granulometria e agregados foram realizadas em duplicata e as análises químicas de sódio, potássio, cálcio, magnésio, fósforo, acidez potencial, carbono orgânico total, zinco, magnésio, ferro e cobre foram realizadas em triplicata.

A granulometria das amostras foi obtida pelo método da pipeta, descrito por Gee & Or (2002), a areia foi quantificada por tamisagem, a argila por sedimentação e o silte pela diferença entre as duas partículas. Para o estudo dos agregados, as amostras coletadas tiveram suas estruturas preservadas, posteriormente foram submetidas ao peneiramento com aberturas de malha de 4,76 a 2 mm; 2 a 1 mm; 1 a 0,5 mm e 0,5 a 0,25 mm. Posteriormente, as amostras foram submetidas a oscilador vertical (42 oscilações/minuto) e levadas a estufa com temperatura de 105 ºC. Após a obtenção da massa seca, descontou-se o teor de areia e obtida a distribuição do tamanho dos agregados e o diâmetro médio ponderado para cada uma das amostras em estudo, calculado conforme a equação:

$$DMP = \sum_{i=1}^{N} Xi.Wi$$

em que:

DMP = Diâmetro Médio Ponderado

xi = diâmetro médio de cada classe, em mm

wi = proporção de agregados por peneira (%)

Para a determinação do pH e condutividade elétrica, adotou-se o método de extrato de saturação descrito por Richards (1954). Pesou-se 200 g de solo (TFSA) e depositadas em béquer de 400 mL. Foi adicionado água deionizada na amostra a qual foi amassada com o auxílio de espátula de aço inoxidável até a amostra apresentar aspecto brilhante e verificado que ao se adicionar mais água a mesma não seria absorvida pelo solo, além disso testificou-se pelo fato da amostra deslizar suavemente em espátula. Anotada a quantidade de água utilizada, as amostras foram postas em repouso por 12 horas. A pasta saturada foi transferida para funil de Buckner contendo papel de filtro e adaptado a um kitasato de 500 mL. Após aplicada sucção, o extrato foi transferido para depósito plástico com tampa o qual foi anotado o respectivo número de amostra.

A acidez potencial, e os componentes do complexo sortivo foram determinados de acordo com o método descrito por (U.S. Salinity Laboratory Staff ,1954). O carbono orgânico total (COT) foi obtido por digestão da matéria orgânica. Adiante, foram calculados capacidade de troca de cátions (CTC), soma de bases (SB), saturação por bases (V) e percentagem de sódio trocável (PST). As análises de micronutrientes foram realizadas em triplicata e os resultados obtidos por meio de espectrofometro.

Após obtenção dos dados os valores foram tabelados e submetidos a análise estatística e distribuição espacial, além de serem categorizadas de acordo com a tabela proposta por Richards (1969) acerca dos níveis de salinização da região analisada.

3.3 Análise geoestatística

Foi aplicada estatística clássica para a verificação da normalidade dos dados e para obtenção das medidas de posição (média, máximo, mínimo) e dispersão (desvio padrão e coeficiente de variação). Utilizou-se teste de aderência a normalidade de Shapiro-Wilk.

Quanto ao modelo digital de elevação, foi utilizado o software QGIS. A base de dados utilizada foi disponibilizada pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. As imagens foram corrigidas e recortadas afim de se ter melhor precisão quanto a realização mapa

hipsométrico.

A geoestatística foi utilizada para verificar o grau de dependência espacial dos valores dos atributos químicos, a partir do ajuste de funções teóricas. Segundo Isaak e Srivastava (1989) a dependência dos dados é dada por

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N_{(h)}} \sum_{i=l}^{N(h)} [Z_{(xi)} - Z_{(xi+h)}]$$

em que:

γ = semivariância estimada

$N_{(h)}$ = numéro de pares medidos separados pelo vetor h

No ajuste dos modelos teóricos aos semivariogramas experimentais, utilizou-se o *software* GS+ 7.0 (Gamma Design Software, 2004) onde obteve-se os coeficientes de efeito pepita, variância estrutural, patamar e alcance (Robertson, 1998). Quanto a análise do índice de dependência espacial (IDE), foi utilizado a relação proposta por Zimback (2001), o qual categoriza como fraco (IDE<25%); moderada (25% ≤ IDE < 75%) e forte (IDE ≥ 75%). Os mapas de variabilidade espacial foram confeccionados por meio de interpolador geoestatístico de krigagem via GS+.

O *software* utilizado adota como critério para escolha do melhor modelo o maior valor de R^2, a menor soma de quadrado dos resíduos (SQR) e o maior valor do coeficiente de correlação cruzada. Após o ajuste dos dados, foi realizado a interpolação de dados, etapa na qual foram obtidas estimativas de pontos não amostrados, utilizando validação cruzada (ZIMBACK, 2001).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Atributos Químicos do Solo

Na Tabela 2, compõem-se a análise exploratória dos atributos físico-químicos do solo nos 45 pontos amostrais, demonstrando valores das medidas de tendência (média aritmética, valor máximo e valor mínimo), medidas de dispersão (desvio padrão, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria, coeficiente de curtose) e teste de normalidade dos dados de Shapiro-Wilk a 5%.

Tabela 3: Estatística descritiva dos atributos físico-químicos do solo analisado

Atributos	X	Md	S	Valores		Coeficientes			Teste
				Min	Max	Cv (%)	C_s	C_k	p-valor
CE (dSm^{-1})	3,41	2,17	4,22	0,53	25,4	17,82	3,75	15,6	0,0412**
pH	7,7	7,7	0,362	6,74	8,41	0,13	-0,3	0,14	0,6097*
M.O ($g\ kg^{-1}$)	10,28	10,44	3,13	3,09	18,3	9,81	0,3	0,23	0,7869*
P ($mg\ dm^{-3}$)	20,03	20,01	11,53	2,63	52,7	13.3	0,91	0,97	0,0459**
K ($mg\ dm^{-3}$)	342,29	338,1	175,0	64,5	902,1	30,4	0,95	1,74	0,0326**
Na ($mg\ dm^{-3}$)	344,76	275,2	301,7	30,1	1547,9	90,9	1,93	4,28	0,0432**
Ca^{2+} ($cmol_c\ dm^{-3}$)	12,51	12,89	3,8	5,1	20,22	15,04	0,04	0,87	0,4961*
Mg^{2+} ($cmol_c\ dm^{-3}$)	5,23	3,96	3,19	1,28	16,21	10,22	1,53	2,01	0,0490**
H+Al ($cmol_c\ dm^3$)	0,46	0,38	0,24	0,16	1,23	0,06	1,1	0,74	0,7045**
SB ($cmol_c\ dm^3$)	20,20	19,81	4,72	9,22	33,7	22,32	0,43	0,54	0,7456*
V (%)	97,4	98,2	1,74	92	99,4	1,75	-1,3	1,02	0,0221**
PST (%)	7,04	5,76	4,98	1,03	25,57	24,8	1,28	0,90	0,8123*
T ($cmol_c\ dm^3$)	20,6		4,58	10,0	33,94	21,02	0,47	0,61	0,7453*

A média e a mediana foram similares para 69,23% dos dados analisados, fato confirmado pelo teste de normalidade de Shapiro Wilk. A normalidade dos dados não é fator limitante para a aplicação da técnica de geoprocessamento (AZEVEDO, 2004). Nesse contexto, a análise exploratória dos dados torna essas distribuições suficientemente proporcional para o estudo.

Souza (2008) analisou a distribuição espacial e a variabilidade de atributos químicos em um Argissolo cultivado com pastagem e encontrou similaridade da média e mediana em 50% dos atributos estudados. Segundo Dalposso (2019) valores que possuem média e mediana mais próximas possuem maior confiabilidade.

Warrick e Nelson (1980) classificaram o coeficiente de variação como alto, médio e baixo, respectivamente, os valores $CV \geq 60$ %, $12\% \leq CV \leq 60\%$ e $CV \leq 12$ %. Observou-se que 30% dos dados se classificam dentro do intervalo de baixa variabilidade. Apenas o Na teve alto coeficiente de variação, apresentando o maior índice de variação. Os demais valores foram enquadrados como média variação.

A acidez potencial apresentou o menor coeficiente de variação, seguido do pH. Dentre os atributos analisados, Souza (2008) também demonstrou resultados similar, visto que o pH é

uma função logaritima que comumente apresenta pequena variação no solo. Também demonstrado por Usovick (2017) que ao analisar a variabilidade espacial de propriedades do solo cultivado com cereais, observou que os valores do CV foram baixos para pH e teor de areia.

Mesmo o pH apresentando baixo coeficiente de variação, Yan (2019) obteve CV de 17,87%, sendo clima úmido da região e o teor relativamente alto de carbonato de cálcio nas rochas os principais fatores para determinação do pH, o qual obteve resultados semelhantes descritos em Tsui, Chen e Hsieh (2004), Fu, Tunney e Zhang (2010) e Liu, Shao & Wang (2013c).

Quanto ao coeficiente de assimetria, dois atributos apresentaram valores negativos, o pH e o V, indicando que nesses casos específicos houve concentração de dados maiores do que a média. Todos as outras propriedades apresentaram assimetria positiva, nesses casos, há concentração dos valores menor do que a média. Souza (2014) também obteve assimetria negativa ao avaliar pH e V, além de observar negatividade quanto a assimetria também na acidez potencial

A Tabela 3 expõe os dados referentes ao modelo, efeito pepita, patamar, alcance, grau de dependência espacial e coeficiente de determinação para os modelos adotados.

Tabela 4. Medidas de distribuição espacial dos atributos químicos do solo analisado

Atributos	**Medidas de análise espacial**					
	Modelo	**C_0**	**C_0+C_1**	**A (m)**	**IDE(%)**	**R^2**
CE (dSm^{-1})	Gau	6,89	24,6	169	72,3	0,97
Ph	Exp	0,20	1,98	95	89,2	0,87
M.O ($g\ kg^{-1}$)	Exp	1,5	10,97	117	86,3	0,98
P ($mg\ dm^{-3}$)	Exp	0,21	0,61	220	65,6	0,98
K^+ ($mg\ dm^{-3}$)	Exp	0,27	0,79	916	66,2	0,92
Na ($mg\ dm^{-3}$)	Esf	0,17	1,41	149	87,9	0,97
Ca^{2+} ($cmol_c\ dm^{-3}$)	Exp	9,35	28,9	1232	67,6	0,74
Mg^{2+}($cmol_c\ dm^{-3}$)	Gau	4,59	10,81	172	57,5	0,89
H+Al ($cmol_c\ dm^{-3}$)	Exp	0,45	3,75	95	87,9	0,61
SB ($cmol_c\ dm^{-3}$)	Gau	1	33	274	67,6	0,99
V (%)	Gau	1,55	5,11	320	69,7	0,99
PST (%)	Esf	10,11	24,87	137	59,4	0,91
T ($cmol_c\ dm^{-3}$)	Esf	0,45	2,36	350	80,1	0,99

C_0: Efeito Pepita; C_0+C_1: Patamar; A: Alcance; IDE: Índice de Dependência Espacial; R^2: Coeficiente de

Determinação; Exp.: Modelo exponencial; Gau: Modelo gaussiano; Esf: Modelo esférico.

O modelo ajustado a maioria dos atributos (46%) foi o exponencial, seguido do modelo gaussiano (30%), apenas o Na e a PST tiveram melhor ajuste ao modelo esférico. De acordo com Bertolani (2001), o modelo de melhor ajuste e mais comumente encontrado para atributos do solo é o esférico. Entretanto, Lemos (2017) ao avaliar densidade e matéria orgânica em microbacia, obteve melhores coeficiente de determinação quando aplicado o modelo exponencial, resultados similares foram observados em Negreiros (2014) e Lima *et al* (2014).

No tangente ao alcance, o atributo que obteve maior valor foi o cálcio, indicando maior continuidade espacial, os menores foram o pH e a acidez potencial. O alcance é uma medida de elevada importância, visto que o mesmo auxilia na definição das amostragens, ou seja, os dados possuem correlação dentro do raio estabelecido pelo valor do alcance, acima disso, os dados apresentam independência.

Sousa (2008) também relatou resultados semelhantes quanto ao pH, entretanto, Reza (2017) verificou em sua pesquisa valores de alcance para o pH que ultrapassavam 3000 metros na região nordeste da Índia.

Os valores de alcance influenciam na qualidade das estimativas, visto que o mesmo determina o número de valores a ser utilizado na interpolação realizada por krigagem, atributos que demonstram valores de alcances maiores tendem a ser mais confiáveis (Cora, 2004).

De acordo com os valores propostos por Zimback (2001) Observa-se que a maioria dos atributos analisados (69%) foram classificados com moderada dependência espacial. 31% dos dados se enquadraram como forte dependência, dessa forma, nenhum dos atributos analisados demonstrou baixa dependência espacial. O pH foi o atributo que apresentou maior dependência espacial (89,2%). Corroborando com os resultados encontrados por Correa (2017) que também apontou o atributo com melhor resultado quando ao coeficiente de variação A PST apresentou o menor resultado no tangente a dependência (59,4).

De acordo com os modelos adequados, a SB, V e CTC (0,99) apresentaram os maiores resultados para o R^2. O coeficiente de determinação indica o se determinado modelo foi eficiente em interpretar os dados amostrados. A acidez potencial foi o parâmetro que apresentou menor R^2 (0,61).

Nas Figuras de 5 a 11 apresentam-se os mapas de krigagem e distribuição dos atributos na área de estudo em relação ao relevo, observa-se que alguns atributos apresentam maior concentração nas áreas mais baixas do terreno, o que infere ser fator de elevada importância para entender a distribuição espacial.

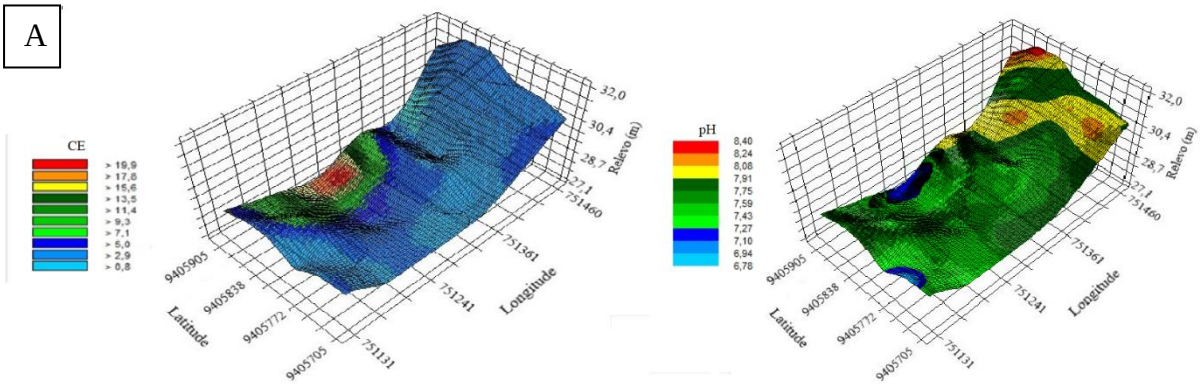


Figura 5: Mapa de krigagem com curvas de relevo na área de estudo para a condutividade elétrica e pH do solo

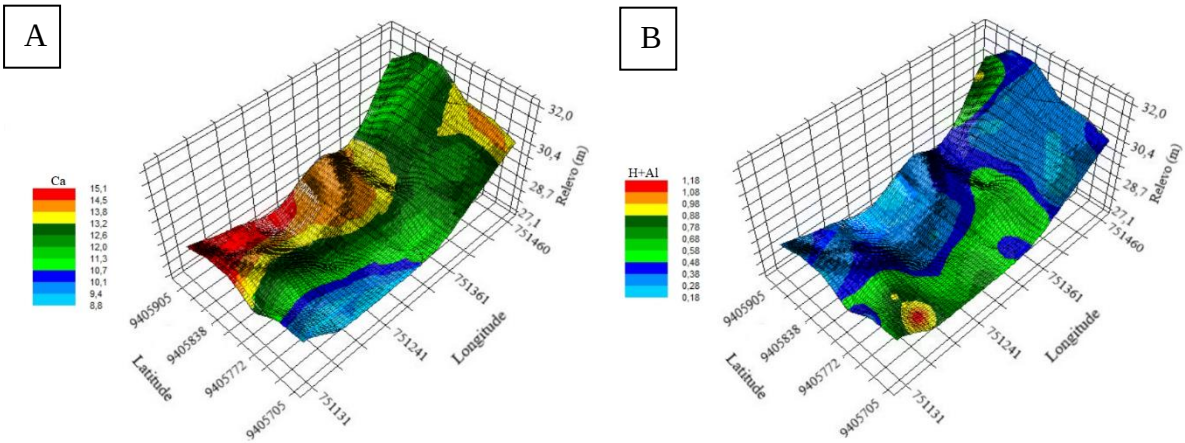


Figura 6: Figura 8: Mapa de krigagem com curvas de relevo na área de estudo para Ca e H+Al do solo.

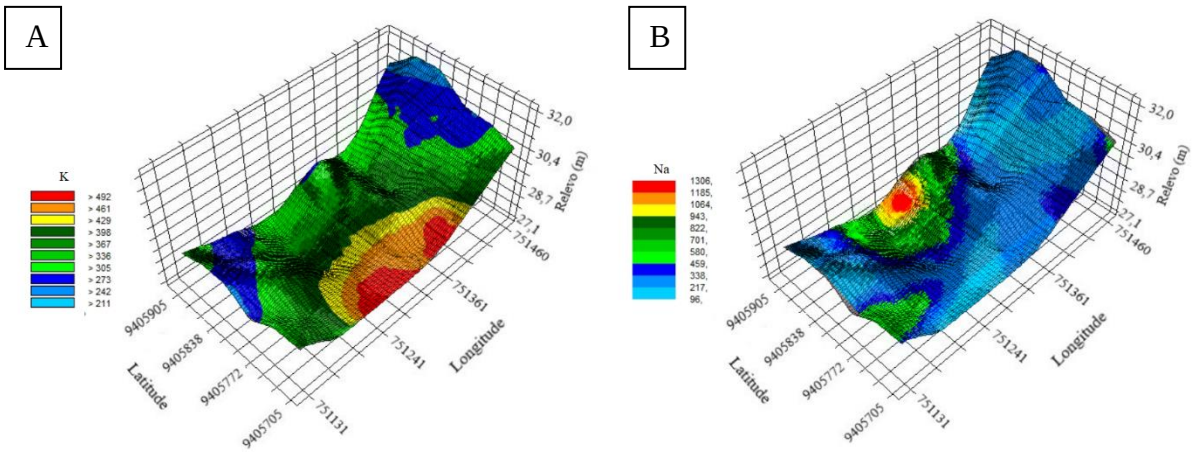


Figura 6: Mapa de krigagem com curvas de relevo na área de estudo para a K e Na do solo.

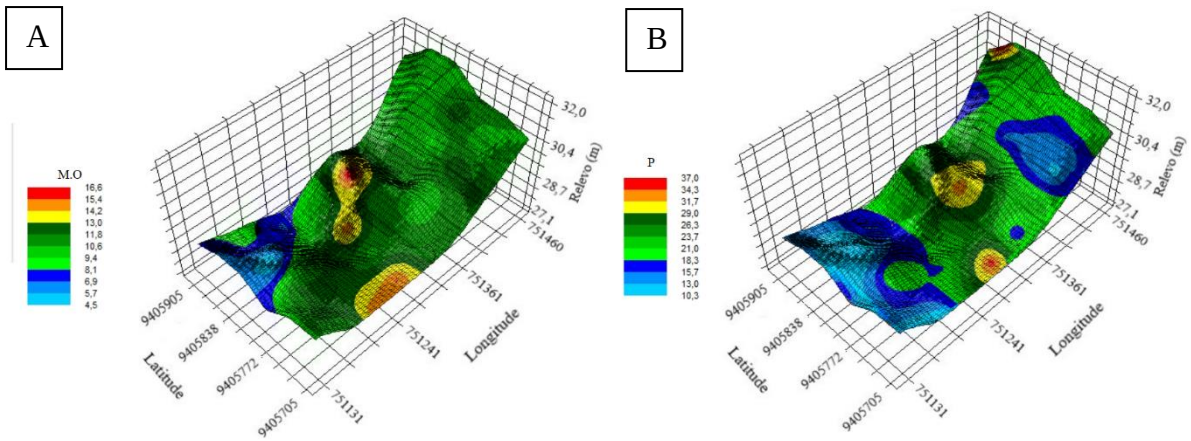


Figura 8: Mapa de krigagem com curvas de relevo na área de estudo para a M.O e P do solo.

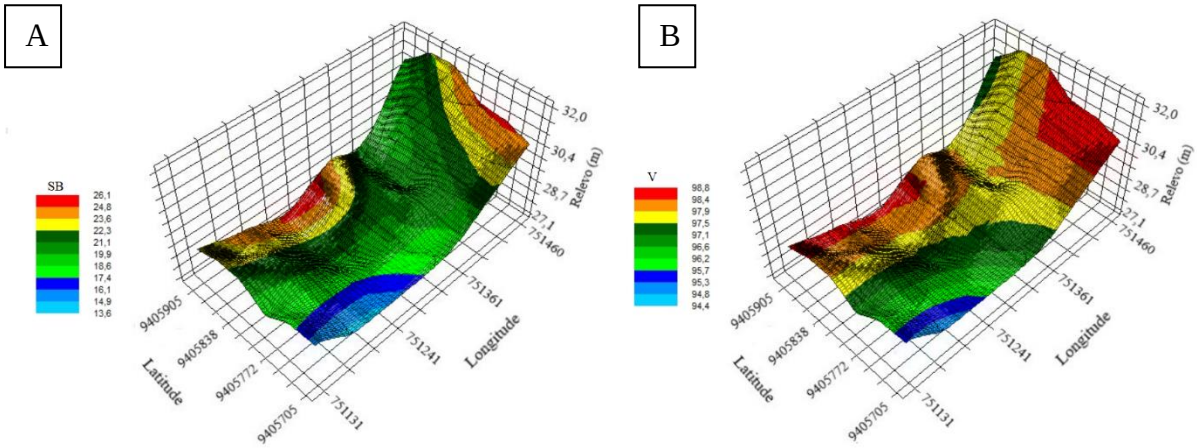


Figura 7: Mapa de krigagem com curvas de relevo na área de estudo para SB e V do solo

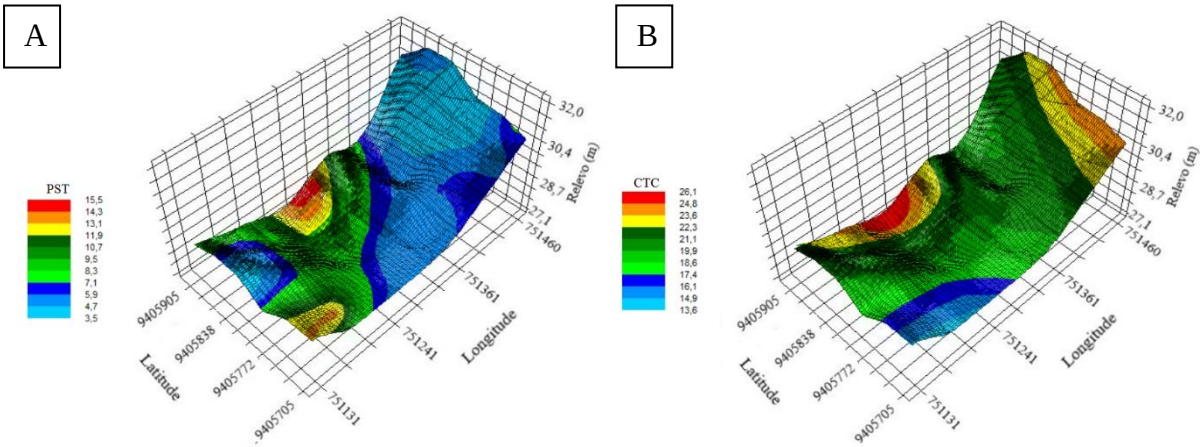


Figura 8: Mapa de krigagem com curvas de relevo na área de estudo para PST e CTC do solo.

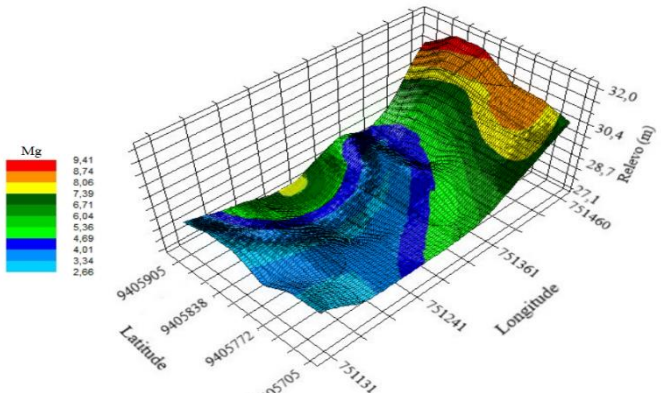


Figura 9: Mapa de krigagem com curvas de relevo na área de estudo para Mg no solo.

Os resultados de CE (Figura 5 A) apresentaram grande variação ao longo da área de estudo, foram encontrados pontos que não ocorriam problema de salinização (0,53 dSm^{-1}) até pontos que apresentavam altos valores (25,4 dSm^{-1}). Na região, a média de CE encontrada foi de 3,419 dSm^{-1}, tal valor já configura ambiente limitante para o desenvolvimento de diversas culturas sensíveis a salinidade. A ineficiência no sistema de drenagem é um dos fatores que propiciam o desenvolvimento da salinização nas áreas mais baixas do relevo avaliado.

Quanto ao relevo, percebe-se que os valores de CE foram maiores nas regiões mais baixas da área de estudo. A origem dos problemas de salinidade envolve uma série de fatores, entre eles, o relevo se configura como fator preponderante para a potencialização e acúmulo de sais em áreas mais baixas. Ao analisas a susceptibilidade de áreas ao processo de salinização, Souza (2000) considerou áreas mais baixas mais vulneráveis a ocorrência da problemática.

O pH (Figura 5 B) por sua vez apresentou valores menores nas áreas mais baixas do relevo, entretanto há pouca variação do pH na área de estudo, visto que o máximo valor encontrado foi de 8,41 6,74 e média de 7,7.

O cálcio por sua vez teve resultados mais elevados entre os pontos A1 e C3, nessa região, havia sido implementado o cultivo de banana, que segundo o produtor foi abandonado, visto que a produtividade diminuíra consideravelmente. Na região mais alta, predominou-se valores mais próximos ao da média.

Para mitigação e correção da salinização no solo, é necessário que o excesso de Na trocável seja substituído, nesse contexto, o cálcio age como um substituto, para que o produto dessa reação seja removido por lixiviação. Tal técnica é aplicada em regiões onde há baixa disponibilidade hídrica para lavagem do solo (Leal et al, 2008)

A acidez potencial foi o atributo que menor apresentou variação ao longo do terreno, tendo seu maior resultado entre os pontos A4 e A5. Ao longo de todo o terreno observou a predominância de resultados próximos ao da média estabelecida.

Brandão et al (2011) ao avaliar a correlação da CE e sua correlação com o pH, verificou

que a condutividade elétrica possui relação com a acidez potencial do solo, podendo ser a primeira utilizada como indicador para estimar o segundo atributo.

Quanto ao potássio (Figura 7A), o atributo apresentou notória variação, conquanto, as áreas onde foram encontrados os maiores índices para o K se localizam na parcela mais ao sul da área de estudo, mais precisamente entre os pontos C4 ao E5 (vide Figura 4), ao se afastar dos referidos pontos, é observado a diminuição dos valores, até que nas regiões mais altas houve menor concentração de K.

Se considerarmos os mapas em um plano cartesiano, o atributo apresentou menor variação no eixo y e maior no eixo x, A variação dos valores de K e a maior continuidade dos dados em eixo x também foi observada por Souza (2008),

Verifica-se que o teor de sódio (Figura 7B) no solo foi o atributo que houve maior variação, em alguns pontos registrou-se valor de N superior a 1500 mg/dm³, configurando o problema de salinização na região avaliada. Em campo, foram observadas uma série de características físicas atreladas a salinização, tais como a presença de crostas superficiais brancas, condições estruturais pobres e dispersão da argila.

O mapa de distribuição do sódio em relação ao relevo se assemelha ao de CE no tangente aos pontos com maiores concentrações (C1 a D2), onde observa-se os maiores valores de Na nas regiões mais baixas do terreno. Nos pontos onde houve maiores índices de CE e Na podemos verificar em visita de campo que há a predominância de halófitas, como por exemplo o pirrixiu (*Blutaporon portulacoides*), o que funciona como um indicador biológico do desenvolvimento de salinização.

Embora o sódio não seja considerado um nutriente para o desenvolvimento de plantas, a região de estudo comumente apresenta áreas com problema de salinização devido a prática da irrigação e algumas áreas não possuírem sistema de drenagem ou a ineficiência dos mesmos por danos estruturais. Segundo Soares (2016), o aumento de sódio trocável altera as características físicas do solo, tornando-o adensado e compacto em condições secas e disperso e pegajoso em condições molhadas. Além de alterar o processo de germinação, limitando seu desenvolvimento e consequentemente a produtividade.

Regiões que apresentam teores excessivos de Na apresentam problemas de origem econômica, visto que a remediação dessas áreas é um processo que necessita demasiado tempo e recursos financeiros elevados. Nesse contexto, solos inaptos para a agricultura estão sendo descartados o que a longo prazo se tornam desertos salinos. (Fernandes et al., 2008; Pedrotti et al., 2015).

A matéria orgânica (Figura 8A) apresentou relevante variabilidade espacial, observa-se que a M.O apresentou alteração de 3,09 a 18,03 (g kg^{-1}). Contudo, grande parte da área de

estudo demonstrou resultados semelhantes ao descrito na média.

Diversos fatores influenciam o aporte de M.O no solo, entre eles a presença de vegetação natural ou não, aumentando o teor pela deposição de folhas em solo. Na área de estudo, percebe-se que na região onde houve maior M.O há implementado o cultivo de manga Tommy atkins. A M.O está relacionada com a estrutura do solo, estudos como os de Vieira (2007); Hebrard (2006) e Lemos (2017) demonstram que quão maiores os valores de M.O, menores os valores densidade do solo.

O fósforo (Figura 8B) demonstrou maior predominância de resultados elevados nas áreas mais altas do terreno, com resultados que variaram de 2,63 a 52,7 mg/dm³. Entretanto, observa-se que na região sul da área de estudo, em uma parcela onde há relevo mais baixo, encontram-se um dos picos de valores do atributo analisado. Dessa forma, os altos valores para o P não se concentraram apenas na região mais elevada do local de estudo. Avaliando a área por completo, observa-se a predominância de resultados que variam entre 18,3 e 21,7 mg/dm³.

Reza (2017) ao avaliar variabilidade de atributos em solo aluvial observou a distribuição do elemento do solo tanto em áreas mais altas como em regiões de menor relevo. Barbiere *et al.* (2008) avaliou a variabilidade de atributos químicos em diferentes formas de relevo (área côncava e covexa) e relatou a mesma necessidade média de aplicação de potássio para as duas áreas, atentando-se para o fato de que alguns pontos específicos pudessem necessitam de maiores ou menores doses do atributo.

A soma de bases (Figura 9A) de um solo é representada pela soma dos cátions permutáveis, por sua vez apresentou média de 20,20 $cmol_c/dm^3$, tendo esse valor predominante na maioria do terreno, conquanto, percebe-se que o ponto que apresentou maior valor de SB era um dos mais baixos do relevo, além de que o referido ponto é similar aos locais de maior incidência de CE, Na, Ca e PST.

A saturação por bases (Figura 9B) é um excelente indicativo das condições da fertilidade do solo, sendo considerado como complemento para descrever o solo. Configuram-se como solos eutróficos, todos aqueles que possuem V≥50%, ou seja, são solos férteis pois apresentam grande quantidade de Ca^{2+}, Mg^{2+} e K^{+}; distróficos, aqueles que apresentam V≤50%, considerados solos com baixa fertilidade (Ronquim, 2010).

Quanto ao relevo, observou-se que não foi fator preponderante para a distribuição da V no solo, visto que foram relatados altos resultados tanto em áreas mais altas quanto em áreas de baixada. É importante salientar a similaridade com o mapa da SB, assemelhando-se principalmente as áreas de menores valores.

A PST (Figura 10A) apresentou os maiores resultados em área de baixo relevo, percebe-se a semelhança dos picos de PST se compararmos com os mapas de CE, Na, Ca e SB. Os

menores resultados foram encontrados em áreas mais elevadas do relevo, o qual se mostrou fator importante para a distribuição da PST no campo amostral.

Souza (2000) ao avaliar variabilidade da salinidade em um solo no semiárido Paraibano obteve resultados similares quando comparado PST a CE. Albuquerque (2018) demonstrou em seu trabalho análise de correlação positiva da PST com CE e negativas com os teores de Ca e Mg.

A distribuição da CTC no solo se assemelhou as de SB e Ca, tendo seu ponto máximo localizando próximo onde se identificou alta condutividade e concentração de Na. A CTC influencia diretamente na estabilidade do solo e disponibilidade de nutrientes para as plantas.

O magnésio teve maior concentração nas áreas mais altas do relevo, com decréscimo de valores de acordo com as áreas mais baixas. Entretanto, próximo ao ponto D1 observou-se um aumento do atributo, tal ponto está situado em um dos locais mais baixos da área de estudo.

A PST apresentou os maiores resultados em área de baixo relevo, percebe-se a semelhança dos picos de PST se compararmos com os mapas de CE, Na, Ca e SB. Os menores resultados foram encontrados em áreas mais elevadas do relevo, o qual se mostrou fator importante para a distribuição da PST no campo amostral.

Souza (2000) ao avaliar variabilidade da salinidade em um solo no semiárido Paraibano obteve resultados similares quando comparado PST a CE. Albuquerque (2018) demonstrou em seu trabalho análise de correlação positiva da PST com CE e negativas com os teores de Ca e Mg.

A distribuição da CTC (Figura 10B) no solo se assemelhou as de SB e Ca, tendo seu ponto máximo localizando próximo onde se identificou alta condutividade e concentração de Na. A CTC influencia diretamente na estabilidade do solo e disponibilidade de nutrientes para as plantas.

O magnésio (Figura 11) teve maior concentração nas áreas mais altas do relevo, com decréscimo de valores de acordo com as áreas mais baixas. Entretanto, próximo ao ponto D1 observou-se um aumento do atributo, tal ponto está situado em um dos locais mais baixos da área de estudo.

Acerca da classificação quanto a salinidade, 82,3% dos pontos não se enquadravam como áreas com problemas de sais de acordo com a metodologia proposta por Richards. 17,7% por suas características de pH, CE e PST foram enquadradas como áreas que possuem solo salino, salino-sódico e sódico.

Dentre os pontos onde se obteve problemas de salinização, 62,5% se classificaram como locais de solo salino. 25% foram enquadrados como solos salino-sódico e 12,5 apresentaram problema de sodicidade.

Percebe-se maior incidência de pontos com problemas relacionados a salinidade na área mais baixa do terreno, próxima ao dreno natural encontrado no lote, na área de estudo o desenvolvimento da problemática se dá pela ineficiência do sistema de drenagem.

4.1.1 Micronutrientes

Na Tabela 4 estão distribuídos os resultados para as análises de zinco, manganês, ferro e cobre.

Tabela 5: Estatística descritiva micronutrientes do solo analisado

Atributos	X	Md	S	Valores		Coeficientes			Teste
				Min	Max	Cv (%)	C_s	C_k	p-valor
Zn (mg/dm³)	0,64	0,38	0,792	0	3,52	6,27	1,76	3,32	0,7324*
Mn (mg/dm³)	33,7	19,87	42,217	0	178,93	17,8	1,45	1,81	0,6546*
Fe (mg/dm³)	0,17	0,05	0,234	0	0,77	0,05	1,25	0,29	0,7476*
Cu (mg/dm³)	0,18	0,09	0,234	0	0,8	0,05	1,26	0,46	0,7863*

x = média; s = desvio-padrão; Máx. = máximo; Mín. = mínimo; CV = coeficiente de variação; Cs = coeficiente de assimetria; Ck = coeficiente de curtose; *= distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk; ** = distribuição não-normal.

Diferentemente dos atributos dispostos na Tabela 2, os micronutrientes apresentam menores quantidades na área amostrada. Dada a proporção dos dados a mediana em todos os micronutrientes mostraram resultados abaixo da média. Ao observar o resultado de *p*-value, verifica-se que todos os dados apresentaram normalidade de acordo com a avaliação proposta por Shapiro-Wilk.

Ao considerarmos a definição de Warrick e Nelson (1980) para CV, todos os micronutrientes analisados foram classificados como baixa. O manganês apresentou maior resultado de CV (17,8 %), enquanto ferro e cobre apresentaram resultados iguais para a variação na área de estudo. Oliveira et al (2018) ao avaliar variabilidade espacial de micronutrientes em solos do Ceará também apontou o manganês como elemento de maior variabilidade

O coeficiente de assimetria é um valor estatístico que permite verificar o quanto a curva normal está inclinada. Dentre os atributos analisados, todos os valores de assimetria foram positivos, tal resultado demonstra que na avaliação geral, os pontos obtiveram valores maiores

do que o disposto na média.

Quanto aos parâmetros de ajuste do semivariograma, a Tabela 5 demonstra os resultados quanto ao modelo, feito pepita, patamar, alcance, grau de dependência espacial, e coeficiente de determinação.

Tabela 6: Medidas de distribuição espacial dos micronutrientes do solo analisado

Atributos	**Medidas de análise espacial**					
	Modelo	**C_0**	**C_0+C_1**	**A (m)**	**IDE (%)**	**R^2**
Zn (mg/dm³)	Esf	0,025	0,612	80,3	95	0,79
Mn (mg/dm³)	Esf	90	1663	99,3	94	0,93
Fe (mg/dm³)	Gau	0,011	0,051	190	77	0,99
Cu (mg/dm³)	Gau	0,013	0,048	180	71	0,99

C_0: Efeito Pepita; C_0+C_1: Patamar; A: Alcance; IDE: Índice de Dependência Espacial; R^2: Coeficiente de Determinação; Gau: Modelo gaussiano; Esf: Modelo esférico.

Verificou-se que os modelos matemáticos ao qual houve melhor ajuste para as variáveis analisadas foram o esférico para o zinco e magnésio e gaussiano para o ferro e cobre. De acordo com alguns autores, os modelos observados são os que geralmente são aplicados para explicar o comportamento de atributos do solo (Corrêa et al., 2009; Chiba et al.,2010; Neto et al.; 2011). Resultados similares foram encontrados em Oliveira et al (2018).

O ferro foi o atributo que apresentou maior alcance (190 m), o que significa que todos os vizinhos situados dentro de um círculo com esse raio são tão semelhantes que podem ser utilizados para estimar quaisquer pontos entre eles. O zinco foi o elemento que demonstrou menor alcance dentre os micronutrientes analisados.

De acordo com a relação proposta por Zimback, apenas o cobre foi caracterizado por ter média dependência espacial. Zinco, manganês e ferro foram definidos como elementos de forte dependência, visto que apresentaram índice maior que 75%

No tangente ao coeficiente de determinação, ferro e cobre apresentaram resultados idênticos (0,99) tendo os resultados mais altos dentre os micronutrientes analisados. O zinco apresentou menor resultado.

Nas figuras de 12 e 13 estão dispostos os mapas de krigagem para os micronutrientes em relação ao relevo.

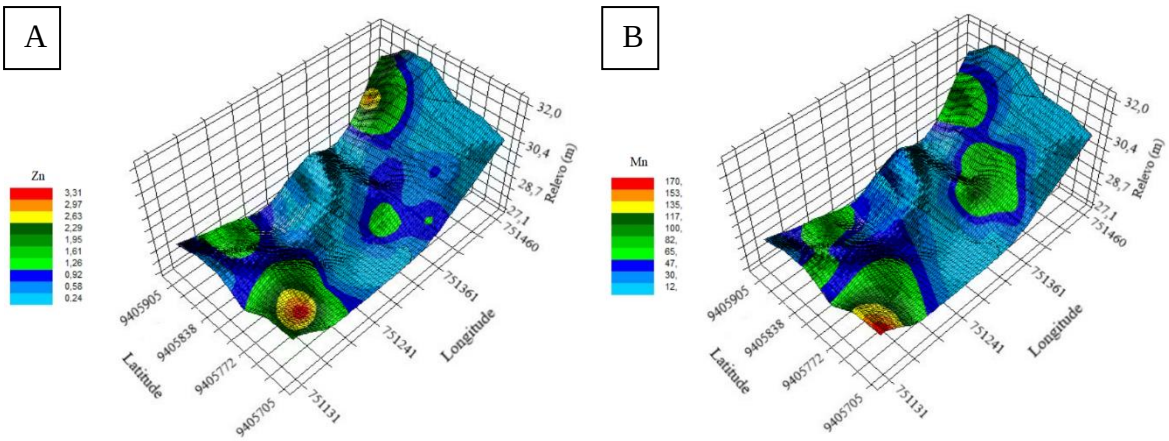


Figura 10. Mapa de krigagem com curvas de relevo na área de estudo para zinco e manganês no solo.

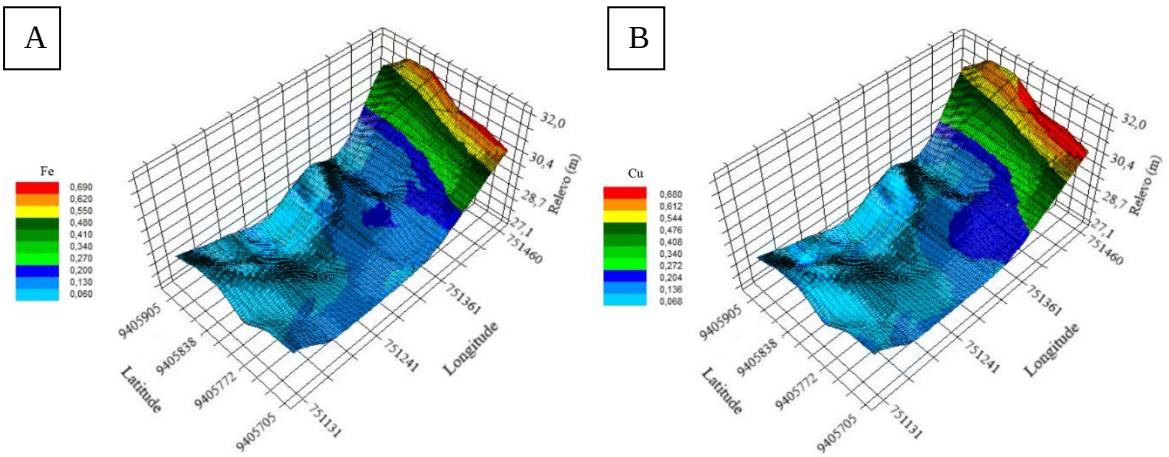


Figura 11. Mapa de krigagem com curvas de relevo na área de estudo para ferro e cobre no solo.

Percebe-se que na área de estudo, alguns pontos apresentaram elevada CE, o que somado a outros resultados demonstra o processo de salinização em locais específicos dentro do lote analisado. De acordo com Tan (1993), o elevado teor de sais pode vir a afetar a disponibilidade dos micronutrientes no solo.

Para o zinco (Figura 12A), nota-se que há predominância de valores próximos a média pela maior parte do terreno, entretanto há maior concentração do elemento na região próxima ao ponto de coleta A5, se comparada a toda área de estudo, o ponto está localizado em um local de relevo mais baixo.

Na planta, muitas enzimas dependentes do zinco desempenham papel no metabolismo dos carboidratos e folhas. Pelo fato de o elemento manter a integridade da membrana e atuar no controle de permeabilidade o mesmo protege a planta de vários patógenos, sua deficiência torna as membranas mais permeáveis ocasionando a liberação de aminoácidos, atraindo patógenos para as plantas (Kirkby, 2007).

A distribuição do manganês na área (Figura 12B) apresenta similaridade com o zinco,

tendo os pontos com maiores valores situados na mesma região. Entretanto, percebe-se a influência do alcance e da variação na continuidade dos valores distribuídos ao longo do mapa, ao analisarmos de modo bidimensional, verifica-se o maior prosseguimento dos valore ao longo dos eixos x e y.

O manganês teve dependência espacial classificada como forte, evidenciando que o elemento apresenta distribuição contínua dentro do espaço de amostragem. O manganês desempenha papel essencial para o transporte de elétrons na fotossíntese, além de atuar na reação de quebra da molécula de água na fotossíntese (Chig, 2016; Kirkby, 2007).

O relevo apresentou influência na variabilidade do ferro na área de estudo (Figura 13A). Percebe-se o aumento dos valores de Fe em áreas mais altas e sua diminuição de teor em locais de baixada. Tendo seus valores máximos situados próximos aos pontos I1 a I5.

Como principal função, o ferro atua na formação de metaloproteínas para as plantas, além de influenciar na fixação do nitrogênio, desenvolvimento de troncos e raízes e funciona como catalisador na biossíntese da clorofila.

Demonstrando resultados semelhantes ao do ferro, o cobre (Figura 13B) teve sua distribuição na área de estudo relacionada ao relevo. Percebe-se que em áreas de baixada foram encontradas menores concentrações do elemento, entretanto, nota-se diferença da disposição se comparado ao ferro nos pontos G3 a H5, onde há a presença de valores maiores do que a média.

Oliveira (2018) observou similaridade nas concentrações de cobre e cádmio dispostos em solo ao avaliar a distribuição espacial dos atributos. De acordo com Kirkbi (2007), o cobre apresenta papel semelhante ao do ferro em processos fisiológicos redox, entretanto, diferentemente do ferro, enzimas que possuem cobre reagem com oxigênio molecular e catalisam processos de oxidação terminais.

4.2 Atributos Físicos

4.2.1Textura

O monitoramento dos aspectos físicos do solo é aspecto de grande importância para o desenvolvimento de áreas sustentáveis. Por ser um sistema complexo as análises devem buscar abranger a variabilidade espacial dos atributos do solo, além de avaliar fatores como clima e manejo. Um bom indicador de qualidade do solo deve compreender uma gama de propriedade que vise esclarecer os processos que nele ocorrem (Vezanni, Mielniczuk, 2009).

De acordo com Stefanoski et al. (2013), para um melhor entendimento e correto manejo das áreas agricultáveis, as análises físicas são essenciais. Na tabela 6 estão distribuídos os resultados da análise estatística referentes as medidas de tendência, dispersão e o teste de normalidade dos dados de Shapiro-Wilk para a textura na área de estudo

Tabela 7: Estatística descritiva para as frações granulométricas do solo analisado

Atributos	X	Md	S	Valores		Coeficientes			Teste
				Min	Max	Cv (%)	C_s	C_k	p-valor
Argila (g/kg)	239,55	240	66,87	120	520	21,04	1,46	5,06	0,5868*
Areia (g/kg)	628,44	660	123,63	220	790	38,65	-1,51	2,78	0,7857*
Silte (g/kg)	132,00	100	109,10	10	560	27,45	2,75	8,03	0,6541*

x = média; s = desvio-padrão; Máx. = máximo; Mín. = mínimo; CV = coeficiente de variação; Cs = coeficiente de assimetria; Ck = coeficiente de curtose; *= distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk; ** = distribuição não-normal.

A média e a mediana apresentaram similaridade quanto a argila e a areia. Maior diferença entre as medidas estatísticas foram encontradas para o silte. Souza (2008), ao avaliar variabilidade espacial das frações granulométricas e de salinidade em um solo no semiárido observou resultados semelhantes. Tal similaridade é comprovada a partir do teste de normalidade de Shapiro-Wilk, onde todas as frações do solo apresentaram distribuição normal (p-value acima de 0,05)

A areia foi a fração do solo que apresentou maior coeficiente de variação, seguido pelo silte e argila. De acordo com a classificação de Warrick e Nelson, areia, argila e silte se caracterizam por possuir médio coeficiente de variação. Resultados equivalentes foram descritos por Souza (2008) e Mota (2017).

Referente ao coeficiente de assimetria, a areia apresentou valores negativos. Tal fator indica que os valores referentes a essa determinada fração do solo se concentram acima da média. Argila e silte apresentaram assimetria positiva e dessa forma apresentam maiores concentrações de valores abaixo da média.

As medidas de análise espacial estão dispostas na tabela 7. Na tabela estão dispostos os dados referentes ao melhor modelo ajustado (exponencial, esférico e gaussiano), efeito pepita, patamar, alcance, grau de dependência espacial e coeficiente de determinação. Para a dependência espacial os dados foram dispostos em porcentagem.

Tabela 8: Medidas de distribuição espacial dos micronutrientes do solo analisado

Atributos	**Medidas de análise espacial**					
	Modelo	**C_0**	**C_0+C_1**	**A (m)**	**IDE (%)**	**R^2**
Argila	Esf	3,28	10,93	135	70,9	0,88
Areia	Exp	4,75	23,75	1232	80,9	0,61
Silte	Esf	3,47	315,4	47	90	0,58

C_0: Efeito Pepita; C_0+C_1: Patamar; A: Alcance; IDE: Índice de Dependência Espacial; R^2: Coeficiente de Determinação; Exp: Modelo exponencial; Esf: Modelo esférico

Para as variáveis granulométricas do solo, o modelo matemático que mais se adequou e teve maior predominância foi o esférico, sendo utilizado para explicar o comportamento da argila e do silte. Quanto a areia, o modelo de melhor aplicação foi o exponencial. De acordo com Bertolani e Vieira (2001) o modelo esférico apresenta resultados favoráveis no tangente ao explicar atributos do solo.

Para o alcance, a areia apresentou o maior resultado (1232 m), todos os pontos situados dentro desse raio apresentam elevada semelhança, a qual pode ser utilizada para estimar outros pontos. Dentre as frações do solo, o silte apresentou menor alcance (47 m). Neto et al (2017) ao avaliar a variabilidade de atributos físicos em sub-bacia também relatou a areia como obtentora do maior alcance dentre as frações do solo.

O silte apresentou maior dependência espacial (90%), seguido pela areia e argila. Utilizando a classificação de Zimback, a argila apresentou média dependência enquanto a areia e o silte foram enquadradas como alta dependência. Souza (2008) em sua pesquisa verificou que todas as frações do foram classificadas por possuir alta dependência espacial.

A argila apresentou melhor resultado em relação ao coeficiente de determinação, isto é o modelo conseguiu explicar a disposição dos dados de forma mais eficiente para a referida fração do solo. O silte apresentou menor resultado de para o coeficiente avaliado.

Nas figuras de 14 e 15 estão dispostos os mapas de krigagem para as frações do solo em relação ao relevo.

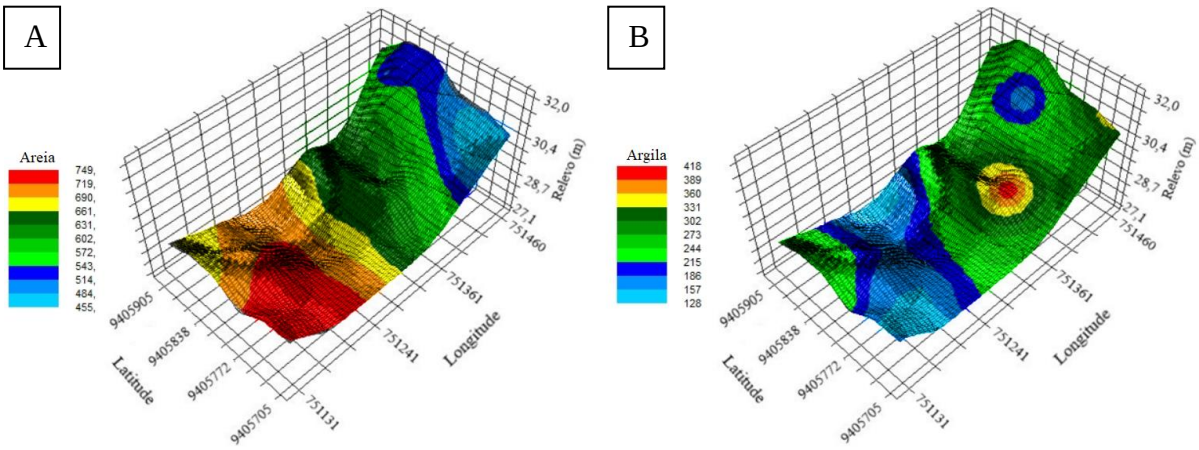


Figura 12. Mapa de krigagem com curvas de relevo na área de estudo para areia e argila no solo.

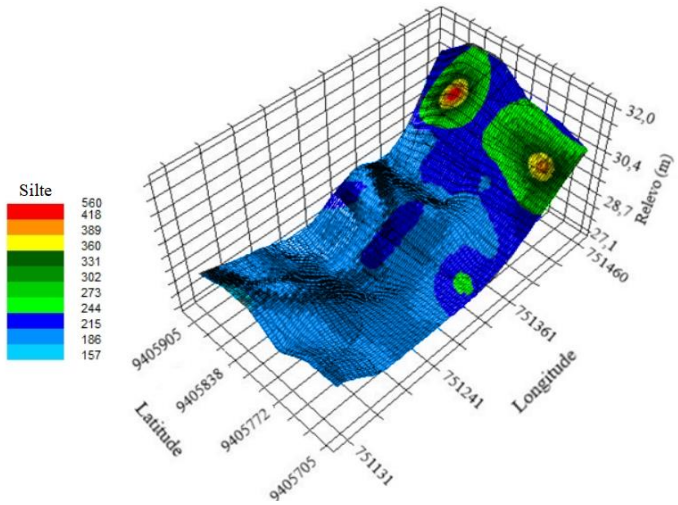


Figura 13. Mapa de krigagem com curvas de relevo na área de estudo para fração silte no solo.

Para o mapa de distribuição da areia na área de estudo (Figura 14A), percebe-se maior concentração nas áreas mais baixas do relevo. Nas áreas mais elevadas, há diminuição da quantidade da partícula. Tem-se indicativos de uma distribuição das partículas influenciadas pelo movimento de água no solo em resposta as diferentes formas do relevo.

Os solos com maiores teores de areia (franco arenoso) acumularam maiores concentrações de PST, CE, Na, Ca e Sb. Conquanto, ao avaliar todos os pontos coletados, notou-se maior predominância de solo franco-argilo-arenoso.

De acordo com Phillips (2004) as partículas mais finas do solo como argila e silte se depositem em regiões mais baixas do relevo. Entretanto, a distribuição das partículas no solo pode ser influenciada por diversos outros fatores, tais como, material de origem e a existência de fraturas no relevo.

Contrariamente, a fração argila (Figura 14B) teve distribuição de resultados crescentes em áreas com relevo mais elevado, entretanto, entre os pontos G3 a H5 há uma deformação na região que torna o relevo um pouco mais baixo, nessa área constatou-se maior quantidade de argila. Neste caso, o movimento hídrico pode ter influenciado a remoção preferencial das partículas mais finas da superfície para concentração em áreas mais baixas. Oliveira (2013) observou resultados similares ao avaliar distribuição de frações granulométricas em cambissolo.

O silte, por sua vez (Figura 15) apresentou maior concentração em regiões mais elevadas do relevo, tendo seus resultados mais altos próximo aos pontos de coleta I1 a I5. Nas áreas onde ´há decréscimo do relevo, observa-se diminuição dos resultados para a partícula.

4.2.2 Agregados

Os agregados do solo são resultados da junção de diferentes processos químicos, físicos e biológicos o qual ocasionam a união das partículas. Tais estruturas, ao atuarem no ecossistema do solo, são responsáveis por criar um ambiente favorável para o desenvolvimento de plantas, contribuindo para uma melhor infiltração, diminuição da erosão, estabilidade e desenvolvimento das raízes.

A caracterização da agregação do solo tem sido alvo de muitos estudos acerca da qualidade do solo, visto que o processo de agregação está ligado a disposição da matéria orgânica, que une as partículas atuando agente de consolidação. Na tabela 8 estão dispostos os dados acerca da estatística descritiva do diâmetro médio ponderado e porcentagem das classes de agregados > 2mm.

Tabela 9: Estatística descritiva para as frações granulométricas do solo analisado

Atributos	**X**	**Md**	**S**	**Valores**		**Coeficientes**			**Teste**
				Min	**Max**	**Cv (%)**	**C_s**	**C_k**	**p-valor**
DMP (mm)	1,70	1,76	0,535	0,67	2,79	28,6	-0,14	-0,66	0,5413*
>2 mm (%)	34,82	36,3	18,5	3,1	74,01	34,2	0,07	-0,75	0,0457**

x = média; s = desvio-padrão; Máx. = máximo; Mín. = mínimo; CV = coeficiente de variação; Cs = coeficiente de assimetria; Ck = coeficiente de curtose; *= distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk; ** = distribuição não-normal

Dentre os atributos analisados, verificou-se que a porcentagem de agregados na classe acima de 2 mm não apresentou normalidade de acordo com o teste de Shapiro-Wilk. Camargo et al (2008) ao avaliar a variabilidade espacial de atributos mineralógicos obteve resultados semelhantes quanto a distribuição normal dos agregados >2 mm.

É importante salientar que dados obtidos quanto aos atributos do solo não necessitam apresentar distribuição normal para as análises geoestatísticas, e sim que não demonstrem caudas demasiadamente alongadas.

A média e a mediana foram semelhantes para os dois parâmetros avaliados. Resultados similares quanto aos mesmos parâmetros foram documentados por Alho (2014), Soares (2018) e Camargo (2008).

Quanto a variação, classificou-se os atributos analisados como apresentando média variação, visto que de acordo com a classificação de Warrick e Nielsen (1980), os mesmos estão compreendidos no intervalo entre 12 e 60%. Sá et al (2018) ao usar a mesma classificação, também classificou o DMP como média variação em avaliação de solos no semiárido paraibano.

Em relação a assimetria, apenas o DMP apresentou resultado negativo, isto é, o resultado demonstra que em suma, a maioria dos dados apresentam concentração acima da média. Souza et al (2004), ao avaliar variabilidade da matéria orgânica e agregados observou resultados análogo para a assimetria.

Quanto a análise espacial, na tabela 9 estão dispostos os valores do efeito pepita, patamar, alcance, dependência e coeficiente de correlação. Verifica-se que para os dois parâmetros, o modelo esférico foi o adotado, pois de acordo com o índice residual e coeficiente de correlação, o referido modelo explica de forma mais eficaz o comportamento do DMP e porcentagem de agregados acima de 2 mm no solo.

Tabela 10: Medidas de distribuição espacial dos micronutrientes do solo analisado

Atributos	**Medidas de análise espacial**					
	Modelo	**C_0**	**C_0+C_1**	**A (m)**	**IDE (%)**	**R^2**
DMP (mm)	Esf	0,016	0,303	66	94,5	0,66
>2 mm (%)	Esf	24	366	67	93,5	0,69

C_0: Efeito Pepita; C_0+C_1: Patamar; A: Alcance; IDE: Índice de Dependência Espacial; R^2: Coeficiente de Determinação; Esf: Modelo esférico

Aquino (2014), ao utilizar a geoestatística para avaliar a distribuição de atributos físicos em solo, observou que o modelo esférico foi o que melhor descreveu os dados para agregados maiores que 2 mm. Tal modelo se apresenta semelhante com os resultados descritos por Souza et al (2004).

O alcance para os dois atributos foi deveras similar, variando apenas em um metro. O mesmo paralelo foi observado para o coeficiente de determinação. Para as análises de agregados, usualmente encontram-se resultados semelhantes no tangente ao alcance. Soares

(2018) relatou variância de apenas cinco metros entre o diâmetro médio geométrico e porcentagem dos agregados > 2mm, entretanto, constatou-se resultados distintos para o R^2.

Quanto a dependência espacial, utilizou-se a classificação de Zimback, no qual o DMP demonstrou ter maior dependência. Os dois atributos apresentaram alta dependência, apresentando pouca diferença entre os resultados.

A figura 16 expõe os mapas de krigagem acerca dos agregados do solo. Percebe-se que o DMP e os agregados maiores que 2mm apresentam distribuição similar quanto ao relevo, onde os resultados mais altos foram encontrados próximos aos pontos D5 e H1.

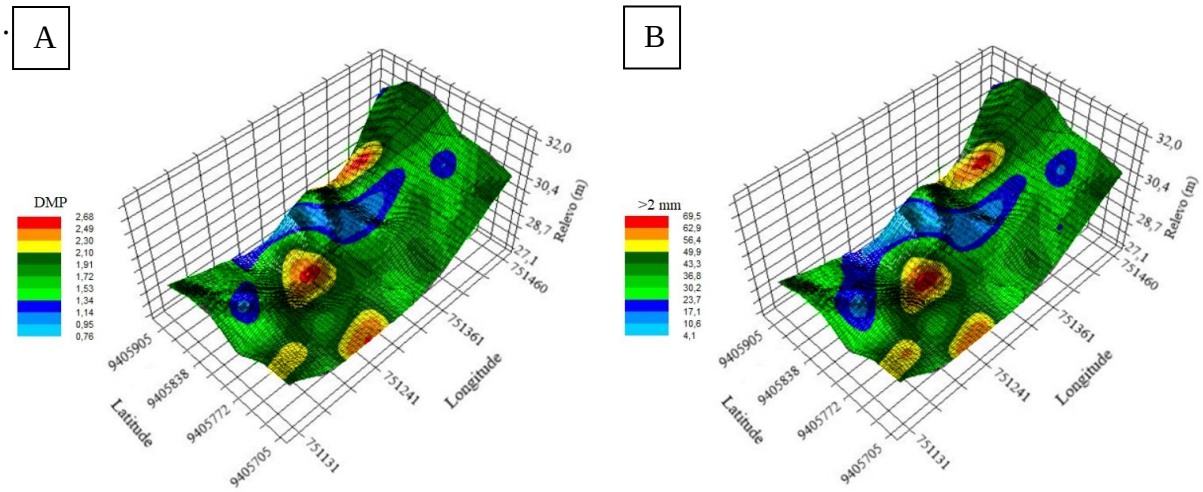


Figura 14: Mapa de krigagem com curvas de relevo na área de estudo dos agregados no solo

É importante salientar e comparar a semelhança da distribuição da matéria orgânica junto a análise de agregados, percebe-se que os pontos aonde há convergência dos dois quando dispostos na área de estudo. O teor de M.O é dependente de diversos fatores, tais como clima, relevo, topografia e textura. Atuando como agente cimentante, a M.O está diretamente relacionada aos agregados do solo (Guerra, 1990; Bastos, 2005).

O aumento da estabilidade dos agregados está relacionado com a capacidade da matéria orgânica de se aderir as partículas do solo. Nesse contexto, os dois atributos são excelentes indicadores de qualidade do solo promovendo aeração, desenvolvimento de raízes e melhor retenção hídrica.

5. CONCLUSÕES

1. A geoestatística se mostrou uma ferramenta adequada para o estudo da distribuição e variabilidade espacial dos atributos químicos e físicos do solo. Sendo os modelos esférico e exponencial mais confiáveis para a modelagem espacial dos parâmetros;

2. A maior distribuição de sais no solo se concentrou nos pontos mais baixos da área de estudo (menor cota em relação ao relevo), tais áreas apresentam deficiência de drenagem;

3. Todos os parâmetros analisados tem alta dependência espacial, evidenciando que os elementos apresentam distribuição contínua dentro do espaço amostrado;

4. O lote de estudo apresentou áreas específicas com problemas de solos salinos, salinos-sódicos e sódicos. Além de áreas que não demonstraram problemas de salinidade, sendo a geoestatística uma ferramenta para identificar a problemática em locais mais precisos e consequente recuperação da área.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acosta, J. A., Faz, A., Jansen, B., Kalbitz, K., & Martínez-Martínez, S. (2011). Assessment of salinity status in intensively cultivated soils under semiarid climate, Murcia, SE Spain. *Journal of Arid Environments*, *75*(11), 1056-1066.

Albano, G.O; DE SÁ, Alcindo, J. Políticas públicas e globalização da agricultura no Vale do Açu-RN. Revista de Geografia (Recife), v. 25, n. 2, p. 58-80, 2010.

Albuquerque, A.S et al. Atributos químicos em solo salino-sódico e efeito do ácido sulfúrico no crescimento da Prosopis juliflora. Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences, v. 61, 2018.

Alexakis, Dimitris; gotsis, Dimitris; giakoumakis, Spyros. Evaluation of soil salinization in a Mediterranean site (Agoulinitsa district—West Greece). Arabian Journal of Geosciences, v. 8, n. 3, p. 1373-1383, 2015.

Alho, L. C. et al. Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e estoque de carbono em Cambissolo e Argissolo. Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 44, n. 3, p. 246-254, 2014.

Almeida, L.S; Guimarães, E.C. Geoestatística e análise fatorial exploratória para representação espacial de atributos químicos do solo, na cafeicultura. 2016.

Amaral, F.C.S. Caracterização pedológica e estudos de infiltração da água no solo em perímetros irrigados no Vale do Rio São Francisco. Embrapa Solos, 2006.

Amorim, J. R. A. et al. Espacialização da porcentagem de sódio trocável do solo no perímetro irrigado Califórnia, em Canindé de São Francisco, Sergipe. Embrapa Tabuleiros Costeiros-Documentos (INFOTECA-E), 2010.

Aquino, R. E. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos de solos antropogênico e não antropogênico na região de Manicoré, AM. Bioscience Journal, p. 988-997, 2014.

Azevedo, E.C. Uso da geoestatística e de recursos de geoprocessamento no diagnóstico da degradação de um solo argiloso sob pastagem no estado de Mato Grosso. 2004. Tese (Doutorado)-Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

Barbieri, D.M.; Marques J. J; PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Argissolo para aplicação de insumos à taxa variável em diferentes formas de relevo. Engenharia Agrícola, p. 645-653, 2008.

Barros, M. F. C.; Fontes, M. P. F.; Alvarez V., V. H.; Ruiz, H. A. 2005. Aplicação de gesso e calcário na recuperação de solos salino-sódicos do Estado de Pernambuco. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.9, p.320-326.

Bastos, R. S. et al. Formação e estabilização de agregados do solo influenciados por ciclos de umedecimento e secagem após adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 29, n. 1, p. 21-31, 2005.

Boeger, M.R.T; Gluezak, R.M. Adaptações estruturais de sete espécies de plantas para as condições ambientais da área de dunas de Santa Catarina, Brasil. Iheringia. Série Botânica., v. 61, n. 1/2, p. 73-82, 2006.

Camargo, L. A et al. Variabilidade espacial de atributos mineralógicos de um latossolo sob diferentes formas do relevo: II-correlação espacial entre mineralogia e agregados. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, n. 6, p. 2279-2288, 2008.

Carmo, D.L., Nannetti, D.C., Lacerda, T.M., Nannetti, A.N., & ESPÍRITO SANTO, D.J., 2012. Micronutrientes em solo e folha de cafeeiro sob sistema agroflorestal no Sul de Minas Gerais. Coffee Science, vol. 7, no. 1, jan./abr., pp. 76-83. http://dx.doi.org/10.25186/ cs.v7i1.231

CASTRO, César Nunes de. Uma análise sobre diferentes opções de políticas para a agricultura irrigada no semiárido. 2017.

Chhabra, Ranbir. Soil salinity and water quality. Routledge, 2017.

Chiba, M. K.; Guedes Filho, O.; Vieira, S.R. Variabilidade espacial e temporal de plantas daninhas em Latossolo Vermelho argiloso sob semeadura direta. Acta Scientiarum. Agronomy, Maringa, v. 32, n. 4, 735-742. 2010.

Chig, L.A et al. Distribuição espacial de ferro e manganês trocáveis em solos do pantanal Spatial distribution of iron and manganese exchangeable wetland soils. AMBIÊNCIA, v. 12, n. 1, p. 233-249, 2016.

Corrêa, A. N.; Tavares, M. H. F.; Uribe-Opazo, M. A. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo e seus efeitos sobre a produtividade do trigo. Semina: Ciências Agrárias, v. 30, n. 1, p. 81-94, 2009

Corrêa, M.F et al. Variabilidade espacial dos atributos químicos e agronômicos do solo em campo de produção de sementes de trigo. Scientia Agraria Paranaensis, v. 16, n. 4, p. 500-509, 2017.

Daliakopoulos, I. N., I. K. Tsanis, A. Koutroulis, N. N. Kourgialas, A. E. Varouchakis, G. P. Karatzas, and C. J. Ritsema. "The threat of soil salinity: A European scale review." *Science of the Total Environment* 573 (2016): 727-739.

Dalposso, G.H. et al. Geostatistical modeling of soybean yield and soil chemical attributes using spatial bootstrap. Engenharia Agrícola, v. 39, n. 3, p. 350-357, 2019.

Daker, A. 1988. A água na agricultura: Irrigação e drenagem. 7 ed. Rio de Janeiro, RJ: Freitas Bastos, 543p.

Domra, K.J., Djongyang, N., Danwe Raïdandi, Njandjock Nouck, P., & Abdouramani Dadjé. (2015). *A review of geophysical methods for geothermal exploration. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 44, 87–95.* doi:10.1016/j.rser.2014.12.026.

Farias, S. G. G.; Santos, R. S.; Freire, A. L. O.; Silva, R. B. 2009. Estresse salino no crescimento inicial e nutrição mineral de gliricídia (Gliricidia sepium (Jacq.) Kunth ex Steud) em solução nutritiva. R. Bras. Ci. Solo, v.33, n.5, p.1499-1505.

Fernandes, C. A. D.; Filgueira, M. A.; Marinho, E. Estudos Preliminares do “Deserto Salino” e

sua Influência na Poluição do Ar na Cidade de Mossoró/RN. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v.1, n.3, p.152-163, 2008

FU, Weijun; TUNNEY, Hubert; ZHANG, Chaosheng. Spatial variation of soil nutrients in a dairy farm and its implications for site-specific fertilizer application. Soil and Tillage Research, v. 106, n. 2, p. 185-193, 2010.

Gee, G. W.; OR, D. Particle size analysis. In: DANE, J. H.; TOPP, G. C. (Ed.). Methods of soil analysis: part 4: physical methods. Madison: Soil Science Society of America, 2002. p. 255-293.

Guarçoni, A. Saturação por bases para o cafeeiro baseada no pH do solo e no suprimento de Ca e Mg. Coffee Science, Lavras, v. 12, n. 3, p. 327 - 33, 2017.

Guerra, A.J.T. O papel da matéria orgânica e dos agregados na erodibilidade dos solos. Anuário do instituto de geociências, v. 13, p. 43-52, 1990.

Gupta, B; Huang, B. Mechanism of salinity tolerance in plants: physiological, biochemical, and molecular characterization. International journal of genomics, v. 2014, 2014.

Hébrard, O.; Voltz, M.; Andrieux, P.; MOUSSA, R. Spatio-temporal distribution of soil surface moisture in a heterogeneously farmed Mediterranean catchment. Journal of Hydrology, v. 329, p. 110-121, 2006.

Hespanhol, A. N. a fruticultura irrigada no polo de desenvolvimento integrado Assu-Mossoró - estado do Rio Grande do Norte – BRASIL. IX Jornadas Interdisciplinarias de Estudios Agrarios y Agroindustriales Argentinos y Latinoamericanos Buenos Aires – Facultad de Ciencias Económicas – Universidad de Buenos Aires. 2015.

Huber, S. et al. Environmental assessment of soil for monitoring: volume I, indicators & criteria. Office for the Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 2008.

Isaaks, E. H.; Srivastava, M. R. Applied geostatistics. 1989.

Kemper, W.D., Rosenau, R.C., 1986. Aggregate stability and size distribution. In: Klute, A. Methods of soil analysis. 2ed. Madison, Am Soc Ag Soil Sci Soc Am, Part 1, pp 425-442. (Agronomy Monography, 9).

Kirkby, E.A; Römheld, V. Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade. Informações agronômicas, v. 118, n. 2, p. 1-24, 2007.

Koubouris, G. C. et al. Growth, photosynthesis and pollen performance in saline water treated olive plants under high temperature. International Journal of Plant Biology, 2015.

La Paix, M. J. et al. Physicochemical properties of saline soils and aeolian dust. Land Degradation & Development, v. 24, n. 6, p. 539-547, 2013.

Leal, I. G.; Accioly, A. M. A.; Nascimento, C. W. A.; Freire, M. B. G. S.; Montenegro, A. A. A; Ferreira, F. L. 2008. Fitorremediação de Solo Salino Sódico por Atriplex nummularia e Gesso de Jazida. R. Bras. Ci. Solo., v.32, n.3, 1065-1072.

Lemos, L. C. A.; Ferreira, L. L. N; LYRA, D. L. Variabilidade espacial de atributos do solo indicadores de degradação ambiental em microbacia hidrográfica. Revista Agro@mbiente On-line, v. 11, n. 1, p. 11-20, 2017.

Li, P; Qian, H; Wu, J. Conjunctive use of groundwater and surface water to reduce soil salinization in the Yinchuan Plain, North-West China. International journal of water resources development, v. 34, n. 3, p. 337-353, 2018.

LI, W. et al. Trend effect and an isotropy of soil particle composition in the Chengdu Plain. Journal of Agricultural Science (Toronto), v. 5, n. 2, p. 56-63, 2013.

Machado, R. M. A., & Serralheiro, R. P. (2017). Soil salinity: effect on vegetable crop growth. Management practices to prevent and mitigate soil salinization. *Horticulturae*, *3*(2), 30.

Martínez-Sánchez, M. J. et al. Monitoring salinization processes in soils by using a chemical degradation indicator. Journal of Geochemical Exploration, v. 109, n. 1-3, p. 1-7, 2011.

Matheron, G. The theory of regionalized variables and its application. Les Cahiers du centre de Morphologie Mathematique, Fas. 5, C. G. Fontainebleau. 1971.

Medeiros, D. C.; Medeiros, J. F.; Pereira, F. A. L.; Souza, R. O.; Souza, P. A. Produção e qualidade de melão cantaloupe cultivado com água de diferentes níveis de salinidade. Revista Caatinga, v.24, n.1, p. 92-98, 2011.

Melo, L.C.A. et al. Nutrição e produção de matéria seca de milho submetido a calagem e adubação sulfatada. Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, v. 41, n. 2, p. 193-199, abr./jun. 2011.

Montanarella, L. et al. Status of the world's soil resources: main report. Embrapa Solos-Livro científico (ALICE), 2015

Mota, J.C.A et al. Impactos de uso e manejo do solo na variabilidade e qualidade de atributos físicos de Cambissolos. Revista Agro@ mbiente On-line, v. 11, n. 4, p. 277-289, 2017.

Mudgal, V.; Madaan, N.; Mudgal, A. 2010. Biochemical mechanisms of salt tolerance in plants: A review. Int. J. Bot., v.6, n.2, p. 136-143.

Munns, R.; Termaat, A. 1986. Whole plant responses to salinity. Austr. J. Plant Physiol., v.13, n.1, p.143-160.

Negreiros, J.V.N. et al. Variabilidade espacial de atributos físico-químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico em sistema plantio direto. Semina: Ciências Agrárias, v. 35, n. 1, p. 193-203, 2014.

Neto, G.K; Oliveira, A.H; Pereira, S.Y. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em uma sub-bacia às margens do rio Mogi Guaçu (SP). Geociências (São Paulo), v. 36, n. 2, p. 381-394, 2017.

Neto, S. P.; Santos, A. C.; Leite, R. L. L.; Dim, V. P.; Cruz, R. S.; Pedrico, A.; Neves Neto, D. N. Análise espacial de parâmetros da fertilidade do solo em região de ecótono sob diferentes usos e manejos. Semina. Ciências Agrárias, v. 32, n. 2, p. 541-552, 2011

Nunes, E.M; Ortega, A.C; Godeiro, K.F. Desenvolvimento Rural em Áreas de Intervenção Estatal do Nordeste: o caso do projeto de irrigação Baixo-Açu. Revista Econômica do Nordeste, v. 38, n. 3, p. 446-465, 2007.

Oliveira, D.P et al. Microrrelevo e a distribuição de frações granulométricas em Cambissolos de origem calcária. Revista Ciência Agronômica, v. 44, n. 4, p. 676-684, 2013.

Oliveira, J.A.S. et al. Variabilidade espacial de propriedades hidrodinâmicas de um Neossolo Regolítico sob pastagem e caatinga. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 18, n. 6, p. 631-639, 2014.

Oliveira, M.L.J et al. Disponibilidade e variabilidade espacial de cobre, ferro, manganês e zinco em solos do Estado do Ceará, Brasil. Revista Ciência Agronômica, v. 49, n. 3, p. 371-380, 2018.

Ortega, A.C; SOBEL, Tiago Farias. Desenvolvimento territorial e perímetros irrigados: avaliação das políticas governamentais implantadas nos perímetros irrigados Bebedouro e Nilo Coelho em Petrolina (PE). Planejamento e políticas públicas, v. 2, n. 35, 2010.

Pedrotti, A. et al. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 19, n. 2, p. 1308-1324, 2015.

Pereira, E.D et al. Produção e qualidade do meloeiro sob osmocondicionamento da semente e níveis de salinidade da água. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 13, n. 1, p. 8-15, 2018.

Phillips, J. D. Geogenesis, pedogenesis, and multiple causality in the formation of texture-contrast soils. Catena, v. 58, n. 3, p. 275-295, 2004

Pontes, A.G.V et al. Os perímetros irrigados como estratégia geopolítica para o desenvolvimento do semiárido e suas implicações à saúde, ao trabalho e ao ambiente. Ciência & Saúde Coletiva, v. 18, p. 3213-3222, 2013.
Raats, P.A., 2014. Salinity management in the coastal region of the Netherlands: a historical perspective. Agric. Water Manag. 157, 12–30.

Reza, S. K. et al. Characterizing spatial variability of soil properties in alluvial soils of India using geostatistics and geographical information system. Archives of Agronomy and Soil Science, v. 63, n. 11, p. 1489-1498, 2017.

Richards, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. LWW, 1954.

Ronquim, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. Embrapa Territorial-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E), 2010.

Sá, A.C.N. et al. VARIABILIDADE ESPACIAL DAS FRAÇÕES PRIMÁRIAS E AGREGADOS DE SOLOS DO SEMIÁRIDO PARAIBANO. SOLOS, p. 117.

Sampaio, Y. Investimentos públicos e privados em agricultura irrigada e seus impactos sobre o emprego e a renda nos polos de Petrolina/Juazeiro e norte de Minas Gerais. Recife, PE: Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da Universidade Federal de Pernambuco (FADE), Relatório de pesquisa. mar. 1999.

Seydehmet, J. et al. Model prediction of secondary soil salinization in the Keriya Oasis, Northwest China. Sustainability, v. 10, n. 3, p. 656, 2018.

.

Silva, J. L. A.; Alves, S. S. V.; Nascimento, I. B.; Silva, M. V. T.; Medeiros, J. F. 2011. Evolução da salinidade em solos representativos do Agropólo Mossoró-Assu cultivado com meloeiro com água de deferentes salinidades. Agropecuária Científica no Semiárido, v.7, n.4, p.26-31.

Soares, D.B et al. Degradação dos solos por sais em Pernambuco, Brasil. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 9, n. 5, p. 1621-1628, 2016.

SOARES, M.D.R et al. Variabilidade espacial da estabilidade dos agregados e matéria orgânica do solo em terra preta arqueológica sob pastagem. Gaia Scientia, 2019.

Souza, E.R et al. Variabilidade espacial das frações granulométricas e da salinidade em um Neossolo Flúvico do semi-árido. Ciência Rural, v. 38, n. 3, p. 698-704, 2008.

Souza, L. C. de; Queiroz, J. E.; Gheyi, H. R. Variabilidade espacial da salinidade de um solo aluvial no semi-árido Paraibano. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.4, p.35-40, 2000.

Souza, G. S .et al. Variabilidade espacial de atributos químicos em um Argissolo sob pastagem. Acta Scientiarum. Agronomy, v. 30, n. 4, p. 589-596, 2008.

Souza, Z.M; Marques, J.J; Pereira, G.T. Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e matéria orgânica em solos de relevos diferentes. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 39, n. 5, p. 491-499, 2004.

Smith, L.H. Plot arrangement for variety experiment with corn. Proc. Amer. Soc. Agron., Madison, V. I. 1907/09, p. 84-89, 1910.

Szabolcs, I. Review of Research on Salt-Affected Soils. Soil Science, v. 131, n. 1, p. 63, 1981.

Tsui, C.C; Chen, Z.S; Hsieh, C.F. Relationships between soil properties and slope position in a lowland rain forest of southern Taiwan. Geoderma, v. 123, n. 1-2, p. 131-142, 2004.

Usowicz, Bogusław; Lipiec, Jerzy. Spatial variability of soil properties and cereal yield in a cultivated field on sandy soil. Soil and Tillage Research, v. 174, p. 241-250, 2017.

Van Beek, C. L.; Tóth, Gergely. Risk assessment methodologies of soil threats in Europe. JRC Scientific and Policy Reports EUR, v. 24097, 2012.

Vezzani, F. M.; Mielniczuk, J. Uma visão sobre qualidade do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 33, n. 4, p. 743-755, 2009.

Vieira, V. A. da S.; Mello, C. R. de; LIMA, J. M. de L. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em uma microbacia hidrográfica. Ciência e Agrotecnologia, v. 31, n. 5, p. 1477-1485, 2007.

Waynick, D.D. & Sharp, L.T. Variability in soils and its significance to past and future soil investigations. II. Variation in nitrogen and carbon in field soils and their relation to the accuracy of field trials. Agricultural Sciences, Davis, 4: 121-139, 1919.

Wong, V. N. L. et al. Soil carbon dynamics in saline and sodic soils: a review. Soil use and management, v. 26, n. 1, p. 2-11, 2010.

Yan, Ping et al. Spatial variability in soil pH and land use as the main influential factor in the red beds of the Nanxiong Basin, China. PeerJ, v. 7, p. e6342, 2019.

Zimback, C.R.L. Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo. 2001. Tese (Livre-Docência)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.