



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
MESTRADO E DOUTORADO



Juliana Rayssa Silva Costa

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO E (COR)RELAÇÕES DE
PROPRIEDADES TÉRMICAS, FÍSICAS, QUÍMICAS E MORFOLÓGICAS
DE SOLOS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Orientador: Dr. Bartolomeu Israel de Souza
Coorientador: Dr. José João Lelis Leal de Souza

Área de Concentração: Território, Trabalho e Ambiente.

Linha de Pesquisa B: Gestão do Território e Análise Geoambiental.

João Pessoa/PB
Outubro/2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
MESTRADO E DOUTORADO



**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO E (COR)RELAÇÕES DE
PROPRIEDADES TÉRMICAS, FÍSICAS, QUÍMICAS E MORFOLÓGICAS
DE SOLOS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Tese de Doutorado a ser apresentada no
Programa de Pós-Graduação em
Geografia da Universidade Federal da
Paraíba, como parte dos requisitos
necessários para o Doutorado.

João Pessoa/PB
Outubro/2023

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

C838a Costa, Juliana Rayssa Silva.

Análise do comportamento e (cor)relações de propriedades térmicas, físicas, químicas e morfológicas de solos no semiárido brasileiro / Juliana Rayssa Silva Costa. - João Pessoa, 2023.

125 f. : il.

Orientação: Bartolomeu Israel de Souza.

Coorientação: José João Lelis Leal de Souza.

Tese (Doutorado) - UFPB/CCEN.

1. Solo - Temperatura. 2. Solo - Cobertura Vegetal.
3. Solo - Armazenamento do calor. 4. Estrutura do solo.
I. Souza, Bartolomeu Israel de. II. Souza, José João Lelis Leal de. III. Título.

UFPB/BC

CDU 631.41(043)

**"ANÁLISE DO COMPORTAMENTO E (COR)RELAÇÕES DE
PROPRIEDADES TÉRMICAS, FÍSICAS, QUÍMICAS E MORFOLÓGICAS
DE SOLOS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO"**

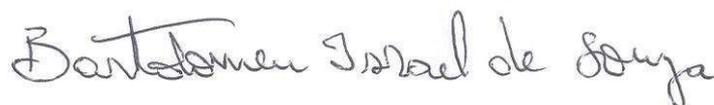
por

Juliana Rayssa Silva Costa

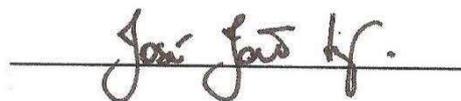
**Tese de Doutorado apresentada ao Corpo Docente do Programa de Pós-graduação em
Geografia do CCEN-UFPB, como requisito total para obtenção do grau de Doutora em
Geografia.**

Área de concentração: Território, trabalho e Ambiente.

Aprovado por:



Prof. Dr. Bartolomeu Israel de Souza
Orientador



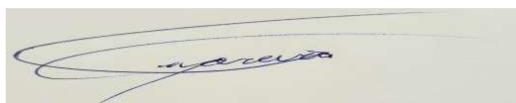
Prof. Dr. José João Leal de Souza
Coorientador



Prof. Dr. Eduardo Rodrigues Viana de Lima
Examinador interno



Prof. Dr. Jonas Otaviano Praça de Souza
Examinador interno



Prof Dr. Fernando Moreira da Silva
Examinador Externo



Prof. Dr. George Santos Marinho
Examinador externo

Universidade Federal da Paraíba
Centro de Ciências Exatas e da Natureza
Programa de Pós-graduação em Geografia
Cursos de Mestrado e Doutorado em Geografia

Junho/2022.

AGRADECIMENTOS

Agradecer não é uma tarefa fácil, pois corre-se o risco de ser injusto e esquecer alguém importante, peço desculpas desde já, mas vou arriscar.

Primeiramente a Deus, pela vida, força, perseverança e dando me energia e fé nos momentos mais difíceis dessa jornada.

À minha mãe e ao meu amigo incondicional Franklin Mendonça Linhares (que surgiu em um momento muito importante e decisivo) que sempre me apoiaram e incentivaram constantemente para que eu não desistisse do mestrado, bem como o doutorado.

Ao Professor Dr. Fernando Moreira da Silva por sempre me ensinar, ajudar, compreender, brigar e apoiar durante toda minha trajetória acadêmica, profissional e até pessoal, independentemente de ser orientador. Bem como aos membros Adalfran Melo e Anderson Queiroz da Base Geoambientais (sala 503) da Geografia UFRN pelas alegrias e conhecimentos desde a graduação.

Ao Professor Dr. George Santos Marinho por disponibilizar o analisador de propriedades térmicas - KD2 Pro do fabricante Decagon Devices, o laboratório de Transferência de Calor, localizado na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), bem como toda disponibilidade para o desenvolvimento da tese e ajuda necessária para que eu e Livia com 3 meses de vida (rsrsrs...) pudéssemos obter e analisar as propriedades térmicas dos solos no Cariri Paraibano.

Aos membros e dados físicos, químicos e morfológicos dos solos analisados que são pertencentes ao Laboratório de Estudo do Semiárido (LAESA) da Universidade Federal da Paraíba.

A Raimunda Ramos de Oliveira (Mumunda) por cuidar tão bem de mim, filha e família, sem ela seria impossível concluir esse curso.

Ao meu esposo e sogra que com frase de desânimo “quando vai acabar essa besteira?” fizeram com que tivesse mais força e perseverança para concluir o doutorado, tendo que percorrer (em relação a minha residência) aproximadamente 180 km á UFPB e mais 413 km em visitas aos locais para obtenção de dados para a tese (Cariri Paraibano).

Aos professores orientadores dessa pesquisa (Barto e Jota), pela oportunidade, orientação, conhecimentos, aulas, incentivos, paciência, compreensões, agilidade nas correções, hospedagem, gentilezas e todo apoio necessário para desenvolver e concluir a tese.

Aos membros da banca examinadora, pela análise e contribuições para melhorar o presente estudo.

E a todos aos meus familiares, amigos, bem como alunos, professores e coordenação do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFPB que colaboram de alguma forma para que pudesse concluir este curso.

RESUMO

O solo é um recurso natural que varia com o tempo e espaço, possui diversas características químicas, físicas e biológicas, e desempenha inúmeras funções socioambientais, as quais em conjunto com a vegetação e a atmosfera vive em constante interação e mudança. Diante tal situação, no presente trabalho analisou o comportamento térmico, físico, químico e morfológico e a (cor)relação entre esses na camada superficial dos solos situados no Cariri Paraibano, semiárido brasileiro. Para isso, coletou-se 10 amostras de solos em 10 municípios (Cabaceiras, Serra Branca, Coxixola, Caraúbas, Congo, Camalaú, São João do Tigre, São Sebastião do Umbuzeiro, Monteiro e Ouro Velho). Dessas amostras obteve-se as propriedades térmicas (difusividade, condutividade, resistência térmica, capacidade calorífica e temperatura) por meio do Analisador de Propriedades - KD2 Pro; realização de tratamento de incerteza por meio da Distribuição Normal e a estatística descritiva dos parâmetros térmicos dos solos; fez-se tabulação e estatística descritiva também de parâmetros físicos (textura), químicos (pH; acidez potencial, cátion trocáveis - Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ ; P; P-rem; ISNa; MO; soma de bases; capacidade de troca catiônica efetiva; capacidade de troca catiônica total; saturação por bases) e morfológicos (cascalho; cor; estrutura - grau, tamanho e tipo; consistência; raízes; poros e transição). Esses dados foram correlacionados com as propriedades térmicas por meio da Correlação de Pearson e teste de significância por meio do Teste t. Com base nos resultados obtidos mostrou-se que a difusividade e condutividade térmica dos solos avaliados no geral são baixas, fazendo com que a temperatura seja alta e maior variabilidade desta em superfície, haja pequena profundidade de penetração de calor e menor armazenamento de calor. A difusividade, condutividade e capacidade calorífica se correlacionaram apenas com propriedades morfológicas (estrutura – grau e tamanho, consistência, quantidade de poros, cascalho e plasticidade); a resistência térmica relacionou-se com aspectos químicos e morfológicos (P-rem e grau – fraco e moderado) e a temperatura com aspectos físicos (areia fina e silte), químicos (M e MO) e morfológicos (estrutura – grau moderado e tamanho muito pequena, pequena e média, consistência – seca e macia e quantidade de poros – comuns). Diante do exposto, verificou-se correlações até então não apresentadas em estudos de solos no Brasil; comprovou-se a hipótese desta tese que para além da matéria orgânica, características físicas, químicas e morfológicas em conjunto, influenciam as propriedades térmicas dos solos presentes, expondo exatamente quais são as variáveis específicas para isso; e a qualidade física de solos seriam moldadas pela estrutura, porosidade, consistência e dinâmica da umidade do solo.

Palavras-chave: Temperatura; Armazenamento de calor; Estrutura do solo; Cobertura Vegetal.

ABSTRACT

Soil is a natural resource that varies over time and space, has diverse chemical, physical and biological characteristics, and performs numerous socioenvironmental functions, which together with vegetation and the atmosphere live in constant interaction and change. Given this situation, in the present work we analyzed the thermal, physical, chemical and morphological behavior and the (color)relationship between these in the surface layer of soils located in Cariri Paraibano, a Brazilian semiarid region. For this, 10 soil samples were collected in 10 municipalities (Cabaceiras, Serra Branca, Coxixola, Caraúbas, Congo, Camalaú, São João do Tigre, São Sebastião do Umbuzeiro, Monteiro and Ouro Velho) and thermal properties of these were obtained (diffusivity, conductivity, thermal resistance, heat capacity and temperature) through the Properties Analyzer - KD2 Pro; carrying out uncertainty treatment using Normal Distribution and descriptive statistics of soil thermal parameters; tabulation and descriptive statistics were also made of physical (texture) and chemical parameters (pH; potential acidity, exchangeable cations - Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ ; P; P-rem; ISNa; MO; sum of bases; capacity of effective cation exchange; total cation exchange capacity; saturation by bases) and morphological (gravel; color; structure - degree, size and type; consistency; roots; pores and transition) to correlate them to thermal properties through Correlation of Pearson and significance test of these results using the t Test. Based on the results obtained, it was shown that the diffusivity and thermal conductivity of the soils evaluated are generally low, causing the temperature to be high and greater variability on the surface, with a small depth of heat penetration and less heat storage. Diffusivity, conductivity and heat capacity correlated only with morphological properties (structure – degree and size, consistency, number of pores, gravel and plasticity); thermal resistance was related to chemical and morphological aspects (P-rem and degree – weak and moderate) and temperature with physical (fine sand and silt), chemical (M and MO) and morphological aspects (structure – moderate degree and size very small, small and medium, consistency – dry and soft and number of pores – common). In view of the above, correlations not previously presented in soil studies in Brazil were verified; the hypothesis of this thesis was proven that in addition to organic matter, physical, chemical and morphological characteristics together influence the thermal properties of the soils present, exposing exactly what the specific variables are for this; and the physical quality of soils would be shaped by the structure, porosity, consistency and dynamics of soil moisture.

Keywords: Temperature; Heat storage; Soil structure; Vegetal cover.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização das áreas onde foram coletadas amostras de solos para o presente estudo.....	22
Figura 2. Esquema do fluxo de calor através de um elemento prismático.	30
Figura 3: Analisador de propriedades térmicas - KD2 Pro e respectivos sensores.	56
Figura 4: Homogeneização e compactação da amostra de solo para inserir no analisador de propriedades térmicas - KD2 Pro.	57
Figura 5: Acomodação da amostra e sensor SH-1 para fechamento da câmara térmica e início de coleta dos dados.....	57
Figura 6: Inclusão da ponta SH-1 no interior da amostra de solo.	58
Figura 7: Áreas da distribuição normal para 1, 2 e 3 desvios padrão em torno da média 0.	59
Figura 8: Figura A. Visão da paisagem onde foram obtidas as amostras de solo (rótulo vermelho referente as propriedades térmicas e rótulo amarelo alusivo as propriedades física, químicas e morfológicas) a norte no município de Cabaceiras/PB. Figura B. Porte da vegetação do local onde foi coletada a amostra de solo para análise de propriedades térmicas em Cabaceiras/PB no dia 20/06/2018.	69
Figura 9: Figura A. Visão da paisagem onde foram obtidas as amostras de solo (rótulo vermelho referente às propriedades térmicas e rótulo amarelo alusivo às propriedades físicas, químicas e morfológicas) a leste no município de Serra Branca/PB. Figura B. Porte da vegetação do local onde foi obtida a amostra de solo para verificar parâmetros térmicos em Serra Branca/PB no dia 23/02/2019.....	69
Figura 10: Figura A. Visão da paisagem onde foram obtidas as amostras de solo (rótulo vermelho referente as propriedades térmicas e rótulo amarelo alusivo as propriedades física, químicas e morfológicas) a noroeste no município de Coxixola/PB. Figura B. Porte da vegetação do local onde foi obtida a amostra de solo para verificar parâmetros térmicos em Coxixola/PB em 20/05/2015.....	69
Figura 11: Figura A. Visão da paisagem onde foram obtidas as amostras de solo (rótulo vermelho referente as propriedades térmicas e rótulo amarelo alusivo as propriedades física, químicas e morfológicas) a norte no município de Caraúbas/PB. Figura B. Porte da vegetação do local onde foi obtida a amostra d solo para verificar parâmetros térmicos em Caraúbas/PB em 16/06/2018.	70
Figura 12: Figura A. Visão da paisagem onde foram obtidas as amostras de solo (rótulo vermelho referente a propriedades térmicas e rótulo amarelo alusivo as propriedades física, químicas e morfológicas) a noroeste no município do Congo/PB. Figura B. Porte da vegetação do local onde foi obtida a amostra de solo para verificar parâmetros térmicos em Coxixola/PB em 22/10/2016.....	70
Figura 13: Figura A. Visão da paisagem onde foram obtidas as amostras de solo (rótulo vermelho referente a propriedades térmicas e rótulo amarelo alusivo as propriedades física, químicas e morfológicas) a sudoeste no município do Camalaú/PB. Figura B. Porte da vegetação do local onde foi obtida a amostra de solo para verificar parâmetros térmicos em Camalaú/PB no dia 19/06/2018.	70

Figura 14: Visão da paisagem onde foram obtidas as amostras de solo (rótulo vermelho referente a propriedades térmicas e rótulo amarelo alusivo as propriedades físicas, químicas e morfológicas) a sudoeste no município de São João do Tigre/PB. Figura B. Porte da vegetação do local onde foi obtida a amostra de solo para verificar parâmetros térmicos em São João do Tigre/PB no dia 20/09/2021.	71
Figura 15: Figura A. Visão da paisagem onde foram obtidas as amostras de solo (rótulo vermelho referente a propriedades térmicas e rótulo amarelo alusivo as propriedades física, químicas e morfológicas) a sudoeste no município do São Sebastião do Umbuzeiro/PB. Figura B. Porte da vegetação do local onde foi obtida a amostra de solo para verificar parâmetros térmicos em São Sebastião do Umbuzeiro/PB no dia 19/06/2018.	71
Figura 16: Figura A. Visão da paisagem onde foram obtidas as amostras de solo (rótulo vermelho referente a propriedades térmicas e rótulo amarelo alusivo as propriedades física, químicas e morfológicas) a noroeste no município de Monteiro/PB. Figura B. Porte da vegetação do local obtida a amostra de solo para verificar parâmetros térmicos em Monteiro/PB no dia 19/06/2018.	71
Figura 17: Figura A. Visão da paisagem onde foram obtidas as amostras de solo (rótulo vermelho referente a propriedades térmicas e rótulo amarelo alusivo as propriedades física, químicas e morfológicas a sudoeste no município de Ouro Velho/PB. Figura B. Porte da vegetação local onde foi obtida amostra de solo para verificar parâmetros térmicos em Ouro Velho/PB no dia 19/06/2018.	72
Figura 18: Cores dos solos da região em estudo.	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Condutividade Térmica de materiais distintos	31
Tabela 2: Condutividade Térmica em diferentes tipos de solos.....	31
Tabela 3: Condutividade Térmica em diferentes tipos de solos.....	33
Tabela 4: Capacidade de aquecimento volumétrico de materiais distintos	37
Tabela 5: Capacidade de aquecimento volumétrico de alguns tipos de solos	37
Tabela 6: Difusividade térmica de alguns tipos de solos	41
Tabela 7: Classes de interpretação para acidez ativa do solo (pH)	48
Tabela 8: Prováveis características do solo em função do pH em água	48
Tabela 9: Faixas para interpretação do teor de fósforo (P) no solo pelo Mehlich-1 em função do teor de argila.	49
Tabela 10: Faixas para interpretação do teor de fósforo (P) no solo pelo Mehlich-1 em função do teor de argila.	51
Tabela 11: Classes de interpretação para acidez ativa do solo (pH)	60
Tabela 12: Classes de interpretação utilizadas para caracterização das propriedades químicas analisadas	61
13: Valores do coeficiente de correlação de Pearson (r)	64
Tabela 14. Características dos locais onde foram obtidas as amostras de propriedades térmicas e as demais analisadas no estudo	68
Tabela 15: Tabela 15: Normal climatológica da região em estudo no período de 1911-1990.	72
Tabela 16: Propriedades físicas da camada superficial dos solos avaliados	79
Tabela 17: Propriedades químicas da camada superficial dos solos em questão	81
Tabela 18: Interpretação da acidez ativa (pH) dos solos em análise	82
Tabela 19: Coeficientes de correlação entre textura e propriedades químicas dos solos estudados	86
Tabela 20: Estatística descritiva da difusividade térmica ($*10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$) nos solos estudados	87
Tabela 21: Estatística descritiva da condutividade térmica (W/(m.K)) nos solos analisados	92
Tabela 22: Estatística descritiva da resistência térmica ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{cm}/\text{W}$) nas amostras de solos analisadas.....	94
Tabela 23: Estatística descritiva da capacidade calorífica ($\text{MJ}/(\text{m}^3\text{K})$) nos solos avaliados.	96
Tabela 24: Estatística descritiva da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) nos solos analisados	98
Tabela 25: Coeficientes de correlação entre as variáveis térmicas com os aspectos físicos, químicos, morfológicos dos solos na região em estudo	100
Tabela 26: Coeficientes de correlação entre as variáveis térmicas com os aspectos físicos, químicos, morfológicos dos solos na região em estudo.....	103

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Cor dos solos analisados.....	73
Quadro 2: Estruturas das amostras de solos avaliados	75
Quadro 3: Comportamento das consistências nos solos em análise.....	76
Quadro 4: Comportamento das raízes nos solos em análise.....	77
Quadro 5: Comportamento dos poros nos solos na área em estudo	78

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Hipótese	20
1.2 Objetivos.....	20
1.2.1 Geral	20
1.2.2 Específicos	20
1.3 Estrutura do trabalho	21
2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	22
3. REFERENCIAL TEÓRICO	27
3.1 Solos no semiárido brasileiro.....	27
3.2 Mecanismos de transferência de calor no solo.....	28
3.3 Características de propriedades térmicas do solo	29
3.3.1 Condutividade térmica.....	29
3.3.2. Capacidade Calorífica ou Calor Específico Volumétrico.....	35
3.3.3 Resistência térmica	38
3.3.4 Difusividade térmica.....	39
3.3.5 Temperatura.....	43
3.4.1 Cor	44
3.5 Características de propriedades física do solo	46
3.6 Características de propriedades químicas do solo	47
3.6.1 Acidez ativa (pH).....	47
3.6.2. Fósforo disponível (P) e Fósforo remanescente (P-rem).....	48
3.6.3 Potássio disponível (K).....	50
3.6.4 Sódio (Na) e Índice de Saturação de Sódio (ISNa)	50
3.6.5 Cálcio (Ca ²⁺) e Magnésio (Mg ²⁺)	51
3.6.6 Alumínio (Al ³⁺).....	51
3.6.7 Acidez potencial ou total (H+Al)	52

3.6.8 Saturação por alumínio (m)	52
3.6.9 Soma de Bases (SB)	52
3.6.10 CTC efetiva (t).....	53
3.6.11 CTC Total (T).....	53
3.6.12 Saturação por bases (V).....	54
3.6.13 Matéria orgânica do solo (MO)	54
4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	55
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	67
5.1 Caracterização os aspectos físicos, vegetacionais e climatológicos dos locais analisados	67
5.2 Comportamentos de variáveis morfológicas dos solos	73
5.3 Comportamentos de variáveis físicas dos solos.....	78
5.4 Comportamentos de variáveis química dos solos	80
5.4.1 Acidez.....	82
5.4.2 Condições de nutrientes no solo	83
5.5 Comportamentos de variáveis térmicas dos solos	87
5.5.1 Difusividade térmica.....	87
5.5.2 Condutividade térmica	92
5.5.3 Resistência térmica	94
5.5.4 Capacidade Calorífica	95
5.5.5 Temperatura do solo	97
5.6 Correlação entre as variáveis térmicas com os aspectos físicos, químicos e morfológicos dos solos na região em análise	100
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	110
REFERÊNCIAS	113

1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que o solo é um recurso natural de elevada diversidade química, física e biológica; armazena e transfere água, solutos, gases e calor; suas propriedades são influenciadas por aspectos climáticos e de uso e ocupação do solo; variando com o tempo e espaço e serve de base para todas as atividades naturais e socioeconômicas, principalmente no espaço rural.

E o conhecimento do comportamento do solo referente à capacidade de armazenamento e transmissão de calor (propriedades térmicas do solo) é de grande importância para: a germinação, crescimento e desenvolvimento de plantas; agricultura; formação do solo; explicar os vários processos químicos, físicos e biológicos nos diversos tipos de ecossistema existentes no planeta (HILLEL, 2004); é necessária na interação solo-planta-atmosfera em modelos biogeofísicos em simulações de cenários futuros do clima (CARVALHO, *et al.* 2013) e em vários projetos de engenharia (como estocagem de rejeitos radioativos, projetos de rodovias, tubulações e cabos de força enterrados, revestimento de residências) e em situações onde a transferência de calor se faz relevante, como por exemplo: descontaminação do solo, recuperação de área degradadas (DUARTE, 2004).

A variação do perfil de temperatura do solo, constitui-se um dos elementos mais importantes na caracterização do microclima. Assim, torna-se relevante conhecer esta variação para melhor entendimento dos fenômenos relacionados aos balanços energéticos em superfície (SANTOS, 1987).

Porém, segundo Prevedello (2002, p.1) a capacidade de um solo de armazenar e transferir calor é determinada pelas suas propriedades térmicas e pelas condições meteorológicas que, por sua vez, influenciam todos os processos químicos, físicos e biológicos do solo, sendo alguns desses visualizados a seguir:

A atividade microbiológica poderá ser interrompida, as sementes poderão não germinar e as plantas não se desenvolverem, se o solo não se apresentar dentro de uma faixa de temperatura adequada para a manutenção dos processos fisiológicos envolvidos. As propriedades físicas da água e do ar do solo, bem como seus movimentos e disponibilidade no solo, além de muitas reações químicas que liberam nutrientes para as plantas, são influenciados pela temperatura do solo. Ademais, o calor armazenado próximo da superfície do solo tem grande efeito na evaporação. As propriedades térmicas do solo e as condições meteorológica, portanto, influem no meio ambiente das plantas (PREVEDELLO, 2002, p.1).

As propriedades térmicas são representadas principalmente por: (i) condutividade térmica que caracteriza a habilidade do solo em conduzir calor; (ii) difusividade térmica simboliza a habilidade do solo em difundir calor, isto é, é uma medida do tempo necessário para as variações de temperatura se propagarem e (iii) capacidade calorífica volumétrica indica a habilidade do solo em armazenar calor, isto é, expressa a variação de temperatura resultante do ganho ou perda de calor (ALVALÁ *et al.*, 2004).

Maciel Neto *et al.* (2015, p.168) relatam que “além do fluxo de calor no solo, a temperatura do solo é considerada um fator importante que está diretamente relacionado ao sistema solo-planta-atmosfera, afetando três funções importantes do solo: a biológica, a química e a física”, mas não abordam quais os componentes químicos.

Além das funções e importância do solo relacionados à transferência de calor, esses possuem características distintas que influenciam em seu comportamento térmico, conforme menciona Miranda (2010, p. 17).

“(…) a transferência energética no solo é bastante diferenciada, dependendo do montante líquido de calor absorvido, da energia específica das frações que o compõem, necessária para mudança de temperatura, e da transferência de energia capaz de alterar o estado físico da água” (MIRANDA, 2010, p. 17).

Pessôa (2006) relata que as propriedades térmicas dos solos sofrem influência de uma série de fatores que podem ser distribuídos em dois grupos: os fatores que são inerentes aos solos, como textura e composição mineralógica; e os fatores que podem ser controlados e modificados externamente pelo homem ou pela natureza, como teor de umidade e densidade.

Miranda (2010) aborda que vários fatores como a composição mineralógica, densidade e umidade, cor na superfície, estrutura e teor de matéria orgânica influenciam o comportamento térmico, e merecem destaque por caracterizar o processo de transferência de energia térmica entre os sistemas.

Alvalá *et al.* (2004) relatam ainda que essas propriedades, por sua vez, dependem do conteúdo de umidade do solo, da composição e estrutura do solo e da cobertura de vegetação (sombreamento, influência da raiz sobre o conteúdo de umidade do solo). No entanto, a determinação destes dados com base em medidas de campo, especialmente

em função do conteúdo de água, não é rotineiramente disponível, apesar da crescente demanda causada pelas necessidades detalhadas dos modelos de transporte.

Outros fatores que podem influenciar no comportamento relativo à transmissão de calor nos solos, segundo Farouki (1981), são os ciclos alternados de hidratação e secagem dos solos, bem como, o grau de compactação dos solos.

Diante das variações sazonais dos processos de hidratação e secagem dos solos, ocorre a dilatação e retração dos solos, provocando fissuras e conseqüentemente resistência à propagação do fluxo de calor no solo. E no que tange a compactação dos solos seja essa por ação natural ou por ação artificial/mecânica, faz com que ocorra a diminuição do volume de ar presente no solo, proporcionando, assim, um aumento da área de contato e do número de pontos de contato entre as partículas sólidas dos solos (FAROUKI,1981).

Shneider (1979) expõe que as propriedades térmicas do solo são uma função da sua textura, densidade, porosidade e teor de umidade. Por isso, elas variam de solo para solo e, para um mesmo solo, principalmente com o seu teor de umidade.

De acordo com Rees *et al.* (2000), a presença de água no solo contribui de forma significativa na transmissão de calor entre as partículas sólidas. Em geral, os solos com um conteúdo de água elevado (saturados ou não) permitem que o calor seja transferido em quantidade superior se comparado aos solos secos, apresentando, assim, uma maior capacidade de armazenamento de energia térmica. Dessa forma, observa-se que o conhecimento das condições de saturação do solo é necessário para a análise do seu comportamento térmico.

Ainda conforme Rees *et al.* (2000), o fluxo de água subterrâneo permite agir como um meio de transporte de calor, promovendo sua dissipação por várias camadas do solo.

Rao *et al.* (2005) ratificam o que foi posto por Miranda (2010) e Shneider (1979), relatando que cada tipo de solo apresenta características peculiares, fazendo-se necessário que sejam identificadas, para cada situação particular, as suas propriedades térmicas, as quais são resultantes de um conjunto de fatores, incluindo-se a textura e composição química, mas não cita os componentes químicos.

Conforme Alvalá *et al.* (2004) as propriedades térmicas do solo, devido às suas dependências do conteúdo de umidade do solo variam em espaço e tempo, causando dois tipos de heterogeneidades:

Uma heterogeneidade de meso-escala, que pode ser induzida por chuvas que variam espacialmente, a qual influencia estas propriedades (e, portanto, a temperatura e o fluxo de calor no solo) através de mudanças no conteúdo de umidade no solo em uma escala de diversos quilômetros; segundo, uma heterogeneidade na micro-escala, a qual depende das condições da superfície, isto é, se o solo apresenta-se nu ou coberto com vegetação. A cobertura pode ser densa ou ser esparsa em diferentes graus. Isto influencia a camada de solo próximo à superfície por sombreamento homogêneo ou não, com consequente influência sobre a umidade do solo e, portanto, sobre as propriedades térmicas deste. Além das variações espaciais, grandes variações temporais ocorrem quando períodos com chuvas fortes são alternados por períodos secos (ALVALÁ *et al.*, 2004).

Diante do exposto, verifica-se que cada classe de solo possui propriedades térmicas diferentes, que não podem ser extrapolados para regiões adjacentes, pois cada tipo de solo possui determinadas características, bem como o uso e ocupação e aspectos climatológicos diferentes.

Apesar da importância de tal temática, segundo Diniz *et al.* (2013) até então, poucos estudos sobre propriedades térmicas foram realizados pela comunidade científica para os solos do Brasil, em especial em alguns biomas.

Silans e Silva (2007) relatam que poucos estudos experimentais têm sido desenvolvidos no sentido de se compreender os fenômenos associados às transferências de calor e massa nos solos do bioma de Caatinga, sendo assim fundamental esse tipo de investigação, dada a sua influência no que diz respeito às questões ambientais e ao uso econômico.

Os estudos existentes sobre propriedades térmicas do solo no Brasil utilizam majoritariamente o comportamento da difusividade e condutividade térmica por meio de métodos analíticos e estimativos para a determinação destas propriedades. Os dados obtidos por meio de equipamentos especializados, como sensores e termopares, utilizados em laboratórios ou em campo, apesar de confiáveis, apresentam custos elevados.

De acordo com Miranda (2010) ao avaliar dados de temperatura e alguns atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho Distrófico, coletados em

Selvíria/MS, em recuperação com adubos verdes, gramínea e lodo de esgoto, cultivado com Gonçalo-alves, observou-se que a composição mineralógica, densidade e umidade, cor na superfície, estrutura e teor de matéria orgânica influenciam no comportamento térmico da amostra em análise.

Conforme estudos realizados, a difusividade térmica em solos do semiárido brasileiro é baixa, sendo tal situação exposta por Silva (2003), Andrade *et al.* (2006), Silans *et al.* (2006), Silans *et al.* (2011), Maciel Neto (2011), Diniz *et al.* (2013b), Diniz (2014b) e Maciel Neto *et al.* (2015), tendo como locais de referência os municípios de São João do Cariri/PB, Campina Grande/PB, Lagoa Nova/PB, São João do Cariri/PB, Garanhuns/PE e São José/PE, respectivamente. Ressalta-se que, esses trabalhos foram realizados utilizando-se métodos matemáticos e equipamentos diferentes da pesquisa em questão.

Estudos sobre a condutividade térmica em solos do semiárido brasileiro também são escassos e os existentes se baseiam em apenas modelos matemáticos, como podemos ver em Maciel Neto (2011), Maciel Neto *et al.* (2015) e Silva *et al.* (2011). Este último, modelou e analisou o comportamento da condutividade térmica em vegetação de caatinga no município de São João do Cariri/PB.

Assim, até o presente momento, são desconhecidos os estudos sobre solos do semiárido brasileiro que tratam do comportamento de resistência térmica e capacidade calorífica; quais variáveis físicas, químicas e morfológicas se correlacionam com a difusividade, condutividade, resistência térmica, capacidade calorífica e temperatura ou que apresentem o comportamento de tais parâmetros térmicos com base em dados experimentais obtidos por meio de equipamentos especializados, como sensores e termopares, bem como de estudos que auxiliem na compreensão de como as propriedades térmicas podem influenciar no comportamento da cobertura vegetal e das relações destas com os tipos de uso do solo.

Quanto ao local de estudo, para caracterizar as propriedades térmicas e estabelecer a correlação dessas com parâmetros morfológicos, físicos, químicos dos solos, foram selecionados 10 locais em 10 municípios situados na região Cariris Velhos, situado a sul do Estado da Paraíba, semiárido brasileiro, em função da presença de algumas características físicas e ambientais.

Segundo Medeiros e Medeiros (2016) na região dos Cariris Velhos são registrados alguns dos menores índices pluviométricos do país. Além disso, é um núcleo de desertificação identificado por Vasconcelos Sobrinho (2002). Assim, a análise de propriedades térmicas nessa região pode auxiliar no entendimento sobre qual tipo de solo ou quais características desses representam maior e menor capacidade de armazenamento e transferência de calor, cujos comportamentos podem influenciar na cobertura vegetal e nas relações desta com os tipos de uso da terra dessa parte do Brasil.

1.1 Hipótese

A hipótese levantada é de que, no semiárido brasileiro, para além matéria orgânica, as características físicas, químicas e morfológicas, em conjunto, influenciam nas propriedades térmicas dos solos, conferindo a esses uma relação complexa, de fundamental importância para entendimento da cobertura vegetal e dos tipos de uso da terra.

1.2 Objetivos

1.2.1 Geral

Analisar o comportamento térmico, físico, químico e morfológico e a (cor)relação entre esses na camada superficial dos solos situados no Cariri Paraibano, semiárido brasileiro.

1.2.2 Específicos

- ✓ Expor dados de características físicas e de vegetação existentes nos locais onde foram obtidos os solos analisados para compreender do uso e ocupação do solo nesses locais.
- ✓ Analisar as variáveis climatológicas (precipitação e temperatura do ar) no período de 1969-1990, obtidas por meio das estações climatológicas existentes na área em estudo;
- ✓ Coletar e avaliar dados de variáveis físicas, químicas, morfológicas e térmicas dos solos na área de estudo.

✓ Realizar a correlação entre os parâmetros térmicos com as variáveis físicas, químicas e morfológicas dos solos por meio da Correlação de Pearson e teste de significância por Teste t.

1.3 Estrutura do trabalho

O trabalho dividido em capítulos está organizado de forma a permitir uma compreensão do todo pela concatenação dos assuntos abordados em cada segmento.

No capítulo 1 procura-se contextualizar o tema da tese, demonstrando a relevância do trabalho, identificando e definindo o problema. São estabelecidos os objetivos alcançados e especificando o caráter inovador e a contribuição científica do trabalho.

No capítulo 2 são expostas características físicas e de vegetação existentes nos locais onde foram obtidos os solos analisados para compreender o uso e ocupação do solo nesses locais.

No capítulo 3 é descrita o referencial teórico contendo a caracterização dos solos em região semiárida; mecanismos de transferências de calor para o solo, aspectos da difusividade, condutividade e resistência térmica, capacidade calorífica e temperatura do solo; atributos das propriedades morfológicas, físicas e químicas do solo.

No capítulo 4 encontra-se posto os procedimentos metodológicos empregados. A primeira parte deste capítulo se destina a forma de obtenção de dados térmicos de solos analisados no laboratório, expondo materiais e equipamentos utilizados. Na segunda, os métodos estatísticos empregados para realização do trabalho.

No capítulo 5 são detalhados os resultados obtidos, expondo caracterização dos aspectos físicos, químicos e morfológicos dos solos avaliados e o comportamento da relação entre aspectos físicos, químicos, morfológicos e térmicos dos solos da região em análise.

Por último, no capítulo 6, são fundamentadas as conclusões, a partir dos resultados obtidos, em deduções lógicas dos argumentos expostos nas discussões.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

Na Figura 1 visualiza-se a localização dos pontos onde foram obtidas as amostras de solos para análise das propriedades térmicas e próximo a essas foram coletadas amostras para análises físicas, químicas e morfológicas, cujas distâncias variam de 15,1 metros (P8 – São Sebastião do Umbuzeiro) a 3.691,5 metros (P5 – Congo), as quais são observadas no capítulo 4. Procedimentos Metodológicos.

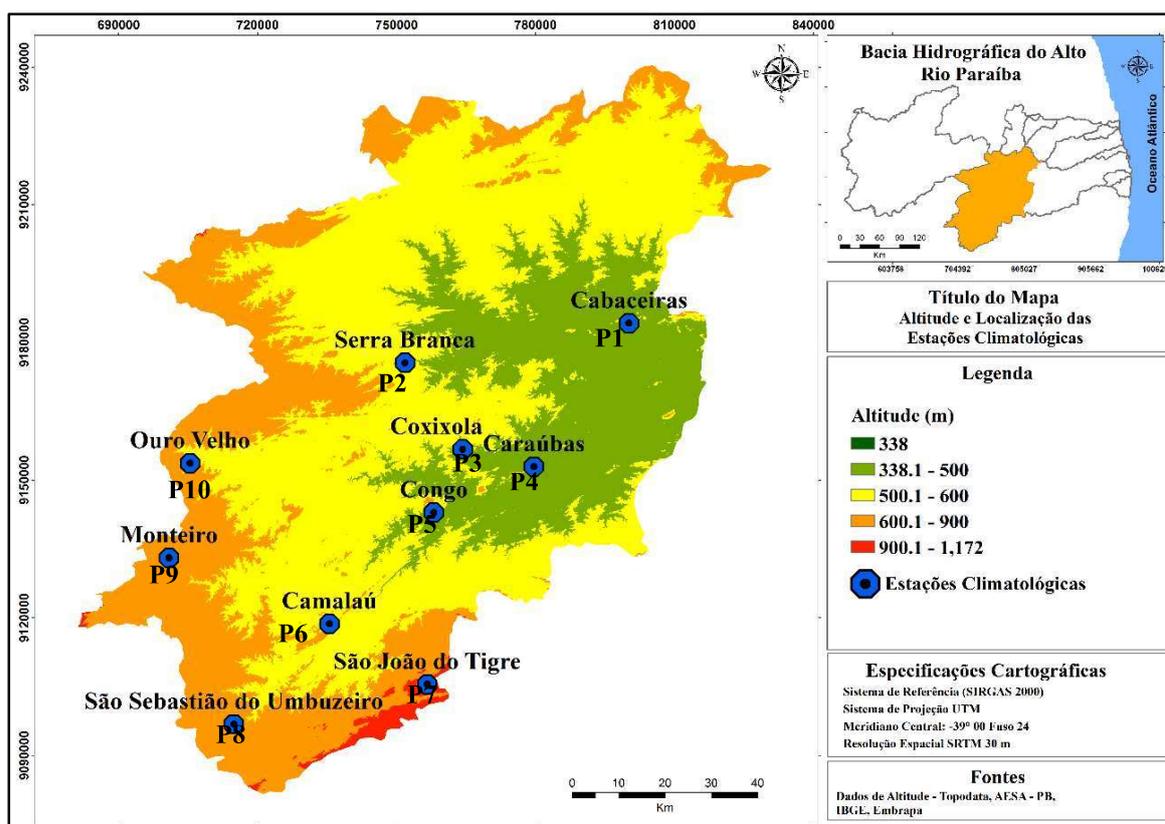


Figura 1. Localização das áreas onde foram coletadas amostras de solos para o presente estudo

A região em estudo compreende parte do Cariri paraibano. Esses locais estão localizados no centro sul do estado da Paraíba fazendo divisa com o estado de Pernambuco.

Esses encontram-se inseridos na ecorregião da Borborema presente nos estados de Paraíba, Rio Grande do Norte, Pernambuco e Alagoas, caracterizado pelas unidades do planalto da Borborema contendo maciços residuais, serrotes e afloramentos rochosos (JATOBÁ, 1994).

Segundo Velloso *et al.* (2002) o planalto da Borborema é uma área montanhosa com declives acentuados e relevo bastante movimentado, com presença de afloramentos rochosos de granito. Este é anteparo para os ventos de sudeste, constituindo uma barreira para a umidade, cria-se assim áreas mais secas, que ficam em sua “sombra” (Cariris Velhos) na Depressão Sertaneja Setentrional (Velloso *et al.*, 2002).

Segundo Parente (2009) os solos do Cariri paraibano, são geralmente jovens, pouco profundos, pedregosos, com baixa capacidade de retenção de água e com uma fertilidade mediana

Conforme Rosendo *et al.* (2015) as chuvas na região dos Cariris paraibanos (região em estudo) são geralmente irregulares e esparsas, típica do semiárido brasileiro, com temperaturas médias anuais de 27°C, tendo uma precipitação pluviométrica cuja média anual histórica é de 234 mm, sendo sua maior parcela precipitada normalmente durante os quatro meses chuvosos do ano para a região (fevereiro a maio), podendo apresentar assim longos períodos de estiagens que duram de nove a dez meses, nos anos mais secos. Ao mesmo tempo, podem ocorrer máximas de precipitação que em muito ultrapassam essa média, visto que a variação em torno desta é muito elevada.

Segundo Souza e Souza (2016), na região dos Cariris Velhos (ou Cariri Paraibano) encontra-se o Alto Curso do Rio Paraíba e a Área de Proteção Ambiental do Cariri, unidade de conservação de elevada importância biológica para o bioma caatinga, num eixo que se distancia de 180 a pouco mais de 300 km de João Pessoa (capital da Paraíba), perfazendo um vasto território que recobre quase 20% do estado em questão.

Na região dos Cariris Velhos (ou Cariri Paraibano) encontram-se altitudes médias dominantes de 500 metros (ainda que variem entre 400 a pouco mais de 1.000 metros), caatinga hiperxerófila, as limitações edáficas (solos rasos e, em muitos casos, com altos teores de salinidade), cidades pequenas, com baixa densidade demográfica e altos níveis de degradação da cobertura vegetal convivendo com áreas pontuais onde há importantes remanescentes de uma caatinga densa e florestal (SOUZA, 2008).

Quanto às classes de solos no Cariri Paraibano, conforme descrito por Souza *et al.* (2009) tendo como base o mapeamento digital de solos disponível em Paraíba (1997), tem-se:

- 1) Luvissole Hipocrômico: Ocorrem nas superfícies onduladas a forte onduladas, com perfis relativamente profundos (150 a 250 cm), PH ácido, sendo moderadamente a bem drenados. Apresentam, originalmente, cobertura vegetal densa e diversificada.
- 2) Luvissole Crômico: Ocorrem em relevo suave ondulado e raramente em relevo ondulado, sendo pouco profundos ou rasos, com PH de baixa acidez e, em alguns casos, básico. Na superfície é comum a ocorrência de cascalhos e calhaus de quartzo (Pavimento Desértico). Tal como no tipo de solo anterior, a vegetação original é composta por um tipo de mata seca de alto porte.
- 3) Planossolo Háplico: ocorrem em relevo suave ondulado, com vertentes longas de pequena declividade e vales normalmente abertos, ocupando as cotas mais baixas da região. São rasos, apresentando saturação por sódio, imperfeitamente drenados, com ligeiro encharcamento durante o período das chuvas e extremo ressecamento e endurecimento na época seca. Por esses motivos, são naturalmente desfavoráveis ao crescimento de plantas arbóreas, onde as caatingas caracterizam-se por serem formadas por espécies pouco diversificadas, espalhadas e/ou agrupadas em pequenos bosques.
- 4) Planossolo Nátrico: Possuem as mesmas características que a classe de solo anterior, embora apresente maior enriquecimento em sódio, o que torna as caatingas existentes ainda mais empobrecidas.
- 5) Cambissolo Úmico: Ocorrem em áreas de relevo forte ondulado a montanhoso, com forte declividade. São profundos, fortemente drenados, ácidos ou moderadamente ácidos. Em relação a cobertura vegetal, esta apresenta-se originalmente densa e diversificada.
- 6) Vertissolo Hidromórfico: Ocorrem nas áreas de relevo suave ondulado a ondulado, em depressões com problemas de drenagem e elevada presença de argilas de alta atividade química (montmoriloníticas), o que confere a esses solos notável capacidade de dilatação, quando molhados, e contração, quando secos. Nesse processo, nas fendas abertas durante a estação seca, caem materiais da parte superficial que atingem as partes profundas do perfil, enquanto durante a estação chuvosa, devido à expansão das argilas, materiais das partes baixas do perfil são pressionados e podem ser expelidos, existindo assim um auto-revolvimento nesses solos, o que lhes confere elevada fragilidade à erosão. Dessa forma, apesar de, em princípio, apresentarem cobertura vegetal relativamente densa e variada, em caso de desmatamento, ocorrem dificuldades para a sua recolonização por parte de diversas plantas, uma vez que as suas sementes, junto com algumas partículas desse tipo de solo, são arrastadas horizontalmente nesse processo sazonal de expansão/retração. Além dessa característica, em virtude da maior deficiência de drenagem presente em algumas áreas, podem, ocasionalmente, ocorrer problemas em relação ao desenvolvimento das plantas devido ao acúmulo de sais.
- 7) Neossolo Flúvico: Ocorrem nas áreas de relevo plano ou com ondulares muito suaves, correspondentes às faixas estreitas ao longo dos cursos d'água, provenientes de deposições fluviais. Apresentam fertilidade natural alta, sendo pouco profundos ou profundos, moderadamente ácidos e alcalinos nas camadas inferiores, sem problemas de erosão, com drenagem moderada ou imperfeita. Originalmente eram ocupados por matas ciliares, com elevada presença de espécies de porte arbóreo, entretanto, onde a drenagem mostra-se deficiente, também podem apresentar problemas devido ao

acúmulo de sais, o que desfavorece a diversidade, a densidade e o porte das plantas que colonizam esses tipos de solo.

8) Neossolo Regolítico: Ocorrem em áreas de relevo plano, suave ondulado e ondulado, sendo pouco desenvolvidos, muito arenosos, profundos e fortemente drenados. Apresentam cobertura vegetal densa e diversificada.

9) Neossolo Litólico: Ocorrem em áreas de relevo suave ondulado a montanhoso, sendo pouco desenvolvidos, muito rasos ou rasos, moderadamente ácidos, com drenagem moderada a acentuada. Apresentam rica cobertura vegetal quando isentos de uso.

10) Chernossolo Rêndzico: Ocorrem em áreas planas, sendo rasos ou muito rasos, apresentando elevados teores de carbonato de cálcio, o que lhes confere fertilidade muito elevada. A cobertura vegetal original é densa e variada. Além dos solos acima destacados, a região do Cariri também conta com a presença de alguns Afloramentos de Rocha nas áreas de relevo forte ondulado a montanhoso, desprovidos quase por completo de vegetação. Embora existentes, são de pouca expressão espacial no território em questão (SOUZA *et al.*, 2009).

Ainda conforme Souza *et al.*, (2009) os solos das classes Luvisolo Crômico e Neossolo Litólico ocupam juntos 8.659,7 km² de toda a região, o que equivale a 77,3% do território em questão. A localização desses solos, em termos topográficos, é muito variável, embora estejam mais presentes nas áreas de declividade suave a moderada. Além disso, ocupam extensas áreas no entorno dos principais rios da região.

Souza *et al.*, (2009) relatam que em virtude do relevo pouco declivoso sobre o qual, em grande parte, estão assentados, a presença próxima dos recursos hídricos, sua grande extensão territorial e boa fertilidade natural fizeram, historicamente, com que esses solos apresentem elevada concentração populacional e uso antigo, o que os torna mais passíveis ao processo de desertificação.

Esse uso, por sua vez, de acordo com Souza *et al.*, (2009), está relacionado principalmente às atividades agropecuárias, numa estrutura fundiária que atualmente se caracteriza pelo predomínio das pequenas propriedades, onde a pequena disponibilidade de terras, associada à escassez de capital dos produtores rurais, impede a reprodução de algumas técnicas antigas de manejo dos solos, principalmente aquelas baseadas no pousio anual dos mesmos, o que acaba acarretando forte impacto que se repercute não apenas nesses elementos naturais, mas também, entre outros, na vegetação nativa.

Mais informações sobre o processo de uso e ocupação do solo no Cariri Paraibano este é visto em Souza (2008), Souza *et al.* (2009) Souza *et al.* (2011) e Souza e Souza (2016), sendo neste último a exposição do processo de ocupação histórica dessa

região, bem como consequências no estabelecimento das paisagens atualmente existentes, particularmente no que diz respeito aos efeitos na cobertura vegetal.

Souza e Souza (2016) expõem através de uma discussão sobre as espécies que regrediram e se expandiram, além de um mapeamento representando essa dinâmica, desde o processo de colonização dessas terras aos dias atuais, sendo algumas dessas características visualizadas a seguir.

Os resultados encontrados indicam a ocorrência de transformações profundas na vegetação nativa, principalmente a partir da expansão do cultivo do algodão e da pecuária na região, com a caatinga diminuindo ao longo do tempo, tanto em quantidade como em diversidade, estabelecendo a criação de diversas áreas desertificadas, além de parte da vegetação nativa ter sido substituída por espécies exóticas, onde se destaca a algaroba (*Prosopis juliflora*) nas várzeas dos rios, existindo atualmente apenas poucos remanescentes mais preservados (SOUZA e SOUZA, 2016, p. 229).

Como se trata de um quadro mutável a qualquer momento, tanto as áreas de uso econômico mais intenso como as que estão desertificadas e as que ainda apresentam um quadro vegetal mais preservado podem sofrer algum tipo de modificação, a exemplo da chegada das águas da transposição do rio São Francisco, que em seu Eixo Leste atravessará essa região, o que fatalmente acarretará um incremento ao desenvolvimento de projetos de agricultura irrigada, inclusive incorporando nesse processo áreas com solos naturalmente salinizados e correndo o risco de agravar esse problema nessas terras, entre outras possibilidades (SOUZA e SOUZA, 2016, p. 254).

Souza *et al.* (2011) abordam as áreas no Cariri Velhos Paraibano consideradas em processo de Desertificação Grave e Muito Grave localizam-se espacialmente ao longo dos rios, ocupando as várzeas e adjacências das bacias hidrográficas que atravessam a região. Cabe destacar nesse contexto as bacias dos rios Paraíba e Taperoá. Correspondem às áreas de uso agropecuário mais intenso. À medida em que temos maior distanciamento dos cursos d'água, apresentam o seguinte comportamento:

ocorre uma diminuição da intensificação do uso das terras, sendo estas utilizadas principalmente para pastagens, o processo de desertificação é mapeado como moderado. Nesse contexto, a declividade do relevo nessa região, sendo dominada pelas classes Suave a Moderada (87,4% do Cariri), embora não determinante, acaba favorecendo o uso e a consequente degradação dessas terras. As áreas mais elevadas da região que formam alguns dos maciços residuais do Planalto da Borborema (como a serra de Jabitacá, a sudoeste, e a serra de Carnoió, a sudeste), associadas a cursos fluviais intermitentes de tamanho reduzido e com várzeas pouco expressivas, apresentam-se como áreas não desertificadas. Nestas, a cobertura vegetal apresenta-se mais preservada e muito próxima das condições originalmente dominantes nesse tipo de paisagem (SOUZA, *et al.* (2011).

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, serão abordadas algumas características dos solos do semiárido brasileiro, relacionadas com a classificação, propriedades térmicas, morfológicas, físicas e químicas, com o intuito de estabelecer uma base de informações pertinentes do objeto de estudo.

3.1 Solos no semiárido brasileiro

De acordo com Cunha *et al.* (2010) é de fundamental importância expor os principais solos do semiárido brasileiro, incluindo informações morfológicas, químicas e físicas, abordando aspectos de classificação, potencialidades, limitações e fertilidade, pois essa região é heterogênea nas condições de ambientes e de paisagens.

Conforme Cunha *et al.* (2010) essa heterogeneidade tem como causa a grande diversidade de litologias e materiais originários, relevo e regime de umidade do solo, o que resulta na presença de diversas classes, as quais apresentam diferentes feições morfológicas e posições na paisagem.

Segundo Jesus e Gama (2020) no semiárido brasileiro as classes de solos predominantes são Neossolos ocupando 27,32% da região, seguidas por Latossolos (25,94%); Argissolos (15,59%); Luvisolos (12,18%); Planossolos (10,84%) e Cambissolos (6,02%). Juntas, essas classes respondem por 97,89% do total. Ressalta-se que os Neossolos, Latossolos e Argissolos correspondem a 68,85% dos solos na região em questão (JESUS e GAMA, 2020)

Quanto à granulometria dos solos, de acordo com Jesus e Gama (2020) prevalecem na região de clima semiárido do Brasil, principalmente no Nordeste, classes com textura arenosa a franco-arenosa e, na maioria das classes, são de pouco profundas a profundas e com relativa capacidade de armazenamento de água.

Pereira e Dantas Neto (2014) relatam que com raras exceções, os solos do semiárido brasileiro possuem média a alta fertilidade natural, apresentando limitações ao uso como a deficiência de água e a suscetibilidade à erosão, pedregosidade, rochosidade, salinidade, alcalinidade e drenagem.

Giongo *et al.* (2011) relatam que em todos os solos da região semiárida, mesmo os mais argilosos, a fração areia é maior do que as frações argila e silte. Tal característica, segundo Jesus e Gama (2020), apresenta tendência de maior

permeabilidade e logo maior infiltração de água, mas não necessariamente maior armazenamento.

Conforme Gionco *et al.* (2011), outro aspecto relevante, tomando por base que todos os solos estão sob um regime de temperatura e umidade muito semelhante é que há relação direta entre os teores de carbono orgânico total, as frações argila, silte e areia e os teores de fósforo. Os Vertissolos e os Cambissolos apresentam os maiores teores de carbono orgânico total, bem como elevados teores de argila.

Desse modo essas características tornam-se fundamentais, pensando no uso e ocupação dos solos dessa parte do país (GAMA e JESUS, 2020).

3.2 Mecanismos de transferência de calor no solo

A transferência de calor no solo pode ocorrer por diversos mecanismos (condução, convecção e radiação), descritos por Pessoa (2006, p. 25) como:

Condução: processo ocorre no interior do meio, via colisões entre átomos e moléculas de uma substância e a subsequente transferência de energia cinética. O calor passa de um ponto para outro sem movimentação desse meio, é o caso comum da transmissão através de sólidos. Esse fenômeno se verifica em todos os constituintes do solo, na parte sólida, na água e no ar, sendo que através deste último, a condução pode ser considerada desprezível. **Convecção:** processo em que o calor se transmite por partículas do meio que se movimentam de um local para outro. Este mecanismo não envolve transferência microscópica de calor por átomos ou moléculas como ocorre na condução. A convecção é o fluxo de calor devido a um movimento macroscópico, carregando partes da substância de uma região quente para uma região fria. A convecção natural (ou convecção livre) é a que acontece sem ação de agentes externos, o movimento se dá pela diferença de temperatura entre partículas. Na convecção forçada o movimento é provocado predominantemente pela ação de agentes externos, assim como diferenças de pressão. Ocorre com líquidos e gases, entretanto, em solos, a convecção normalmente é desprezada. **Radiação:** a transmissão de calor ocorre sem contato físico entre os corpos, através de ondas eletromagnéticas. O calor é transmitido entre dois corpos em diferentes temperaturas, mesmo sem qualquer meio físico entre os mesmos (PESSÔA, 2006, p. 25).

Ainda de acordo com Pessoa (2006) a transmissão de calor acontece com a ação simultânea dos mecanismos citados, entretanto, em solos sob condições normais, a transferência de calor se dá preferencialmente através da condução, principalmente em solos secos. Em todos os casos, os níveis de temperatura assim como a composição e

estrutura do solo influenciam na contribuição de cada possível mecanismo de transferência de calor.

3.3 Características de propriedades térmicas do solo

Os processos químicos, físicos e biológicos que ocorrem na interface solo-plantas-atmosfera são influenciados pela temperatura no solo, assim o conhecimento das suas propriedades térmicas é de fundamental importância, sendo essas representadas pela condutividade térmica, resistência térmica, difusividade térmica, capacidade calorífica e temperatura, cujas características são apresentadas a seguir.

3.3.1 Condutividade térmica

Segundo Pessoa (2006) a condutividade térmica (λ) de um solo é definida como a quantidade de calor que passa numa unidade de tempo através de uma seção transversal unitária, devido a um gradiente de temperatura imposto na direção do fluxo. A Equação 1 expressa a sua definição e a Figura 2 apresenta um esquema do fluxo de calor através de um elemento prismático (PESSÔA, 2006).

Dessa forma, de acordo com Alvalá *et al.* (2004) a condutividade térmica representa a habilidade do solo em conduzir calor. De acordo com o Sistema Internacional de Unidades (SI) é expresso em W/m.k.

$$\lambda = \frac{q}{A \cdot (\Delta T / l)} \quad \text{Eq. 1}$$

sendo:

q – fluxo de calor (W/m²)

A – área da seção transversal (m²)

ΔT – gradiente de temperatura (K ou °C)

l – distância percorrida (m)

λ - condutividade térmica (W/m.K)

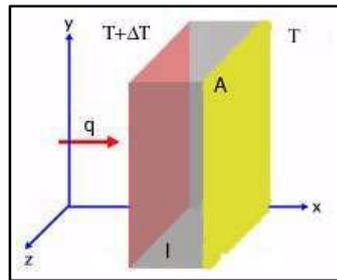


Figura 2. Esquema do fluxo de calor através de um elemento prismático.
Fonte: Pessoa, 2006.

De acordo com Maciel *et al.* (2011) a condutividade térmica aparente do solo pode ser determinada experimentalmente ou através da utilização de modelos, cujas formas são visualizadas a seguir.

Experimentalmente, através de medidas de temperatura e de umidade, ou diretamente, a partir das medidas do produto da difusividade térmica e da capacidade térmica, sendo que essa pode ser facilmente obtida usando medições da umidade volumétrica e da densidade do solo. A determinação da condutividade térmica fica condicionada à determinação da difusividade térmica (MACIEL *et al.*, 2011, p. 12).

Segundo Salton (1991) quanto maior for a densidade do solo, maior quantidade de sólidos estará contida em um mesmo volume de solo, conseqüentemente haverá maior condutividade térmica, pois o quartzo é muito mais condutivo que o ar. Da mesma forma, para a mesma densidade, quanto maior for o conteúdo de água no solo, maior sua condutividade térmica.

Silva (2010) relata que materiais com condutividade térmica alta são bons condutores de calor e condutividade baixas caracterizam os materiais designados como isolantes.

Os valores de condutividade térmica de diversos materiais e de diferentes tipos de solo, minerais e outros constituintes que podem integrar de alguma forma o meio ambiente subterrâneo, segundo a norma alemã VDI 4640, são visualizados na Tabela 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1: Condutividade Térmica de materiais distintos

Material	Valores de condutividade térmica (W/m.K)
Ar	0,024
Água	0,60
Gelo	2,25
Granito	2,76
Folhelho	1,56
Cobre	389
Valores médios de solos	0,25 – 2,9 (~1,7)
Quartzo	8,4
Matéria Orgânica	0,25

Fonte: Mitchell (1993).

Tabela 2: Condutividade Térmica em diferentes tipos de solos

Tipos de solos		Valores de λ (W/m.K)
Argila/silte	Seca	0,4 – 1,0
	Saturada	1,1 – 3,1
Areia	Seca	0,3 – 0,9
	Úmida	1,0 – 1,9
	Saturada	2,0 – 3,0
Seixo	Seco	0,4 – 0,9
	Saturado	1,6 – 2,5

Fonte: McCorry e Jones (2011).

Ao analisar a Tabela 1 observa-se que para os solos a condutividade térmica varia de 0,25 W/(m.K) a 2,9 W/(m.K), sendo o valor médio de solos 1,7 W/(m.K). Assim, a condutividade térmica média dos solos é maior do que água e superior à da matéria orgânica. E na Tabela 2 verifica-se que os menores valores de condutividade térmica em solos encontram-se nas areias secas variando de 0,3 W/(m.K) a 0,9 W/(m.K) e os mais elevados ocorrem em seixos saturados.

Segundo Garcia (2017) para solos, os valores tabelados de condutividade térmica não levam em consideração a influência de uma série de fatores como textura, composição mineralógica, teor de umidade, densidade e temperatura, apenas consideram sua classificação granulométrica.

Trindade (2011) aborda que quanto maior a condutividade térmica menor será a variação de temperatura da superfície e maior será o armazenamento de calor. Quando o solo é umedecido, ocorre uma melhora na sua capacidade de conduzir energia pois, substitui-se o ar (quase um isolante) pela água, que efetua melhor esse transporte.

De acordo com Pamplona (2010) a condutividade térmica do solo depende da textura, da porosidade e da umidade. Por isso ela varia de solo para solo e para um mesmo solo, de acordo com seu teor de umidade.

A condutividade térmica é sensível não só à composição de volume do solo, ou seja, não depende apenas da textura, mas também aos tamanhos, às formas e aos arranjos das partículas do solo (estrutura do solo) (HILLEL, 1998).

Conforme Salton (1991) a cobertura viva do solo reduz a incidência da radiação solar por sombreamento, absorve energia utilizando-a para transpiração, além de formar sobre a superfície do solo um colchão de ar que, por ter condutividade térmica muito reduzida, retarda o aquecimento do solo.

Segundo Amazonas (2013) o aumento da condutividade térmica do solo ocorre devido à umidade que depende não somente da substituição da água pelo ar, como também nas mudanças da ligação água-solo, assim como nas características peculiares das interações físico-químicas da água.

De acordo com Pessoa (2006) em baixas umidades, a sucção dos solos é alta. Quando todas as partículas de solo já estão envolvidas por filmes de água adsorvida e mais água é adicionada, formam-se pontes de água entre os contatos dos grãos do solo que aumentam a transferência de calor entre eles.

Pessoa (2006) relata também que com o aumento do teor de umidade, há um aumento da condutividade térmica do solo, pois a água que substitui o ar nos vazios possui maior condutividade térmica. O efeito do aumento da umidade depende do tipo de solo, por exemplo, em areias a condutividade térmica aumenta rapidamente com a umidade, pois além do quartzo possuir alta condutividade, a água preenche os vazios e melhora os contatos entre os grãos.

Ainda conforme Pessoa (2006) os solos em geral apresentam uma alta taxa de aumento na condutividade térmica em umidades mais baixas, devido principalmente às pontes de água nos pontos de contato entre os grãos ou devido aos filmes de água em volta das partículas que se tornam contínuos.

Garcia (2017) aborda que alguns estudos mostram a influência do grau de saturação, da umidade, concentração de sais e temperatura com os valores de condutividade térmica, como apresentado por Kersten (1949), Reno e Winterkorn (1967), Johansen (1975), Farouki (1986), Oliveira Júnior (1993), Abu-Hamdeh (2003) e Duarte (2004).

Na Tabela 3 constam valores de condutividade térmica de materiais apresentados por Hukseflux Thermal Sensors (2003), que consideram o grau de saturação de alguns solos.

Tabela 3: Condutividade Térmica em diferentes tipos de solos

Material	Condutividade Térmica (W/m.K)
Solos em Geral	0,15 - 4,00
Solos Saturados	0,60 - 4,00
Areia Seca	0,15 - 0,25
Areia Úmida	0,25 - 2,00
Areia Saturada	2,00 - 4,00
Argila de Seca a Úmida	0,15 - 1,80
Argila Saturada	0,60 - 2,50
Solo orgânico	0,15 - 2,00

Fonte: Hukseflux Thermal Sensors (2003).

Ao realizar levantamento de trabalhos sobre identificação da condutividade térmica em solos, verificou-se que Li *et al.* (2017) ao analisarem comportamentos térmicos em solos com profundidades diferentes em uma zona árida (Dunhuang na China) e outra semiúmida (Pingliang na China) verificaram que na primeira a condutividade térmica média anual do solo em uma profundidade de 2,5 e 7,5 cm foi de 0,21 e 0,24 W.(m.K), enquanto na segunda, a condutividade térmica média anual do solo a 5 e 20 cm de profundidade é 1,22 e 1,46 W.(m.K).

Assim, conforme Li *et al.* (2017) as amplitudes tanto das temperaturas do solo quanto a gradiente de temperatura são maiores na região árida e o fluxo de calor no solo e a condutividade térmica do solo são menores nessa região em comparação com a região semiúmida. Destaca-se que, os valores dessas propriedades para zona árida são um pouco menores aos encontrados no Cariri Paraibano.

Conforme McCorry e Jones (2011) os valores de condutividade térmica de referência para as areias secas na Alemanha situa-se no intervalo entre 0,3 W.(m.K) a 0,9 W.(m.K), valores esses em que se encontram as condutividades térmicas encontrados nos solos do Cariri Paraibano em estudo.

Os dados da presente pesquisa também apresentaram resultados com comportamentos semelhantes aos estudos de Lopes *et al.* (2019), os quais analisaram solos em Portugal, maioritariamente constituídos por partículas da dimensão das areias (98%) e 2% de partículas da dimensão dos siltes e/ou argilas, apresentando condutividades térmicas entre 0,368 W.(m.K) e 0,497 W.(m.K).

Nusier e Abu-Hamdeh (2003) ao analisarem a condutividade térmica de dois solos (arenoso e argiloso) utilizando os métodos de sonda única e dupla para medir e comparar tal variável, verificaram que usando o método de sonda única variou de 0,95 a 2,11 W/(m.K) para areia e de 0,49 a 0,76 W/(m.K) para argila. A condutividade térmica medida usando sonda dupla variou de 0,98 a 2,17 para areia e de 0,51 a 0,78 W/(m.K) para argila. Assim, verificaram que a areia tinha valores mais elevados de condutividade térmica do que a argila, para todas as condições estudadas.

Maciel Neto (2011) ao estimar a condutividade térmica de uma amostra de Latossolo Amarelo no município de Garanhuns/PE e de um Neossolo Regolítico em São José/PE (ambos no semiárido brasileiro) obteve valores que variavam de 0,26 até 1,44 W/(m.K), sendo estes situados na faixa de valores obtidos por outros pesquisadores, como: Horton *et al.*, (1983), Antonino *et al.*, (1987), Silans *et al.*, (1996), Verhoef (2004), Rao *et al.*, (2005) (MACIEL NETO, 2011). Tais valores são semelhantes aos apresentados na região do Cariri Paraibano em estudo.

Maciel Neto *et al.* (2015) ao avaliarem a condutividade térmica de uma amostra de Latossolo Amarelo no município de Garanhuns/PE e de um Neossolo Regolítico em São José/PE (ambos no semiárido brasileiro) verificaram que a média da condutividade em Garanhuns/PE usando o Método Harmônico foi de 0,75 W.(m.K) e 0,53 W.(m.K) no Método Logarítmico, enquanto em São José/PE pelo Método Harmônico foi de 1,39 W.(m.K) e 1,04 W.(m.K) no Método Logarítmico. Assim, os valores em Garanhuns/PE são maiores do que os encontrados na região em estudo e em São José/PE são menores do que os encontrados no Cariri Paraibano.

Ressalta-se que, conforme mencionado, estudos sobre comportamento da condutividade térmica no semiárido brasileiro são escassos e geralmente utilizam modelos matemáticos, como podemos ver em Maciel Neto (2011), Maciel Neto *et al.* (2015) e Silva *et al.* (2011). Este último, modelou e analisou o comportamento da condutividade térmica em vegetação de caatinga no município de São João do Cariri/PB, predominantemente ocupada por xique-xique, uma das espécies de cactácea típica do semiárido brasileiro, situação diferente dos outros dois trabalhos mencionados anteriormente, onde não havia cobertura vegetal.

Silva *et al.* (2011) ao analisar a condutividade térmica de solo Bruno não cálcio (Luvissolo) situado no município de São João do Cariri, no estado da Paraíba, região dos Cariris Velhos (espaço em estudo) identificaram como um dos resultados que a

condutividade térmica é pequena no solo quando há baixa umidade volumétrica. A condutividade térmica para o dia seco de 00:00 h até o nascer do sol foi em torno de 10 (W/m.K) e das 8:00 às 12:00 horas, o valor foi mínimo (≈ 2 W/m.K); uma condutividade térmica máxima de 80 (W/m.K) ocorreu às 20 horas, passando a decrescer até o nascer do sol. Ao comparar tais dados com a do presente estudo, observa-se que a condutividade das 8:00 às 12:00 horas, com valor mínimo (≈ 2 W/m.K) é semelhante aos encontrados no presente estudo e na literatura, mas nos demais horários são superiores.

Silva *et al.* (2011) concluem que os resultados encontrados são antagônicos à literatura, e apontam que as trocas de calor por condução na caatinga têm significado próprio e devem fornecer subsídios para parametrizações e incorporação da dinâmica da vegetação em modelos, sejam hidrológicos, de circulação atmosférica ou ambiental (SILVA *et al.*, 2011).

3.3.2. Capacidade Calorífica ou Calor Específico Volumétrico

Segundo Calado (2016) o calor específico volumétrico representa a quantidade de calor necessária para aumentar um Kelvin, ou um grau Celsius, de um metro cúbico de matéria. Esta propriedade corresponde ao produto entre o calor específico e a massa específica, sendo sua unidade no Sistema Internacional de Unidades (SI) em $\text{cal/cm}^3 \cdot ^\circ\text{C}$, mas também expressa em $\text{kJ/m}^3 \cdot \text{K}$ e representada pela seguinte relação na Equação 2:

$$C_v = \rho \times c \quad (\text{Eq. 2})$$

sendo:

ρ – massa específica do solo (g/cm^3);

c – calor específico do solo ($\text{cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$);

C_v – capacidade de aquecimento volumétrico ($\text{cal/cm}^3 \cdot ^\circ\text{C}$).

Segundo Hillel (1982) o calor específico volumétrico depende do tipo de solo, da massa específica e do conteúdo de água. Tal situação é visualizada no trabalho de Alnefaie e Abu-Hamdeh (2013).

Alnefaie e Abu-Hamdeh (2013) analisaram o efeito da variação do conteúdo de água e da massa específica no calor específico volumétrico de dois tipos de solo (arenoso

e argiloso) e verificaram que o valor do calor específico volumétrico apresenta comportamento linear com o aumento do conteúdo de água para os tipos de solo e para as diferentes massas específicas consideradas.

Alnefaie e Abu-Hamdeh (2013) constataram ainda que mesmo com o comportamento linear supracitado, verificou-se que o aumento deste último proporciona um incremento do valor do calor específico volumétrico tanto para o solo argiloso como para o solo arenoso, resultante da diminuição da porosidade do solo e, por consequência, do aumento da quantidade da fração sólida por unidade de volume.

De acordo com Farouki (1986), essa variável é função da temperatura, crescendo linearmente com o aumento da mesma, principalmente para solos granulares.

Conforme Pessoa (2006) quando as temperaturas variam com o tempo, o regime de fluxo passa a ser transiente. A energia utilizada para aumentar a temperatura de um determinado elemento do solo vem do fluxo de calor, e a quantidade de energia necessária para que o aquecimento aconteça depende da capacidade de aquecimento do solo.

Maciel Neto *et al.* (2015) relatam que a capacidade térmica volumétrica pode ser obtida usando-se as medições da umidade volumétrica e da densidade do solo, estando a determinação da condutividade térmica condicionada à determinação da difusividade térmica.

A capacidade térmica volumétrica de um solo depende de vários fatores que podem ser organizados em dois grandes grupos, aqueles que são inerentes ao próprio solo e aqueles que podem ser dirigidos ou controlados até certo ponto. Os fatores ou as propriedades que são inerentes ao próprio solo incluem a sua composição mineralógica e a sua matéria orgânica (DE VRIES, 1952; WIERENGA *et al.*, 1969; YADAV; SAXENA, 1973 *apud* Maciel Neto, 2011).

Os fatores que influenciam a capacidade térmica do solo e podem ser gerenciados externamente, incluem a umidade volumétrica e a densidade do solo. A umidade volumétrica desempenha um papel importante na capacidade térmica do solo, mas é o mais difícil de gerir. O manejo do solo também afeta a capacidade térmica porque as práticas que provocam sua compactação aumentam a densidade e diminuem a sua porosidade (DE VRIES, 1952; WIERENGA *et al.*, 1969; YADAV; SAXENA, 1973 *apud* Maciel Neto, 2011).

Segundo Salton (1991) a cobertura do solo também retarda o processo de aquecimento pela manutenção de sua umidade, uma vez que, ao reduzir a evaporação de água, mantém elevada a capacidade calorífica do solo. Verificou-se que a adição e manutenção de material orgânico na superfície do solo também contribui para a elevação dos teores de matéria orgânica, os quais possuem calor específico muito superior à da porção mineral, além de reter mais água, resultando no aumento da capacidade calorífica do solo.

O calor específico do solo reflete a sua capacidade de atuar como um reservatório de calor (PREVEDELLO, 2002), ou seja, quanto maior for a quantidade de calor necessária para aumentar a temperatura em um kelvin ou um grau celsius, de um metro cúbico de matéria, maior será a quantidade de armazenagem de energia.

Os valores de capacidade de aquecimento volumétrico de diversos materiais são visualizados na Tabela 4, bem como na Tabela 5.

Tabela 4: Capacidade de aquecimento volumétrico de materiais distintos

Material	Capacidade de aquecimento volumétrico (MJ/m³K)
Ar	0,00029
Água	1
Gelo	0,44
Cobre	0,7965
Valores médios de solos	0,46
Quartzo	0,46
Matéria Orgânica	0,6

Fonte: Adaptado de Mitchell (1993).

Tabela 5: Capacidade de aquecimento volumétrico de alguns tipos de solos

Tipos de solos		Valores de Cv (MJ/m³K)
Argila/silte	Seca	1500 - 1600
	Saturada	2000 – 2800
Areia	Seca	1300 – 1600
	Úmida	1600 – 2200
	Saturada	2200 – 2800
Seixo	Seco	1300 – 1600
	Saturado	2200 – 2600

Fonte: Adaptado de McCorry e Jones (2011)

Ao consultar valores de capacidade de aquecimento volumétrico de alguns tipos de solos na literatura, observou-se os seguintes resultados para solos arenosos: 1,14 a 3,14 MJ/m³k em Yadav e Saxena (1973); 1,52 MJ/m³k em Ghuman e Lal (1985); 1,10 a 3,00 MJ/m³k em Bristow (1998); 1,09 a 3,14 MJ/m³k em Abu-Hamdeh (2003). Assim,

os valores da capacidade volumétrica de calor da região em estudo encontram-se dentro dos encontrados na literatura.

Maciel Neto *et al.* (2015) ao avaliarem a capacidade volumétrica de calor de uma amostra de Latossolo Amarelo no município de Garanhuns/PE, obtiveram a média de 1,57 MJ/m³k, enquanto em um Neossolo Regolítico em São José/PE (ambos no semiárido brasileiro), a média foi de 1,86 MJ/m³k, iguais e superiores aos identificados na região em estudo.

3.3.3 Resistência térmica

De acordo com Pessoa (2006) a resistência apresentada pelo solo ao fluxo de calor é denominada resistividade térmica (R), que é o inverso da condutividade, sendo sua unidade no SI (Sistema Internacional de Unidades) expressa em m.k/W.

Segundo Calado (2016) os fatores que se encontram associados à variação da condutibilidade térmica dos solos, representam de igual forma os fatores que provocam alterações em sua resistividade térmica, atuando, no entanto, de forma inversa no seu valor.

Conforme Cai *et al.* (2015), a quantidade de água nos solos constitui um dos fatores que mais influência na resistência térmica. Assim, os solos saturados revelam, na maioria dos casos, uma resistividade térmica mais reduzida, devido à água preencher os poros e apresentar um valor de resistividade mais baixa do que o ar.

Conforme Brandon e Mitchell (1989) a resistência térmica é influenciada pelos seguintes fatores:

- **Mineralogia dos solos:** as areias apresentam maiores condutividades térmicas, ou seja, menores resistividades, pois são constituídas principalmente por feldspato e quartzo, minerais bons condutores de calor;
- **Peso específico seco:** quanto maior o peso específico seco, maior o contato entre os grãos, conseqüentemente, menor a sua resistência ao fluxo;
- **Distribuição granulométrica:** solos bem graduados são melhores condutores que solos uniformes, pois possuem menor índice de vazios, aumentando os contatos entre os grãos e diminuindo a sua resistividade;

- **Quantidade de água em compactação:** solos compactados úmidos e depois secos para umidades baixas apresentam resistividade térmica menor do que se forem compactados já em umidades baixas;

- **Temperatura:** Todos os minerais cristalinos estudados em solos apresentam um acréscimo de resistividade térmica com o aumento da temperatura, com exceção do feldspato. Entretanto, a água e os poros de um solo saturados com ar sofrem redução da resistividade térmica com o aquecimento. Assim, a influência da temperatura na resistividade dos solos dependerá das proporções dos seus componentes.

3.3.4 Difusividade térmica

De acordo com Garcia (2017) a difusividade térmica (D) possui as seguintes características:

- É a relação entre a condutividade térmica e o calor específico, visto na Equação 3.
- De acordo com o Sistema Internacional de Unidades (SI) é expresso em m²/s.

$$D = \frac{\lambda}{c} \quad (\text{Eq. 3}).$$

Onde:

D = difusividade térmica (m²/s);

λ = condutividade térmica (W/m.K);

C = calor específico (J/Kg.K).

- É uma medida da capacidade de um material para transmitir uma perturbação térmica.
- É inversamente proporcional à capacidade de aquecimento volumétrico, ou seja, quanto menor a energia necessária para fazer variar a temperatura de um determinado volume de solo, mais rápido o solo vai sofrer essa variação.
- A difusividade térmica é também uma função da umidade, da densidade e da composição do solo.
- A difusividade térmica aumenta com o aumento da umidade, até atingir um valor máximo. A partir daí o aumento do conteúdo de água não aumenta a condutividade

térmica na mesma proporção da capacidade térmica volumétrica e, por conseguinte, a difusividade térmica decresce.

Conforme Bellaver (2010) como a difusividade térmica (D) é a razão entre a condutividade térmica (K) e a capacidade térmica volumétrica (C_v), ou seja, se há um aumento na condutividade térmica há também um aumento na difusividade térmica, desde que a capacidade térmica volumétrica não aumente mais do que a condutividade térmica.

Segundo Pamplona (2010) a difusividade térmica aumenta com a elevação da umidade, até atingir um valor máximo porque a condutividade térmica do solo aumenta mais que a capacidade térmica por unidade de volume. Uma pequena quantidade de água no solo, entre as partículas, quebra o isolamento do ar. Conforme mais água é adicionada, a capacidade calorífica do solo sobe rapidamente, diminuindo o aumento de temperatura produzido por uma dada quantidade de calor.

Sweat (1974) relata que um material com baixa difusividade tem condutividade térmica pequena (conduz mal o calor) sendo necessário muita energia térmica para aumentar a temperatura de determinado volume do material.

Segundo Colabone (2002) quanto maior o valor da difusividade térmica, mais rapidamente a energia térmica irá se difundir através do material. Ao contrário, materiais que possuem baixos valores de difusividade térmica são capazes de reter a energia por mais tempo.

Conforme Silva (2003, p. 115) substâncias que apresentam a difusividade baixa possuem as seguintes características:

A uma difusividade baixa, por exemplo, pode se associar uma temperatura máxima alta na superfície e pequena profundidade de penetração do calor. A difusividade térmica do solo varia no tempo e no espaço. Ela depende entre outras coisas, da constituição, granulometria, densidade e estrutura do solo, parâmetros estes que, na escala de tempo do experimento ou dos processos hidrológicos não variam com o tempo, mas podem variar com a profundidade, e do outro lado, da umidade volumétrica do solo, que varia rapidamente com o tempo, principalmente nas camadas superficiais (SILVA, 2003, p. 115).

Silans e Werlang (2011) expõem que a baixa difusividade térmica do solo, responsável por esses fortes gradientes de temperatura constitui-se, então, em um poderoso mecanismo de controle da evaporação do solo, nas horas mais quentes do dia.

E de acordo com Maciel Neto *et al.* (2015) em geral, a difusividade térmica é pequena no solo quando há baixa umidade volumétrica.

Miranda (2010) aborda que solos com maiores teores de matéria orgânica apresentam menores valores de difusividade térmica. Porém, em solos adensados e compactados os valores de difusividade aumentam com o aumento da condutividade térmica, sendo que o aumento da umidade contribui para um aumento da difusividade atingindo um ponto máximo e depois decrescendo, em função do aumento na capacidade térmica.

Abu-Hamdeh (2003) relata que a composição mineralógica do solo pode influenciar o comportamento da difusividade térmica. Geralmente os solos arenosos apresentam um valor de difusividade mais elevado que os solos essencialmente constituídos por argila, na medida que, na maioria das vezes, os solos arenosos apresentam um maior conteúdo de quartzo.

Segundo Duarte (2004) altos valores de difusividade térmica implicam na capacidade de mudanças rápidas e consideráveis na temperatura.

Na Tabela 6 constam valores típicos da difusividade térmica de diferentes tipos de solo e minerais, os quais foram obtidos de acordo com o quociente entre os valores de condutibilidade térmica e calor específico volumétrico.

Tabela 6: Difusividade térmica de alguns tipos de solos

Tipos de solos		Valores de Difusividade $10^{-7}(\text{m}^2/\text{s})$
Argila/silte	Seca	2,67 – 6,25
	Saturada	5,50 – 11,1
Areia	Seca	2,31 – 5,63
	Úmida	6,25 – 8,64
	Saturada	9,09 – 10,71
Seixo	Seco	3,08 – 5,63
	Saturado	7,27 – 9,62

Fonte: McCorry e Jones (2011).

Ao realizar levantamento de trabalhos sobre identificação da difusividade térmica em solos do semiárido brasileiro, verificou-se que os mesmos utilizaram métodos matemáticos e equipamentos diferentes do trabalho em questão, como o de Fidelis Filho (1988), Silva (2003), Andrade *et al.* (2006), Silans *et al.* (2006), Silans *et al.* (2011), Maciel Neto (2011), Diniz *et al.* (2013b), Diniz (2014b) e Maciel Neto *et al.* (2015), nos municípios de São João do Cariri/PB, Campina Grande/PB, Lagoa

Nova/PB, São João do Cariri/PB, Garanhuns/PE e São José/PE, respectivamente, os quais exibiram que a difusividade térmica nos solos analisados é baixa, indicando que temperaturas são altas em sua superfície, pois a propagação de temperatura para camadas inferiores é pequena, sendo esses visualizados a seguir.

Silva (2003) e Silans *et al.* (2006) relatam que a difusividade térmica em solo Bruno não cálcio (Luvissole) coletado no município de São João do Cariri/PB possui valor médio entre $2,3 \cdot 10^{-8}$ m²/s a $4,8 \cdot 10^{-8}$ m²/s, ou seja, baixa. sendo valores mais baixos do que o estudo em questão.

Conforme Silans *et al.* (2011) a baixa difusividade térmica do solo, responsável por esses fortes gradientes de temperatura constitui-se, então, em um poderoso mecanismo de controle da evaporação do solo, nas horas mais quentes do dia, devido o solo seca muito lentamente visto que os gradientes de temperatura têm, por efeito, frear consideravelmente a evaporação do solo durante o dia.

Ainda de acordo com Silans *et al.* (2011) o processo de evaporação do solo é minimizado, podendo ser até anulado quando o solo já é pouco úmido, no período diurno, mais precisamente entre o meio-dia solar (11:30 hora local) e o anoitecer. Esse fato é de suma importância para o controle natural da evaporação do solo na região semiárida da caatinga.

Ainda no município de São João do Cariri/PB, Andrade *et al.* (2006) ao calcularem a difusividade em solo Luvissole crômico por meio do método de Lavenberg-Marquardt, identificaram que apresentou valor estimado de $0,8947 \times 10^{-6} \pm 0,2940 \times 10^{-9}$ m²/s, coerente com valores encontrados na literatura, mostrando a eficiência da técnica. sendo valores mais baixos do que o estudo em questão.

Conforme Diniz *et al.* (2014b) no município de Lagoa Seca/PB a difusividade térmica nos anos de 2010 e 2011 em Neossolo Regolítico na camada de 5 até 15 centímetros de profundidade oscilou entre 0,74 a $1,98 \times 10^{-6}$ m²/s, apresentando valores superiores a semelhante aos encontrados na tese em questão.

Fidelis Filho (1988) ao analisar a difusividade térmica em solos do semiárido brasileiro na profundidade de 2 a 10 cm nos municípios de São Gonçalo/PB, Campina Grande/PB, Surubim/PE, Bebedouro/PE e Mandacaru/BA, verificou os seguintes valores respectivamente: $2 \cdot 10^{-5}$ a $0,000266$ m²/s; $8 \cdot 10^{-6}$ a $0,000418$ m²/s; $1,5 \cdot 10^{-5}$ a $0,000692$ m²/s; $1 \cdot 10^{-5}$ a $0,001642$ m²/s; $1,7 \cdot 10^{-5}$ a $0,000236$ m²/s, valores superiores em relação ao da

pesquisa em questão. Já conforme Diniz *et al.* (2013b) em solo no município de Cajazeiras/PB com difusividade térmica em 10 cm nos meses de janeiro a junho do ano de 2013 variando entre $0,73E^{-06}$ a $1,41E^{-06}$ m²/s, valores inferiores em relação ao da pesquisa em questão

3.3.5 Temperatura

Segundo Alvalá *et al.* (2004) todos os processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no solo são influenciados pela temperatura e pelo conteúdo de umidade do solo e seus gradientes.

Devido a temperatura influenciar no fluxo de calor no solo, torna-se um componente necessário ao balanço de energia oriundo da superfície; sendo esse, portanto, capaz de justificar o armazenamento e a transferência de calor dentro do solo e, ainda, as trocas entre o solo e a atmosfera (MOURA e QUERINO, 2010).

Segundo Santos (1987) as variações de temperatura na superfície do solo são uma função das propriedades térmicas do solo, cobertura, evaporação e fatores meteorológicos (temperatura do ar, radiação solar, vento, etc). Dessa forma, a temperatura pode ser um indicador do conteúdo da água no solo.

Carneiro (2014) ao analisar a temperatura do solo, com e sem cobertura vegetal verificou que a umidade é de suma importância, pois a presença de água afeta o fluxo de calor no solo, ou seja, a presença de umidade modifica a amplitude de temperatura ao nível de superfície por ocasião da evaporação.

Carneiro (2014) relata ainda que a temperatura é afetada pelas propriedades térmicas do solo, tais como: capacidade de armazenar calor, condutividade térmica, umidade e variação destas propriedades com a profundidade. Além disso, determina as taxas de evaporação e aeração, assim como o tipo e a intensidade de reações químicas.

De acordo com Silva (2003) a temperatura do solo tem maior significância ecológica para a vida vegetal do que outros parâmetros. Isso porque os solos com baixa difusividade térmica apresentam fortes gradientes de temperatura, o que margeiam o fluxo de calor na zona das raízes, comprometendo grande parte da fisiologia dos vegetais.

Ressalta-se que essa variável é influenciada também pela altitude, cobertura vegetal, tipo de solo e ação antrópica. Devido aos fatores mencionados, o conhecimento da temperatura do solo é fundamental para compreender os processos físicos, químicos e biológicos que aí ocorrem.

3.3 Características de propriedades morfológicas do solo

De acordo com a EMBRAPA (2022) propriedades morfológicas do solo são características presentes e observáveis que permitem distinguir um determinado tipo de solo dos demais.

A seguir serão visualizadas as características das propriedades morfológicas dos solos utilizadas neste trabalho, como: cor, estrutura, consistência, raízes, porosidade e coesão de acordo com a EMBRAPA (2022).

3.4.1 Cor

A cor é um parâmetro de fácil identificação e possibilita fazer inferências a respeito do conteúdo de matéria orgânica, tipos de óxidos de ferro, processos de formação, dentre outros. Para que se tenha um padrão de identificação de cor do solo, utiliza-se a Carta de Cores de Munsell (Munsell Color Charts), que considera as variações da cor em escalas de três componentes: matiz, valor e croma (EMBRAPA, 2022).

Segundo Salton (1991) materiais claros refletem maior quantidade de energia, enquanto materiais escuros absorvem mais energia.

3.3.1 Estrutura

De acordo com a EMBRAPA (2022), estrutura é o arranjo estabelecido pela ligação das partículas primárias do solo entre si por substâncias diversas encontradas no solo, como matéria orgânica, óxidos de ferro e alumínio, carbonatos, sílica, dentre outras.

Ainda conforme EMBRAPA (2022) este arranjo dá origem aos agregados ou pedos, que são unidades estruturais separadas entre si por superfícies de fraqueza. A

estrutura tem grande influência no desenvolvimento de plantas no solo, como sistema radicular, armazenamento e disponibilidade de água e nutrientes e resistência à erosão.

A estrutura é caracterizada conforme três aspectos (EMBRAPA, 2022):

- Tipo: laminar, prismática, colunar, blocos angulares, blocos subangulares, granular;
- Tamanho: muito pequena, pequena, média, grande muito grande;
- Grau de desenvolvimento: solta, fraca, moderada, forte.

3.3.2 Consistência

Segundo a EMBRAPA (2022) a consistência diferencia a adesão e coesão de partículas do solo, que podem variar em função da textura, matéria orgânica e mineralogia e deve ser observada em campo em três condições de umidade:

- Consistência seca - avalia o grau de resistência à quebra ou esboroamento do torrão. É classificada em solta, macia, ligeiramente dura, dura, muito dura, extremamente dura.
- Consistência úmida - é dada pela friabilidade do torrão ligeiramente úmido. É classificada em solta, muito friável, friável, firme, muito firme, extremamente firme.
- Consistência molhada - é observada em amostras molhadas, amassadas e homogeneizadas nas mãos. Avalia-se a plasticidade (capacidade do material em ser moldado), em três tipos: não plástica, ligeiramente plástica e muito plástica e; a pegajosidade (capacidade de aderência), em três tipos: não pegajosa, ligeiramente pegajosa e muito pegajosa.

3.3.3 Raízes

Segundo IBGE (2007) para quantificar esse elemento, sugere-se fazer sua estimativa com base no número de raízes por unidade de área (U.A.) do perfil do solo, utilizando-se as classes poucas, comuns e abundantes, conforme discriminado abaixo:

- Poucas - < 1 por U.A.
- Comuns - 1 a 5 por U.A.
- Abundantes - > 5 por U.A.

Na descrição das raízes, devem ser informadas as classes de tamanho, com base no diâmetro das mesmas conforme especificado a seguir:

- Muito finas - < 1mm
- Finas - 1 a < 2mm

- Médias - 2 a < 5mm
- Grossas - 5 a < 10mm
- Muito grossas - > 10mm

3.3.4 Porosidade

De acordo com a EMBRAPA (2022) a porosidade é visualizada no perfil de solo e deve ser descrita conforme a quantidade e o tamanho dos poros.

- Quantidade: poucos, comuns ou muitos;
- Tamanho: pequenos, médios, grandes ou muito grandes.

3.3.5 Coesão

Conforme A EMBRAPA (2022) a coesão é uma característica observada em campo pela dureza (duro, muito duro ou extremamente duro) de horizontes subsuperficiais quando secos e friabilidade (friável a firme) quando úmidos. A coesão é comumente presente em Latossolos e Argissolos Amarelos da Formação Barreiras, na parte superior dos horizontes B. Podem ser descritos dois graus de coesão em campo:

- Moderadamente coeso: material resistente à penetração de faca, martelo pedológico e trado. Consistência dura quando seco e friável a firme quando úmido.
- Fortemente coeso: material resiste fortemente à penetração de faca, martelo pedológico e trado. Consistência muito dura a extremamente dura quando seco e friável a firme quando úmido.

3.5 Características de propriedades física do solo

As propriedades físicas dos solos correspondem aos componentes granulométricos da fase mineral presente em sua textura, a qual possui grande influência no comportamento físico-hídrico e químico, e por isso, sua avaliação é de grande importância para quem estuda e faz uso e manejo dos solos (EMBRAPA, 2022).

A textura do solo segundo a EMBRAPA (2022) é expressa pela proporção dos componentes granulométricos da fase mineral, areia, silte e argila. No Brasil, a classificação de tamanho de partículas utilizada segue o padrão disposto pela Embrapa no ano de 1979, os quais são listados a seguir. Essa característica deve ser observada em

campo, na descrição morfológica, mas seu valor definitivo é dado pela análise granulométrica, realizada em laboratório (EMBRAPA, 2022):

- Argila (< 0,002 mm)
- Silte (0,002 - 0,05 mm)
- Areia fina (0,05 - 0,2 mm)
- Areia grossa (0,2 - 2 mm)

As frações mais grosseiras do que a fração areia são:

- Cascalho (2 - 20 mm)
- Calhau (20 - 200 mm)
- Matação (> 200 mm)

3.6 Características de propriedades químicas do solo

Para avaliação do solo, seja para realizar intervenção ou não (verificar seu comportamento), faz-se necessário averiguar suas características e limitações. Algumas das características dos solos são visualizadas por meio de suas propriedades químicas, as quais são: acidez ativa (pH em H₂O), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), potássio (K), alumínio (Al³⁺), fósforo (P disponível) e fósforo remanescente (P-rem), acidez potencial ou total (H + Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica efetiva (t), capacidade de troca catiônica total (T), saturação por bases (V) e matéria orgânica do solo (MOS), estando descritas a seguir:

3.6.1 Acidez ativa (pH)

De acordo com Prezzoni e Guarçoni (2013) o pH mede a acidez ativa que é a atividade de H⁺ presente na solução do solo. As plantas, ao absorverem nutrientes de carga positiva (K⁺, Mg⁺⁺, Ca⁺⁺, etc.), liberam H⁺ das raízes para a solução do solo, o que reduz o pH. Além desses, outros fatores contribuem para o aumento da acidez do solo como precipitação pluviométrica, irrigação, dentre outros.

Na Tabela 7 visualiza-se as classes de interpretação para acidez ativa do solo (pH) em água conforme Alvarez *et al.* (1999).

Tabela 7: Classes de interpretação para acidez ativa do solo (pH)

Acidez muito elevada	Acidez elevada	Acidez média	Acidez fraca	Neutra	Alcalinidade fraca	Alcalinidade elevada
< 4,5	4,5 – 5,0	5,1 – 6,0	6,1 – 6,9	7,0	7,1-7,8	> 7,8

Fonte: Alvarez *et al.* (1999).

Ainda conforme Prezzoni e Guarçoni (2013) o pH do solo é um indicativo da sua fertilidade, isto é, da forma química em que o alumínio se encontra, se tóxica (Al^{3+}) ou precipitada ($Al(OH)_3$), do nível de solubilidade dos macro e micronutrientes e da atividade de microrganismos (Tabela 8).

Tabela 8: Prováveis características do solo em função do pH em água

pH	Prováveis características do solo
< 5,5	<ul style="list-style-type: none"> - Elevados teores de Al^{3+} (tóxico) - Baixos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} - Baixa saturação por bases (V) - Boa disponibilidade de Zn, Cu, Fe, Mn - Baixa disponibilidade de B, Mo e Cl - Deficiência de P (formação de precipitados P-Al, P-Fe e PMn e elevada adsorção nos coloides) - Menor perda de N por volatilização de NH_3 Baixa atividade de microrganismos
5,5 – 6,5	<ul style="list-style-type: none"> - Ausência de Al^{3+} (tóxico) - Boa disponibilidade de B - Disponibilidade intermediária dos demais micronutrientes - pH ideal para a maioria das culturas
> 6,5	<ul style="list-style-type: none"> - Ausência de Al^{3+} (tóxico) - Elevados teores de Ca e Mg - Elevada saturação por bases (V) - Baixa disponibilidade de Zn, Cu, Fe, Mn - Boa disponibilidade de B até pH 7,5 - Alta disponibilidade de Mo e Cl - Aumento das perdas de N por volatilização de NH_3 Alta atividade de microrganismos

Fonte: Prezzoni e Guarçoni (2013).

3.6.2. Fósforo disponível (P) e Fósforo remanescente (P-rem)

O teor de fósforo “disponível” (P) para as plantas é uma medida relativa da quantidade do elemento no solo, cuja unidade de medida é mg/dm^3 . Para a sua determinação, são utilizados extratores específicos, sendo os mais comuns o Mehlich-

1, que é o mais utilizado no Brasil), e a Resina, utilizada principalmente no Estado de São Paulo (PREZOTTI e GUARÇONI, 2013).

De acordo com Prezotti e Guarçoni (2013) os extratores Mehlich-1 e Resina não objetivam quantificar o total de P existente no solo, mas sim a possibilidade de resposta à adubação fosfatada: se baixa, média ou alta (denominação das classes de disponibilidade visualizada na Tabela 9).

Tabela 9: Faixas para interpretação do teor de fósforo (P) no solo pelo Mehlich-1 em função do teor de argila.

Argila (g kg ⁻¹)	Classe textural	Classes de teores de P no solo (mg/dm ⁻³)		
		Baixo	Médio	Adequado
< 150	Arenosa	0 - 10	10,1 - 20	> 20
150 - 350	Média	0 - 7	7,1 - 15	> 15
350 - 600	Argilosa	0 - 4	4,1 - 8	> 8

Fonte: Sobral *et al.* (2015).

Ainda conforme Prezotti e Guarçoni (2013) assim como as plantas, a capacidade de extração do Mehlich-1 é dependente da quantidade e qualidade da argila do solo em razão da forte ligação do P com as partículas do solo, principalmente com os óxidos de Fe e Al. Portanto, quanto maior a quantidade de argila e a presença desses óxidos, menor é a capacidade de extração de P pelo extrator e menores serão os valores obtidos.

Assim, para a interpretação adequada da disponibilidade de P é necessário conhecer a capacidade de adsorção de P do solo (capacidade tampão), a qual é estimada pelo “fósforo remanescente”, simbolizada por “P-rem”, o qual é um índice da capacidade de retenção de P pelo solo (PREZOTTI E GUARÇONI, 2013).

Segundo Tech Solo (2022) quanto menor o resultado de P-rem no solo, maior é a capacidade deste solo de fixar fósforo, indicando a capacidade de fixação fósforo do solo, por óxidos de ferro e alumínio, geralmente. Isso remete à importância da relação do P rem com a argila, ou seja, quanto maior for a quantidade de argila presente no solo, maior será sua capacidade de fixação de fósforo, justamente pela maior presença dos agentes causadores dessa fixação. Em contrapartida, se o valor do P-rem é alto, o quadro é de baixa adsorção e baixa capacidade tampão. Torna-se mais difícil manter o P em solução (TECH SOLO, 2022).

3.6.3 Potássio disponível (K)

Conforme Sobral *et al.* (2015) teores altos de potássio indicam presença de minerais primários e pouco intemperismo, o que ocorre em solos de regiões mais secas. Teores mais baixos de potássio indicam solos mais intemperados.

De acordo com Sobral *et al.* (2015) quantidade de K menores que 30 mg/dm³ ou 0,08 cmol_c/dm³ é considerada baixa, entre 30 a 60 mg/dm³ ou 0,08 a 0,15 cmol_c/dm³ são médios e maiores que 60 mg/dm³ ou 0,15 cmol_c/dm³ são altos.

3.6.4 Sódio (Na) e Índice de Saturação de Sódio (ISNa)

O teor de sódio disponível – trocável (Na) segundo Prezotti e Guarçoni (2013) quando presente em alta concentração no solo, pode dificultar a absorção de água e nutrientes pela planta ou pelo seu efeito dispersante sobre as argilas, causando a desestruturação do solo e reduzindo a infiltração de água, dificultando a penetração de raízes e trocas gasosas.

Conforme Pessoa (2006) os íons e sais têm maior influência sobre os solos de granulometria fina, pois esses possuem grandes superfícies específicas. As ligações que resultam das trocas catiônicas podem aumentar a resistência de uma argila, assim como também podem influenciar na transferência de calor de partícula para partícula, ou seja, dificultando a passagem de calor entre esses.

Segundo Sobral *et al.* (2015) os teores de sódio nos solos da região semiárida são mais altos em função da presença de minerais primários devido ao baixo intemperismo.

O Índice de Saturação de Sódio também denominado Porcentagem de Sódio Trocável (PST) em relação aos demais cátions trocáveis na T do solo é expresso pela relação visualizada na Equação 4:

$$ISNa = \frac{Na \text{ (cmol}_c\text{/dm}^3\text{)}}{T \text{ (cmol}_c\text{/dm}^3\text{)}} \times 100 \quad \text{Eq. 4}$$

De acordo com Prezotti e Guarçoni (2013) considerando-se, por medida de segurança, um ISNa máximo de 10% e sendo a CTC do solo utilizada como exemplo igual a 7,1 cmol_c/dm³, estima-se, pela fórmula acima, que o teor de Na máximo seria de

0,71 cmol_c/dm³, correspondendo a 163 mg/dm³, valor muito superior ao indicado no resultado da análise de referência (15 mg/dm³).

3.6.5 Cálcio (Ca²⁺) e Magnésio (Mg²⁺)

Conforme Prezotti e Guarçoni (2013) os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺, cujas unidades de medida são em cmol_c/dm³, estão diretamente relacionados à acidez dos solos. Geralmente solos ácidos apresentam baixos teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ e solos de boa fertilidade, maiores teores de Ca²⁺ e de Mg²⁺.

De acordo com Prezotti e Guarçoni (2013) solos de baixa Capacidade de Troca Catiônica Total (T) e baixos teores de Ca e Mg (características de solos arenosos) podem apresentar de média a elevada saturação por bases (V). Isso porque a V é um valor relativo e pode dar uma falsa indicação de fertilidade elevada.

Na Tabela 10 apresentam-se as classes de interpretação para cálcio e magnésio segundo Prezotti e Guarçoni (2013).

Tabela 10: Faixas para interpretação do teor de fósforo (P) no solo pelo Mehlich-1 em função do teor de argila.

Classificação	Baixo	Médio	Alto
Cálcio (Ca)	< 1,5 cmol _c dm ³ .	1,5 – 4,0 cmol _c dm ³ .	> 4 cmol _c dm ³ .
Magnésio (Mg)	< 0,5 cmol _c /dm ³	0,5 – 1,0 cmol _c /dm ³	> 1,0 cmol _c /dm ³

Fonte: Prezotti e Garçoni M. (2013).

3.6.6 Alumínio (Al³⁺)

Conforme Prezotti e Guarçoni (2013) todos os solos contém alumínio em diversas formas ou compostos, sendo o seu teor total praticamente constante. O que varia são as formas em que o alumínio se encontra.

Prezotti e Guarçoni (2013) abordam que o pH do solo influencia as formas de como o alumínio se apresenta. A dissociação dos carbonatos de Ca e Mg do calcário liberam OH⁻ para a solução do solo, que reage com o H⁺ formando H₂O, elevando assim o pH (reação de neutralização). Com a elevação do pH, a forma de alumínio solúvel Al³⁺ (tóxica) passa para a forma insolúvel Al(OH)₃ (não tóxica).

As classes de interpretação para o teor de alumínio trocável (Al³⁺), determinados pelo extrator KCl 1mol/L, segundo Prezotti e Guarçoni (2013) são: menor que 0,3 cmol_c/dm³ (baixo), entre 0,3 a 1,0 cmol_c/dm³ (médio) e maior que 1,0 cmol_c/dm³ (alto)

3.6.7 Acidez potencial ou total (H+Al)

Também denominada “acidez potencial” ou “acidez total”. As classes de interpretação para a acidez potencial (H+Al) segundo Prezotti e Guarçoni (2013) são: menor que 2,5 cmol_c/dm³ (baixo), entre 2,5 a 5,0 cmol_c/dm³ (médio) e maior que 5,0 cmol_c/dm³ (alto).

Ainda de acordo com Prezotti e Guarçoni (2013) a determinação do H+Al tem por objetivo principal o cálculo da CTC Total do solo (T). Geralmente os valores de H+Al são maiores em solos ricos em matéria orgânica, principalmente se esses apresentarem baixos valores de pH.

3.6.8 Saturação por alumínio (m)

Conforme Prezotti e Guarçoni (2013) a saturação por alumínio é o índice de saturação por Al³⁺ na Capacidade de Troca Catiônica efetiva (t), sendo visualizada na Equação 5.

$$m = \frac{Al^{3+}}{t} \times 100 \quad \text{Eq. 5}$$

Prezotti e Guarçoni (2013) relatam que o Al é o único elemento cuja proporção é determinada com base na Capacidade de Troca Catiônica efetiva (t), pois a Capacidade de Troca Catiônica Total (T) é estimada considerando-se todas as cargas negativas ocupadas com bases, em pH 7. Para os demais elementos (K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e Na⁺), a proporção é calculada em relação a T.

As classes de interpretação para saturação por alumínio (m) segundo Prezotti e Guarçoni (2013) são: menor que 50% (baixo), entre 50% a 70% (médio) e maior que 70% (alto).

3.6.9 Soma de Bases (SB)

Segundo Prezotti e Guarçoni (2013) a soma das bases representa a soma das bases presentes no solo, ou seja, dos elementos K⁺, Na⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺. As classes de interpretação para a soma de bases (SB) são: menor que 2,0 cmol_c/dm³ (baixo), entre 2,0 a 5,0 cmol_c/dm³ (médio) e maior que 5,0 cmol_c/dm³ (alto).

3.6.10 CTC efetiva (t)

De acordo com Prezotti e Guarçoni (2013) relatam que a CTC indica a quantidade de cargas negativas ocupadas com os cátions trocáveis. Nesse caso não se considera o H^+ . $t = K^+ + Na^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+} + Al^{3+}$ ou $t = SB + Al^{3+}$. As classes de interpretação para a capacidade de troca (retenção) de cátions no pH natural do solo (CTC efetiva) são: menor que $2,5 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ (baixo), entre $2,5$ a $6,0 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ (médio) e maior que $6,0 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ (alto).

3.6.11 CTC Total (T)

Prezotti e Guarçoni (2013) relatam que é a capacidade de troca de cátions do solo, medida a pH 7, também representada pela letra T. É uma das variáveis mais importantes para a interpretação do potencial produtivo do solo. Indica a quantidade total de cargas negativas que o solo poderia apresentar se o seu pH fosse 7.

Prezotti e Guarçoni (2013) abordam ainda que essas cargas são aptas a adsorver (reter) os nutrientes de carga positiva (K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+}) e outros elementos como Al^{3+} , H^+ , Na^+ etc. $T = K^+ + Na^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+} + (H+Al)$ ou $T = SB + (H+Al)$.

Prezotti e Guarçoni (2013) relatam que para o cálculo da T é necessário que os elementos estejam expressos na mesma unidade ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$). Assim, os teores de K e Na (expressos em mg/dm^3) têm de ser transformados para $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$. A seguir, Prezotti e Guarçoni (2013) mencionam características da T:

apresenta valor praticamente constante (somente pode ser alterada com a aplicação de elevadas doses de matéria orgânica ou em decorrência de intenso processo erosivo, quando há perda da camada superficial). Assim, sendo a quantidade total de cargas negativas do solo praticamente constante, quanto maior a quantidade de Al^{3+} , H^+ e Na^+ no solo menor e a quantidade de cargas negativas disponíveis para adsorver as bases K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} . Quando a quantidade de nutrientes catiônicos adicionada via adubação é superior a CTC do solo, esses nutrientes (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) podem ser perdidos por lixiviação. Solos argilosos e/ou com elevado teor de matéria orgânica geralmente possuem elevada T, isto é, conseguem adsorver grande quantidade de nutrientes catiônicos. Solos arenosos apresentam baixa T e, mesmo com pequena adição de bases, estas estão suscetíveis a perdas por lixiviação (PREZOTTI e GUARÇONI, 2013).

As classes de interpretação para a capacidade total de troca de cátions total determinada à pH 7 (CTC Total), segundo Prezotti e Guarçoni (2013), são: menor que

4,5 cmol_c/dm³ (baixo), entre 4,5 a 10,0 cmol_c/dm³ (médio) e maior que 10,0 cmol_c/dm³ (alto).

3.6.12 Saturação por bases (V)

Prezotti e Guarçoni (2013) expõem que tal variável indica a porcentagem do total de cargas negativas ocupadas por bases (K⁺ + Na⁺ + Ca²⁺ + Mg²⁺), sendo visualizada na Equação 6. É calculada pela divisão da soma de bases (SB) pela T do solo, multiplicado por 100.

$$V = \frac{SB}{T} \times 100 \quad \text{Eq. 6}$$

Prezotti e Guarçoni (2013) dizem que a unidade utilizada para expressar a saturação por bases é a porcentagem (%), sendo aceita pelo Sistema Internacional de Unidades por se tratar de um índice calculado e não é uma concentração ou teores. As classes de interpretação para saturação por bases (V) são: menor que 50% (baixo), entre 50% a 70% (médio) e maior que 70% (alto).

3.6.13 Matéria orgânica do solo (MO)

Prezotti e Guarçoni (2013) relatam que a MO do solo é formada pelos resíduos da parte aérea e radicular das plantas, de micro-organismos e exsudados de raízes. É constituída basicamente por C, H, O, N, S e P. A proporção desses elementos gira em torno de 58% de C, 6% de H, 33% de O e 3% de N, S e P.

Prezotti e Guarçoni (2013) abordam que o teor de matéria orgânica do solo é um indicativo do seu potencial produtivo, pois solos com maior teor de MO apresentam maiores valores de T e maior capacidade de fornecimento de nutrientes às plantas, quando comparados a solos com menores teores de MO.

O teor de MO do solo é calculado multiplicando-se o teor de carbono do solo (carbono orgânico) pelo fator 1,72 (obtido pela divisão 100/58), ou seja, matéria orgânica = Carbono Orgânico x 1,72, segundo Prezotti e Guarçoni (2013).

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para atingir o objetivo da tese, fez-se necessário realizar os seguintes procedimentos metodológicos:

✓ Produção de mapa de localização dos dados e altimetria da área em estudo. Utilizou-se uma imagem do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) de resolução espacial de 30 metros obtido no Topodata do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), sendo esse processado e analisado no software QGIS.

✓ Análise multitemporal de imagens do software Google Earth para visualizar o porte da vegetação nos pontos de coleta de solos, para auxiliar na análise do comportamento térmico, bem como físico, químico e morfológico desses.

✓ Tabulação e análise dos dados de precipitação e temperatura do ar do período de 1911 a 1990 obtidos por Sentelhas *et al.* (2003). Tais informações foram organizadas no programa Excel para obter a caracterização climática da região.

✓ Coletas de 10 amostras superficiais de solos (até 12 cm de profundidade) nos anos de 2018 e 2019 por meio de trado tipo holandês nas 10 estações climatológicas (área de estudo), para obtenção das seguintes propriedades térmicas dos solos: difusividade térmica (α), condutividade térmica (K), resistividade térmica (δ), calor específico (Cp) e temperatura ($^{\circ}\text{C}$).

✓ As propriedades térmicas dos solos coletados foram obtidas no Laboratório de Transferência de Calor, localizado na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), campus Natal, por meio do analisador de propriedades térmicas - KD2 Pro do fabricante Decagon Devices. De acordo com Decagon Devices (2016) esse analisador é composto por um controlador de mão, com dimensão de 1,3 mm diâmetro x 30 mm comprimento, 6 mm de espaçamento, o qual mensura os seguintes parâmetros: condutividade térmica: 0,02 a 2,00 W/(m·K), resistividade térmica: 50 a 5000 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{cm}/\text{W}$, difusividade térmica: 0,1 a 1,0 $\times 10^{-7}\text{mm}^2/\text{s}$ (mas os resultados foram convertidos para 1,0 a 10,0 $\times 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$, pois na literatura os dados encontram-se em $\times 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$) e capacidade térmica: 0,5 a 4 MJ/(m^3K), por meio do sensor SH-1 – ponta dupla) com cabos medindo 80 centímetros, sendo visualizados na Figura 3. O sensor SH-1 – ponta dupla foi utilizado, pois o fabricante recomenda o seu uso para medição de propriedades térmicas em material granulado, especificamente para medidas de solos.

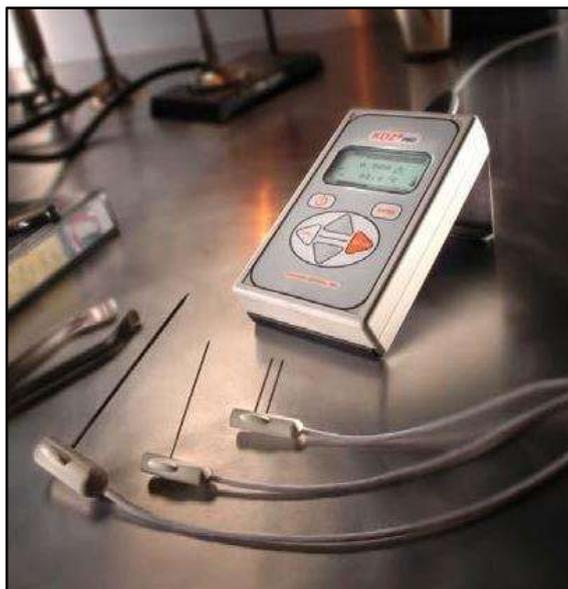


Figura 3: Analisador de propriedades térmicas - KD2 Pro e respectivos sensores.
Fonte: Decagon Devices, 2016.

Conforme Azevedo (2017) esse equipamento utiliza o método de fonte de calor em linha transitória: em uma das agulhas da sonda há uma fonte de calor (resistência elétrica), que libera energia ao corpo de prova por efeito de joule; a outra agulha possui termopar, que absorve a energia que atravessa o material analisado; dependendo do tempo estabelecido. O aquecimento é realizado por meio de dois modos: “high power” ou “low power”. No modo “high power” o equipamento aplica uma corrente de aquecimento relativamente maior ao sensor durante a medida, resultando em um maior aquecimento do sensor, enquanto no modo “low power” é aplicada uma pequena corrente de aquecimento, resultando em um menor aquecimento do sensor. O tempo de aquecimento do material pode ser em 1, 2, 5, 10 e 15 minutos. O equipamento realiza a comparação entre as quantidades de energia liberada pela fonte de calor e absorvida pelo termopar, determinando valores das propriedades térmicas de interesse: difusividade térmica (α), condutividade térmica (K), resistividade térmica (δ), calor específico (Cp) e temperatura ($^{\circ}\text{C}$).

O procedimento adotado para obtenção dos parâmetros térmicos, passaram por oito etapas a seguir:

1. As amostras de solo antes de entrarem em contato com analisador de propriedades térmicas - KD2 Pro foram homogeneizadas em um recipiente de plástico de 250 gramas e compactadas em um béquer por meio de um peso de 5 quilos, conforme visualizado

na Figura 4;



Figura 4: Homogeneização e compactação da amostra de solo para inserir no analisador de propriedades térmicas - KD2 Pro.

2. Acondicionamento da amostra de solo e conexão da sonda SH-1 ao medidor KD- 2 Pro no interior de uma câmara termicamente isolada de madeira e isopor (Figura 5);



Figura 5: Acomodação da amostra e sensor SH-1 para fechamento da câmara térmica e início de coleta dos dados.

3. Inserção da ponta SH-1 no interior da amostra de solo por meio do fechamento da câmara de isolamento (Figura 6);



Figura 6: Inclusão da ponta SH-1 no interior da amostra de solo.

4. Ao ligar o equipamento, escolheu-se a unidade de medida para obtenção dos dados para “SI” (Sistema Internacional), padrão aceito mundialmente;
5. O tempo de leitura foi ajustado em 05 (cinco) minutos;
6. Definiu-se o nível de aquecimento do sensor (Power Mode) no modo “high power” resultando em um maior aquecimento da amostra.
7. Para início da coleta de dados, destacou-se os três primeiros dados para aquecimento do equipamento e anotou-se as informações geradas em planilha impressa.

Houve 50 (cinquenta) medições para cada amostra de solo (situadas em 10 municípios), para as cinco variáveis analisadas (difusividade térmica, condutividade térmica, resistividade térmica, calor específico (Cp) e temperatura (°C)), totalizando 2.500 medições.

Os resultados das medições das propriedades térmicas foram trabalhados no programa Excel, realizou-se o tratamento de incertezas por meio da Distribuição Normal, também denominada de Gaussiana ou de Gauss. Segundo Pino (2014) diz-se que uma variável aleatória X tem distribuição normal, com média (μ) e variância (σ^2), e escreve-se $X \sim N(\mu, \sigma^2)$, se sua função densidade de probabilidade, é dada pela Equação. 7:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp \left\{ -\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2} \right\} \quad \text{Eq. 7}$$

para $-\infty < x < \infty$ e $\sigma > 0$. Essa distribuição (Eq. 1) tem média igual a zero e variância igual a um: $X \sim N(0,1)$. Ou seja, a distribuição dos dados é Normal, se a média se encontra no centro da distribuição e possui o mesmo valor da mediana e da moda, devido à simetria da curva. Conforme Lopes *et al.* (2013) para a distribuição Normal, a proporção de valores sob a curva é a seguinte: 68,26% dos valores estão dentro de um desvio padrão positivo e negativo de sua média ($\pm 1\sigma$); 95,44% dos valores estão dentro de dois desvios padrão positivos e negativos ($\pm 2\sigma$) de sua média e 99,72% dos valores estão dentro de três desvios padrão positivos e negativos ($\pm 3\sigma$) de sua média, conforme visto na Figura 7. Os valores que estavam afastados dos três desvios padrão acima ou abaixo da média foram considerados erros.

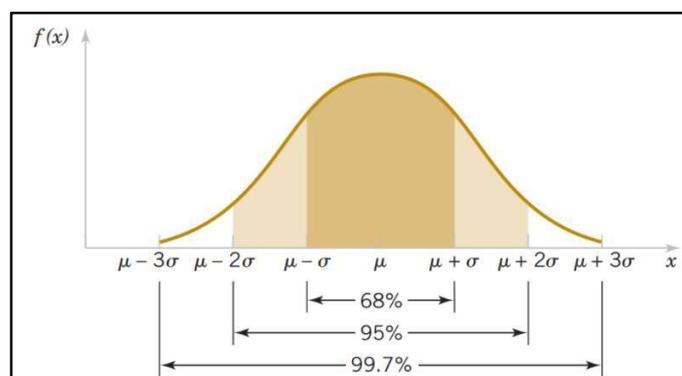


Figura 7: Áreas da distribuição normal para 1, 2 e 3 desvios padrão em torno da média 0.
Fonte: Lopes *et al.* (2013).

✓ As características física (textura) e química dos solos analisados (pH, acidez potencial - $H + Al$, cátion trocáveis - Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , soma de bases - $SB = Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+$, capacidade de troca catiônica efetiva - $t = SB + Al^{3+}$, a capacidade de troca catiônica total - $T = t + (H + Al)$ e a saturação por bases ($V\% = SB/T$) foram obtidas no Laboratório de Solos da Universidade Federal de Viçosa (UFV), cujas amostras foram coletadas próxima às estações climatológicas na área de estudo (distâncias visualizadas na Tabela 14) por membros do Laboratório de Estudo do Semiárido (LAESA) da UFPB, as quais foram dispostas e trabalhadas no programa Excel para obter a caracterização de tais aspectos do solo, bem como relacionar tais informações com as propriedades térmicas.

✓ Para obter as propriedades físicas, químicas e morfológicas dos solos analisados utilizaram-se os seguintes procedimentos, com base nos métodos estabelecidos para solos tropicais no trabalho de Donagema *et al.* (2011): as amostras foram secas ao ar e

peneiradas através de uma peneira com malha de 2 mm antes da textura e análises químicas de acordo com métodos estabelecidos para solos tropicais (DONAGEMA *et al.*, 2011). Os teores de areia, o sedimento e a argila foram determinados pelo método da pipeta após dispersão com NaOH 0,1 M. O pH do solo foi medido com um eletrodo de vidro em um solo de suspensão de 1: 2,5 / água desionizada (pH de H₂O). A acidez potencial (H + Al) foi extraída por solução de acetato de amônio 1 M a pH 7. O teor de Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ trocáveis foi determinado num extracto de KCl 1 M. K + e Na + intercambiáveis foram determinados após a extração de Mehlich-1. A partir desses resultados foram calculados a soma das bases (SB), saturação de base (V), saturação de alumínio (m), e saturação de Na (ISNA) (DONAGEMA *et al.* 2011).

✓ O teor de fósforo disponível (PM) foi determinado por uma solução de extração de Mehlich-1. O carbono orgânico total (C) foi determinado por combustão húmida (YEOMANS e BREMNER, 1988). A capacidade de adsorção de P do solo foi determinada após agitação durante 1 hora com 2,5 g de solo em CaCl₂ 0,01 M contendo 60 mg de P L⁻¹. A suspensão foi filtrada e o restante P em solução (P-REM) foi determinado por fotolorimetria (ALVAREZ *et al.*, 2000).

✓ Os parâmetros (classes de interpretação) utilizados para caracterização das propriedades químicas analisadas são visualizados nas Tabelas 11 e 12.

Tabela 11: Classes de interpretação para acidez ativa do solo (pH)

Acidez muito elevada	Acidez elevada	Acidez média	Acidez fraca	Neutra	Alcalinidade fraca	Alcalinidade elevada
< 4,5	4,5 – 5,0	5,1 – 6,0	6,1 – 6,9	7,0	7,1 - 7,8	> 7,8

Fonte: Alvarez *et al.* (1999).

Tabela 12: Classes de interpretação utilizadas para caracterização das propriedades químicas analisadas

Propriedade química e unidade de medida	Classificação			
	Baixo	Médio	Alto	Fonte
Saturação em bases – V (%)	<50	50– 70	>70	Prezotti e Garçoni M. (2013)
CTC Total – T (cmolc/kg)	< 27	--	> 27	Zaroni e Santos (2021)
Cálcio - Ca (cmol _c dm ³ .)	< 1,5	1,5 – 4,0	>4	Prezotti e Garçoni M. (2013)
Magnésio – Mg (cmol _c dm ³ .)	< 0,5	0,5 – 1,0	>1,0	Prezotti e Garçoni M. (2013)
Potássio – k (cmol _c dm ³ .)	< 0,08	0,08 – 0,15	> 0,15	Sobral <i>et al.</i> (2015))
Sódio – Na (cmol _c dm ³ .)	0,065	--	0,71	Prezotti e Garçoni M. (2013)
Fósforo - P (mg/dm ³)	0-10	10,1-20	> 20,1	Sobral <i>et al.</i> (2015)
Índice de Saturação de Sódio – ISNa (%)	< 0,1	5	10	Prezotti e Garçoni M. (2013)

✓ Para interpretação do carbono orgânico dos solos analisados fez-se necessário transformar a matéria orgânica (dag/kg) presente nas análises de solos em estudo, empregando a seguinte expressão: $MO\% = C \times 1,724$. De acordo com Machado *et al.* (2003) o carbono orgânico é comumente utilizado para estimar o teor de matéria orgânica do solo por meio de sua multiplicação por um fator. Baseando-se na premissa que a matéria orgânica possui 58% de carbono orgânico, o fator é 1,724 (porque: $100/58 = 1,724$) vem sendo utilizado para essa conversão (MACHADO *et al.*, 2003). Conforme Lunguinho (2018) o quantitativo de carbono (C) é de interesse geral, na formação, na classificação, no uso e manejo do solo. O teor de carbono (C) é uma indicação da quantidade de matéria orgânica acumulada no solo, sob diferentes condições ambientais.

✓ As características morfológicas dos solos analisados foram obtidas em fichas de descrição morfológicas de solos no campo presente no Manual Técnico de Pedologia do IBGE (2015), preenchidas por membros do Laboratório de Estudo do Semiárido (LAESA) da UFPB, as quais foram dispostas e trabalhadas no programa Excel para obter a caracterização do solo, bem como correlacionar tais informações com propriedades térmicas físicas e químicas do solo.

Ressalta-se que, as variáveis analisadas neste trabalho foram: símbolo, profundidade, espessura, cascalho (pouco cascalhenta, cascalhenta e muito cascalhenta),

cor de acordo com o Código de Munsell), estrutura (grau, tamanho e tipo), consistência (seca, úmida, molhada), raízes (tamanho e quantidade), poros (tamanho e quantidade) e transição (topografia, contraste). Sendo os três primeiros dados quantitativos e os demais qualitativos.

Para relacionar tais dados estatisticamente, fez-se necessário transformar os dados qualitativos (cascalho, cor, estrutura, raízes, poros e transição) em quantitativos.

✓ A variável cor, que foi obtida por meio do Código de Munsell em campo e posta na ficha de descrição morfológica de solos no campo foi convertida para o sistema RGB no site Encycolorpedia (<https://encycolorpedia.pt/>), para tornar a cor (dado qualitativo) em quantitativo. Para tal fim, no site acima digitou-se o código de Munsell e aparece o compromisso de cores em porcentagem (%) do modelo de cor RGB.

Tal ação foi realizada, pois o site Encycolorpedia é baseada em coordenadas de sistemas de notação de cores propostos pela CIE (Commission Internationale de l'Eclairage, 1931) denominado $L^*a^*b^*$, estabelecido em 1976.

O sistema Munsell é definido de forma tridimensional em um espaço cilíndrico de 3 eixos, permitindo identificar a cor de acordo com três dimensões: matiz (tonalidade), valor (brilho ou luminosidade) e croma (saturação). A determinação das cores nesse sistema normalmente é feita por comparação visual com uma série de padrões contidos na carta de Munsell. Já o sistema proposto pela CIE é baseado na teoria dos três componentes da visão colorida, pela qual o olho possui receptores para as três cores primárias (vermelho, verde, azul) e todas as outras cores são vistas como uma mistura dessas cores. A notação de cores nesses sistemas tem por base os valores de triestímulos que correspondem ao produto da distribuição espectral de potência da fonte de luminante pela reflectância espectral do objeto e pela resposta do olho humano às três cores primárias (CAMPOS *et al.*, 2003)

O sistema CIE $L^*a^*b^*$ estabelece coordenadas uniformes no espaço tridimensional de cor, sendo que “L” é a luminosidade e “a” e “b” contêm as informações de croma, onde “a” corresponde a um eixo que varia do vermelho ao verde e “b” é um eixo que varia do amarelo ao azul (HUNTERLAB, 1996; MINOLTA, 1998 *apud* Botelho *et al.* (2006).

✓ A demais variáveis morfológicas (cascalho, estrutura, raízes, poros e transição) foram transformadas de dados qualitativos para quantitativos por meio da geração de

variáveis artificiais, denominadas Dummy no software IpeaGEO versão 2.1, software estatístico gratuito desenvolvido pela Assessoria de Métodos Quantitativos da Diretoria de Estudos e Políticas Regionais, Urbanos e Ambientais (DIRUR) do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), voltado especialmente para análises espaciais (IPEA, 2020).

Segundo IPEA (2016) variáveis Dummy são chamadas por alguns autores de variáveis indicadoras, mudas, binárias, flags ou dicotômicas. Esse tipo de variável assume valores 1 ou 0, indicando presença ou ausência da característica, respectivamente.

Para a geração das variáveis Dummy no software IpeaGEO, procedeu-se da seguinte maneira: menu: ferramentas > estatística básica > análise e teste para médias > arquivo > importar arquivos de dados > tabela de dados > variáveis > Geração de variáveis Dummy > variáveis categóricas > seleciona as variáveis que pretende transformar em Dummy > gerar Dummy e por fim em atualizar tabela para que as dummies geradas fossem salvas definitivamente na tabela de dados, sendo exportada na planilha do Excel e salva no computador.

✓ Após todas as variáveis analisadas (térmicas, física, químicas e morfológicas) estarem “quantificadas” no Excel, essas foram relacionadas por meio da Correlação de Pearson no Programa IpeaGEO versão 2.1.

Segundo Moore (2007) a Correlação de Pearson (r) mensura a direção e o grau da relação linear entre duas variáveis quantitativas. Sua fórmula é visualizada na Equação 8.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \underline{x})(y_i - \underline{y})}{(n - 1) s_x s_y} \quad \text{Eq. 8}$$

Onde:

\underline{x} - média amostral da variável x ;

\underline{y} - média amostral da variável y ;

s_x - desvio padrão da variável x ;

S_y - desvio padrão da variável y ;

n – Número de dados amostral, conforme pares ordenados ou número de observações.

A primeira variável nesta pesquisa (x) são as propriedades térmicas (difusividade, condutividade, resistividade, capacidade calorífica, temperatura do analisador de propriedades térmicas - KD2 Pro, as quais foram contabilizadas cada uma dessa com a segunda variável.

A segunda variável (y) são os parâmetros físico (textura), químico ((pH, acidez potencial - H + Al, cátion trocáveis - Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , soma de bases - SB = $Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+$, capacidade de troca catiônica efetiva - $t = SB + Al^{3+}$, a capacidade de troca catiônica total - $T = t + (H + Al)$ e a saturação por bases ($V\% = SB/T$)) e morfológicos, como: cascalho (pouco cascalhenta, cascalhenta e muito cascalhenta), cor de acordo com o Código de Munsell, estrutura (grau, tamanho e tipo), consistência (seca, úmida, molhada), raízes (tamanho e quantidade), poros (tamanho e quantidade) e transição (topografia, contraste).

Segundo Rogerson (2012) o coeficiente de correlação pode variar -1 a +1, ou seja, os pontos situados precisamente ao longo de uma linha reta com inclinação positiva terão correlação igual a +1, enquanto pontos que ficam exatamente ao longo de uma linha com inclinação negativa terão correlação igual a -1. Pontos que estão aleatoriamente dispersos no gráfico terão correlação próximo de zero.

Assim, quanto maior for o valor absoluto do coeficiente, mais forte é a relação entre as variáveis. Os parâmetros dos valores dos coeficientes de correlação de Pearson são dispostos conforme Souza (2008) e vistos na Tabela 13.

13: Valores do coeficiente de correlação de Pearson (r)

Coeficiente de Correlação	Correlação
r=1	Perfeita Positiva
0,8 <= r < 1	Forte Positiva
0,5 <= r < 0,8	Moderada Positiva
0,1 <= r < 0,5	Fraca Positiva
0 < r < 0,1	Ínfima Positiva
r=0	Nula
(-0,1) < r < 0	Ínfima Negativa
(-0,5) < r <= (- 0,1)	Fraca Negativa
(-0,8) < r <= (- 0,5)	Moderada Negativa
(-1) < r <= (- 0,8)	Forte Negativa
r= (-1)	Perfeita Negativa

Fonte: Souza (2008).

✓ Para realizar a Correlação de Pearson no IPEAGEO versão 2.1 procedeu-se da seguinte forma: importou-se a tabela de dados em excel no IpeaGEO no menu: Ferramentas > Estatística Básica > Análise e testes para médias > arquivo > importar arquivos de dados > tabela de dados > optar por “Arquivos excel ou MDB”> Arquivo, escolher o arquivo em excel > importar tabela > em seguida abriu-se um formulário. Nesse formulário acessar aba “Tabela de Dados”.

Na aba “Tabela de Dados”, selecionou-se a opção “Ferramentas” e em seguida na opção “Correlações”, resultando informações visualizadas na aba “Especificações”

Na aba “Especificações” todas as variáveis foram selecionadas presente no campo “Variáveis disponíveis na tabela” e clicou-se no botão  para transferir todas as variáveis disponíveis (todas as variáveis térmicas, físicas, químicas e morfológicas analisadas) para o campo “Variáveis selecionadas”

Posteriormente selecionou-se a correlação desejada “Correlação de Pearson”, optou-se o tipo de dado “Amostrai”, definiu como três casas decimais. Depois de selecionadas as opções desejadas, escolheu-se o botão “Calcular” para realizar a correlação escolhida.

Após esse procedimento, realizou-se o Teste de Hipótese no Programa Excel, para testar se os coeficientes de Correlação de Pearson encontrados foram de fato significativos (p-valor), considerado de 5% ($>$ ou $= 0,05$), ou seja, as variáveis escolhidas possuem 95% de confiança. Para isso, se estabeleceu as seguintes hipóteses: $H_0: r = 0$ versus $H_1: r \neq 0$, sendo r é o coeficiente de correlação entre um par de variáveis.

Se o valor de r for menor ou igual ao nível de significância (0,05), indica que a hipótese nula é falsa, ou seja, indica que tais variáveis estão correlacionadas (correlação diferente de 0). E se o valor de r for maior do que 0,05, indica que a hipótese alternativa é verdadeira, ou seja, apontando que tais variáveis não estão correlacionadas, não é possível concluir que a correlação é diferente de 0.

O valor de ρ para o coeficiente de correlação de Pearson usa a distribuição t, dado pela Equação 9:

Eq. 9

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

sendo: r = coeficiente de correlação e n = número de observações. O valor de p é $2 \times P(T > t)$ onde T segue uma distribuição t com $n - 2$ graus de liberdade.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão expostos a caracterização os aspectos topográficos, vegetacionais e climatológicos dos locais onde foram obtidas as amostras de solos; bem como aspectos morfológicos, físicos, químicos e térmicos dos solos da região em análise, bem como a correlação entre esses, respectivamente.

5.1 Caracterização os aspectos físicos, vegetacionais e climatológicos dos locais analisados

Na Tabela 14 encontram-se expostos a localização das amostras de solos para obtenção de propriedades térmicas, altimetria e porte vegetacional dos locais analisados no presente estudo.

Tabela 14. Características dos locais onde foram obtidas as amostras de propriedades térmicas e as demais analisadas no estudo

Ponto	Município	Coordenadas Geográficas	Tipo de solo	Distância entre amostras de solos	Altitude	Porte Vegetacional
P1	Cabaceiras	Lat.: 9184191.00 m S Long.: 800184.00 m E	Neossolo Litólito Eutrófico típico	23,68 metros (Figura 8)	496 metros	Herbáceo-arbustivo e arbóreo (Figura 8)
P2	Serra Branca	Lat.: 9175534.00 m S Long.: 751833.00 m E	Neossolo Regolítico Distrófico léptico	58,2 metros (Figura 9)	552 metros	Herbáceo-arbustivo (Figura 9).
P3	Coxixola	Lat.: 9175589.00 m S Long.: 735527.00 m E	Neossolo Litólito Eutrófico saprólito	552,5 metros (Figura 10)	579 metros	Herbáceo-arbóreo (Figura 10)
P4	Caraúbas	Lat.: 9152962.86 m S Long.: 779654.26 m E	Argissolo Vermelho Distrófico abrupto	66,90 metros (Figura 11)	414 metros	Arbustivo-arbóreo (Figura 11)
P5	Congo	Lat.: 9146472.00 m S Long.: 758068.00 m E	Neossolo Regolítico Eutrófico saprolítico leptico arênico	3.691,5 metros (Figura 12)	503 e 501 metros	Arbustivo-arbóreo (Figura 12)
P6	Camalaú	Lat.: 9118718.00 m S Long.: 735527.00 m E	Luvissolo Háplico órtico típicos	557,8 metros (Figura 13)	579 e 583 metros	Arbustivo-arbóreo (Figura 13)
P7	São João do Tigre	Lat.: 9106114.00 m S Long.: 756629.26 m E	Argissolo Vermelho Amarelo Alítico típico	591,4 metros (Figura 14)	1.044 e 1.031 metros	Herbáceo-arbustivo (Figura 14)
P8	São Sebastião do Umbuzeiro	Lat.: 9096834.80 m S Long.: 714892.93 m E	Cambissolo Háplico Tb Eútrofico léptico	15,1 metros (Figura 15)	633 e 632 metros	Arbustivo-arbóreo (Figura 15)
P9	Monteiro	Lat.: 9133054.27 m S Long.: 700907.25 m E	Luvissolo Crômico Órtico lítico	49,7 metros (Figura 16)	632 e 629 metros	Arbustivo-arbóreo (Figura 16)
P10	Ouro Velho	Lat.: 9153692.01 m S Long.: 705428.09 m E	Cambissolo Háplico Eútrofico típico	62,3 metros (Figura 16)	605 metros	Arbustivo-arbóreo (Figura 17)

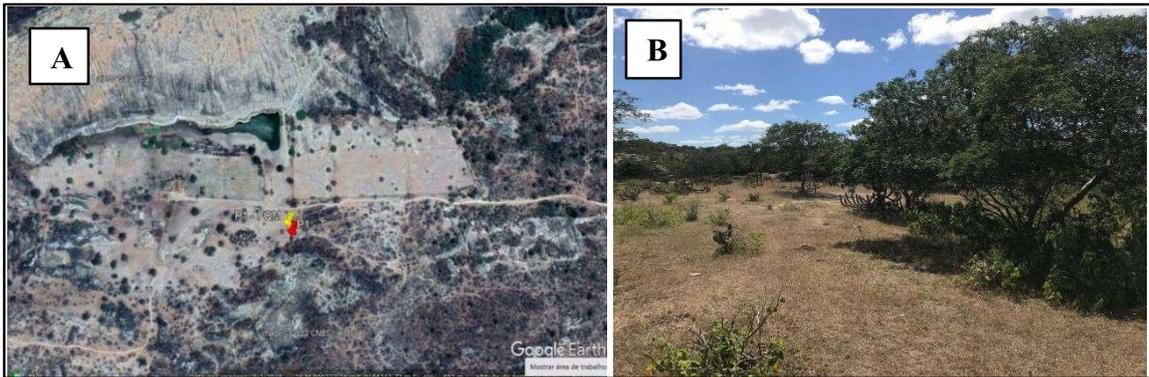


Figura 8: Figura A. Visão da paisagem onde foram obtidas as amostras de solo (rótulo vermelho referente as propriedades térmicas e rótulo amarelo alusivo as propriedades física, químicas e morfológicas) a norte no município de Cabaceiras/PB. Figura B. Porte da vegetação do local onde foi coletada a amostra de solo para análise de propriedades térmicas em Cabaceiras/PB no dia 20/06/2018.



Figura 9: Figura A. Visão da paisagem onde foram obtidas as amostras de solo (rótulo vermelho referente às propriedades térmicas e rótulo amarelo alusivo às propriedades físicas, químicas e morfológicas) a leste no município de Serra Branca/PB. Figura B. Porte da vegetação do local onde foi obtida a amostra de solo para verificar parâmetros térmicos em Serra Branca/PB no dia 23/02/2019.

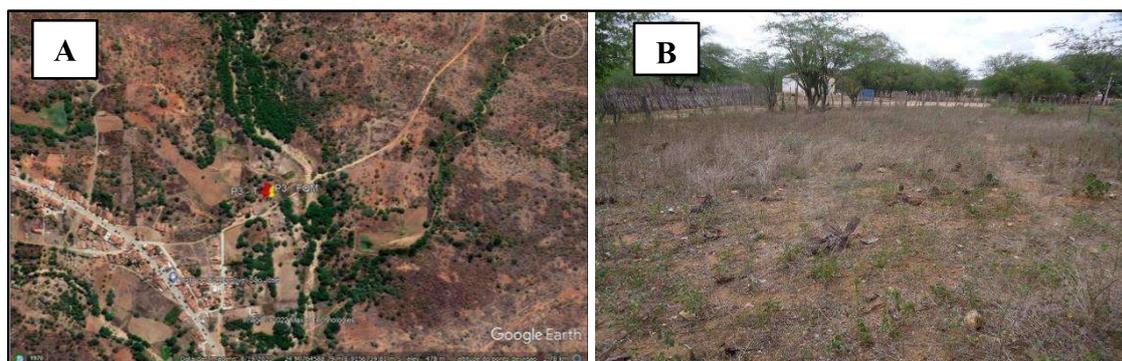


Figura 10: Figura A. Visão da paisagem onde foram obtidas as amostras de solo (rótulo vermelho referente as propriedades térmicas e rótulo amarelo alusivo as propriedades física, químicas e morfológicas) a noroeste no município de Coxixola/PB. Figura B. Porte da vegetação do local onde foi obtida a amostra de solo para verificar parâmetros térmicos em Coxixola/PB em 20/05/2015.

Fonte: Os autores e Rony Luguinho, mai. 2015.

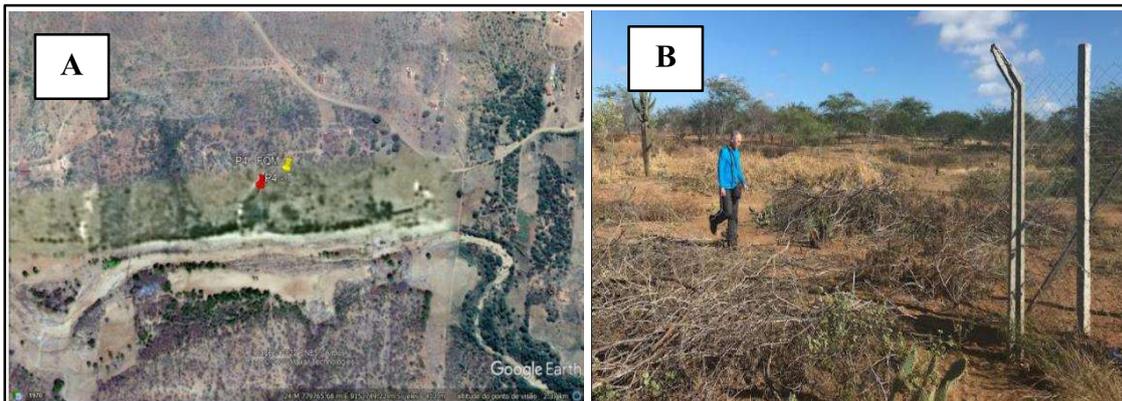


Figura 11: Figura A. Visão da paisagem onde foram obtidas as amostras de solo (rótulo vermelho referente as propriedades térmicas e rótulo amarelo alusivo as propriedades física, químicas e morfológicas) a norte no município de Caraúbas/PB. Figura B. Porte da vegetação do local onde foi obtida a amostra d solo para verificar parâmetros térmicos em Caraúbas/PB em 16/06/2018.

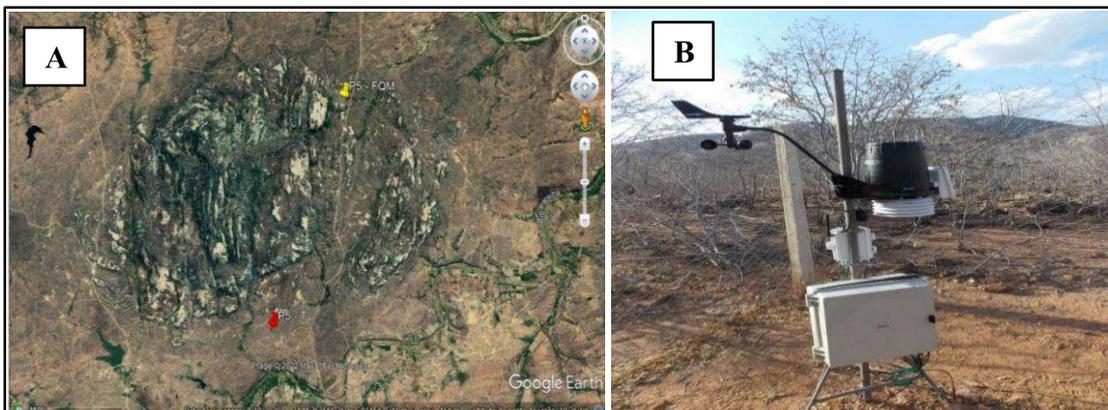


Figura 12: Figura A. Visão da paisagem onde foram obtidas as amostras de solo (rótulo vermelho referente a propriedades térmicas e rótulo amarelo alusivo as propriedades física, químicas e morfológicas) a noroeste no município do Congo/PB. Figura B. Porte da vegetação do local onde foi obtida a amostra de solo para verificar parâmetros térmicos em Coxixola/PB em 22/10/2016.



Figura 13: Figura A. Visão da paisagem onde foram obtidas as amostras de solo (rótulo vermelho referente a propriedades térmicas e rótulo amarelo alusivo as propriedades física, químicas e morfológicas) a sudoeste no município do Camalaú/PB. Figura B. Porte da vegetação do local onde foi obtida a amostra de solo para verificar parâmetros térmicos em Camalaú/PB no dia 19/06/2018.



Figura 14: Visão da paisagem onde foram obtidas as amostras de solo (rótulo vermelho referente a propriedades térmicas e rótulo amarelo alusivo as propriedades físicas, químicas e morfológicas) a sudoeste no município de São João do Tigre/PB. Figura B. Porte da vegetação do local onde foi obtida a amostra de solo para verificar parâmetros térmicos em São João do Tigre/PB no dia 20/09/2021.



Figura 15: Figura A. Visão da paisagem onde foram obtidas as amostras de solo (rótulo vermelho referente a propriedades térmicas e rótulo amarelo alusivo as propriedades física, químicas e morfológicas) a sudoeste no município do São Sebastião do Umbuzeiro/PB. Figura B. Porte da vegetação do local onde foi obtida a amostra de solo para verificar parâmetros térmicos em São Sebastião do Umbuzeiro/PB no dia 19/06/2018.



Figura 16: Figura A. Visão da paisagem onde foram obtidas as amostras de solo (rótulo vermelho referente a propriedades térmicas e rótulo amarelo alusivo as propriedades física, químicas e morfológicas) a noroeste no município de Monteiro/PB. Figura B. Porte da vegetação do local obtida a amostra de solo para verificar parâmetros térmicos em Monteiro/PB no dia 19/06/2018.

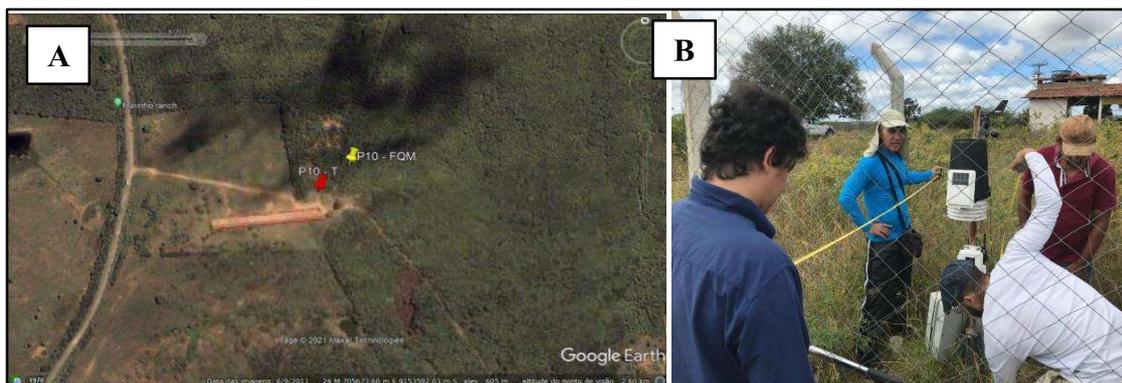


Figura 17: Figura A. Visão da paisagem onde foram obtidas as amostras de solo (rótulo vermelho referente a propriedades térmicas e rótulo amarelo alusivo as propriedades física, químicas e morfológicas a sudoeste no município de Ouro Velho/PB. Figura B. Porte da vegetação local onde foi obtida amostra de solo para verificar parâmetros térmicos em Ouro Velho/PB no dia 19/06/2018.

Na Tabela 15 encontram-se as características climatológicas (temperatura e precipitação) da região em estudo no período de 1911-1990 (79 anos), os quais foram coletados e organizados de acordo com Sentelhas *et al.* (2003).

Tabela 15: Tabela 15: Normal climatológica da região em estudo no período de 1911-1990.

Ponto	Municípios	Temperatura (°C) média do período analisado	Precipitação (mm) média do período analisado
P1	Cabaceiras	24,2	25
P2	Serra Branca	24,1	43
P3	Coxixola	23,9	41
P4	Caraúbas	23,8	32
P5	Congo	23,7	45
P6	Camalaú	23,3	52
P7	São João do Tigre	22,9	41
P8	São Sebastião do Umbuzeiro	23,1	50
P9	Monteiro	23,5	70
P10	Sumé – corresponde a Ouro velho	23,8	47

Fonte: Adaptado de Sentelhas *et al.* (2003).

Ao analisar a Tabela 15 verifica-se que dentre os municípios avaliados o que apresentou maior temperatura média no período de 1911-1990 e a menor precipitação foi em Cabaceiras, sendo a área que possui um dos menores regimes de chuvas do Brasil, segundo Farias *et al.* (2018), com aproximadamente 333,6 mm ano (FARIAS *et al.* (2018). O município com menor temperatura, por sua vez, foi São João do Tigre (situado nas maiores altitudes dentre os lugares analisados - 1.044 metros), enquanto a maior precipitação foi identificada em Monteiro.

5.2 Comportamentos de variáveis morfológicas dos solos

Quanto às formas do relevo onde foram obtidas as amostras de solos, na maioria são planos, exceto no PV - São João do Tigre que é ondulado. Segundo Lima e Lima (2007) o relevo plano faz com que praticamente toda a água da chuva entra no solo, propiciando condições para formação de solos profundos, mas, podem ocorrer em solos rasos quando a região é muito seca, como é o caso da área de estudo em questão, na qual a quantidade de chuvas não é suficiente para a formação de um solo profundo. Também podem existir solos rasos em regiões planas, mesmo em climas muito chuvosos, quando os solos são desenvolvidos a partir de rochas muito resistentes ao intemperismo (alteração) (LIMA e LIMA, 2007).

O relevo ondulado, conforme Silva (2006) retarda o desenvolvimento de formação do solo, influenciando na quantidade de água (precipitação) absorvida e retida no solo; é instável; atua na velocidade de perda de solo por erosão; orienta o movimento de materiais em suspensão ou em solução de uma área para outra (transporte/deposição).

No que concerne às **cores dos solos** analisados nas condições seca e úmida, essas são visualizadas no Quadro 1 e Figura 18.

Quadro 1: Cor dos solos analisados

Solos nos municípios	Código Munsell	Seco	Código Munsell	Úmido
RL - Cabaceiras	10YR 4/4	Castanho amarelado escuro	2.5Y 4/2	Castanho Cinzento Escuro
RR - Serra Branca	7.5YR 6/2	Cinza rosado	7.5YR 5/3	Castanho
RL - Coxixola	2.5YR 3/3	Castanho avermelhado escuro	2.5YR 2,5/3	Castanho avermelhado escuro
PV - Caraúbas	5YR 4/6	Vermelho amarelado	5YR 3/4	Castanho avermelhado escuro
RR - Congo	2.5YR 4/2	Vermelho fraco	5Y 3/2	Cinza oliva escuro
TX - Camalaú	7.5YR 4/4	Castanho	7.5YR 2,5/2	Castanho muito escuro
PV - São João do Tigre	7.5YR 4/3	Castanho	10YR 2/2	Castanho muito escuro
CX - São Sebastião do Umbuzeiro	2.5YR 6/4	Castanho avermelhado claro	Castanho amarelado escuro	Castanho amarelado escuro
TX - Monteiro	7.5YR 5/2	Castanho	Castanho	Castanho
CX - C - Ouro Velho	5 YR 3/1	Cinza Muito Escuro	Preto	Preto

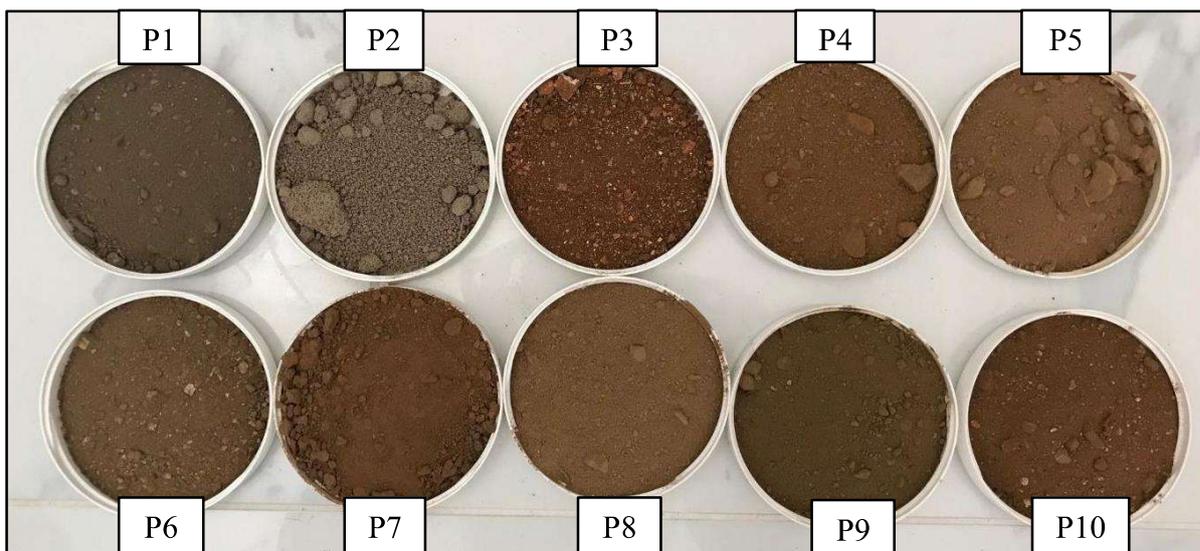


Figura 18: Cores dos solos da região em estudo.

Legenda: 1: RL - Cabaceiras; 2: RR - Serra Branca, 3: RL - Coxixola; 4: PV - Caraúbas; 5: RR- Congo; 6: TX - Camalaú; 7: PV- São João do Tigre; 8: CX - São Sebastião do Umbuzeiro; 9: TX- Monteiro; 10: CX - Ouro Velho.

Ao analisar tais informações, verificou-se que as cores variam de amarelo (10YR) ao vermelho (2.5YR). Há predomínio da cor amarela (7.5YR) no TX em Camalaú e Monteiro, RR em Serra Branca e PV em São João do Tigre, cuja coloração segundo Teixeira *et al.* (2009) depende do teor de óxidos hidratados do mineral (goethita). E da cor vermelha em RL (Coxixola), RR (Congo) e CX (São Sebastião do Umbuzeiro) que de acordo com Teixeira, Macedo, Martins (2009) dependem principalmente do conteúdo de sesquióxidos e óxidos de ferro não-hidratados (hematita). Os demais solos possuem a mesma quantidade de amarelo e vermelho. Verificou-se também a presença de tons de cinza no Cambissolo Háplico Eútrofico típico (Ouro Velho), sendo isso devido à presença de vegetação (matéria orgânica).

Ressalta-se que materiais claros refletem maior quantidade de energia, enquanto materiais escuros absorvem mais energia (SALTON, 1991), sendo essa situação constatada desde 1917 por Mossier e Gustafon.

Mossier e Gustafon (1917 *apud* SALTON, 1991) mantiveram em um experimento parcelas com a superfície do solo escura e clara, verificando que a temperatura do solo a 5 cm de profundidade foi 5,9°C superior na parcela escura.

No Quadro 2 apresenta-se o comportamento da estrutura dos solos avaliados.

Quadro 2: Estruturas das amostras de solos avaliados

Solos nos municípios	Tipo da estrutura	Tamanho da estrutura	Grau da estrutura
RL - Cabaceiras	Grão Simples	Não aplica-se	Não aplica-se
RR - Serra Branca	Blocos Subangulares	Muito pequeno; pequeno; médio	Fraca
RL - Coxixola	Blocos Subangulares	Muito pequeno	Fraca
PV - Caraúbas	Blocos Subangulares	Pequeno e médio	Moderada
RR - Congo	Blocos Subangulares	Médio e grande	Fraca
TX - Camalaú	Blocos Subangulares	Pequeno e médio	Fraca
PV - São João do Tigre	Blocos Subangulares	Muito pequeno	Moderada
CX - São Sebastião do Umbuzeiro	Blocos Subangulares	Muito pequeno	Moderada
TX - Monteiro	Blocos Subangulares	Médio	Moderada
CX - C - Ouro Velho	Blocos Subangulares	Pequeno	Fraca

Ao observar o Quadro 2, verifica-se que o tipo da estrutura presente na maioria dos solos analisados foi o de blocos subangulares (apresentam faces planas e ângulos agudos na maioria dos vértices) cujas partículas não se ajustam perfeitamente às unidades vizinhas, dificultando assim a interação entre trocas gasosas e hídricas entre solo-atmosfera. Apenas o Neossolo Litólito Eutrófico típico (Cabaceiras) apresentou estrutura com grãos simples.

Segundo Carreira (2005) quando as partículas que compõem um solo têm aproximadamente o mesmo tamanho e estão arranjadas no solo de forma semelhante permitindo a formação de poros bem distribuídos e tamanhos semelhantes, esse é caracterizado por possuir estrutura simples, facilitando assim trocas de calor, gases e água entre solo e atmosfera.

Conforme Pessoa (2006) solos com partículas angulares e planas podem alcançar maiores densidades através de vibração mecânica, tornando-se melhores condutores térmicos que solos com partículas esféricas.

O tamanho da estrutura da maioria dos solos analisados varia de muito pequeno a médio, fazendo com que haja contato maior entre os grãos, resultando assim maior condutividade térmica (FAROUKE, 1986).

De acordo com Pessoa (2006) a estrutura formada através de agregações aumenta a proporção de macroporos em relação à de microporos, resultando assim numa densidade total do solo menor que a densidade dos agregados de partículas, o que reduz a capacidade desses solos de conduzir calor.

Sobre o grau da estrutura dos solos avaliados (a força da união entre os agregados), este variou entre fraco (maioria) a moderado. Tal comportamento facilita a condução de calor entre as partículas, principalmente nos Neossolos Regolíticos presentes em Serra Branca e Congo, Neossolo Litólito em Coxixola, Luvissole em Camalaú. O Cambissolo em Ouro Velho apresentou grau fraco.

Referente a consistência nos estágios seca, úmida e molhada nos solos averiguados, esses dados são observados no Quadro 3.

Quadro 3: Comportamento das consistências nos solos em análise.

Solos nos municípios	Consistência- Seca	Consistência Úmida	Consistência - Molhada	
			Plasticidade	Pegajosidade
RL - Cabaceiras	Solta	Firme	Não Plástico	Não Pegajoso
RR - Serra Branca	Macia	Friável	Não Plástico	Não Pegajoso
RL - Coxixola	Ligeiramente dura	Friável	Ligeiramente Plástico	Pegajoso
PV - Caraúbas	Ligeiramente duro	Friável	Plástico	Pegajoso
RR - Congo	Ligeiramente duro	Muito Friável	Não Plástico	Não Pegajoso
TX - Camalaú	Duro	Friável	Ligeiramente Plástico	Não Pegajoso
PV - São João do Tigre	Duro	Muito Friável	Não Plástico	Não Pegajoso
CX - São Sebastião do Umbuzeiro	Ligeiramente duro	Friável	Ligeiramente Plástico	Ligeiramente Pegajoso
TX - Monteiro	Ligeiramente duro	Friável	Ligeiramente Plástico	Ligeiramente Pegajoso
CX - C - Ouro Velho	Ligeiramente duro	Friável	Não Plástico	Ligeiramente Pegajoso

Ao analisar o Quadro 3 verifica-se que a maioria dos solos no estágio seco possui consistência ligeiramente duro a duro, dificultando trocas de calor, gases e água entre solo e atmosfera, com exceção em RL- Cabaceiras (solta) e RR – Serra Branca (macia).

No estágio úmido, a maior parte dos solos em questão é friável a muito friável, exceto o Neossolo Litólico em Cabaceiras que é firme, facilitando assim a condução de calor entre as partículas.

Quanto a plasticidade e pegajosidade em solos molhados, a maioria é não plástico e não pegajoso, devido a textura do solo ser predominantemente arenosa, fazendo com que o manejo seja facilitado ao comparar com solos argilosos, permitindo a penetração de raízes, águas pluviais e facilitando a condução de calor.

Quanto ao comportamento das raízes nos solos analisados (Quadro 4), a maioria desse apresentou tamanho muito fino a fino e em pouca quantidade, podendo isto estar relacionado ao processo de antropização existente nesses locais, como descrito na caracterização da área de estudo, bem como visto no início deste capítulo, com exceção do Neossolo Regolítico, localizado no município do Congo, com tamanho médio e grosso. Tal comportamento pode ser explicado pela existência de maior teor de argila em relação às demais amostras e por situar-se na base de afloramento rochoso.

Quadro 4: Comportamento das raízes nos solos em análise

Solos nos municípios	Tamanho	Quantidade
RL - Cabaceiras	Ausente	Ausente
RR - Serra Branca	Muito Fino, Fino e Médio	Pouca
RL - Coxixola	Ausente	Ausente
PV - Caraúbas	Muito Fino	Pouca
RR - Congo	Fino, Médio e Grosso	Pouca
TX - Camalaú	Não se aplica	Não se aplica
PV - São João do Tigre	Fino	Pouca
CX - São Sebastião do Umbuzeiro	Muito Fino	Pouca
TX - Monteiro	Muito Fino e Fino	Pouca
CX - C - Ouro Velho	Muito Fino	Pouca

Lunguinho (2018) constatou que os sopés dos afloramentos rochosos em áreas de Caatinga apresentam maior capacidade de manter o recurso hídrico devido às condições topográficas dominantes (principalmente quando existem superfícies côncavas), condicionando geração de solos mais desenvolvidos, com alto potencial de matéria orgânica na superfície e presença da vegetação. Assim, a água fica mais tempo retida no solo e as raízes presentes se desenvolvem melhor do que nos outros locais analisados, em condições menos favoráveis a esse acúmulo de água e sedimentos.

No que tange ao comportamento dos poros, pode ser visualizado no Quadro 5.

Quadro 5: Comportamento dos poros nos solos na área em estudo

Solos nos municípios	Tamanho	Quantidade
RL - Cabaceiras	Grande	Abundante
RR - Serra Branca	Pequeno	Pouco
RL - Coxixola	Muito pequeno	Pouco
PV - Caraúbas	Muito pequeno e pequeno	Pouco
RR - Congo	Médio	Comum
TX - Camalaú	Pequeno	Pouco
PV - São João do Tigre	Médio	Comum
CX - São Sebastião do Umbuzeiro	Muito pequeno, pequeno e médio	Comum
TX - Monteiro	Grande, médio e pequeno	Comum
CX - Ouro Velho	Muito pequeno e pequeno	Comum

Conforme Castro (2020) o arranjo das partículas é que define a porosidade do solo, que por sua vez condiciona a aeração e o movimento da solução em seu interior. Nos solos bem estruturados a presença de agregados grandes e estáveis, os macroagregados, condiciona a ocorrência de poros grandes, pelos quais a água e o ar podem se mover livremente e as raízes de plantas encontram caminhos fáceis para crescer. Na região em estudo a presença de agregados grandes foi detectada no RL-Cabaceiras e TX – Monteiro. E de tamanho de poros médio no RR - Congo, PV- São João do Tigre e CX- São Sebastião do Umbuzeiro.

Ainda de acordo com Castro (2020) em oposição ao conceito de solo bem estruturado, solos de estrutura massiva (adensados ou compactados) apresentam poucos ou raros macroporos, sendo por isso que o movimento de água e ar e o crescimento de raízes são praticamente inexistentes. Esses tamanhos de poros (muito pequeno e pequeno) ocorrem no RR – Serra Branca, RL- Coxixola, PV – Caraúbas, TX – Camalaú e CX - Ouro Velho.

5.3 Comportamentos de variáveis físicas dos solos

Na Tabela 16 apresenta-se o desempenho das propriedades físicas da camada superficial dos locais de abertura dos perfis em campo para análise física, química e morfológica dos solos em análise.

Tabela 16: Propriedades físicas da camada superficial dos solos avaliados

Horizonte	Profundidades (cm)	Areia Grossa (dag kg-1)	Areia Fina (dag kg-1)	Silte (dag kg-1)	Argila (dag kg-1)	Classe textural
P1 - NEOSSOLO LITÓLITO Eutrófico típico - RL (Cabaceiras)						
AC	0-20	5,31	2,03	1,68	9,80	Franco-Arenosa
P2 - NEOSSOLO REGOLÍTICO Distrófico léptico – RR (Serra Branca)						
Ap e A	0-30	5,98	2,59	0,76	0,66	Areia Franca
P3 - NEOSSOLO LITÓLITO Eutrófico saprólito – RL (Coxixola)						
A, B e Cr	0-30	2,93	2,55	1,60	2,93	Franco-Argilo-Arenosa
P4 - ARGISSOLO VERMELHO Distrófico abrupto – PV (Caraúbas)						
A e B _t	0-30	4,08	2,15	2,13	1,64	Franco-Arenosa
P5 - NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico saprolítico leptico arênico - RR (Congo)						
A e C ₁	0-20	5,93	1,98	1,34	7,47	Areia Franca
P6 - LUVISSOLO HÁPLICO órtico típicos - TX (Camalaú)						
A	0-20	3,50	2,83	2,03	1,65	Franco-Arenosa
P7 - ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Alítico Típico - PV (São João do Tigre)						
A	0-20	3,90	1,86	2,31	1,94	Franco-Arenosa
P8 - CAMBISSOLO HÁPLICO TB Eutrófico léptico - CX (São Sebastião do Umbuzeiro)						
A	0-15	4,34	2,19	1,73	1,74	Franco-Arenosa
P9 - LUVISSOLO CRÔMICO Órtico lítico - TX (Monteiro)						
A	0-30	3,56	2,96	1,34	2,14	Franco-Argilo-Arenosa
P10 - CAMBISSOLO HÁPLICO Eutrófico típico – CX (Ouro Velho)						
A	0-15	3,70	2,36	1,60	2,33	Franco-Argilo-Arenosa

Ao analisar os dados da Tabela 16 verifica-se que a granulometria dos solos é predominantemente arenosa, prevalecendo classes com textura franco-arenosa a franco-argilo-arenosa, seguindo um padrão comum para essa parte do país, conforme exposto em Pereira e Dantas Neto (2014) e Jesus e Gama (2020).

Assim, dentre os solos analisados, o RR (Serra Branca), PV (Caraúbas) e CX – (São Sebastião do Umbuzeiro, respectivamente, apresentaram maiores quantidades de areias (grossas e finas) e o RL (Cabaceiras e Coxixola) e RR (Congo), exibiram maiores teores de argila.

Conforme Pessôa (2006) solos de granulometria fina, silto-argilosos, formados por agregados de partículas, possuem películas d'água entre as partículas e não possuem, portanto, o contato direto entre os grãos do esqueleto sólido. Além disso, a estrutura formada através de agregações aumenta a proporção de macroporos em relação à de microporos, resultando assim numa densidade total do solo menor que a densidade dos agregados de partículas, o que reduz a capacidade desses solos de conduzir calor.

Segundo Farouki (1986) as areias, em relação aos solos argilosos apresentam uma maior taxa de aumento da condutividade térmica com o aumento da densidade seca, pois os minerais argílicos possuem condutividade térmica em torno de 4 vezes a da água, e o quartzo em torno de 15 vezes a da água.

5.4 Comportamentos de variáveis química dos solos

Na Tabela 17 consta o comportamento das propriedades químicas da camada superficial dos solos avaliados.

Tabela 17: Propriedades químicas da camada superficial dos solos em questão

Horizonte	Profundidade (cm)	pH H ₂ O	P (mg/dm ³)	K (cmol _e /dm ³)	Na (cmol _e /dm ³)	Ca ²⁺ (cmol _e /dm ³)	Mg ²⁺ (cmol _e /dm ³)	Al ³⁺ (cmol _e /dm ³)	H+Al (cmol _e /dm ³)	SB (cmol _e /dm ³)	t (cmol _e /dm ³)	T (cmol _e /dm ³)	V (%)	M (%)	ISNa (%)	MO (C Org)	P-Rem (mg/L)	
P1 - NEOSSOLO LITÓLITO Eutrófico típico (Cabaceiras)																		
AC	0-20	6,23	19,0	0,91	0,12	4,16	1,3	0	0,90	6,49	6,49	7,39	87,8	0,0	1,68	0,92	50,7	
P2 - NEOSSOLO REGOLÍTICO Distrófico léptico (Serra Branca)																		
Ap e A	0-30	5,48	8,2	0,11	0,00	0,60	0,11	0,36	1,17	0,82	1,18	1,99	40,5	32,9	0,00	0,25	52,2	
P3 - NEOSSOLO LITÓLITO Eutrófico saprólito (Coxixola)																		
A, B e C _t	0-30	9,88	165,1	0,54	0,22	29,89	4,97	0,00	3,30	35,62	35,62	38,92	152,7	0,0	0,93	1,63	74,4	
P4 - ARGISSOLO VERMELHO Distrófico abrupto (Carauabas)																		
A e B _t	0-30	7,06	30,8	0,35	0,32	7,23	2,15	0,00	0,40	10,04	10,04	10,44	94,8	0,0	2,17	0,35	46,7	
P5 - NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico saprólito leptico arênico (Congo)																		
A e C ₁	0-25	5,79	6,0	0,17	0,00	3,54	0,36	0,00	1,00	4,08	4,08	5,08	80,5	0,0	0,03	1,21	53,5	
P6 - LUVISSOLO HÁPLICO órlico típicos (Camalaüt)																		
A e B _t	0-20	6,34	12,9	0,60	0,06	7,37	2,13	0,00	1,07	10,16	10,16	11,22	90,9	0,0	0,49	0,81	34,4	
P7 - ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Alítico Típico (São João do Tigre)																		
A	0-20	7,56	361,6	1,68	0,04	9,43	3,73	0,78	0,50	14,88	15,66	15,38	96,7	5,0	0,27	1,68	36,2	
P8 - CAMBISSOLO HÁPLICO TB Eutrófico léptico (São Sebastião do Umbuzeiro)																		
A	0-15	5,87	9,7	0,49	0,03	4,44	0,78	0,00	2,4	5,74	5,74	8,14	70,5	0,0	0,31	1,19	45,8	
P9 - LUVISSOLO CRÔMICO Órtico lítico (Monteiro)																		
A e B ₁	0-25	5,97	6,1	0,10	0,04	7,19	1,30	0,00	2,00	8,63	8,63	10,63	81,0	0,0	0,38	1,33	45,6	
P10 - CAMBISSOLO HÁPLICO Eutrófico típico (Ouro Velho)																		
A	0-15	6,57	75,2	0,58	0,02	16,00	2,17	0,00	1,3	18,77	18,77	20,07	93,5	0,00	0,08	2,23	43,5	

5.4.1 Acidez

Ao avaliar a Tabela 18, segundo classificação de Alvarez *et al.* (1999) o Neossolo Regolítico, situado em Serra Branca e Congo, Cambissolo Háplico TB Eutrófico léptico em São Sebastião do Umbuzeiro e Luvissole Crômico Órtico lítico em Monteiro possuem pH H₂O entre 5 e 5,9 (médio).

Conforme Prezotti e Guarçoni M. (2013), nessa faixa de valores há ausência de Al³⁺ (tóxico), boa disponibilidade de Boro (B), disponibilidade intermediária dos demais micronutrientes e pH ideal para a maioria das plantas.

Tabela 18: Interpretação da acidez ativa (pH) dos solos em análise

Solos nos municípios	pH H ₂ O	Classificação
RL- Cabaceiras	6,23	Fraca
RR - Serra Branca	5,48	Média
RL - Coxixola	9,88	Alcalinidade elevada
PV - Caraúbas	7,06	Alcalinidade fraca
RR - Congo	5,79	Média
TX - Camalaú	6,34	Fraca
PV - São João do Tigre	7,56	Alcalinidade fraca
CX - São Sebastião do Umbuzeiro	5,87	Média
TX - Monteiro	5,97	Média
CX - Ouro Velho	6,57	Fraca

Ainda de acordo com Prezotti e Guarçoni M. (2013), o pH do solo considerado adequado ao crescimento e desenvolvimento das plantas está situado entre 6,0 a 6,5. Assim, dentre os solos avaliados, os que contêm o intervalo supracitado (adequado) são: Neossolo Litólito Eutrófico típico (Cabaceiras), Luvissole Háplico órtico típicos (Camalaú) e Cambissolo Háplico eutrófico típico (Ouro Velho).

Ressalta-se que, dentre os solos analisados não há nenhum com pH abaixo de 5,4; logo, esses não indicam a presença de alumínio trocável, apesar da existência desse em pequena quantidade no PV - São João do Tigre (0,78 cmol/dm³) e RR - Serra Branca (0,36 cmol/dm³).

Já as classes de solos mais alcalinas são o Neossolo Litólito Eutrófico saprólito (Coxixola) e o Argissolo Vermelho (São João do Tigre e Caraúbas), com pH H₂O de 9 e 7, respectivamente. Sobral *et al.* (2015) relatam que pH próximo a 9 indica a presença de sódio. Prezotti e Guarçoni M. (2013) destacam que em solos com pH superior a 6,5 há

redução acentuada na disponibilidade dos micronutrientes Zn, Cu, Fe e Mn, enquanto a solubilidade do Fe decresce aproximadamente mil vezes para cada unidade de aumento do pH do solo.

Segundo Kiehl (1979), a alcalinidade ocorre quando a pluviosidade é baixa e acumulam-se sais de cálcio, magnésio, potássio e carbonato de sódio, saturando o complexo coloidal.

5.4.2 Condições de nutrientes no solo

Ao analisar a **saturação de bases (V%)** dos solos em análise na Tabela 16, verifica-se que o Neossolo Regolítico Distrófico léptico (Serra Branca) com 40,5% é o único dentre os analisados considerado distrófico (baixa fertilidade natural), pois apresenta V menor que 50%, conforme Prezotti e Guarçoni (2013).

As demais classes são estimadas como eutróficas, com alta fertilidade natural, apresentando valores acima de 70% que, de acordo com Prezotti e Guarçon (2013), dispensam a necessidade de calagem. O Neossolo Litólito Eutrófico saprólito (Coxixola) com 152,7% e Argissolo Vermelho Amarelo Alítico Típico (São João do Tigre) com 96,7% foram os que apresentaram as maiores saturações de bases.

No que tange às **bases dominantes** na Tabela 16, predominaram, respectivamente, o Cálcio (Ca^{2+}), Magnésio (Mg^{2+}), Potássio (K) e Sódio (Na). Segundo Prezotti e Guarçoni (2013), os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} estão diretamente relacionados com a acidez dos solos e conseqüentemente interferem na sua fertilidade. Geralmente solos ácidos apresentam baixos teores de Ca^{2+} e de Mg^{2+} e solos de boa fertilidade, maiores teores de Ca^{2+} e de Mg^{2+} .

Sobre o **Cálcio (Ca)** nos solos analisados (Tabela 16), de acordo com a classificação de Prezotti e Guarçoni (2013), apenas o Neossolo Regolítico Distrófico léptico (Serra Branca) possui valor baixo ($0,60 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$), apresentando acidez e baixa fertilidade; o Neossolo Regolítico Eutrófico saprólito leptico arênico (Congo) é o único que possui valor médio ($3,4 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$) e os demais foram considerados altos (acima de $4,0 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$).

No que concerne ao **Magnésio (Mg)**, a maioria dos solos avaliados (Tabela 16) são classificados por Sobral *et al.* (2015) com altos valores ($>1,0 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$). Entretanto, dentre esses, o Neossolo Regolítico tanto em Serra Branca como no Congo possui valores

baixos ($< 0,4 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$), enquanto o Cambissolo Háplico TB Eútrofico léptico (São Sebastião do Umbuzeiro) apresenta valor médio ($0,4 - 1,0 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$) com $0,8 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$

Diante do exposto, verifica-se que a maioria dos solos analisados possui no geral teores elevados de Ca e Mg, ou seja, níveis adequados de nutrientes.

Quanto ao comportamento do **Potássio (K)** nas amostras analisadas (Tabela 16), seguindo a classificação de Sobral *et al.* (2015), verifica-se que todos os solos analisados apresentaram valores altos ($> 0,15 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$), ou seja, indica solos mais intemperizados, que ocorrem em solos de regiões mais secas, segundo Sobral *et al.* (2015).

Em relação ao **sódio disponível (troçável) (Na)** e **Índice de Saturação de Sódio (ISNa)** nos solos analisados (Tabela 16), nenhum é considerado sódico e nem salino, pois conforme estabelecido em Prezotti e Guarçoni (2013), apresentam valores de Na inferiores a $0,71 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ e de ISNa menor que 10%.

Os solos que apresentaram os maiores teores de Na foram o Argissolo Vermelho Distrófico abrupto (Caraúbas) com $0,32 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ e o Neossolo Litólito Eutrófico saprólito (Coxixola) com $0,22 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$, respectivamente. Os que apresentaram os maiores teores de ISNa foram o Argissolo Vermelho Distrófico abrupto (Caraúbas) com 2,17% e Neossolo Litólito Eutrófico típico (Cabaceiras) com 1,68%, concomitantemente.

Referente aos comportamentos do **Fósforo (P)**, presente na Tabela 16, verifica-se que PV - São João do Tigre, RL- Coxixola, CX- Ouro Velho e Caraúbas, respectivamente, apresentaram os maiores valores de P ($> 20 \text{ mg}/\text{dm}^3$ devido solo ser classificado como arenoso) conforme classificação da Sobral *et al.* (2015). Enquanto os solos mais carentes desse elemento ($< 10 \text{ mg}/\text{dm}^3$ devido solo ser classificado como arenoso) de acordo com classificação da Sobral *et al.* (2015) foram: RR - Congo, TX- Monteiro, RR- Serra Branca, CX - São Sebastião do Umbuzeiro, Tx- Camalaú e RL - Cabaceiras.

A quantidade de **P-rem** (método que verifica o poder de tampão do solo, ou seja, a capacidade que tem o solo de manter certa quantidade de P na solução do solo, ou seja, o P disponível) nos solos analisados (Tabela 16), os menores valores situam-se no Tx- Camalaú, PV - São João do Tigre e CX- Ouro Velho, portanto, maior é a capacidade desses solos de fixarem fósforo. Os maiores valores dessa variável, por sua vez, situam-se no RL - Coxixola, RR - Congo e RR- Serra Branca, ou seja, menor é a capacidade desses solos de fixarem fósforo.

Quanto ao **carbono orgânico** existente na matéria orgânica nos solos analisados, variou de 0,25% (RR- Serra Branca) a 2,23% (CX - Ouro Velho), ou seja, os menores valores encontram-se em locais mais antropizados, devido inexistência da cobertura vegetal, sendo assim esses solos são mais suscetíveis à lixiviação e erosão no período chuvoso, conforme exposto por Silva *et al.* (2005) e Salcedo e Sampaio (2008).

Ressalta-se que conforme Abegaz *et al.* (2016) o comportamento do carbono orgânico reflete-se diretamente na fertilidade do solo, fornecimento de nutrientes às plantas, porosidade e erosão. Tal comportamento é exposto por Silva (2022, p. 1):

O papel da MOS como condicionador de solo é muito mais relevante do que como fonte de nutrientes. Dentre as propriedades da MOS que contribuem para a melhoria e manutenção da fertilidade do solo, a presença de cargas elétricas pode ser considerada a mais importantes, pois influencia diretamente na capacidade de troca de cátions do solo (CTC), notadamente em solos arenosos e muito intemperizados, atuando na retenção e disponibilização de nutrientes, retenção e complexação de poluentes, retenção de umidade, estruturação do solo, manutenção de biodiversidade, entre outras. Além disso, a MO contribui para a diminuição da fixação do P no solo. Os atributos físicos do solo também são afetados de maneira positiva pela presença da MOS. De maneira geral, teores mais elevados de matéria orgânica condicionam uma melhor estruturação do solo, graças à sua ação cimentante, aumentando a porosidade, a permeabilidade e a aeração do solo, além de reduzir a plasticidade e a coesão do solo, favorecendo as operações de preparo, e a perda de solo por escoamento superficial (erosão). A manutenção da MOS em quantidades e qualidades desejáveis está relacionada diretamente com a qualidade dos compostos de carbono aportados, das condições climáticas e das propriedades do solo. Condições de clima quente e úmido, típicas de regiões tropicais, apresentam, de modo geral, maior susceptibilidade à perda de carbono (SILVA, 2022, p. 1).

Silva *et al.* (2005) abordam que há solos mais ou menos suscetíveis à erosão pluvial, tanto do ponto de vista de sua pedogênese (fatores intrínsecos) quanto do ponto de vista do manejo adotado (fatores extrínsecos). E Salcedo e Sampaio (2008) expõem que a erosão promove uma redistribuição de sedimentos, com carbono associado.

Silva *et al.* (2005) relatam ainda que o carbono orgânico foi o constituinte encontrado em maior quantidade no sedimento erodido, sendo importante enfatizar a necessidade de práticas conservacionistas que reduzam a ação erosiva da chuva, mantendo essa fração orgânica no solo, uma vez que ela é importante na manutenção da sua estrutura, retenção de umidade e CTC, entre outros atributos.

De acordo com Araújo (2011) ao analisar a dinâmica do carbono e sua variabilidade em função dos pulsos e interpulsos da precipitação na encosta do açude Namorados, em São João do Cariri/PB (Cariri Paraibano), foi possível identificar meses com maiores acúmulos e/ou ganhos e outros que apresentaram perdas desse elemento. Assim, a tendência em relação aos dados de carbono foi apresentar menores valores, significando maiores perdas, entre os meses de janeiro a março, bem como no período de maio a julho, coincidindo com o período chuvoso da região.

Na Tabela 19 verifica-se a correlação entre textura e propriedades químicas dos solos estudados.

Tabela 19: Coeficientes de correlação entre textura e propriedades químicas dos solos estudados

Variáveis químicas	AG	p-valor	AF	p-valor	S	p-valor	A	p-valor
pH H ₂ O	-0.644	0,00034	-0.036	1,3E-06	0.379	1,56E-07	-0.109	0,005489
pH KCl	0.125	0,44697	-0.683	0,000292	0.644	2,61E-05	0.062	0,16425
P	-0.377	0,10445	-0.386	0,09575	0.511	0,092845	-0.179	0,099639
K	-0.249	2,67E-07	-0.529	3,38E-08	0.696	4,38E-05	0.097	0,019845
Na	-0.355	5,17E-07	-0.098	4,54E-09	0.426	8,04E-07	0.004	0,008374
Ca ²⁺	-0.721	0,11673	0.170	0,03461	0.195	0,022584	-0.144	0,066428
Mg ²⁺	-0.768	0,00075	-0.015	0,38128	0.558	0,628052	-0.195	0,2275
Al ³⁺	0.109	2,53E-07	-0.339	4,35E-11	0.180	2,04E-07	-0.280	0,008968
H+Al	-0.423	3,23E-06	0.435	0,00988	-0.296	0,449969	-0.155	0,088691
SB	-0.745	0,04841	0.116	0,01698	0.288	0,011866	-0.147	0,027815
t	-0.743	0,04543	0.107	0,01592	0.293	0,011129	-0.155	0,026019
T	-0.744	0,02916	0.148	0,010836	0.248	0,00775	-0.153	0,018028
V	-0.702	5,11E-06	-0.014	4,2E-06	0.462	3,93E-06	0.097	4,78E-06
m	0.530	0,87576	0.157	0,67008	-0.624	0,530024	-0.330	0,871952
ISNa	-0.138	1,15E-07	-0.205	1,89E-05	0.433	0,002079	0.270	0,022635
MO (C org)	-0.493	1,06E-06	-0.104	9,41E-05	0.197	0,055374	0.049	0,055406
P-Rem	0.027	5,55E-07	0.047	3,68E-07	-0.436	3,24E-07	0.241	2,14E-07

Legenda: pH H₂O (Acidez ativa em água); pH KCl (Acidez ativa em solução aquosa de Cloreto de Potássio); Fósforo disponível (P); Potássio disponível (K); Sódio (Na); Cálcio (Ca²⁺); Magnésio (Mg²⁺); Alumínio (Al³⁺); Acidez potencial ou total (H+Al); Soma de Bases (SB); CTC efetiva (t); CTC Total (T); Saturação por bases (V); Saturação por alumínio (m); Índice de Saturação de Sódio (ISNa); Matéria orgânica do solo (MO); Fósforo remanescente (P-rem).

Ao analisar a Tabela 18, verifica-se que a argila não se relaciona com nenhuma variável química analisada, pois a quantidade desta é muito pequena ao ser comparada com os níveis de areia e silte, conforme visto anteriormente.

O pH se relaciona com quase todas as texturas, exceto com a argila, pois ela geralmente concentra-se na camada superficial.

O potássio (K) encontra-se presente em solos com maior teor de areia fina e silte, que indica a presença de minerais primários com pouco intemperismo nessas texturas. Já os teores de cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), Soma das Bases (SB), Capacidade de Troca Catiônica Efetiva (t), Capacidade de Troca Catiônica Total (T) e Saturação por Bases (V) encontram-se na areia grossa, demonstrando também que há níveis menores de intemperismo, quantidade de bases disponíveis e de superfície específica ao comparar com a argila.

Segundo Lima *et al.* (2007) em regiões de baixa precipitação (áridas e semiáridas), os solos são menos intemperizados, mais rasos e geralmente pedregosos.

5.5 Comportamentos de variáveis térmicas dos solos

Neste subcapítulo será exposta a estatística descritiva da difusividade, condutividade, resistividade, capacidade calorífica e temperatura das amostras de solos analisadas.

5.5.1 Difusividade térmica

Na Tabela 20 consta a estatística descritiva da variável difusividade (m^2/s) das amostras dos solos analisados.

Tabela 20: Estatística descritiva da difusividade térmica ($\cdot 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$) nos solos estudados

	RL - Cabaceiras	RR - Serra Branca	RL - Coxixola	PV - Caraúbas	RR - Congo	TX - Camalaú	PV - São João do Tigre	CX - São Sebastião do Umbuzeiro	TX - Monteiro	CX - Ouro Velho
Média	2,89	1,99	1,92	2,39	1,96	1,97	2,46	2,52	2,68	2,17
Mediana	2,89	1,98	1,94	2,39	1,99	1,97	2,45	2,51	2,43	2,19
Moda	2,89	1,97	1,95	2,38	1,99	1,95	2,44	2,50	2,40	2,22
Mínima	2,85	1,95	1,86	2,31	1,78	1,94	2,39	2,47	2,37	1,98
Máxima	2,97	2,05	1,99	2,51	2,15	2,05	2,63	2,61	3,22	2,29
Desvad.	0,002	0,003	0,004	0,005	0,010	0,003	0,005	0,004	0,036	0,007
CV(%)	0,843	1,264	1,872	2,252	4,875	1,530	2,070	1,431	13,542	3,011
Q1	2,87	1,97	1,88	2,34	1,86	1,95	2,44	2,50	2,40	2,14
Q2	2,89	1,98	1,94	2,39	1,99	1,97	2,45	2,51	2,43	2,19
Q3	2,90	2,00	1,95	2,43	2,04	1,99	2,46	2,56	3,12	2,22

Legenda: Vermelho: maiores valores observados; Azul: menores valores observados.

Verifica-se que o RL- Cabaceiras foi o que apresentou o maior valor de média, mediana, moda, mínima, quartil 1 e 2 e menor valor de desvio padrão e coeficiente de variação da difusividade térmica ao comparar com os demais solos em estudo. Essa situação pode ser explicada em virtude desse tipo de solo (Neossolo Litólito Eutrófico típico) possuir estrutura, consistência e poros (quantidade e tamanho) diferente dos demais solos analisados.

No RL- Cabaceiras o tipo da estrutura é grão simples, a consistência é solta (seca) e firme (molhada) e os poros possuem tamanho grande e quantidade abundante, cujas características facilitam a interação entre trocas gasosas e hídricas entre solo-atmosfera, fazendo com que o calor seja transmitido facilmente entre suas partículas e atingindo maiores profundidades e dimensões.

Já o RL-Coxixola (Neossolo Litólito Eutrófico saprólito) exibiu os menores valores de média, mediana, moda, mínima, máxima, quartil 2 e 3 de difusividade térmica. Esse comportamento pode ser explicado por possuir propriedades morfológicas menores que os demais solos analisados, tais como tamanho da estrutura (arranjo estabelecido pela ligação das partículas primárias do solo entre si por substâncias diversas encontradas no solo) ser muito pequeno e o grau dessa estrutura ser fraco, bem como os poros possuírem tamanho muito pequeno e em pouca quantidade, ou seja, menores partículas dentro os solos analisados, impedindo assim a fluidez do transporte de calor para dentro do solo.

Outro fator que influencia no comportamento na baixa difusividade é a quantidade de íon e sais (propriedades químicas) existentes no NL – Coxixola. Neste, tem-se o maior teor de Na ($0,22 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$), Ca^{2+} ($29,9 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$), Mg^{2+} ($4,47 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$), H+Al ($3,30 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$), t ($35,6 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$), T ($38,9 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$), V ($152,7 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$), e P-rem ($74,4 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$), dentre os solos analisados e elevados valores de P ($165,10 \text{ mg}/\text{dm}^3$) e MO Corg ($1,63$).

Segundo Pessôa (2006) qualquer mudança físico-química que ocorra entre as superfícies das partículas ou na região de contato entre elas, pode resultar em mudanças significativas na transferência de calor, pois influencia os arranjos das partículas.

De acordo com Pessôa (2006) estruturas formadas através de agregações aumentam a proporção de macroporos em relação à de microporos, resultando assim numa densidade total do solo menor que a densidade dos agregados de partículas, o que reduz a capacidade desses solos de conduzir calor.

Essa mudança significativa na transferência de calor é comprovada por Pusch (1973 *apud* PESSÔA, 2006), mostra que íons e sais tornam as partículas floculadas, com grandes vazios e sem orientação preferencial, dificultando assim a transferência de calor, como descrito a seguir:

argilas ricas em sal, argilas marinhas ou formadas em águas salobras, geralmente apresentam uma distribuição randômica de suas partículas, ou seja, possuem uma estrutura floculada, com grandes vazios, enquanto argilas formadas em água doce mostram alguma evidência de orientação preferencial, ou seja, possuem uma estrutura dispersa, com alguma ordem e com menos vazios entre as partículas. As argilas com estruturas dispersas podem apresentar uma maior condutividade térmica do que argilas floculadas, pois o ordenamento das partículas leva a uma melhora nas propriedades de transferência de calor (PUSCH, 1973 *apud* PESSÔA, 2006).

Abu-Hamdeh e Reeder (2000), por meio de análises de laboratório em amostras de solos da Jordânia quanto a densidade, teor de umidade, concentração de sais e quantidade de matéria orgânica na condutividade térmica de solos arenosos e argilosos, orgânicos e não orgânicos, descobriram também que quanto maior a concentração de sais (NaCl e CaCl²) e a quantidade de matéria orgânica, menor a condutividade térmica dos solos.

Assim, diante da quantidade de íons e sais presentes em RL-Coxixola (Neossolo Litólito Eutrófico saprólito), atrelado ao fato de possuir menor tamanho da estrutura, bem como os poros possuírem tamanho muito pequeno e em pouca quantidade dentre os solos analisados, ocorre dificuldade na fluidez do transporte de calor para dentro do solo nessa amostra.

Ao comparar os valores médios encontrados para a difusividade térmica na região em estudo (1,86 a $3,22 \cdot 10^{-6}$ m²/s) em relação a faixa de valores de difusividade térmica obtidas na literatura (1 a $10 \cdot 10^{-7}$ m²/s), conforme posto em: Horton *et al.* (1983); Antonino *et al.*, (1997); Silva (2003), Verhoef (2004); Rao *et al.* (2005), Silans *et al.*, (1996); Andrade *et al.* (2006), Silans *et al.*, (2006); McCorry e Jones (2011), Maciel Neto (2011), McCorry e Jones (2011), Diniz *et al.*, (2013a), Maciel Neto *et al.* (2015), Silva-Aguilar (2018), verifica-se que esses são elevados, sendo os resultados desses estudos visualizados ao longo desse trabalho.

Entretanto, a pesquisa de Diniz *et al.*, (2014b), no município de Lagoa Seca/PB sobre difusividade térmica nos anos de 2010 e 2011 em Neossolo Regolítico na camada

de 5 até 15 centímetros de profundidade oscilou entre 0,74 a $1,98 \times 10^{-6}$ m²/s, apresentou valores superiores a semelhantes aos encontrados na tese em questão.

E o trabalho de Fidelis Filho (1988) ao analisar a difusividade térmica em solos do semiárido brasileiro na profundidade de 2 a 10 cm nos municípios de São Gonçalo/PB, Campina Grande/PB, Surubim/PE, Bebedouro/PE e Mandacaru/BA, verificou os seguintes valores respectivamente: 2×10^{-5} a 0,000266 m²/s; 8×10^{-6} a 0,000418 m²/s; $1,5 \times 10^{-5}$ a 0,000692 m²/s; 1×10^{-5} a 0,001642 m²/s; $1,7 \times 10^{-5}$ a 0,000236 m²/s, ou seja, valores superiores em relação ao da pesquisa em questão.

Ressalta-se que, a escala de valores de difusividade térmica obtida no Analisador de Propriedades Térmicas KD2 Pro da Decagon Devices utilizado nos solos do presente estudo varia de 0,1 a 1,0 mm²/s, mas que foram transformados para ficar entre 1,0 a 10,0 m²/s assim, os resultados obtidos na presente pesquisa são considerados baixos de acordo com a escala citada e posto na literatura.

Assim, a maioria dos comportamentos da difusividade visualizada na literatura (menor do que os dados do presente trabalho) pode ser explicada em virtude de utilizarem métodos analíticos e estimativos distintos para mensurar tal variável, cuja explicação é posta a seguir por Maciel Neto *et al.* (2015), Hillel (2004) e Alvalá *et al.* (2004, p.3).

De acordo com Maciel Neto *et al.* (2015) diversos métodos foram publicados na literatura para se determinar in loco a difusividade térmica do solo, utilizando dados de temperatura do solo em diferentes profundidades. Dentre eles, pode ser citado: i) método logarítmico (Horton *et al.*, 1983; Antonino *et al.*, 1997) e ii) método harmônico (Horton *et al.*, 1983; Antonino *et al.*, 1997; Silans *et al.*, 2006; Soares, 2009).

Segundo Maciel Neto *et al.* (2015) a modelagem da temperatura da superfície do solo tem sido uma tarefa desafiadora para os pesquisadores há muito tempo. A maneira mais simples de estimar, aproximadamente, a temperatura do solo é obter uma equação modelo de uma função senoidal, na qual ela varie com o tempo em torno de um valor médio.

Hillel (2004) aborda que as variações reais, na natureza, não são tão sequenciais, essa equação modelo (de uma função senoidal, na qual ela varie com o tempo em torno de um valor médio) pode não seguir a observação real em alguns momentos. Uma possível solução para este modelo é por meio de uma equação unidimensional vertical de difusão de calor, equação de Fourier, supondo-se o meio homogêneo e isotrópico, e considerando-se a difusividade térmica constante (HILLEL, 2004).

Alvalá *et al.* (2004, p.3) expõe também a dificuldade de estimar a difusividade ou a condutividade térmica dos solos:

Diversos métodos analíticos têm sido apresentados para estimar a difusividade ou a condutividade térmica dos solos. Alguns envolvem modelos teóricos (de Vries, 1963) ou modelos semi-empíricos. Embora estes modelos baseiem-se na fração volumétrica dos constituintes dos solos, eles se aplicam para solos com estrutura simples. Outros métodos baseiam-se em medidas de temperatura do solo observadas no campo. Muitos deles são deduzidos de soluções analíticas da equação de condução de calor unidimensional com a difusividade constante em um meio semi-infinito (Horton et al., 1983). Portanto, eles se aplicam para solos homogêneos. Horton et al. (1983) examinaram diversos deles, os quais se baseiam na solução analítica da equação de condução de calor, considerando a temperatura no limite superior definida por uma função senoidal ou por séries de Fourier. Mostraram que o método harmônico foi o mais confiável se comparado com os demais examinados. A solução analítica usada nestes métodos não exige conhecimento do perfil inicial de temperatura. Isto em razão da hipótese de periodicidade constante, a qual está implícita nestas soluções. Entretanto, esta hipótese nem sempre é válida, particularmente em regiões onde mudanças abruptas de tempo podem ocorrer em períodos curtos, por exemplo, como durante a passagem de uma frente fria. Outros autores têm usado métodos baseados na Transformada de Laplace (MTL), o qual exige um perfil inicial de temperatura (Asrar e Kanemasu, 1982). Para estes métodos a exigência de uma suposição de periodicidade constante não é necessária; logo, podem ser aplicados durante períodos de tempo mais curtos do que com o método harmônico. Por esta razão eles podem melhor preencher a condição de constância da difusividade. Asrar e Kanemasu (1982) argüíram que a cada dia é possível obter um perfil de temperatura uniforme quando ocorre inversão de gradientes na temperatura do solo. Contudo, eles não estudaram a sensibilidade do método para esta hipótese. Silans (1988) mostrou que o MTL é muito sensível ao perfil inicial de temperatura e propôs a introdução de um termo de correção que leva em conta a não uniformidade do perfil inicial de temperatura. Todos os métodos mencionados acima assumem homogeneidade vertical das propriedades térmicas. Contudo, em geral, como em solos nus ou em solos de regiões semiáridas cobertas com vegetação esparsa, onde a camada superior do solo seca muito rápido, esta suposição pode não ser válida próximo da superfície do solo. Lettau (1954) desenvolveu uma teoria de transferência de calor no solo, considerando a difusividade térmica espacialmente não homogênea no solo, baseando-se na suposição de periodicidade uniforme. Nassar e Horton (1989) aplicaram este método para dados de campo de um solo argilo siltooso e também para valores de temperatura gerados por um modelo numérico. Eles investigaram o procedimento com o ajuste dos parâmetros da teoria de Lettau, e concluíram que os melhores resultados foram obtidos com ajuste por "spline" cúbico (ALVALÁ *et al.*, 2004, p.3).

Já os dados utilizados no presente trabalho foram obtidos por meio de equipamento especializado como sensores e termopares, utilizado em laboratório, sendo

esse mais preciso, embora seja um instrumento de valor elevado, o que aumenta o custo das análises para quem não o tenha.

Além desses fatores, vale destacar que a temperatura do solo varia de acordo com os processos de troca de energia atuante em cada território, localização geográfica, uso e ocupação do solo e cobertura vegetal, conforme destacado por Maciel *et al.* (2015):

A temperatura do solo varia em função das mudanças ocorridas nos processos de troca de energia, as quais ocorrem principalmente na superfície do solo. Os efeitos desses fenômenos são propagados dentro do perfil do solo por uma complexa série de processos de transporte, sendo que as taxas desses transportes são afetadas pelas propriedades do solo, as quais são variáveis no tempo e no espaço. Deste modo, a formulação quantitativa e a predição do regime térmico do solo assumem uma grande importância (MACIEL *et al.*, 2015, p.2).

5.5.2 Condutividade térmica

Na Tabela 21 apresenta-se a estatística descritiva da variável condutividade térmica (W/(m.K)) das amostras de solos avaliados.

Tabela 21: Estatística descritiva da condutividade térmica (W/(m.K)) nos solos analisados

	RL - Cabaceiras	RR - Serra Branca	RL - Coxixola	PV - Caraúbas	RR - Congo	TX - Camalaú	PV - São João do Tigre	CX - São Sebastião do Umbuzeiro	TX - Monteiro	CX - Ouro Velho
Média	0,386	0,266	0,250	0,376	0,278	0,312	0,324	0,389	0,367	0,315
Mediana	0,386	0,266	0,251	0,376	0,279	0,311	0,324	0,391	0,345	0,315
Moda	0,386	0,266	0,252	0,373	0,279	0,315	0,323	0,391	0,324	0,315
Mínima	0,379	0,265	0,246	0,365	0,273	0,306	0,316	0,377	0,324	0,298
Máxima	0,393	0,269	0,256	0,391	0,282	0,318	0,344	0,400	0,447	0,331
Desvad.	0,003	0,001	0,003	0,007	0,003	0,004	0,007	0,007	0,043	0,008
CV(%)	0,83	0,35	1,06	1,82	1,04	1,28	2,09	1,84	11,60	2,43
Q1	0,385	0,266	0,247	0,372	0,275	0,308	0,321	0,382	0,332	0,311
Q2	0,386	0,266	0,251	0,376	0,279	0,311	0,324	0,391	0,345	0,315
Q3	0,388	0,267	0,252	0,381	0,281	0,315	0,326	0,395	0,415	0,320

Legenda: Vermelho: maiores valores; Azul: menores valores.

Ao analisar a Tabela 21, observa-se que o CX - São Sebastião do Umbuzeiro apresentou a maior mediana, moda e mínima de condutividade térmica dentre as amostras

analisadas, ou seja, há menor variação de temperatura na superfície e maior é o armazenamento de calor.

Tal fato pode ser explicado em virtude da existência de vegetação densa no local onde foram obtidas as amostras de solos, fazendo com que haja menor variação de temperatura superficial, pois dificulta a penetração de radiação solar direta no solo, bem como, há armazenamento de umidade, sendo tais situações visualizadas também nos trabalhos de Salton (1991), Amazonas (2013) e Pessôa (2006) no capítulo de 3. Referencial Teórico.

No que concerne aos menores valores de condutividade dentre as amostras analisadas, encontram-se no Neossolo Litólito Eutrófico saprólito em Coxixola. Essa situação ocorre em virtude desse solo possuir maiores concentrações de alguns elementos químicos, como: Na ($0,22 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$), Ca^{2+} ($29,9 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$), Mg^{2+} ($4,97 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$), H+Al ($3,30 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$), e P-rem ($74,4 \text{ mg/L}^{-1}$) dentre os solos avaliados, fazendo com que a condutividade térmica seja menor do que nos demais solos.

Abu-Hamdeh e Reeder (2000) ao analisarem em laboratório os efeitos da densidade, teor de umidade, concentração de sais e quantidade de matéria orgânica na condutividade térmica de solos arenosos e argilosos, orgânicos e não orgânicos da Jordânia, descobriram que quanto maior a concentração de sais (NaCl e CaCl^2) e a quantidade de matéria orgânica, menor a condutividade térmica dos solos.

Outra possível explicação para os valores baixos de condutividade no Neossolo Litólito Eutrófico saprólito em Coxixola, pode estar relacionada ao processo de dilatação e contração do solo devido a hidratação e secagem, ocasionada pela precipitação ou águas provenientes de rio intermitente situado a aproximadamente 65 metros dos locais onde foram obtidas as amostras de solos, tal como destacado em trabalho de Farouki (1981).

Diante das variações sazonais dos processos de hidratação e secagem dos solos, ocorre a dilatação e retração, provocando fissuras e conseqüentemente resistência à propagação do fluxo de calor no solo. E no que tange a compactação dos solos, seja essa por ação natural ou por ação artificial/mecânica, faz com que ocorra a diminuição do volume de ar presente no solo, proporcionando, assim, um aumento da área de contato e do número de pontos de contato entre as suas partículas sólidas (FAROUKI,1981).

Ao comparar os valores médios encontrados de condutividade térmica na área em estudo ($0,250$ a $0,389 \text{ w}/(\text{m.k})$) com os valores de condutividade térmica observados na

literatura (Horton *et al.*, (1983), Antonino *et al.*, (1987), Silans *et al.*, (1996), Verhoef (2004), Rao *et al.*, (2005), Maciel Neto (2011), McCorry e Jones (2011), Maciel *et al.* (2015), Li *et al.* (2017), Lopes *et al.* (2019) verifica-se que são semelhantes, conforme visto no Capítulo 3. Referencial Teórico.

A condutividade térmica dos solos analisados de acordo com o Hukseflux Thermal Sensors (2003) encontra-se na faixa de areia úmida (0,25 a 2,00 W/(m^ok)).

5.5.3 Resistência térmica

A Tabela 22 exhibe a estatística descritiva da resistência térmica (°C·cm/W) das amostras de solos analisados.

Tabela 22: Estatística descritiva da resistência térmica (°C·cm/W) nas amostras de solos analisadas

	RL - Cabaceiras	RR - Serra Branca	RL - Coxixola	PV - Caraúbas	RR - Congo	TX - Camalaú	PV - São João do Tigre	CX - São Sebastião do Umbuzeiro	TX - Monteiro	CX - Ouro Velho
Média	258,8	375,0	400,0	266,0	358,9	320,8	308,0	257,0	276,0	317,2
Mediana	258,8	375,3	397,7	266,2	358,4	320,9	308,7	256,1	290,5	317,4
Moda	258,9	375,3	396,9	268,3	358,4	317,4	307,3	263,4	0,0	311,1
Mínima	254,7	370,2	391,3	255,6	346,2	314,0	288,4	250,0	223,6	302,4
Máxima	263,3	377,6	406,7	273,7	365,9	327,0	316,3	265,3	309,0	335,9
Desvad.	2,11	1,61	4,20	4,73	4,06	4,04	6,82	4,81	30,17	7,73
CV(%)	0,82	0,43	1,05	1,78	1,13	1,26	2,22	1,87	10,93	2,44
Q1	257,6	374,2	396,9	262,7	355,2	317,4	307,0	253,0	241,4	312,6
Q2	258,8	375,3	397,7	266,2	358,4	320,9	308,7	256,1	290,5	317,4
Q3	259,8	376,2	404,7	269,1	363,3	324,4	311,4	261,9	301,2	321,7

Legenda: Vermelho: maiores valores; Azul: menores valores.

Ao analisar os dados da Tabela 22 verifica-se que os solos que possuem maior resistência térmica são o RL- Coxixola e RR- Serra Branca, respectivamente, apresentando menor condutividade. Isso ocorre no RL - Coxixola devido a possuir maiores valores de soma das bases (SB), Capacidade de troca catiônica efetiva (t), capacidade de troca catiônica total (T), saturação por bases (V), saturação por alumínio (M), índice de saturação de sódio (ISNa) e matéria orgânica (MO) em relação a todos os demais solos analisados nesta pesquisa.

Segundo Pessoa (2006) íons e matéria orgânica presentes nas interfaces formando soluções também diminuem a condutividade térmica dos solos, pois além de dispersarem as ondas térmicas, possuem condutividade térmica menor que a dos cristais puros. Íons mais pesados substituindo outros na estrutura cristalina, requerem maior energia para a excitação, tornando a propagação das ondas térmicas através dos cristais menos efetiva.

No RR- Serra Branca tal comportamento é explicado por possuir maior granulometria dentre os solos estudados, havendo assim um menor contato entre as partículas do solo, dificultando assim o processo de condução. Conforme Freitas (1995) é intuitivo que uma porção de solo seco apresente uma alta resistência à dissipação de calor e que, à medida em que o ar no interior dos seus poros vai sendo substituído por umidade, a transferência de calor através desse solo vai sendo facilitada.

Os solos que possuem menores valores de resistência térmica são o CX – São Sebastião do Umbuzeiro e RL – Cabaceiras, os mesmos que possuem maior condutividade térmica. Esse comportamento no CX – São Sebastião do Umbuzeiro pode ser explicado em virtude da existência de vegetação densa nesses locais, fazendo com que a água armazenada nesse ambiente aumente a condução de calor, conforme explicado no capítulo 3.2.1 Condutividade Térmica.

No RL – Cabaceiras, a menor resistência térmica pode ser explicada por possuir o tipo da estrutura em grão simples, consistência solta (seca) e firme (molhada) e poros de tamanho grande e quantidade abundante, cujas características facilitam a interação entre trocas gasosas e hídricas entre solo-atmosfera, fazendo com que o calor seja transmitido facilmente entre suas partículas e atingindo maiores profundidades e dimensões.

Diante do exposto, verificou-se que os fatores que se encontram associados à variação da resistência térmica dos solos, representam de igual forma os fatores que provocam alterações na sua condutividade térmica, atuando, no entanto, de forma inversa no seu valor (CALADO, 2016).

5.5.4 Capacidade Calorífica

Na Tabela 23 exibe a estatística descritiva da capacidade calorífica MJ/(m³.K) das amostras de solos estudadas.

Tabela 23: Estatística descritiva da capacidade calorífica (MJ/(m³K)) nos solos avaliados.

	RL - Cabaceiras	RR - Serra Branca	RL - Coxixola	PV - Caraúbas	RR - Congo	TX - Camalaú	PV - São João do Tigre	CX - São Sebastião do Umbuzeiro	TX - Monteiro	CX - Ouro Velho
Média	1,336	1,343	1,318	1,575	1,421	1,575	1,316	1,537	1,374	1,452
Mediana	1,340	1,347	1,319	1,576	1,402	1,578	1,320	1,548	1,373	1,453
Moda	1,343	1,354	1,336	1,583	1,402	1,573	1,309	1,554	1,374	1,471
Mínima	1,361	1,358	1,514	1,607	1,531	1,606	1,346	1,590	1,469	1,507
Máxima	1,361	1,358	1,514	1,607	1,531	1,606	1,346	1,590	1,469	1,507
Desvad.	0,014	0,013	0,038	0,016	0,054	0,020	0,018	0,036	0,041	0,024
CV(%)	1,051	0,934	2,921	0,990	3,820	1,283	1,377	2,323	2,971	1,652
Q1	1,330	1,338	1,292	1,568	1,380	1,570	1,304	1,524	1,344	1,440
Q2	1,340	1,347	1,319	1,576	1,402	1,578	1,320	1,548	1,373	1,453
Q3	1,343	1,352	1,338	1,583	1,482	1,585	1,329	1,558	1,407	1,466

Legenda: Vermelho: maiores valores e Azul: menores valores.

Ao analisar a Tabela 22, verifica-se que a capacidade calorífica dos solos oscilou entre 1,3 a 1,6 MJ/(m³K). O TX - Camalaú (Luvissole Háplico órtico típicos) e o PV-Caraúbas (Argissolo Vermelho Distrófico abrupto) foram os que apresentaram maiores valores de calor necessária para aumentar uma unidade de volume (m³), ou seja, 1,6 MJ/(m³K).

O PV – São João do Tigre e RL – Coxixola e RL – Cabaceiras apresentaram a menor quantidade de calor necessária para aumentar uma unidade de volume (m³) do solo - 1,3 MJ/(m³K), os quais são os mais antropizados e com pouca e/ou nenhuma cobertura vegetal em relação aos demais analisados.

Abu-Hamdeh (2003), mostrou que o calor específico aumenta com a elevação do teor de umidade. Além disso, a capacidade calorífica volumétrica de calor aumenta com a ascensão do teor de umidade e densidade do solo.

Ainda conforme Abu-Hamdeh (2003) o conteúdo de água desempenha um papel importante papel na capacidade de calor do solo, mas é o mais difícil de gerir, pelos seguintes motivos: o manejo do solo afeta a capacidade calorífica porque práticas que causam compactação irão aumentar a densidade aparente e diminuir a porosidade da área afetada, tendo assim um efeito significativo.

Ações como compactação do solo, decorrente da diminuição ou inexistência de cobertura vegetal, fazem com que aumente a densidade das partículas e diminua a

porosidade do solo, sendo necessário mais calor para aumentar uma unidade de volume (m^3), conforme observado por Abu-Hamdeh (2003).

Ressalta-se que valores de capacidade calorífica de alguns tipos de solos e minerais, presente na Tabela 6 no subcapítulo 3.3.2. Capacidade Calorífica ou Calor específico volumétrico neste trabalho, mostram que areia úmida oscila entre 1600 a 2200 MJ/ m^3k , ou seja, entre 1,6 a 2,2 MJ/(m^3K), conforme McCorry e Jones (2011).

E as capacidades caloríficas no TX - Camalaú (Luvissole Háplico órtico típicos) e no PV- Caraúbas (Argissolo Vermelho Distrófico abrupto) são de 1,6 MJ/(m^3K), ou seja, são os solos que apresentam os valores mais próximos da faixa de areia úmida, indicando assim que precisam de maior quantidade de calor necessária para aumentar uma unidade de volume (m^3), embora isso não possa ser confirmado, pois neste trabalho não foram coletados dados de umidade do solo.

Segundo Couto (2016) a precipitação promove alteração no conteúdo de água do solo, influenciando na variação da capacidade calórica do mesmo e, além disso, altera a temperatura do solo, originando um fluxo ascendente do calor no solo. Isso ocorre devido à redução do aquecimento da superfície, visto que, em dias chuvosos, há uma maior cobertura de nuvens que interceptam parte da radiação solar, provocando alterações no particionamento da radiação líquida nos processos de aquecimento do solo, do ar e da evaporação da água.

5.5.5 Temperatura do solo

Na Tabela 24 encontra-se a estatística descritiva da temperatura ($^{\circ}C$) das amostras de solos avaliadas.

Tabela 24: Estatística descritiva da temperatura (°C) nos solos analisados

	RL - Cabaceiras	RR - Serra Branca	RL - Coxixola	PV - Caraúbas	RR - Congo	TX - Camalaú	PV - São João do Tigre	CX – São Sebastião do Umbuzeiro	TX - Monteiro	CX - Ouro Velho
Média	31,7	37,9	31,4	29,7	31,4	30,9	28,6	30,5	29,2	29,4
Mediana	31,5	38,6	31,7	28,9	31,4	30,7	29,2	30,5	28,9	29,5
Moda	31,1	38,8	30,8	28,6	30,5	30,4	26,2	32,6	28,8	29,0
Mínima	29,8	33,5	27,2	27,6	28,7	20,7	24,3	26,6	27,6	24,9
Máxima	33,0	40,2	34,3	32,1	33,6	33,5	30,9	32,9	30,5	30,9
Desvad.	0,67	1,92	2,18	1,50	1,24	1,80	1,97	1,98	0,85	1,15
CV(%)	2,13	5,06	6,95	5,06	3,94	5,83	6,89	6,50	2,91	3,92
Q1	31,3	36,8	30,1	28,6	30,5	30,4	27,2	28,6	28,6	28,9
Q2	31,5	38,6	31,7	28,9	31,4	30,7	29,2	30,5	28,9	29,5
Q3	31,9	39,6	33,3	31,6	32,2	31,2	30,5	32,4	30,0	30,2

Legenda: Vermelho: maiores valores; Azul: menores valores.

As maiores temperaturas foram obtidas na RR- Serra Branca e RL Cabaceiras. Esse comportamento em RR-Serra Branca pode ser explicado em virtude desse solo ser o mais poroso e possuir menor quantidade de matéria orgânica dentre os analisados.

Chesworth *et al.* (2016) relatam que os solos secos apresentam variações de temperatura mais elevadas devido à reduzida capacidade térmica ao comparar com solos que contêm maior conteúdo de água.

Montanher e Espindola (2017) mostraram que solos arenosos possuem temperaturas maiores do que os solos argilosos quando ambos estão sem cobertura por palha.

Sepaskhah e Boersma (1979) ao analisarem o efeito da temperatura na variação da condutividade térmica quando provocada pela transferência de calor por fluxo de massa através dos poros preenchidos com ar, verificaram que o efeito da temperatura na condutividade térmica é maior quanto maior o espaço poroso é preenchido com ar.

De acordo com Santos (1987) as variações de temperatura na superfície do solo são uma função das propriedades térmicas do solo, cobertura e fatores meteorológicos (temperatura do ar, radiação solar, vento, etc), dessa forma, a temperatura pode ser um indicador do conteúdo da água no solo (SANTOS, 1987).

Quando a superfície do solo está úmida a evaporação é o principal fator de controle de perda de calor. Depois que a camada da superfície seca e o suprimento de água no solo não pode suprir a demanda evaporativa, a perda de calor é largamente influenciada pela inércia térmica, definida como $(p \cdot c \cdot \lambda)^{1/2}$ onde p é a densidade, c é o calor específico e λ é a condutividade térmica, é uma indicação de resistência do solo para as variações da temperatura. Desde que p , c , λ de um solo aumenta enquanto o seu conteúdo de água aumenta, a amplitude resultante da onda diária de temperatura da superfície diminui (SANTOS, 1987).

Segundo Amazonas (2013) a temperatura em um meio poroso depende de alguns fatores, tais como: diferença na intensidade de absorção de calor de um solo, variações do calor específico do solo e diferenças na condutividade térmica.

Em RL - Cabaceiras a possível explicação para esse desempenho é porque possui maior teor de argila dentre os solos avaliados. Conforme Abu-Hamdeh (2003) o solo argiloso apresentou maior calor específico e capacidade de aquecimento volumétrico que o solo arenoso para um mesmo teor de umidade e densidade.

Outra possível explicação é em virtude do RL Cabaceiras possuir características que facilita a interação entre penetração e trocas de calor, gasosas e hídricas entre solo-atmosfera, como tipo de estrutura (grão simples), consistência (solta estando seca e firme quando molhada) e poros de tamanho grande e quantidade abundante, as quais fazem com que obtenha a maior difusividade dentre os solos analisados.

Os solos com menores temperaturas foram o PV – São João do Tigre e TX-Monteiro, respectivamente. No PV – São João do Tigre a possível explicação para esse comportamento é devido apresentar maior CTC (corresponde à soma das cargas negativas nas partículas microscópicas do solo (fração argila, e matéria orgânica) retendo os cátions, tais como cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), potássio (K^+), sódio (Na^+), alumínio (Al^{3+}) e hidrogênio (H^+); por apresentar maior quantidade de MO (C org) dentre os solos analisados, bem como situa-se em altas altitudes (1.044 metros em São João do Tigre e 632 metros em Monteiro), sendo esses dentre os que contém maiores altitudes dentre os municípios analisados nesse estudo.

Segundo Pessoa (2006) qualquer mudança físico-química que ocorra entre as superfícies das partículas ou na região de contato entre elas, pode resultar em mudanças significativas na transferência de calor.

No caso de TX- Monteiro, o resultado obtido neste trabalho pode ser explicado pela existência de cobertura vegetal natural, densa e arbustiva, fazendo com que haja disponibilidade de umidade, com a consequente diminuição da temperatura local.

De acordo com Prevedello (2002, p. 1) “materiais com grande quantidade de ar originam coberturas com temperaturas mais amenas no solo. Por isso, as coberturas de matéria vegetal também isolam eficazmente e reduzem a magnitude das oscilações diárias da temperatura do solo”.

5.6 Correlação entre as variáveis térmicas com os aspectos físicos, químicos e morfológicos dos solos na região em análise

Na Tabela 25 visualiza-se os coeficientes de correlação entre as variáveis térmicas (difusividade, condutividade e resistência) com os aspectos físicos, químicos e morfológicos dos solos na região em análise.

Tabela 25: Coeficientes de correlação entre as variáveis térmicas com os aspectos físicos, químicos, morfológicos dos solos na região em estudo

Variáveis físicas, químicas e morfológicas	Difusividade	p-valor	Condutividade	p-valor	Resistência	p-valor
AG	0.009	1,88E-05	-0.068	5,78E-10	0.069	1,28E-08
AF	-0.238	0,734876	-0.189	1,49E-12	0.203	1,21E-08
S	0.252	0,002025	0.405	2,72E-08	-0.446	1,18E-08
A	0.317	0,333893	0.136	0,006131	-0.116	1,26E-08
pH H ₂ O	-0.241	4,80E-09	-0.359	6,67E-12	0.398	1,37E-08
pH KCl	0.128	2,71E-05	0.237	5,08E-09	-0.322	1,30E-08
P	-0.005	0,079023	-0.221	0,071319	0.191	4,69E-05
K	0.302	2,06E-08	0.145	0,146919	-0.189	1,15E-08
Na	0.085	1,50E-13	0.171	4,15E-06	-0.117	1,13E-08
Ca ²⁺	-0.327	0,021956	-0.416	0,004463	0.448	1,64E-08
Mg ²⁺	-0.153	0,429945	-0.260	0,004012	0.268	1,20E-08
Al ³⁺	0.022	4,23E-12	-0.195	0,020983	0.149	1,13E-08
H+Al	-0.169	0,009243	-0.231	0,001440	0.314	1,18E-08
SB	-0.286	0,00876	-0.385	0,002193	0.411	4,72E-09
t	-0.285	0,008038	-0.390	0,002005	0.416	4,74E-09
T1	-0.286	0,004784	-0.385	0,001273	0.418	5,04E-09
V	-0.158	1,19E-08	-0.226	8,40E-09	0.256	7,09E-09
M	-0.289	0,653025	-0.416	0,303901	0.419	3,75E-09
ISNa	0.410	4,75E-06	0.473	0,206924	-0.426	1,15E-08
MO	0.002	6,95E-05	-0.133	0,000421	0.105	1,17E-08
P-Rem	-0.290	1,22E-10	-0.468	6,07E-11	0.566	1,74E-08
R	0.198	9,68E-10	0.352	4,95E-10	-0.312	1,90E-08
G	0.118	2,88E-08	0.166	1,24E-08	-0.128	1,20E-08
B	-0.072	2,62E-06	-0.065	1,03E-06	0.102	9,81E-09
Cascalho-cascalhento	-0.344	1,46E-11	-0.329	0,038252	0.312	1,13E-08

Cascalho- muito cascalhento	0.406	3,34E-09	0.107	0,864794	-0.029	1,14E-08
Cascalho- pouco cascalhento	-0.170	7,92E-08	0.102	0,1129367	-0.164	1,15E-08
Grau- fraca	-0.902	4,19E-08	-0.864	0,313968	0.842	1,15E-08
Grau- moderada	0.546	1,49E-08	0.631	0,659723	-0.627	1,14E-08
Tamanho- média	0.395	1,46E-11	0.277	0,038252	-0.261	1,13E-08
Tamanho- média e grande	-0.344	1,46E-11	-0.329	0,038252	0.312	1,13E-08
Tamanho- muito pequena	0.010	3,34E-09	-0.071	0,86479	0.107	1,14E-08
Tamanho- muito pequena, pequena, média	-0.313	1,46E-11	-0.411	0,038252	0.423	1,13E-08
Tamanho- pequena	-0.128	3,89E-10	-0.076	0,358647	0.024	1,13E-08
Tamanho- pequena e média	-0.177	3,89E-10	0.179	0,358645	-0.211	1,14E-08
Consistência – S - dura	-0.123	0,248815	-0.087	0,112936	0.006	1,14E-08
Consistência – S - ligeiramente dura	-0.082	1,46E-11	0.072	0,0382523	-0.032	1,15E-08
Consistência – S - macia	-0.313	1,46E-11	-0.411	0,038252	0.423	1,13E-08
Consistência – S - solta	0.610	1,46E-11	0.409	0,038252	-0.379	1,13E-08
Consistência – U - firme	0.610	9,93E-08	0.409	0,025721	-0.379	1,13E-08
Consistência – U - friável	-0.285	3,89E-10	-0.043	0,358647	0.070	1,15E-08
Consistência – U - muito friável	-0.131	1,49E-08	-0.258	0,659723	0.204	1,14E-08
Plasticidade - ligeiramente plástico	-0.057	4,19E-08	0.050	0,313968	-0.006	1,14E-08
Plasticidade - não plástico	-0.003	1,46E-11	-0.253	0,038252	0.204	1,15E-08
Plasticidade - plástico	0.097	3,34E-09	0.340	0,864794	-0.330	1,13E-08
Pegajosidade - ligeiramente pegajoso	0.326	4,19E-08	0.412	0,313968	-0.412	1,14E-08
Pegajosidade - não pegajoso	-0.126	3,89E-10	-0.268	0,358647	0.218	1,15E-08
Pegajosidade - pegajoso	-0.215	3,89E-10	-0.138	0,358647	0.199	1,14E-08
Qtd raízes - ausentes	0.169	1,46E-11	-0.086	0,038252	0.162	1,14E-08
Qtd raízes - não avaliado	-0.333	9,93E-08	-0.101	0,025721	0.048	1,13E-08
Qtd raízes - poucas	0.071	1,46E-11	0.141	0,038252	-0.173	1,15E-08
Qtd poros - abundantes	0.610	4,19E-08	0.409	0,313968	-0.379	1,13E-08
Qtd poros - comuns	0.194	1,49E-08	0.172	0,659729	-0.215	1,15E-08
Qtd poros -poucos	-0.572	1,88E-05	-0.426	5,78E-10	0.451	1,14E-08

Legenda: Areia Grossa (AG); Areia Fina (AF); S (Silte); Argila (A); Fósforo disponível (P); Potássio disponível (K); Sódio (Na); Cálcio (Ca²⁺); Magnésio (Mg²⁺); Alumínio (Al³⁺); Acidez potencial ou total (H+Al); Soma de Bases (SB); CTC efetiva (t); CTC Total (T1); Saturação por bases (V); Saturação por alumínio (m); Índice de Saturação de Sódio (ISNa); Red (R) = luminosidade; Green (G) = Cromo A; Blue (B)

= Cromo B; Matéria orgânica do solo (MO); Fósforo remanescente (P-rem); Seca (s); Úmida (U); Marcação em verde para destacar as variáveis que se correlacionaram e de forma significativa.

Ao analisar os coeficientes de correlação na Tabela 25, verifica-se que a difusividade se correlacionou com os dois tipos de graus da estrutura dos solos identificados na área em estudo, sendo o grau fraco classificado como forte relação linear, embora de forma negativa, ou seja, enquanto uma variável aumenta a outra diminui. E com o grau (moderado) foi encontrada moderada relação linear, mas de forma positiva, porque conforme uma variável aumenta, a outra variável também se eleva. Tais níveis de grau da estrutura do solo consistem em possuir uma pequena a média força de união entre as partículas do solo, fazendo com que o calor perpassasse com facilidade entre tais níveis de agregados.

A difusividade apresentou correlação classificada como moderada positiva com a consistência do solo na condição de seco e solto e úmido e firme, ou seja, ambas variáveis aumentam juntas. A primeira condição faz com que a condução de calor perpassasse com facilidade entre as partículas. Na segunda, conforme Picolloto (2016) o comportamento da difusividade térmica em função da umidade está associado ao maior contato entre as partículas sólidas, porque a água adicionada preenche uma maior porção dos poros, favorecendo a aglomeração entre os grãos do material.

A difusividade obteve correlação com a quantidade de poros e com volume de pouco a abundante com classificação moderada, sendo a quantidade de poros abundantes de forma positiva, ou seja, enquanto uma variável eleva-se, a outra aumenta e a quantidade de poucos poros de forma negativa, porque, conforme uma variável aumenta, a outra diminui. Ressalta-se que, quanto maior a quantidade de poros, mais rápida será a penetração e percolação de água, além de favorecer a troca gasosa entre solo e a atmosfera (BUSKE, 2013).

Tais informações corroboram com o que foi exposto em Picolloto (2016), ao destacar que as “propriedades físicas que têm maior influência sobre a difusividade térmica são a umidade, grau de compactação e estrutura”.

A condutividade térmica teve correlação classificada como moderada apenas com a estrutura do solo (morfológico), especificamente nos graus fraco a moderado, pois nesses há pequena e média força de união entre os agregados do solo, favorecendo assim

a condução de calor entre as partículas. Consequentemente, há uma relação inversa com a resistividade térmica, ou seja, menor é a resistência de calor entre as partículas.

No que concerne a correlação entre resistência térmica com as demais variáveis analisadas, verifica-se que ocorre em solos com grau fraco e moderado, conforme citado, bem como com o P-REM, indicando a presença de óxido de ferro, o qual possivelmente faz com que haja dissipação de calor e diminuição da condutividade térmica, conforme exposto por Pessoa (2006):

impurezas presentes nas interfaces formando soluções também diminuem a condutividade térmica dos solos, pois além de dispersarem as ondas térmicas, possuem condutividade térmica menor que a dos cristais puros. Íons mais pesados substituindo outros na estrutura cristalina, requerem maior energia para a excitação, tornando a propagação das ondas térmicas através dos cristais menos efetiva (PESSOA, 2006).

Na Tabela 26 encontram-se os coeficientes de correlação entre as variáveis térmicas (capacidade calorífica, temperatura do analisador de propriedades térmicas KD2) com os aspectos físicos, químicos, morfológicos dos solos na região em estudo.

Tabela 26: Coeficientes de correlação entre as variáveis térmicas com os aspectos físicos, químicos, morfológicos dos solos na região em estudo

Variáveis físicas, químicas e morfológicas	Capacidade calorífica	p-valor	Temperatura	p-valor
AG	-0.170	1,24E-05	0.637	1,29E-12
AF	0.102	1,90E-05	0.192	7,87E-11
S	0.371	1,49E-01	-0.747	9,10E-12
A	-0.299	8,58E-02	-0.033	1,56E-14
pH H2O	-0.287	4,23E-07	-0.269	1,17E-12
pH KCl	0.251	2,78E-05	-0.294	4,97E-13
P	-0.465	9,19E-02	-0.344	3,15E-01
K	-0.277	1,93E-04	-0.409	6,41E-12
Na	0.188	2,11E-16	-0.204	3,68E-11
Ca ²⁺	-0.237	1,95E-02	-0.293	7,33E-06
Mg ²⁺	-0.238	3,46E-01	-0.433	3,52E-14
Al ³⁺	-0.466	4,64E-09	0.100	1,90E-12
H+Al	-0.188	9,43E-01	0.034	1,29E-04
SB	-0.249	1,05E-02	-0.336	1,34E-04
t	-0.261	9,86E-03	-0.334	3,37E-04
T1	-0.252	6,92E-03	-0.316	3,37E-04
V	-0.151	3,84E-06	-0.487	1,08E-04
M	-0.330	4,88E-01	0.873	1,10E-05
ISNa	0.200	8,71E-03	-0.197	8,23E-12

MO	-0.283	2,06E-01	-0.582	8,68E-12
P-Rem	-0.443	3,09E-07	0.337	7,47E-04
R	0.306	9,27E-07	0.457	1,54E-03
G	0.077	5,50E-06	0.563	0,133651
B	-0.042	6,72E-05	0.561	0,774936
Cascalho - cascalhento	-0.012	7,18E-08	0.045	3,91E-11
Cascalho - muito cascalhento	-0.541	2,94E-05	-0.082	5,96E-12
Cascalho - pouco cascalhento	0.513	5,79E-04	0.049	6,72E-12
Grau - fraca	-0.028	2,84E-04	0.457	6,55E-12
Grau - moderada	0.212	1,08E-04	-0.515	6,30E-12
Tamanho - média	-0.169	7,18E-08	-0.254	3,91E-11
Tamanho - média e grande	-0.012	7,18E-08	0.045	3,91E-11
Tamanho - muito pequena	-0.227	2,94E-05	-0.231	5,96E-12
Tamanho - muito pequena, pequena, média	-0.272	7,18E-08	0.917	3,91E-11
Tamanho - pequena	0.092	7,18E-08	-0.222	3,91E-11
Tamanho - pequena e média	0.755	4,51E-06	-0.160	3,91E-11
Consistência – S - dura	0.104	4,51E-06	-0.262	4,23E-11
Consistência – S -ligeiramente dura	0.265	5,79E-04	-0.397	6,72E-12
Consistência – S - macia	-0.272	7,18E-08	0.917	3,91E-11
Consistência – S - solta	-0.299	7,18E-08	0.080	3,91E-11
Consistência – U - firme	-0.299	7,18E-08	0.080	3,91E-11
Consistência – U- friável	0.443	9,27E-04	0.129	6,78E-12
Consistência – U -muito friável	-0.283	4,51E-06	-0.208	4,23E-11
Plasticidade - ligeiramente plástico	0.216	1,08E-04	-0.191	6,30E-12
Plasticidade - não plástico	-0.514	2,84E-04	0.298	6,55E-12
Plasticidade - plástico	0.503	7,18E-08	-0.186	3,91E-11
Pegajosidade - ligeiramente pegajoso	0.196	2,94E-05	-0.364	5,96E-12
Pegajosidade - não pegajoso	-0.267	2,84E-04	0.415	6,55E-12
Pegajosidade - pegajoso	0.109	4,51E-06	-0.102	4,23E-11
Qtd raízes - ausentes	-0.493	4,51E-06	0.097	4,23E-11
Qtd raízes - não avaliado	0.503	7,18E-08	-0.027	3,91E-11
Qtd raízes - poucas	0.100	9,27E-04	-0.067	6,78E-12
Qtd poros - abundantes	-0.299	7,18E-08	0.080	3,91E-11
Qtd poros - comuns	-0.047	2,84E-04	-0.500	6,55E-12
Qtd poros - poucos	0.230	1,08E-04	0.461	6,30E-12

Legenda: Areia Grossa (AG); Areia Fina (AF); S (Silte); Argila (A); Fósforo disponível (P); Potássio disponível (K); Sódio (Na); Cálcio (Ca²⁺); Magnésio (Mg²⁺); Alumínio (Al³⁺); Acidez potencial ou total (H+Al); Soma de Bases (SB); CTC efetiva (t); CTC Total (T1); Saturação por bases (V); Saturação por alumínio (m); Índice de Saturação de Sódio (ISNa); Red (R) = luminosidade; Green (G) = Cromo A; Blue (B) = Cromo B; Matéria orgânica do solo (MO); Fósforo remanescente (P-rem); Seca (s); Úmida (U); Marcação em verde para destacar as variáveis que se correlacionaram e de forma significativa.

No que se refere a capacidade calorífica observa-se que se correlaciona com classificação moderada em três aspectos morfológicos do solo: cascalho – pouco e muito cascalhento; tamanho – pequeno e plasticidade – ligeiramente plástico e não plástico.

Quanto ao coeficiente de correlação entre a capacidade calorífica com muito cascalho, verifica-se que esse é negativo, ou seja, enquanto uma variável aumenta, a outra diminui. Nos solos onde existe muito cascalho, há mais espaços para trocas de energia e circulação de água, diminuindo assim a capacidade de armazenamento da temperatura. Nesse caso, a correlação dessa variável térmica com pouco cascalho, faz com que essas trocas gasosas e líquidas diminuam, sendo assim esse coeficiente positivo.

A capacidade calorífica também se correlacionou positivamente com o tamanho pequeno e médio da estrutura do solo, ou seja, essas variáveis aumentam juntas. Segundo Capiche (2008) os fatores que afetam o tamanho da estrutura, principalmente nas camadas superficiais são: o tipo de manejo que se emprega no solo, que dependendo do sistema utilizado (tradicional ou intensivo), causa a quebra dos agregados e, conseqüentemente, das unidades estruturais, reduzindo seu tamanho.

Ainda conforme Capiche (2008) o impacto da chuva na superfície do solo sem cobertura vegetal (provocado por desmatamento, queimadas ou preparo convencional), também propicia a redução do tamanho das unidades estruturais das camadas superficiais, processo agravado pelo efeito da enxurrada que, ao carregar os agregados, promove seu rolamento e, portanto, a redução de tamanho, à semelhança do que ocorre com os seixos rolados nos cursos dos rios e córregos. A compactação do solo, ao dificultar a infiltração da água promove maior acúmulo de umidade na superfície, podendo levar ao encharcamento do solo. Em tal condição de acúmulo de água, os agregados passam a oferecer menor resistência à deformação e ficam mais susceptíveis à desagregação, o que afeta o tamanho das unidades estruturais superficiais (CAPICHE, 2008).

Observou-se que a capacidade calorífica se correlacionou negativamente com solos não plásticos e positivamente com solos plásticos, sendo esse último, devido a argila possuir competência de manter a umidade e temperatura no solo devido sua pequena granulometria.

Nos solos plásticos, por possuírem maior superfície específica, se concentra calor e umidade, ocasionando assim elevação dessas variáveis. De acordo com Castro (2020) os poros entre partículas de argila são muito pequenos e irregulares, ocasionando lento movimento de água e ar no solo. Em solos argilosos os poros entre as partículas são pequenos em tamanho, mas grandes em número, permitindo que seja retida uma grande

quantidade de água, embora uma boa parte dessa possa não estar disponível para as plantas.

Em solos não plásticos esse tipo de comportamento ocorre, pois a umidade e calor flui com maior facilidade entre as partículas, uma vez que se tem carência da argila para unir tais particulados, resultando em fluidez e armazenamento de calor e umidade, por isso enquanto uma variável cresce a outra decresce.

Tal situação é exposta por Alnefaie e Abu-Hamdeh (2013) que ao analisarem o efeito da variação do conteúdo de água e da massa específica no calor específico volumétrico de dois tipos de solo (arenoso e argiloso) e verificaram que o valor do calor específico volumétrico apresenta comportamento linear com o aumento do conteúdo de água para os tipos de solo e para as diferentes massas específicas consideradas.

Alnefaie e Abu-Hamdeh (2013) constataram que mesmo com o comportamento linear supracitado, verificou-se que o aumento deste último proporciona um incremento do valor do calor específico volumétrico tanto para o solo argiloso como para o solo arenoso, resultante da diminuição da porosidade do solo e, por consequência, do aumento da quantidade da fração sólida por unidade de volume.

No que diz respeito à temperatura, verificou-se que está se relacionou significativamente com duas propriedades físicas (AG e S), duas químicas (M, MO) e quatro morfológicas do solo (grau da estrutura, tamanho, consistência e quantidade de poros).

Entre as propriedades físicas, verificou-se que a temperatura se correlacionou positivamente com a areia grossa e negativamente com o silte. Tal fato pode ser explicado, devido aos solos em estudo possuírem maior quantidade de areia grossa do que de silte. Além disso, conforme Castro (2020, p. 2): “embora o silte seja similar a areia na forma e composição mineral, as partículas individuais de silte são tão pequenas que não são visíveis a olho nu”, fazendo com que essa variável seja inversa a temperatura, devido ao acúmulo de calor, e resultando que ocorra o armazenamento de calor em solos com maiores teores dessas partículas.

Dentre as propriedades químicas, a saturação por alumínio (M%) se correlacionou positivamente e a MO negativamente com a temperatura, ou seja, na primeira se elevou junto, enquanto na segunda, uma variável aumenta e a outra diminui. Tais situações são

explicadas pelo fato do alumínio ser um bom condutor de energia térmica, sendo tais variáveis presentes apenas no RR- Serra Branca e PV – São João do Tigre. Já a matéria orgânica (MO) obteve correlação inversa, pois quanto mais MO, menor temperatura. Tal situação é visualizada em Souza *et al.* (2015) na região em estudo (Cariri paraibano).

Souza *et al.* (2015) demonstraram que as temperaturas dos solos em grande parte da região dos Cariris Velhos - PB têm aumentado ao longo do tempo, refletindo a acentuação do desmatamento e da desertificação. Isso acaba acarretando, entre outras consequências, a diminuição da capacidade de germinação das sementes de diversas espécies da Caatinga em temperaturas elevadas, uma vez que poucas são as que conseguem prosperar acima dos 35°C, faixa dominante nessa região para o momento mais atual da análise efetuada, o que dificulta a recuperação espontânea dessas terras através dos processos de sucessão ecológica, mesmo que delas fosse retirado o uso constante a que são submetidas. Assim, com base nos dados apresentados apontam-se a urgência em evitar a expansão do desmatamento na Caatinga, bem como a criação de medidas de recuperação dos ambientes desertificados (SOUZA *et al.*,2015).

Quanto às variáveis morfológicas correlacionadas com a temperatura, verificou-se que o tamanho da estrutura (muito pequena, pequena e média) e consistência (seca e macia) obtiveram correlação positiva, ou seja, aumentam de forma conjunta. Miranda (2010, p. 16) afirma que: “A temperatura do solo é considerada uma resposta de seus atributos físicos é relacionada à diferença na intensidade de absorção (devido à cor), condutividade térmica (considerando compactação e umidade) e as variações no calor específico de seus constituintes (minerais e água)”.

Miranda (2010, p. 17) aborda que “vários fatores como a composição mineralógica, densidade e umidade, cor na superfície, estrutura e teor de matéria orgânica influenciam o comportamento térmico, e merecem importância por caracterizar o processo de transferência de energia térmica entre os sistemas”.

Quanto ao tamanho dos grãos (muito pequena, pequena e média) se relacionar com temperatura do solo, esta característica pode ser explicada pelo contato maior ponto a ponto entre as partículas, dificultando a penetração de calor para outros horizontes e armazenando em superfície, embora facilite o armazenamento de água, fazendo com que tais características influenciam no comportamento da temperatura, sendo tal situação ratificada por Schneider *et al.* (1980), Duarte (2004) e Santos Neto *et al.* (2002).

Segundo Schneider *et al.*, (1980) sabe-se experimentalmente que as propriedades térmicas são uma função da sua textura, densidade, porosidade e teor de umidade, razão pela qual, elas variam de solo para solo e dentro de um mesmo solo, principalmente com seu teor de umidade.

Conforme Duarte (2004) um aumento na temperatura causa um rápido aumento na pressão de saturação do vapor d'água, agindo como força diretora para a difusão do vapor nos vazios preenchidos com ar. O fluxo de vapor é particularmente importante em solos arenosos com baixos graus de saturação.

De acordo com Santos Neto *et al.* (2002), além de dependente da radiação solar, a temperatura do solo relaciona-se à condução de calor entre os seus vazios. Tais autores estudaram a variabilidade diária da temperatura do ar e do solo (geotermômetro) em perfil em Caxiaunã-PA, durante os períodos úmido e seco. A temperatura do solo nas profundidades de 2 a 10 cm apresentaram ao longo do dia, valores maiores, em até 6°C, do que a temperatura do ar, no período seco. Nas camadas de 20, 30 e 50 cm, os valores da temperatura do solo apresentaram pequena amplitude térmica diária, tanto no período úmido como no seco, ao comparar com valores de outras camadas mais superficiais e com a temperatura do ar.

A consistência (que trata da influência do teor de umidade na fração fina dos solos) seca e macia também se correlacionou com a temperatura, tendo essa variável o mesmo comportamento do tamanho das partículas, pois nesse estágio há maior força de coesão e adesão sobre os constituintes do solo dependendo do teor de umidade, influenciando assim na temperatura.

Duarte (2004, p. 76) relata que “qualquer mudança no volume de um corpo de prova devido à temperatura induz a uma mudança nas forças entre partículas, sendo necessário uma reorientação ou um movimento relativo dos grãos de solo”.

Almeida (2005, p. 72) aborda que a “água, sempre presente nos solos, é responsável por grande parte de suas propriedades e do seu comportamento. Na composição química de minerais argílicos, faz parte da composição das pressões a que um solo fica submetido, altera sua consistência (e sua resistência ao cisalhamento) e peso específico (aparente) de uma massa de solo”.

A temperatura se correlacionou também com a quantidade de poros – comuns (presente na maioria dos solos), sendo que com forma inversa, ou seja, enquanto uma variável aumenta a outra diminui. Ressalta-se que a porosidade é responsável pelo armazenamento e transporte de água e ar no solo, assim a temperatura influencia nesse processo na região em estudo.

A relação entre as propriedades químicas (P, K e Al^{3+}) e a temperatura dos solos é explicada por Pessoa (2006), para quem as ligações que resultam das trocas catiônicas podem influenciar na transferência de calor de partícula para partícula. Nesse caso, qualquer mudança físico-química que ocorra entre as superfícies das partículas ou na região de contato entre elas, pode resultar em mudanças significativas na transferência de calor.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na presente pesquisa expôs-se que as características físicas, químicas e morfológicas dos solos (dentre os analisados) fazem com que o calor atinja maiores e menores profundidades, permitindo que a temperatura seja baixa e alta na superfície (difusividade térmica) na mesma classe de solo (Neossolo Litólito em Cabaceiras e Coxixola, respectivamente), ocorrendo comportamentos antagônicos, expondo assim que não é possível estimar as propriedades térmicas a partir da classe do solo.

Verificou-se que a maioria dos valores de difusividades térmicas dos solos encontrados na literatura são menores do que os dados do presente trabalho. Os valores elevados de difusividade no presente estudo pode ser explicado em virtude de: 1) não serem provenientes de métodos analíticos e estimativos e sim obtido por meio de equipamento especializado, como sensor e termopar em laboratório; 2) os solos em análise foram deformados e conforme Miranda (2010) os solos adensados e compactados faz com que os valores de difusividade aumentam com o aumento da condutividade térmica; 3) os solos avaliados nesta pesquisa são predominantemente arenosos, que segundo Abu-Hamdeh (2003) solos arenosos apresentam um valor de difusividade mais elevado que os solos essencialmente constituídos por argila, devido apresentar maior quantidade de quartzo.

Os valores elevados de difusividade térmicas no presente trabalho em relação a maioria dos encontrados na literatura demonstra que rapidamente a energia térmica se difunde através do material. Já os solos com baixos valores de difusividade térmica são capazes de reter a energia por mais tempo (COLABONE, 2002). Assim, observa-se que os solos do Cariri Paraibano averiguados não retém energia por muito, sendo assim um aspecto positivo em ambiente semiárido.

Entretanto, a pesquisa de Diniz *et al.*, (2014b), no município de Lagoa Seca/PB sobre difusividade térmica nos anos de 2010 e 2011 em Neossolo Regolítico na camada de 5 até 15 centímetros de profundidade oscilou entre 0,74 a $1,98 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, apresentou valores superiores a semelhantes aos encontrados na tese em questão. E o trabalho de Fidelis Filho (1988) ao analisar a difusividade térmica em solos do semiárido brasileiro na profundidade de 2 a 10 cm nos municípios de São Gonçalo/PB, Campina Grande/PB, Surubim/PE, Bebedouro/PE e Mandacaru/BA, verificou os seguintes valores respectivamente: 2×10^{-5} a $0,000266 \text{ m}^2/\text{s}$; 8×10^{-6} a $0,000418 \text{ m}^2/\text{s}$; $1,5 \times 10^{-5}$ a $0,000692 \text{ m}^2/\text{s}$; 1×10^{-5}

⁵ a 0,001642 m²/s; 1,7E⁻⁵ a 0,000236 m²/s, ou seja, valores superiores em relação ao da pesquisa em apreço.

Apesar do uso de diferentes metodologias, o presente trabalho, bem como as demais pesquisas sobre difusividade térmica no semiárido brasileiro mostraram-se que esses valores são baixos, estando assim tais resultados conforme existente na literatura.

Averiguou-se quais propriedades físicas, químicas e morfológicas dos solos influência na condutividade térmica, ou seja, quais características possuem maior e menor habilidade em conduzir calor, bem como, quais desses possuem elevada e baixa capacidade de atuar como reservatório de calor (calor específico volumétrico), cujos comportamentos podem influenciar na cobertura vegetal e nas relações desta com os tipos de uso da terra dessa parte do Brasil.

Por meio deste visualizou que a temperatura foi a variável que se correlacionou com as propriedades físicas, químicas e morfológicas.

A umidade é um importante regulador dos processos térmicos no solo, assim sugere-se que em estudos futuros essa variável seja obtida junto com propriedades térmicas para compreender melhor o comportamento de parâmetros termodinâmicos do solo.

Quanto às correlações entre as propriedades térmicas com as variáveis químicas, físicas e morfológicas verificou-se que a difusividade, condutividade e capacidade calorífica se correlacionaram apenas com aspectos morfológicos (estrutura – grau e tamanho, consistência, quantidade de poros, cascalho e plasticidade) já resistência térmica relacionou-se com aspectos químicos e morfológicos (P-rem e grau – fraco e moderado) e a temperatura com aspectos físicos (areia fina e silte), químicos (m e MO_{Corg}) e morfológicos (estrutura – grau moderado e tamanho muito pequena, pequena e média, consistência – seca e macia e quantidade de poros – comuns), comprovando assim a hipótese desta tese que para além da matéria orgânica, características físicas, químicas e morfológicas em conjunto, influenciam as propriedades térmicas dos solos presentes.

A partir do presente estudo, sabe-se quais propriedades químicas, físicas e morfológicas específicas (citadas acima) que influenciam nas propriedades térmicas em solos presentes no semiárido brasileiro, informações até então não encontradas na literatura.

Dessa forma, as propriedades térmicas poderiam entrar no rol de indicadores para quantificar e avaliar a qualidade física de solos. Para tais fins, sugere-se considerar a estrutura, porosidade, consistência e dinâmica da umidade do solo.

Cabe aqui ressaltar que o presente trabalho não tem a pretensão de ser conclusivo e sim expor um ponto de partida para estudos sobre propriedades térmicas em solos do semiárido, destacando a possível relação desses parâmetros térmicos, físico, químicos e morfológicos, bem como auxiliar pesquisas no semiárido brasileiro que trabalhe com desenvolvimento de plantas e agricultura; formação do solo; caracterização do microclima, descontaminação do solo, recuperação de área degradadas; projetos de engenharia (como estocagem de rejeitos radioativos, projetos de rodovias, tubulações e cabos de força enterrados, revestimento de residências) e em demais situações onde a transferência de calor se faz relevante. É, dessa forma, uma contribuição a essa temática, na esperança de que a mesma possa ser melhorada em novos trabalhos.

REFERÊNCIAS

ABU-HAMDEH, N.H. e REEDER, R.C., **Soil Thermal Conductivity: effects off Density, Moisture, Salt Concentration, and Organic Matter**. Soil Science Society of America Journal, 2000.

ABU-HAMDEH, N.H. Thermal properties of soils as affected by density and water content. **Biosystems Engineering**, v.86, p.97-102, 2003. Disponível em: < https://www.academia.edu/1319876/Thermal_properties_of_soils_as_affected_by_density_and_water_content>. Acesso em 19 ago. 2021.

ABU-HAMDEH, N.H., ALNEFAIE, K.A. An analytical solution of the dynamics of a symmetrically operated parallel flow heat exchanger. **Heat Mass Transfer**, 49, 1471–1479, 2013.

ABEGAZ, A.; WINOWIECKI, L. A.; VAGEN, T. G. LANGAN, S. SMITH, J. U. Spatial and temporal dynamics of soil organic carbon in landscapes of the upper Blue Nile Basin of the Ethiopian Highlands. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, vol. 218, pp.190-208, Elsevier BV, 2016. Disponível em: < <https://alliancebioiversityciat.org/publications-data/spatial-and-temporal-dynamics-soil-organic-carbon-landscapes-upper-blue-nile>>. Acesso em 16 ago. 2021.

ALVALÁ, R. C. S.; CHAPA, S. R.; GIELOW, R. Análise da temperatura do solo no pantanal usando transformada em ondas. In: **Anais do Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, 13 – 18 de julho, Piracicaba/SP, 1997.

ALVALÁ, R. C. S.; GIELOW, R.; ARLINO, P. R. A.; MANZI, A. O.; SOUZA de. A. **medidas das propriedades térmicas do solo no Pantanal Sul Matogrossense durante o período seco de 2002**. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE), São Jose dos Campo, SP. 2004.

ALMEIDA. G. C. P. de. **Caracterização Física e Classificação dos Solos**. Faculdade De Engenharia Departamento De Transportes. Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora/MG, 2005. Disponível em: < <https://www.bibliotecaagptea.org.br/agricultura/solos/livros/CARACTERIZACAO%20FISICA%20E%20CLASSIFICACAO%20DOS%20SOLOS.pdf>>. Acesso em 27 ago. 2021.

ALVAREZ, V. V. H. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª aproximação**. Viçosa, 1999. cap. 5, p-30-35.

ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E.; OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. Viçosa, MG, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Boletim Informativo -25, 2000.

AMAZONAS, I. B. do. **Determinação da evaporação em solo sem vegetação em condições semiáridas**. Tese. Departamento de Energia Nuclear, Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, Universidade Federal de Pernambuco, Recife/PE, 2013. Disponível em: < <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/>

123456789/10262/1/Tese%20Irami%20Buarque%20do%20Amazonas.pdf>. Acesso em 12 ago. 2021.

ANDRADE, M. P. de.; SILVA, Z. E. da.; SILVA, C. K. F. da; SILVA, M. A. C.; ALENCAR JUNIOR, J. P. Determinação da difusividade térmica aparente de solo argiloso na região de São João do Cariri-PB. In: **Proceedings of the 11th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering - ENCIT 2006 Braz.** Soc. of Mechanical Sciences and Engineering - ABCM, Curitiba, Brazil, Dec. 5-8, 2006. Disponível em: < <https://livrozilla.com/doc/1645259/%CE%B2---abcm>>. Acesso em 02 ago. 2021.

ANTONINO, A.C.D.; LIRA, C.A.B.O.; DALL'OLIO, A.; AUDRY, P.; PINTO, A.X.M. Influência do posicionamento de sondas térmicas na determinação da difusividade térmica e do fluxo de calor do solo em condições de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.165-172, 1997.

ARAÚJO, K. D.; LEITE, E.; ANDRADE, A. P.; PAZERA JUNIOR, E. Análise da dinâmica do carbono e sua variabilidade em função da precipitação, em São João do Cariri, semiárido paraibano. **CLIMEP – Climatologia e Estudos da Paisagem**, Rio Claro (SP) – Vol.6 – n.1-2, p. 5, janeiro/dezembro/2011.

ASRAR, G.; KANEMASU, E. T. Estimating thermal diffusivity near the soil surface using Laplace transform: uniform initial conditions. *Soil Science Society American Journal*, 47(3), 397-401, 1982.

AZEVEDO, C. C. A. **Estudo de comportamento térmico e compositório a base de gesso e vermiculita**. Dissertação. Mestrado no Centro de Tecnologia, Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/20375/1/DesenvolvimentoBlocosSolo_Dantas_2015.pdf>. Acesso em 06 set. 2021.

BELLAVER, V. **Difusividade térmica do solo em área monodominante de Cambará no Norte do Pantanal Matogrossense**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá/MT, 2010.

BERTULANI, C.A., **Transferência de Calor**. 2005. Disponível em: <<http://www.if.ufrj.br/teaching/fis2/calor/conducao.html>>. Acesso em 06 set. 2021.

BOTELHO, M. R.; DALMOLIN, R. S. D.; PEDRON, F. A.; AZEVEDO, A. C. de.; RODRIGUES, R. B.; MIGUEL, P. Medida da cor em solos do Rio Grande do Sul com a carta de Munsell e por colorimetria. **Ciência Rural**, Santa Maria, V. 3, n 4, p. 1179-1185, jul-ago, 2006.

BRANDON, T.L.; MITCHELL, J. K., Factors Influencing the Thermal Resistivity of Sands. **Journal of Geotechnical Engineering**, ASCE, 115, Nº 12, 1989, p. 1683-1689.

BRITO, G. L. M. **Métodos de Balanço Hídrico para a Estimativa da Taxa de Recarga na Bacia Sedimentar do Rio do Peixe**. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em

Engenharia Civil e Ambiental. Centro de Tecnologia de Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande/PB, 2007.

BRISTOW, k. L. Measurement of thermal Properties and water content of unsaturated sandy soil using dual-probe heat-pulse probes. **Agricultural and Forest Meteorology**, 89 (2): 75-84, 1998.

BUSKE, T.C. **Comportamento da umidade do solo determinada por métodos expeditos**. Santa Maria – RS: Universidade Federal de Santa Maria, 2013.

CAI, G.; ZHANG, T.; PIPPALA, A., J.; LIU, S. Thermal characterization and prediction model of typical soils in Nanjing area of China. **Engineering Geology**, Vol. 191, pp. 23-30, 2015.

CALADO, A. **Monitorização da temperatura do solo. Desenvolvimento e estudo experimental de um permutador de calor ar-solo**. Mestrado (Dissertação). Departamento de Engenharia Eletromecânica, Universidade da Beira Interior, Covilhã/Portugal, 2016.

CAMPOS, R. C.; DEMATTÊ, J. A. M.; QUARTAROLI, C. F.; FORMAGGIO, A. R.; TISOT, D. A. Determinação da cor do solo a partir de dados radiométricos e sua relação com teores de hematita **In: Anais XI Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, INPE, Belo Horizonte, Brasil, 05 - 10 abril 2003, p. 2443 – 2449, 2003.

CAPECHE, C. L. Noções sobre tipos de estrutura do solo e sua importância para o manejo conservacionista. **Comunicado Técnico 51**, EMBRAPA, Rio de Janeiro/RJ, Dezembro, 2008.

CARNEIRO, R.G. **Perfil da temperatura do solo nos biomas florestais da Amazônia e Mata Atlântica com aplicação da transformada em ondas**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2014.

CARREIRA, L.P. **Apontamentos de Mecânica dos Solos I**. Escola Superior de Tecnologia e Gestão- Instituto Politécnico de Leiria- SP, 2005.

CARVALHO, S. P. D.; SOUZA, J. R. S. de.; MAKINO, M. Observações e estimativas de propriedades térmicas do solo sob floresta e pastagem no leste da Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.28, n.3, 331 - 340, 2013. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbmet/a/8LgKJbn4cZHdDVtGSHJ8gHq/?format=pdf>>. Acesso em: 04 abr. 2023.

CASTRO, R. M. S. **Apostila de SISTEMA SOLO – PLANTA – ATMOSFERA (SSPA)**. Rochagem e mineralização de Solos, Belém/PA. 2020. Disponível em: <https://aedmoodle.ufpa.br/pluginfile.php/416233/mod_resource/content/1/SISTEMA%20SOLO%20PLANTA%20ATMOSFERA%20SSPA-ROSECELIA%20CASTRO%20%281%29.pdf>. Acesso em 01 nov. 2021.

CHESWORTH, W., SPAARGAREN, O., E HADAS, A., Thermal Regime. **Encyclopedia of Soil Science, Springer Link**, pp. 767–772, 2016.

COLABONE, R. L. Determinação da difusividade térmica de um solo incorporado com resíduo de E.T.A. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Física, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro/SP, 2002.

COUTO, P. C. **Fluxo de calor no solo e radiação líquida em pastagem de capim braquiária com grau de cobertura variável.** Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas/BA, 2016.

CUNHA, T. J. F.; PETRERE, V. G.; SILVA, D. J.; MENDES, A. M. S.; MELO, R. F. de; OLIVEIRA NETO, M. B. de; SILVA, M. S. L. da; ALVAREZ, I. A. Principais solos do semiárido tropical brasileiro: caracterização, potencialidades, limitações, fertilidade e manejo. In: SA, I. B.; SILVA, P. C. G. da. (Ed.). *Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação.* Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010.

DECAGON DEVICES. **KD2 Pro Thermal Properties Analyzer, Operator's Manual,** Version: February 29, 2016.

DE VRIES, D. A. A Nonstationary Method for Determining Thermal Conductivity of Soil in Situ. **Soil Science**, 73 (2): 83-99, 1952.

_____. Thermal Properties of Soil. In: VAN WIJK, W. R. (ed.). **Physics of Plant Environment.** Amsterdam: North-Holland, p. 210-233, 1963.

DINIZ, J. M. T.; RAFAEL, R. A.; FIDELES FILHO, J.; SOUSA JÚNIOR, J. R.; FERNANDES, A. A. Características térmicas do solo observadas em cidades distintas do estado da Paraíba. **Revista Ver de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, 8:117-126, 2013.

DINIZ, J. M. T.; SOUSA, E. P. De.; CALADO WANDERLEY.; FIDELES FILHO, J.; MARACAJÁ, P. B. Variabilidade diária da temperatura do solo: Um estudo de caso. **Revista Verde** (Mossoró – RN - Brasil), v. 8, n. 1, p. 01 - 06, jan/mar de 2013a.

DINIZ, J. M. T.; RAFAEL, R. A.; FIDELES FILHO, J.; SOUSA JÚNIOR, J. R.; FERNANDES, A. A. Características térmicas do solo observadas em cidades distintas do estado da Paraíba. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, p. 117-126, 2013b.

DINIZ, J. M. T.; ALBUQUERQUE, E. M.; R. A. Rafael. Estudo acerca da variabilidade térmica do solo. **Scientia Plena**, Vol. 10, Num. 01 2014a.

DINIZ, J. M. T.; DANTAS, R. T; FIDELES FILHO, J. Variabilidade espaço-temporal da temperatura e difusividade térmica do solo de Lagoa Seca-PB. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, vol. 9, núm. 4, outubro-diciembre, 2014b.

DONAGEMA, G.K., CAMPOS, D.V.B. de, CALDERANO, S.B., TEIXEIRA, W.G., VIANA, J.H.M., **Manual de métodos de análise de solos**, 2 ed. Embrapa Solos, Rio de Janeiro/RJ, 2011.

DUARTE, A. P. L. **Avaliação de Propriedades Termo-Hidráulicas de Solos Requeridas na Aplicação da Técnica de Dessorção**. Tese (doutorado). Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RIO), Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: < https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/4794/4794_1.PDF>. Acesso em 10 nov. 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Propriedades do solo. Embrapa Solos, Rio de Janeiro/RJ, 2022. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/solos/sibcs/propriedades-do-solo>>. Acesso em 10 nov. 2021.

FARIAS, S. A. R.; SOUZA, A. F. de; ARAUJO, S. N. R. de; PEREIRA, J. P. G. Análise do comportamento de chuvas dos últimos 24 anos no município de Cabaceiras (PB). In: **Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia**, Maceió/AL, 21 a 24 de agosto de 2018. Disponível em: < https://www.confea.org.br/sites/default/files/antigos/contecc2018/agronomia/12_adcdcd2anmdcp.pdf>. Acesso em 16 mar. 2021.

FIDELES FILHO. J. **Estrutura térmica de solos do Nordeste do Brasil**. (Dissertação de Mestrado em Meteorologia), Curso de Mestrado em Meteorologia, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba - Campus II, Campina Grand/PB, 1988. Disponível em: <<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/3130>>. Acesso em 16 mar. 2021.

FREITAS, D. S. de. **Desempenho térmico de cabos de potência subterrâneos, incluindo migração de umidade no solo e efeitos transientes**. Tese. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC, 1995. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/157897/99782.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em 08 jul. 2021.

FAROUKI, O.T. **Thermal properties of soils**. California, Trans. Tech., Series on Rock and Soil Mechanics, 11, 1986.

FAROUKI, O. T. The thermal properties of soils in cold regions. **Cold Regions Science and Technology**, Volume 5, Issue 1, pages 67-75, September 1981.

GARCIA, J. F. S. **Aplicação da eletrocínética em um solo tropical: análise da influência da mineralogia sobre o fluxo eletro-osmótico**. Mestrado (Dissertação). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/RN, 2017.

GIONGO, V. CUNHA, T. J. F.; MENDES, A. S. M.; GAVA, C. A. T. Carbono no sistema solo-planta no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.6, p.1233-1253, 2011.

GHUMAN, B. S.; LAL, R. Thermal conductivity, thermal diffusivity, and thermal capacity of some Nigerian soils. **Soil Science**, 139(1):74-80, January, 1985.

- HILLEL, D. **Introduction to soil physics**. New York, Academic Press, 1982. 364p.
- HILLEL, D. **Environmental Soil Physics: Fundamentals, Applications, and Environmental Considerations**. Academic Press, Waltham, 1998.
- HILLEL, D. **Introduction to Environmental Soil Physics**. Elsevier Academic Press, Oxford, 2004. Disponível em: < <https://www.researchgate.net> › attachment › download>. Acesso em: 30 abr.2022.
- HORTON, R., WIERENGA, P.J., NIELSEN, D.R. Evaluation of methods for determining apparent thermal diffusivity of soil near the surface. **Soil Science of America Journal**. v.47, p.25-32. 1983.
- HUKSEFLUX THERMAL SENSORS. **Manual v1209 of TP02: Non-Steady-State Probe for Thermal Conductivity Measurement**. 2003. Disponível em: < <http://www.hukseflux.com/thermal%20conductivity/thermal.htm>>. Acesso em: 15 mar.2022.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual Técnico de Pedologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. Disponível em: < <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv37318.pdf>>. Acessado em: 14 mar. 2022.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual Técnico de Pedologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.
- INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **IpeaGEO: Versão 2.1.15_06_26 Tutorial**. 2015. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/ipeageo/arquivos/Tutorial_IpeaGEO_VF.pdf>. Acessado em: 24 abr. 2020.
- INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Relatório Metodológico: modelos de regressão para geração e atração de viagens do transporte de cargas inter-regional**. Brasília, setembro de 2016. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=29211>. Acessado em: 14 set. 2021.
- JESUS, J. B. de; GAMA, D. C. Principais solos da região semiárida do Brasil favoráveis ao cultivo do *Eucalyptus* L' Heritier. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 5 n. 2 p. 214-221, 2020.
- JATOBÁ, L. **A Geomorfologia do Semiárido**. Ed. UFPE, Recife – PE, 1994.
- JOHANSEN, O. Thermal conductivity of soils. Ph.D. Thesis, University of Trondheim, Norway, 1975.
- KERSTEN, M. S. **Thermal properties of soils**. University of Minnesota, Engineering Experiment Station, Bulletin, 1949.
- KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979.

LABORSOLO. **Macronutrientes**: conhecendo o Cálcio. 2013. Disponível em: < laborsolo.com.br/analise-quimica-de-solo/macronutrientes-conhecendo-o-calcio>. Acesso em 07 jul. 2021.

LETTAU, H. H. Improved models of thermal diffusion in the soil. **Trans.Am. Geophys. Union**, 35:121-132, 1954.

LIMA, V. C.; LIMA, M. R. de.; MELO, V. F. **O solo no meio ambiente**: abordagem para professores do ensino fundamental e médio e alunos do ensino médio. Universidade Federal do Paraná. Departamento de Solos e Engenharia Agrícola. Curitiba: Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, 2007. Disponível em: < http://www.gestaoescolar.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/solo_escola/solo_meio_ambiente.pdf>. Acesso em 22 out. 2021.

LOPES, H. L. S. **Sistemas Geotérmicos de Baixa Entalpia Estudos de Caracterização Térmica**. Dissertação (Mestrado). Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Programa de Pós Graduação em Engenharia Geológica-Geotecnia, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa/Portugal, 2014. Disponível em: < https://run.unl.pt/bitstream/10362/14837/1/Lopes_2014.pdf>. Acesso em 03 ago. 2021.

LOPES, M. M.; BRANCO, V.T.F.; SOARES, J.B. Utilização dos testes estatísticos de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk para verificação da normalidade para materiais de pavimentação. **Transportes**. v. 21, n. 1, p. 59–66, 2013.

LOPES, H.; VIEIRA, A.; SOARES, S. Comportamento térmico do solo: estudo experimental pelo hot wire method e aplicação numérica. **Geotecnia**, nº 145, p. 43-59 março, 2019. Disponível em: < <https://spgeotecnia.pt/uploads/jgeot201914504.pdf>>. Acesso em 13 ago. 2021.

LUNGUINHO, R. L. **Nos caminhos dos relevos residuais: contribuição a ecoidrologia de encostas no semiárido brasileiro**. Tese. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa/PB, 2018.

MACHADO, P. L. O de A.; CAMPOS. A. C.de.; SANTOS, F. S. dos. Métodos de Preparo de Amostras e de Determinação de Carbono em Solos Tropicais. **Circular Técnica 19**. Rio de Janeiro, Dezembro, 2003. Disponível em: < https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPS/11582/1/circtec_19_2003_metodos_preparo.pdf>. Acesso em 14 mar. 2021.

MACIEL NETO, J. A. **Caracterização térmica dos solos**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, Universidade Federal de Pernambuco, Recife/PE, 2011. Disponível em: < <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/9661>>. Acesso em 12 ago. 2021.

MACIEL NETO, J. de A.; ANTONINO, A.C.D.; LIMA, J.R. de S.; SOUZA, E.S.; SOARES, W. de A.; ALVES, E. M.; ALMEIDA, C. A. B. de.; SILVA NETO, J. A. da. Caracterização Térmica de Solos no Agreste Meridional do Estado de Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**. V. 08, N. 01, p. 167-178, 2015.

MCCORRY, M.; JONES, G. **Geotrained Training Manual for Designers of Shallow Geothermal Systems**. Brussels: GEOTRAINET, 2011. Disponível em: < <http://geotrained.eu/wp-content/uploads/2015/10/Geotrained-Manual-for-Designers-on-Shallow-Geothermal.compressed.pdf>>. Acesso em 05 ago. 2021.

MEDEIROS, R. M.; MEDEIROS, B. C. de. Aspectos do clima para o município de Cabaceiras. In: **Anais do 1º Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido (I CONIDIS)**. Centro de Convenções Raymundo Asfora – Garden Hotel, em Campina Grande/PB, 10 a 12 de novembro de 2016. Disponível em: < https://www.editorarealize.com.br/editora/anais/conidis/2016/TRABALHO_EV064_MD4_SA14_ID311_18082016115515.pdf>. Acesso em 12 ago. 2021.

MIRANDA, L. P. M de. **Temperatura e atributos físico-químicos de um latossolo em recuperação com adubação verde, gramínea e lodo de esgoto, cultivado com Gonçalo-Alves**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Ilha Solteira/SP, 2010.

MITCHELL, J. **Fundamentals of Soil Behavior**. John Wiley & Sons, Inc, 1993.

MOORE, D. S. **The Basic Practice of Statistics**. New York, Freeman. 2007.

MONTANHER, O. C.; ESPÍNDOLA, D. R. B. R. Atores que controlam a temperatura de superfície dos solos do noroeste do Paraná. **Caminhos de Geografia Uberlândia**, v. 18, n. 62, p. 59–72, Junho/2017.

MOSSIER, J. G.; GUSTAFON, A. F. **Soil physics and management**. Urbana, College of Agriculture, University of Illinois, 1917.

MOURA, M. A. L.; QUERINO, C. A. S. Variação sazonal do fluxo de calor no solo dentro de um manguezal tropical. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, p. 296-302, 2010.

NASSAR, I.N.; HORTON, R. Determination of the apparent diffusivity of a nonuniform soil. **Soil Sci.**, 147:238-244, 1989.

NUSIER, O.K.; ABU-HAMDEH, N.H., Laboratory techniques to evaluate thermal conductivity for some soils. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, v.39, p.119-123, 2003. Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/225462642_Laboratory_techniques_to_evaluate_thermal_conductivity_for_some_soils/link/59f971290f7e9b553ec0dee4/download>. Acesso em 07 jul. 2021.

OLIVEIRA, J. R. A. **Caracterização das Propriedades Termo-Hidráulicas de Materiais Artificiais para Reaterro de Cabos Elétricos de Potência**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, 1993.

OLIVEIRA, M. L.; RUIZ, H. A.; COSTA, L. M.; SCHAEFER, C. E. G. R. Flutuações de temperatura do solo em resposta à cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 4, p. 535-539, 2005.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA (FAO). **Funções do solo**, 2015. Disponível em: <<https://www.fao.org/3/ax374pt/ax374pt.pdf>>. Acesso em 08 jul. 2021.

PAMPLONA, D. S. **Variação da temperatura do ar e da temperatura medida e estimada no interior do solo, em superfície com e sem vegetação (estudo de caso)**. Monografia. Faculdade de Meteorologia, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, Belém/PA, 2010. Disponível em: < https://bdm.ufpa.br:8443/jspui/bitstream/prefix/1719/1/TCC_VariacaoTemperaturaAr.pdf>. Acesso em 26 abr. 2022.

PARENTE, H. N. **Avaliação da vegetação e do solo em áreas de caatinga sob pastejo caprino no cariri da Paraíba**. Tese (Doutorado em Zootecnia), Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia-PB, 2009.

PEREIRA, R. A.; DANTAS NETO, J. Efeito das atividades agropastoris sobre os atributos físico-químicos de três classes de solos de uma bacia hidrográfica no Semiárido brasileiro. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 34, n. 1, 2014.

PEREZ-MARIN, A. M.; CAVALCANTE, A. M. B.; MEDEIROS, S. S. de.; TINOCO, L. B. M.; TINÔCO, L. B. M.; SALCEDO, I. H. Núcleos de desertificação no semiárido brasileiro: ocorrência natural ou antrópica?. **Parc. Estrat.**, Brasília-DF, v. 17, n. 34, p. 87-106, jan-jun, 2012.

PESSÔA, T. O. M. **Avaliação da Influência da Mineralogia, Índice de Vazios e Teor de Umidade em Propriedades Térmicas de Solos**. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio). Rio de Janeiro/RN, 2006.

PICCOLLOTO, A. M. **Utilização de métodos fototérmicos, fotoacústicos e gravimétricos para caracterização das propriedades termofísicas dos solos do estado do Paraná coletados nos horizontes ha e hb**. Tese (Doutorado). Pós Graduação em Física. Universidade Estadual de Maringá, Maringá/PR, 2016.

PINO, F. A. A questão da não normalidade: uma revisão. **Rev. de Economia Agrícola**, São Paulo, v. 61, n. 2, p. 17-33, jul-dez. 2014. Disponível, em: < <http://www.ica.sp.gov.br/ftpica/publicar/rea2014-2/rea2-22014.pdf>>. Aceso em 10 mai. 2019.

PREVEDELLO. C. **Temperatura do solo**. Sociedade Autônoma de Estudos Avançados em Física do Solo. 2002. Disponível em: < <https://estudonline.tripod.com/temperat.htm>>. Aceso em 10 mai. 2022.

PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. de. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o estado do Espírito Santo – 5º aproximação**. Vitória, ES: SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007.

PREZOTTI, L. C.; GUARÇONIN. A. **Guia de interpretação de análise de solo e foliar**. Vitória/ES: Incaper, 2013. Disponível em: < <biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/item/40/1/Guia-interpretacao-analise-solo.pdf>>. Acesso em 07 jul. 2021.

PUSCH, R. **Physico-Chemical Processes which affect Soil Structure and vice versa.** Theme 3. Proceedings, International Symposium on Soil Structure, Gothenburg, Sweden, 1973, vol. 2, p. 27-35.

RAO, T.V.R., SILVA, B.B., MOREIRA, A.A., Características Térmicas do Solo em Salvador, BA. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.9, p.554-559, 2005.

REES, S. W., ADJALI, M. H., ZHOU, Z., DAVIES, M., e THOMAS, H. R, Ground heat transfer effects on the thermal performance of earth-contact structures, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Vol. 4, p. 213–265, 2000.

ROGERSON, P. A. **Métodos Estatísticos para Geografia: um guia para o estudante.** 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

RENO, W. E. **Thermal Conductivity of Kaolinite Clay as Fuction of Type of Exchange Íon, Density and Moisture Content.** Highway Research Record, v.34, 1967.

ROSENDO, E. E. Q.; SOUZA, B. I. de; PIRES, A. L. P. PEDROSA, L. P. D. FILGUEIRA, H. J. A. F. Chuvas extremas e desordenamento do território na construção do risco: um estudo de caso no município de Cabaceiras-Paraíba (Brasil) **Cuadernos de Geografia/Revista Colombiana de Geografia**, Vol. 24, n.º 2, Bogotá, Colômbia, pp. 189-203, jul.-dic. de 2015.

SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. B. Matéria orgânica do solo no bioma caatinga. In: SANTOS, G. A. et al. (Ed.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais.** 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008, p. 419-441.

SALTON, J. C. **Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade do solo.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1991.

SANTOS, M. A. F. dos. **Estimativa do fluxo de calor e da difusividade térmica do solo, baseado na solução da derivada temporal fracionária de meia ordem em ferramenta de software.** Tese (Doutorado). Centro de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-Graduação em Ciências Climáticas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, 2014.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 5. ed., rev. e ampl. Brasília, DF: EMBRAPA, 2018.

SANTOS, R. C. dos. **Propriedades térmicas do solo: um estudo de casos.** Dissertação (Mestrado). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Jose dos campos/SP, 1987.

SENTELHAS, P. C.; MARIN, F. R.; FERREIRA, A. S.; SÁ, E. J. S. de. **Banco de dados climáticos do Brasil.** EMBRAPA, Brasília/DF, 2003. Disponível em: < Banco de Dados Climáticos do Brasil (embrapa.br)>. Acesso em 06 set. 2021.

SENTELHAS, P.C.; ANGELOCCI, L.R. **Temperatura do ar e do solo**. Aula 6. Disciplina LCE 306 – Meteorologia Agrícola. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, município de Piracicaba, São Paulo, 2013. Disponível em: < http://www.leb.esalq.usp.br/leb/aulas/lce306/Aula6_2012.pdf>. Acesso em 06 set. 2021.

SEPASKHAH, A.; BOERSMA, L. Thermal Conductivity of Soils as a Function of Temperature and Water Content1. **Soil Science Society of America Journal: Environmental Science**, 1 May 1979.

SCHNEIDER, F.M. **Comportamento e propriedades térmicas do solo Santa Maria**. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia), Escola Superior de Agricultura "Luís de Queirós", Piracicaba/SP, 1979.

SHCHINEIDER, F. M. **Comportamento e propriedades térmicas do solo em Santa Maria/RS**. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, Piracicaba/SP, 1987.

SCHNEIDER, F. M.; DECICO, A.; SACCOL, A. V.; HELDWEIN, A. B.; BURIOL, G. A.; MANFRON, P. A. Determinação das propriedades térmicas de um solo da unidade de mapeamento São Pedro. **Revista Centro Ciências Rurais**, Santa Maria, v. 10, n. 4, p. 357- 363, set. 1980. Disponível em: < <http://coral.ufsm.br/revistaccr/index.php/RCCCR/article/view/405/403>>. Acesso em 10 nov. 2021.

SILANS, A.M.B. P. **Determinação das propriedades termodinâmicas de um solo in loco**. Brasília, CNPq, 1988. 18p. (Report 404015/86-7).

SILANS, A.M.B.P. de, MONTENY, B.A., LHOMME, J.P., Apparent soil thermal diffusivity, a case study: HAPEX - Sahel experiment. **Agricultural and Forest Meteorology**, 81, 201-216. 1996.

SILANS, A. M. B. P. de; SILVA, F. M.; BARBOSA, F. A. R. Determinação in loco da difusividade térmica num solo da região de Caatinga-PB. **Revista Brasileira de Ciência dos Solos**, v.30, p.41-48, 2006.

SILANS, A.M.B.P.; SILVA, F.M. Fluxo de calor sensível e evapotranspiração na Caatinga: Estudo Experimental, **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 177-188, 2007.

SILANS, A. M. B. P. DE; WERLANG, L. M. Dinâmica da umidade de um solo da Caatinga em função de sua condutividade térmica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.9, p.950–958, 2011. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/qYJyW98vdwXzfsGZZN8hwcT/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em 02 ago. 2021.

SILANS, A. M. B. P.; SILVA, F. M.; RODRIGUES, A. A.; MARINHO, L. S. Estudo experimental do comportamento térmico do solo em uma região coberta por vegetação tipo caatinga no estado da Paraíba. In: **XII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. Fortaleza, 2001a (CD-ROM).

SILANS, A. M. B. P.; WERLANG, L. M. SILVA, F. M. Estudo experimental da interceptação da chuva pela vegetação de caatinga. In: **XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos e V Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa**. Aracaju, 2001b (CD-ROM).

SILANS, A. M. B. P.; ALENCAR, R. I. S.; SILVA, F. M.; COSTA, A. M. B.; BARBOSA, F. A. R. Comportamento dos fluxos térmicos na interface entre a camada de rugosidade e a subcamada limite atmosférica sobre uma região de caatinga/PB. In: **VI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**. Maceió, 2002a (CD-ROM).

SILANS, A. M. B. P.; WERLANG, L. M. SILVA, F. M. Estudo experimental do comportamento térmico do solo em uma região coberta por vegetação tipo caatinga, no estado da Paraíba. In: **XII Congresso de Meteorologia**. Foz do Iguaçu, 2002b (CD-ROM).

SILANS, A. P. Alternativas Científicas e Tecnológicas para o Abastecimento de Água no Semiárido. In: **Água e Desenvolvimento Sustentável do Semi-Árido**. Fortaleza, 2002c, p. 133 - 160.

SILANS, A. M. B. P.; SILVA, F. M. Bilans énergétique ethydriqueen une region semi-aride dominée par la caatinga. Proceedings of the Conférence Internationale: Hydrologie des régions méditerranéennes et semi-arides. Montpellier: 01-04 abr. 2003.

SILVA-AGUILAR, O. F.; Andaverde-Arredondo J. A.; Escobedo-Trujillo, B. A.; Benitez Fundora A.J. Determining the in situ apparent thermal diffusivity of a sandy soil. **Rev Bras Cienc Solo**. 2018. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/n88S7VhgCV6PhMnmNXXP9xs/?format=pdf&lang=en>>. Acesso em 02 ago. 2021.

SILVA, A. M.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; LIMA, J. M. de; AVANZI, J. C.; FERREIRA, M. M. Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.12, p.1223-1230, 2005.

SILVA, F. M. da.; ANDRADE, A. P. de.; COSTA, A. M. B. Modelagem da condutividade térmica em área de caatinga com predominância de cactáceas. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 2, p. 113-120, abr.-jun., 2011.

SILVA, C. F. **Condutividade térmica, difusividade térmica e calor específico em rochas ígneas e metamórficas: comportamento isotrópico e anisotrópico**. Monografia. Curso de Graduação em Geofísica, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador/BA, 2010.

SILVA, F. M. **Estudo teórico-experimental dos balanços energético, radiativo e hídrico no complexo solo-vegetação- atmosfera em região de Caatinga**. Tese. Centro de Tecnologia, Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Paraíba João Pessoa/PB, 2003.

SILVA, J. R. T. **Relevo. Unidade III**. 2006. Disponível em: < <http://www.ufac.br/site/ufac/prograd/educacao-tutorial/grupos-pet/pet-agronomia-1/apoio-didatico/genese-e>>

morfologia-do-solo/unidade-3-b-fatores-de-formacao-do-solo-relevo/view>. Acesso em 22 jul. 2021.

SILVA, J. da. **Adubação orgânica**. Embrapa Hortaliça. EMBRAPA, Parque Estação Biológica - PqEB, s/nº, Brasília/DF, 2022. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/pimenta/producao/manejo-do-solo/adubacao-organica>>. Acesso em 22 fev. 2022.

SILVA, T. G. F. da.; QUEIROZ, M. G. Q.; ZOLNIER, S.; SOUZA, L. S. B. de.; SOUZA, C. A. Al de.; MOURA, M. . S. B. de.; ARAÚJO, G. G. L. de.; STEIDLE NETO, A. J.; SANTOS, T. S. dos.; MELO, A. L. de.; CRUZ NETO, J. F. da.; SILVA, M. J. da.; ALVES, H. K. M. Soil properties and microclimate of two predominant landscapes in the Brazilian semiarid region: Comparison between a seasonally dry tropical forest and a deforested área. **Soil & Tillage Research**. Accepted 19 October 2020.

SILVA, J. **Adubação orgânica**. Arvore do conhecimento Pimenta. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Embrapa Hortaliças. Rodovia Brasília/Anápolis BR 060, Km 09, Gama, Brasília, DF – Brasil. Disponível em: < <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/pimenta/arvore/CONT000gn0k9bxa02wx5ok0liq1mq28xtscp.html>>. Acesso em 03 jul. 2022.

SOBRAL, L. F.; BARRETTO, M. C. de V.; SILVA, A. J. da.; ANJOS, J. L. dos. **Guia prático para interpretação de resultados de análises de solos**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015. Disponível em: <www.bdpa.cnptia.embrapa.br>. Acesso em 06 jul. 2021.

SOUZA, A. **Coefficiente de Correlação de Pearson**. Mestrado em Gestão (MBA). Departamento de Matemática da Universidade dos Açores. Portugal, 2008. Disponível em: <http://www.aurea.uac.pt/pdf_MBA/coef_correl_Pearson.pdf>. Acesso em: 15 out. 2021.

SOUZA, B. I. de; SUERTEGARAY, D. M. A.; LIMA, E. R. V. de. Desertificação e seus efeitos na vegetação e solos do Cariri Paraibano. **Mercator** - Revista de Geografia da UFC, ano 08, número 16, 2009.

SOUZA, B. I. de; SUERTEGARAY, D. M. A.; LIMA, E. R. V. de. Evolução da desertificação no Cariri Paraibano a partir da análise das modificações na vegetação. **Geografia**, Rio Claro, v. 36, n. 1, p. 193-207, jan./abr. 2011

SOUZA, B. I.; ARTIGAS, R. C.; LIMA, E. R. V. de. Caatinga e Desertificação. **Mercator**, Fortaleza, v. 14, n. 1, p. 131-150, jan./abr. 2015.

SOUZA, B. I.; MACÊDO, M. L. A.; SILVA, G. J. F. Temperatura dos solos e suas influências na regeneração natural da caatinga nos Cariris Velhos – PB. **Revista Ra'e Ga** – Curitiba, v. 35, p.261 - 287 , Dez/2015.

SOUZA, B. I.; SOUZA, R. S. Processo de ocupação dos Cariris Velhos –PB e efeitos na cobertura vegetal: contribuição à Biogeografia Cultural do semiárido. **Caderno de Geografia**, vol. 26, núm. 2, pp. 229-258, 2016.

SEPASKHAH, A.R.; BOERSMA, L. Thermal conductivity of soils as a function of temperature and water content. **Soil Science Society American Journal**, v. 43, p. 439-444, 1979.

SWEAT, V. E. Experimental values of thermal conductivity of selected fruits and vegetables **Journal of Food Science**. Agricultural Engineering Department, Purdue University, West Lafayette.

TECH SOLO. Fósforo remanescente e sua importância na análise de solo. 2022. Disponível em: < <https://www.techsolo.com.br/conteudo-detalhes/fosforo-remanescente-e-sua-importancia-na-analise-de-solo>>. Acesso em: 27 abr. 2022.

TEIXEIRA, W. G.; MACEDO, R. S. MARTINS, G. C. A cor do solo: interpretando as cores do solo com a finalidade de monitorar processos de recuperação em áreas. **Embrapa Amazônia Ocidental**, 2009. Disponível em: < <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/195720/1/A-Cor-Do-Solo-Interpretando-as-Cores-Do.pdf>>. Acesso em 22 jul. 2021.

TRINDADE, B. **Seminário: Temperatura do Solo**. Aula ministrada no Programa de Pós-Graduação em Ciências do solo, Departamento de solos, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria/RS, 2011. Disponível em: < http://www.fisicadosolo.ccr.ufsm.queos.com.br/downloads/Disciplinas/FisicaSolo/SEM_Medicao_temperatura_solo.pdf>. Acesso em 22 abr. 2022.

VASCONCELOS SOBRINHO, J. **Desertificação no Nordeste do Brasil**. Recife: Editora Universitária, 2002.

VELLOSO, A. L.; SAMPAIO, E., V. S. B; PAREYN, F.G. S. **Ecorregiões**: Proposta para o Bioma de Caatinga. Associação Plantas do Nordeste e Instituto de Conservação Ambiental The Nature Conservancy do Brasil, Recife/PE, 2002.

VERHOEF, A. Remote estimation of thermal inertia and soil heat flux for bare soil. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.123, p.221-236. 2004.

YEOMANS, J.C., BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.** 19, 1988.

ZARONI, M. J.; SANTOS; SANTOS, H. G. dos. **Atividade da argila**. Arvore do conhecimento: solos tropicais. Agência Embrapa de Informação Tecnológica, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Brasília/DF. 2021. Disponível em: < https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_2_2_212200611536.html>. Acesso em 07 jul. 2021.