



Agrociências & Natureza & Conservação



2023



AGROCIÊNCIAS

NATUREZA & CONSERVAÇÃO



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Ag86 Agrociências: Natureza & Conservação/Francisco et al.
— Campina Grande: EPTEC, 2023.
103 f.: il. color.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN: 978-65-00-70563-8

1. Ciência do Solo. 2. Meio Ambiente. 3. Pesquisa. 4. Agronomia.
I. Francisco, Paulo Roberto Megna. II. Ribeiro, George do
Nascimento. III. Medeiros, Paulo da Costa. IV. Feitosa Filho,
José Crispiniano. V. Rodrigues, Raimundo Calixto Martins.
VI. Ayres, Gypson Dutra Junqueira. VII. Silvino,
Guttemberg da Silva. VIII. Título.

CDU 63

Os capítulos ou materiais publicados são de inteira responsabilidade de seus autores.
As opiniões neles emitidas não exprimem, necessariamente, o ponto de vista do Editor responsável.
Sua reprodução parcial está autorizada desde que cite a fonte.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob a Licença de Atribuição Creative Commons.
Atribuição-Não-Comercial-Não Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

2023 by Eptec

Copyright © Eptec

Copyright do texto © 2023 Os autores

Copyright da edição © 2023 Eptec

Direitos para esta edição cedidos à Eptec pelos autores.

Open access publication by Eptec

Créditos das Imagens da capa e dos capítulos

Pixabay/Freepick

Editoração, Revisão e Arte da Capa

Paulo Roberto Megna Francisco

Conselho Editorial

Claudiomir Silva Santos (IFSULMINAS)

Djail Santos (CCA-UFPB)

Dermeval Araújo Furtado (CTRN-UFCG)

Flávio Pereira de Oliveira (CCA-UFPB)

George do Nascimento Ribeiro (CDSA-UFCG)

Gypson Dutra Junqueira Ayres (CTRN-UFCG)

João Miguel de Moraes Neto (CTRN-UFCG)

José Wallace Barbosa do Nascimento (CTRN-UFCG)

Lúcia Helena Garófalo Chaves (CTRN-UFCG)

Luciano Marcelo Fallé Saboya (CTRN-UFCG)

Newton Carlos Santos (UFRN)

Paulo da Costa Medeiros (CDSA-UFCG)

Paulo Roberto Megna Francisco (CTRN-UFCG)

Raimundo Calixto Martins Rodrigues (DEAG-UEMA)

Soahd Arruda Rached Farias (CTRN-UFCG)

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva (CTRN-UFCG)

Viviane Farias Silva (CSTR-UFCG)

Agrociências: Natureza & Conservação

Paulo Roberto Megna Francisco
George do Nascimento Ribeiro
Paulo da Costa Medeiros
José Crispiniano Feitosa Filho
Raimundo Calixto Martins Rodrigues
Gypson Dutra Junqueira Ayres
Guttemberg da Silva Silvino

AGROCIÊNCIAS NATUREZA & CONSERVAÇÃO



1.a Edição
Campina Grande-PB
2023

REALIZAÇÃO



APOIO




SUMÁRIO

<i>COMPARAÇÃO ENTRE AS FARINHAS BRASILEIRAS E ARGENTINAS: ANÁLISE DE UMIDADE, QUEDA E ALVEOGRAFIA</i>	<i>6</i>
<i>USO DO SIG PARA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA IRRIGADA DO MILHO (Zea mays L.) EM REGIÃO SEMIÁRIDA</i>	<i>18</i>
<i>GEOESTATÍSTICA APLICADA AO ESTUDO DA VARIABILIDADE ESPACIAL DE INDICADORES DE QUALIDADE DOS SOLOS.....</i>	<i>34</i>
<i>ATUALIZAÇÃO DO MAPA DE SOLOS DO ESTADO DA PARAÍBA UTILIZANDO GEOTECNOLOGIAS.....</i>	<i>49</i>
<i>APLICAÇÃO DO SIBCTI NO POTENCIAL DE TERRAS PARA IRRIGAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DA REGIÃO DO MÉDIO CURSO DO RIO PARAÍBA.....</i>	<i>65</i>
<i>AVALIAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL EM BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SUCURU-PB UTILIZANDO O GOOGLE EARTH ENGINE.....</i>	<i>82</i>
<i>CURRICULUM DOS ORGANIZADORES</i>	<i>102</i>

COMPARAÇÃO ENTRE AS FARINHAS BRASILEIRAS E ARGENTINAS: ANÁLISE DE UMIDADE, QUEDA E ALVEOGRAFIA


Julia Hubner Borelli

Graduanda em Agronomia, UFMT, Cuiabá-MT,
juliahubneragro@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0004-2545-5535>


Carlos Rodolfo Ibanez Monteiro

Graduando em Agronomia, UFMT, Cuiabá-MT,
cr.ibanez10@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0009-1937-4495>


Tainá da Silva Campos

Graduanda em Agronomia, UFMT, Cuiabá-MT,
taina.campossc@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0007-1883-0749>


Paulo Otávio Aldaves dos Santos Guedes

Mestre em Agronomia, UFMT, Cuiabá-MT,
guedes131090@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-8423-7715>

Carlos Caneppele

Dr. Prof. Titular, UFMT, Cuiabá-MT,
carlos.caneppele@ufmt.br

 <https://orcid.org/0000-0002-6678-371X>

Introdução

A importância econômica do trigo e sua contribuição para a dieta humana e animal não pode ser contestada. As estatísticas disponíveis atualmente mostram uma produção global anual média 760 milhões de toneladas produzidas em 2020 (WPR, 2023). Isso faz do trigo a terceira cultura mais importante em termos de produção global, sendo os valores comparativos para a produção dos dois outros cereais principais durante o mesmo período de 704 milhões de toneladas para o arroz e 874 milhões de toneladas para o milho. No entanto, o trigo é inigualável em sua gama de cultivo, desde 67°N na Escandinávia e Rússia até 45°S na Argentina, incluindo regiões elevadas nos trópicos e subtropicais (FELDMAN, 1995). Além disso, há uma demanda crescente por trigo em novos mercados além de sua região de adaptação climática.

O aumento da demanda global por trigo é baseado na capacidade de produzir produtos alimentícios únicos e no aumento do consumo desses produtos com a industrialização e a ocidentalização. Em particular, as propriedades únicas da fração proteica do glúten permitem o processamento do trigo para produzir pão, outros produtos assados, macarrão e massas e uma variedade de ingredientes funcionais. Esses produtos podem ser mais convenientes para produzir ou consumir do que os alimentos tradicionais e fazem parte do "estilo de vida ocidental" (SHEWRY & HEY, 2015).

A farinha de trigo é um ingrediente básico na alimentação humana e é utilizada em uma ampla variedade de produtos alimentícios, desde pães e massas até biscoitos e bolos. É considerada uma fonte importante de carboidratos, proteínas, vitaminas e minerais, como ferro e zinco. Além disso, a farinha de trigo é uma fonte rica em fibras solúveis e insolúveis, que ajudam na digestão e na saúde do trato gastrointestinal (KAUR et al., 2014). Assim também, a farinha de trigo tem um papel importante na culinária e na indústria alimentícia. É um ingrediente essencial em muitas receitas e é usada como base para muitos produtos alimentícios, como massas, pães, bolos e biscoitos, sendo também é usada como espessante e agente ligante em muitos alimentos processados, como sopas, molhos e alimentos congelados (NEIL et al., 2012).

No Brasil, o trigo é classificado segundo a Instrução Normativa 38/2010 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) como Trigo destinado diretamente à alimentação humana, pertencendo ao grupo 1 e trigo destinado a moagem e a outras finalidades, pertencendo ao grupo 2. O trigo destinado à panificação, pertence à classe de trigo pão, do grupo 2, devendo apresentar um valor superior a 220 (10^{-4} J) na força de seu glúten (determinado pela alveografia), uma estabilidade de 10 minutos e número de queda de 220 segundos, determinado pelo (Falling Number) para poder destinar a farinha produzida para moagem desse trigo para panificação (BRASIL, 2010).

Já a farinha da Argentina é classificada de maneira diferente, onde é considerado o número de zeros, que correspondem a quantia de vezes que a farinha foi peneirada e moída. Quanto mais zeros, mais a farinha passou por esses processos. As farinhas denominadas como 0000 são destinadas, principalmente à confeitaria (GLOBO, 2022).

Portanto, as análises físico-químicas e reológicas são de extrema importância para a indústria, uma vez que, indicam o melhor uso para cada tipo de farinha bem como a padronização dos processos (FREO et al., 2011).

O *Falling Number* ou Número de Queda, é um método é baseado na capacidade da α -amilase em liquefazer um gel de amido. A atividade de enzima é medida pelo *Falling Number* (FN), definido como o tempo, em segundos, requerido para misturar e em seguida deixar cair o agitador até uma distância fixa, sob um gel aquoso da farinha sofrendo liquefação (ZARDO, 2010). Altos valores de queda por segundo, indicam baixa atividade dessa enzima, enquanto baixos valores indicam alta atividade enzimática (MÓDENES et al., 2009).

A análise de Alveografia reproduz o comportamento da massa durante a fermentação, e a partir dos resultados pode-se destinar a farinha a seu possível uso (ZARDO, 2010). Ele simula, por meio de gráficos, o comportamento da farinha durante a fermentação na panificação. Durante o processo as variações de pressão são registradas por um manômetro (SCHIDLOWSKI, 2014).

Sendo assim, o objetivo do presente estudo é realizar uma análise comparativa entre as diferentes marcas de farinhas de trigo produzidas no Brasil e na Argentina, sendo comparados umidade, força de glúten por meio da alveografia e atividade da alfa-amilase com o uso do *falling number*.

Material e Métodos

Farinhas testadas

Foram testadas e comparadas as farinhas do Brasil tipo 1: Alvalade® (Lote: 051), Campesina® (Lote:04/22), Rosa Branca® (Lote: 1222) e Primor® (Lote: 0622); e as farinhas Argentinas tipo 0000: Chacabuco® (Lote: 352418), Morixe® (Lote: 01291122), Caserita Pizza® (Lote: 220825) e Maxima® (Lote: 26/10/22).

Teste de umidade

A umidade foi analisada conforme o protocolo número 44 - 15.02 da *American Association of Cereal Chemists* (AACC, 2000). Para tanto, todos os equipamentos e dispositivos foram limpos e secos antes das análises. Foi pesada uma amostra de 3 g de cada uma das farinhas testadas em béquer de vidro seco. Esse material foi levado a uma estufa previamente aquecida a 130°C por um tempo de duas horas (até a obtenção de uma massa constante). Em seguida, o béquer contendo a farinha foi retirado da estufa e resfriado em um dessecador por pelo menos 30 minutos. A umidade foi calculada por meio da diferença entre a massa inicial do recipiente com a amostra e a massa final após a secagem.

Falling number – número de queda

O *falling number* foi determinado de acordo com a umidade aferida de cada amostra, corrigindo a amostra para 14%, segundo a recomendação da AACC (2000) se acordo com a norma 56-81B.

Realizou-se a pesagem das amostras em triplicada e em três repetições experimentais para diminuir a margem de erro. Para cada amostra foram adicionados 25 mL de água destilada em um tubo de ensaio. Após essa adição realizou-se a agitação da amostra 25 vezes, até virar uma mistura homogênea. Em seguida, cada amostra foi inserida em um equipamento deixando o material em condições semelhantes ao forneamento de pães, ou seja, a temperatura é elevada em torno de 55- 65°C iniciando um processo de geleificação do amido e se encerra com a temperatura em torno de 100°C, quando a enzima α -amilase é inativada. A Tabela 1 apresenta os valores de referência em relação ao FN de acordo com Perten (1964). Ainda de acordo com o Instituto de Ciência e Tecnologia dos Alimentos (ICTA, 2010)

Tabela 1. Classificação do nível de atividade enzimática na farinha de trigo de acordo com o número de queda

Classificação	Número de Queda (s)
Alta atividade enzimática	≥ 200
Atividade enzimática ideal	201 – 350
Baixa atividade enzimática	≥ 351

Fonte: Perten (1964).

Tabela 2. Intervalos do número de queda para diferentes produtos como pães, massas, bolos e biscoitos

Característica	Pães	Massas	Bolos	Biscoitos Fermentados	Biscoitos Doces
Número de queda (FN)	225 – 275	>350	200 – 250	225 – 275	200 – 250

Fonte: ICTA (2010).

Análise de alveografia

Para a realização das análises de alveografia das farinhas, foi utilizado o Alveografo AlveoPC de Chopin juntamente com os métodos da Norma ICC Standard nº 121 (ano 1992) e AACC nº 54-30-02 (ano 1995), conforme descrito abaixo.

Para iniciar o processo, foi feita a preparação da solução salina a 2%, onde foram pesados 25 g de NaCl, em uma balança de precisão, para cada 500 mL de água destilada. Em seguida, em um béquer foi adicionado NaCl e a água destilada até que completasse 1000mL e essa solução foi homogeneizada até a completa dissolução do NaCl.

Cada amostra foi pesada separadamente com 250 gramas de farinha, seguidamente foi realizada a revisão do equipamento, sendo a temperatura do ambiente em que o Alveografo está instalado em torno de 18 a 23°C. O aparelho foi ligado em torno de uma hora antes de iniciar as

análises, para que sua temperatura interna fosse estabilizada em 24°C e a sua calibração foi conferida na escala 60/92. Com todo o sistema calibrado e regulado deu-se início as análises.

Com as amostras de farinha devidamente pesadas, foi adicionada no misturador do parelho, e com o auxílio de uma bureta graduada foi colocada a solução salina na quantidade diretamente proporcional a umidade da amostra. Em seguida a solução foi despejada juntamente a farinha no misturador e foi acionado o motor do braço da macieira, o qual começou a rodar em sentido horário por 1 minuto. Após esse tempo, interrompeu-se o motor, abriu-se a tampa da macieira e, com o auxílio de uma espátula de plástico, fez-se a limpeza de toda a farinhas que ficaram aderidas nos cantos e em lugares que a solução salina não alcançou para a devida hidratação.

Após isso, fechou-se o misturador para novamente reiniciar o motor e assim permitir que o braço da macieira voltasse a revolver a amostra por mais 7 minutos, totalizando assim 8 minutos de atividade. Ao final desse tempo, as cinco placas foram retiradas de repouso dentro na câmara termo estabilizadora do equipamento, e juntamente com a placa de extensão e o rolo de aço, lubrificou-se todos os materiais com vaselina para evitar atrito e danos as amostras. Com todos os aparatos devidamente organizados, lubrificados e o tempo de mistura de 8 minutos atingido, inverteu-se o sentido de rotação do motor, girando em sentido anti-horário para que assim a massa formada da amostra saísse pela comporta aberta.

Os primeiros dois centímetros foram descartados devido a sua espessura e largura, após o descarte ocorreu a saída de uma massa mais uniforme e consistente, saindo de forma continua e ininterrupta, quando a própria atingiu o tamanho da placa suporte (aproximadamente 8 centímetros). Assim, a massa foi cortada com o auxílio da espátula de alumínio e colocada na placa de extensão, sendo comprimida 12 vezes com o rolo aço para homogeneizar sua espessura, sendo seis de forma lenta e seis passando rapidamente; depois cortou-se em formato redondo com o cortador vazador e realocou-a na placa de descanso para imediatamente ser inserida no termo estabilizador do alveógrafo na temperatura de 24°C, repetindo esse processo por 5 vezes em cada amostra.

Após 28 minutos do início da mistura, retirou-se a primeira repetição da termo estabilizadora, realocou a amostra sob a placa fixa superior do equipamento e colocou-se o tampão prensando e esticando a mesma; após isso o tampão foi retirado, certificando-se que a amostra ficasse centralizada e levemente esticada, ligou-se a calibração 60/92, acionando um jato de ar no centro da amostra e formando uma bolha, o crescimento foi acompanhado na vertical, de cima para baixo, para verificar a primeira ruptura, quando desligou-se imediatamente o jato de ar.

Análise estatística

Os resultados das análises foram submetidos ao quadro de ANOVA para o teste de F, ocorrendo significância ($P < 0.05$), foi feito o teste de médias de Tukey ($P < 0.05$). Utilizando o software R para análises estatísticas através do pacote ExpDes.pt versão 1.2.1.

Resultados e Discussão

O primeiro parâmetro analisado para a comparação de diferentes farinhas brasileiras e argentinas foi a umidade. Os resultados obtidos estão apresentados na Figura 1A e mostram que não há diferença em relação à umidade das farinhas brasileiras e argentinas, sendo a média de umidade das farinhas brasileiras 13,6% e das argentinas 12,7%. Na Figura 1B pode ser observado o percentual de umidade obtido para cada uma das farinhas analisadas. Apesar do percentual médio de umidade das farinhas argentinas ter sido menor do que das farinhas brasileiras, esses valores não são estatisticamente significativos.

A umidade é um parâmetro importante e indicador de qualidade da farinha. Farinhas com teor de umidade muito alto ou muito baixo podem levar a problemas de qualidade, como deterioração, formação de bolor, desenvolvimento de odores e sabores desagradáveis e mudanças na textura. Além disso, o teor de umidade está relacionado com a vida útil da farinha, bem como com a padronização dos processos de produção de alimentos. Além disso, a umidade é um dos principais fatores de aceleração das reações químicas (GUTKOSKI & NETO, 2002, *apud* COSTA, 2003). Costa et al. (2008), analisaram o teor ou percentual de umidade em farinhas brasileiras e importadas, e encontraram em ambas, valores abaixo de 13% e sem diferença estatística quando comparadas entre si. De acordo com a portaria 354/96 da Secretaria de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde (BRASIL, 1996), o teor máximo de umidade permitido nas farinhas brasileiras é de 15%. Ainda de acordo com Faroni et al. (2002, *apud* COSTA et al., 2008), valores de umidade menores que 13% são recomendados tecnicamente sobre a premissa de assegurar a conservação, o empacotamento e armazenamento satisfatório dos grãos de trigo.

No presente estudo foram usadas farinhas brasileiras comercializadas na região Sul do Brasil, no entanto, em um estudo realizado por Souza et al. (2023), o teor de umidade detectado em farinhas comercializadas na região do recôncavo baiano foi entre 13,18 e 14,04%, também atendendo às normas da regulação vigente. Os autores comparam os seus resultados com os de outros estudos, inferindo que as diferenças encontradas podem ser atribuídas a fatores como o uso de métodos mais sensíveis para a detecção de umidade, ou ainda ao uso de lotes desiguais das farinhas, ação de micro-organismos e enzimas degradantes.

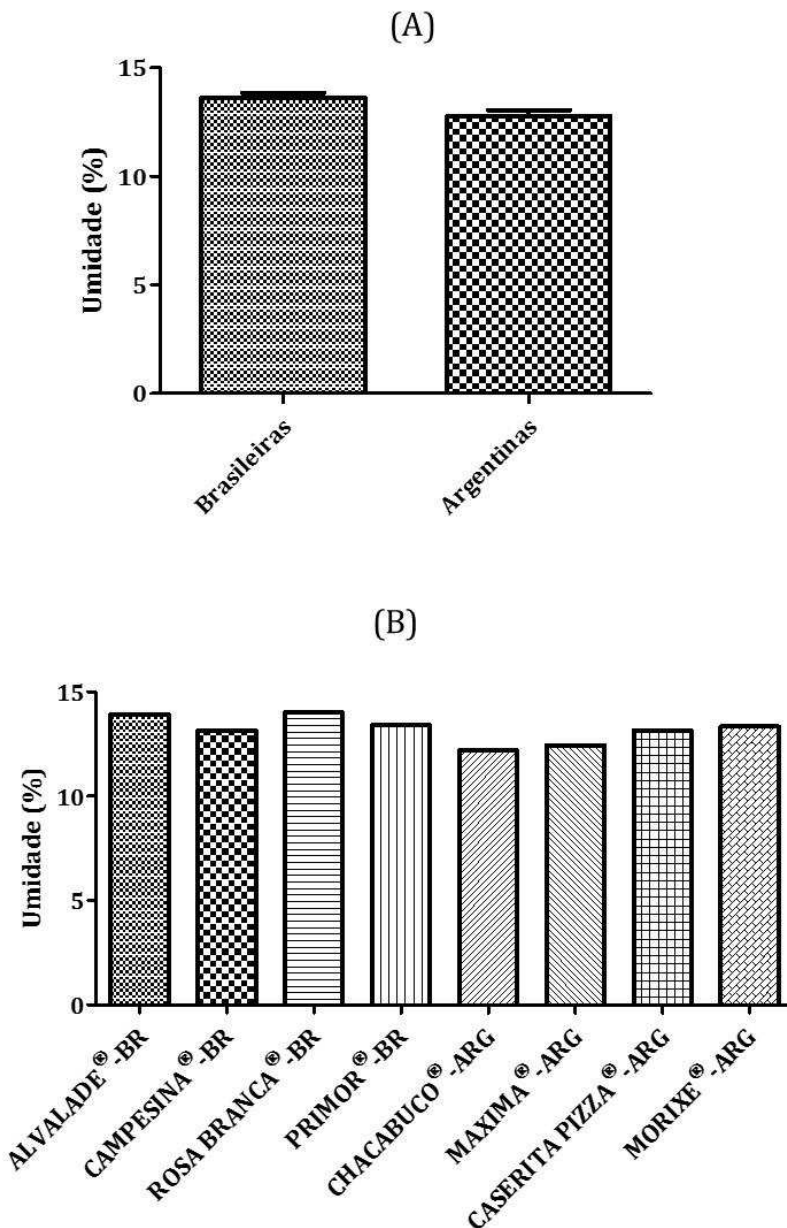


Figura 1. Teor de umidade obtido nas farinhas brasileira (BR) e argentinas (ARG), (A) médias; (B) valores individuais.

Também foi analisado o número de queda ou *falling number* (FN) (Figura 2). Esse ensaio, desenvolvido por Sven Hagberg na década de 50, consiste a avaliação da α -amilase pelo aparelho hagberg, sendo orientado pelo método 56-81B da AACC e tendo o resultado expresso em segundos (EMBRAPA, 2009, *apud* SANTOS, 2022). Os resultados obtidos mostram que ocorre maior uniformidade do FN nas farinhas argentinas do que nas brasileiras, as quais diferem completamente entre si ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey. Pode-se observar ainda que, a Primor-BR apresenta o maior valor de FN ($p < 0,05$) teste de Tukey em relação às demais farinhas. Tanto a Campesina-BR e a Rosa Branca-BR, apresentam o menor valor para esse parâmetro quando comparadas às demais farinhas brasileiras e argentinas ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

A determinação do FN é importante porque ajuda a garantir a qualidade do produto final, especialmente em relação à consistência da massa e do produto assado. Se a farinha tiver uma atividade de α -amilase muito alta, a fermentação pode ocorrer muito rapidamente, o que pode resultar em pães com estrutura aberta, migalhas úmidas e textura irregular. Se a atividade for muito baixa, a fermentação pode ser muito lenta, o que pode resultar em pães densos e pesados. Esse parâmetro fornece informações sobre as propriedades viscoelásticas do amido gelatinizado de uma suspensão farinácea durante o processo de aquecimento (COSTA et al., 2008). Considerando a classificação de Perten (1964) (Tabela 1) os valores de FN obtidos nas farinhas brasileiras e argentinas indicam baixa atividade enzimática, sendo a maior parte delas indicadas para o uso em massas (ICTA, 2010) (Tabela 2). Assim, pode-se afirmar que a umidade da farinha desempenha um papel essencial na determinação do FN. Um teor de umidade muito alto pode levar à deterioração do trigo e resultar em um valor baixo de FN, indicando que a farinha tem uma atividade enzimática excessiva. Por outro lado, uma umidade muito baixa pode afetar negativamente a atividade enzimática necessária para a formação adequada do glúten, resultando em um FN alto e afetando assim a característica como textura e aparência do produto final (KISZONAS et al., 2018). Um exemplo disso é a associação negativa entre o baixo valor de FN com um bolo esponja de qualidade ruim, com tamanho menor e mais duro ((KISZONAS et al., 2018).

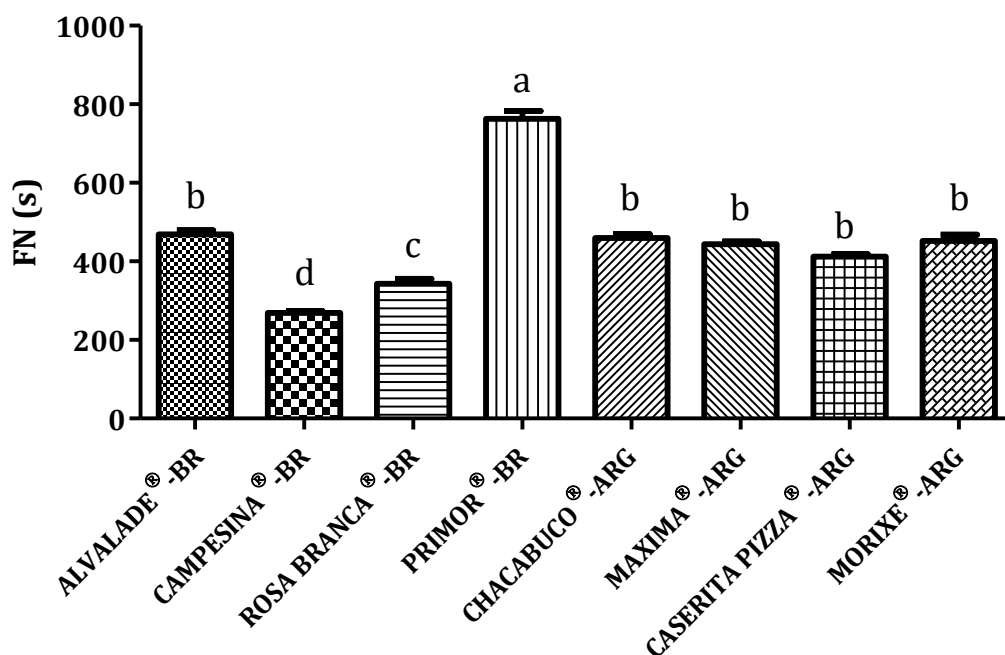


Figura 2. Valor médio em segundos (s) do *falling number* (FN) obtido em farinhas brasileiras (BR) e argentinas (ARG). Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de médias de Tukey ($p < 0,05$).

Outro parâmetro analisado foi a energia de deformação dada pela força do glúten (W) avaliada por meio da alveografia (Figura 3). Os resultados obtidos estão apresentados na Figura 3 e mostram

que Alvalade-BR e Rosa Branca-BR apresentam os maiores valores relativos à força de glúten, diferindo estatisticamente da Caserita Pizza®-ARG que apresentou o menor valor ($p < 0,05$, teste de Tukey). Ainda pela análise desses resultados é possível observar que as farinhas Campesina®-BR, Primor®-BR, Chacabuco®-ARG, Maxima®-ARG e Morixe®-ARG possuem W semelhantes entre si, bem como semelhantes aos das farinhas Alvalade®-BR, Rosa Branca®-BR e Caserita Pizza®-ARG ($p > 0,05$).

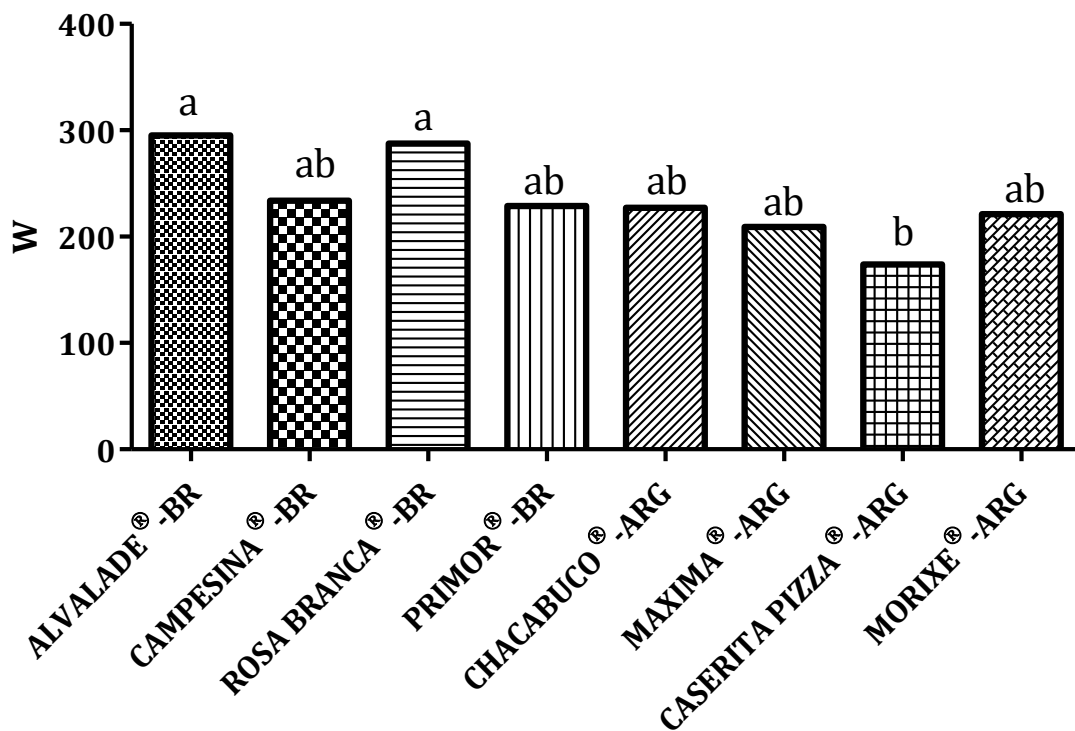


Figura 3. Energia de deformação (W) obtida pela análise alveográfica das farinhas brasileiras (BR) e argentinas (ARG). Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de médias de Tukey ($p < 0,05$).

A qualidade de grãos e farinhas de cereais é determinada por uma variedade de características que assumem diferentes significados dependendo da designação de uso ou tipo de produto. Estas características podem ser divididas em físicas, químicas, enzimáticas e reológicas (FREO et al., 2011). A alveografia é um teste reológico que determina a força de glúten (W), sendo utilizada para avaliar a maior ou menor capacidade da farinha sofrer um tratamento mecânico ao ser misturada com água (FREO et al., 2011).

O conhecimento das propriedades viscoelásticas da farinha é um fator essencial para a determinação do seu uso final. Farinhas que apresentam glúten mais resistente são preferidas para a produção de pães e macarrão ou outras pastas, ao passo que farinhas com glúten mais flexível são preferencialmente usadas na produção de bolos e biscoitos (MELINI et al., 2017 *apud* BARANZELLI et al., 2018). Por sua vez, a qualidade do glúten é determinada ainda no momento da germinação do grão

de trigo, onde o nível de proteólise e as condições ambientais em que ela ocorre determinam suas características físico-químicas (BARANZELLI et al., 2018). Essas características físico-químicas então afetam a qualidade do glúten, que, no processo de panificação, reflete sua capacidade de dar extensibilidade e consistência à massa, além de reter gás carbônico proveniente da fermentação, promovendo assim o aumento do volume desejado (ZARDO, 2010).

De forma geral, os resultados apresentados aqui, indicam que, em relação à umidade, não há diferença significativa entre as farinhas brasileiras e argentinas. Embora as farinhas argentinas apresentem um percentual médio de umidade um pouco menor do que as brasileiras, ambos estavam dentro dos limites permitidos pela legislação e indicados tecnicamente para assegurar a conservação e o armazenamento dos grãos de trigo.

No entanto, em relação ao número de queda, as farinhas argentinas apresentam maior uniformidade do que as brasileiras, que apresentam diferenças significativas entre si. O número de queda é um importante indicador da qualidade da farinha, pois ajuda a garantir a consistência da massa e do produto assado. Valores muito altos ou muito baixos podem resultar em problemas de textura e estrutura do produto final.

Assim também, a energia de deformação do glúten, avaliada por meio da alveografia, mostrou que algumas farinhas brasileiras diferem da Caserita Pizza®-ARG, enquanto outras apresentam W semelhantes entre si e às farinhas avaliadas da Argentina.

Conclusão

Considerando os resultados apresentados, pode-se concluir que, as farinhas brasileiras e argentinas apresentaram diferenças em relação ao número de queda e energia de deformação do glúten, mas não em relação à umidade. Esses resultados poderão ajudar a orientar a escolha de farinhas para diferentes tipos de produtos de panificação e massas, levando em consideração as propriedades reológicas e de qualidade indicadas pelos diferentes parâmetros analisados.

Agradecimentos

À Universidade Federal do Mato Grosso pelo apoio institucional, em especial ao Professor Carlos Caneppele por todo o suporte e por ceder as estruturas do Núcleo de Tecnologia e Armazenamento da UFMT campus Cuiabá, para realização desse projeto, nossos mais sinceros agradecimentos.

Referências

AACC. American Association of Cereal Chemists. Approved methods. 10. ed. Saint Paul, 2000. CD-ROM.
BARANZELLI, J.; KRINGEL, D. H.; COLUSSI, R.; PAIVA, F. F.; ARANHA, B. C.; MIRANDA, M. Z.; ZAVAREZE, E. R.; DIAS, A. R. G. Changes in enzymatic activity and technological quality and gamma-aminobutyric acid

- (GABA) content of wheat flour as affected by germination. *LWT- Food Science and Technology*, v.90, p.483-490, 2018.
- COSTA, M.G. Qualidade funcional da farinha obtida do grão de trigo nacional e importado. 59f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2003.
- COSTA, M. G.; SOUZA, E. L.; STAMFORD, T. L. M.; ANDRADE, S. A. C. Qualidade tecnológica de grãos e farinhas de trigo nacionais e importados. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.28, n.1, p.220-225, 2008.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do112_5.htm. Acesso em: 16 de maio de 2023.
- FARONI, L. R. D.; BERBERT, P. A.; MARTINAZZO, A. P.; COELHO, E. M. Qualidade da farinha obtida de grãos de trigo fumigados com dióxido de carbono e fosfina. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, n.2, p.354-357, 2002.
- FELDMAN, M. Wheats. In: SMARTT, J.; SIMMONDS, N.W. *Evolution of crop plants*. Harlow, UK: Longman Scientific and Technical, 1995, p.185-192.
- FREO, J. D.; MORAES, L. B. D.; COLUSSI, R.; MOSSMANN, J.; ELIAS, M. C.; GUTKOSKI, L. C. Propriedades físicas e tecnológicas de farinha de trigo tratada com terra de diatomácea. *Ciência Rural*, v.41, n.6, p.1076-1081, 2011.
- GLOBO. Globo Rural: Farinha de trigo é tudo igual? Saiba qual é a mais usada em cada preparação. Disponível em: <https://globorural.globo.com/agricultura/trigo/noticia/2022/12/farina-de-trigo-e-tudo-igual-saiba-qual-e-mais-usada-em-cada-preparacao.ghtml>. Acesso em 16 de maio de 2023.
- GUTKOSKI, L. C.; NETO, R. J. Procedimento para teste laboratorial de panificação – pão tipo forma. *Revista Ciência Rural*, v.32, n.5, p.873-879, 2002.
- ICTA. Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos. Avaliação da qualidade tecnológica/industrial da farinha de trigo. 2010. Disponível em: www.ufrgs.br/napead/repositorio/objetos/avaliacao-farina-trigo/item3.php. Acesso em: 15 de agosto de 2014.
- KAUR, N.; CHUGH, V.; GUPTA, A. K. Essential fatty acids as functional components of foods- a review. *Journal of Food Science and Technology*, v.51, n.10, p.2289-2303, 2014.
- KISZONAS, A. M.; ENGLE, D. A.; PIERANTONI, L. A.; MORRIS, C. F. Relationships between Falling Number, α -amilase activity, milling, cookie, and sponge cake quality of soft white wheat. *Cereal Chemistry*, v.95, n.3, p.373-385, 2018.
- MELINI, F.; MELINI, V.; LUZIATELLI, F.; RUZZI, M. Current and forward-looking approaches to technological and nutritional improvements of gluten-free bread with legume flours: A critical review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, n.16, 1101-1122, 2017.
- MÓDENES, A. N.; SILVA, A. M.; TRIGUEROS, D. E. G. Avaliação das propriedades reológicas do trigo armazenado. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.29, n.3, p.508-512, 2009.
- NEIL, G.; AL-MUHTASEB, A. H.; MAGEE, T. R. A. Optimisation of time/temperature treatment, for heat treated soft wheat flour. *Journal of Food Engineering*, v.113, n.3, p.422-426, 2012.

SHEWRY, P. R.; HEY, S. J. The contribution of wheat to human diet and health. *Food Energy Secur*, v.4, n.3, p.178-202, 2015.

PERTEN, H. Application of the falling number method for evaluating alpha-amylase activity. *Separata de Cereal Chemistry*, v.41, n.3, p.127-140, 1964.

WPR. World Population Review. Wheat production by country 2023. Disponível em: <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/wheat-production-by-country>. Acesso em: 23 de abril de 2023.

SANTOS, L. F. M. Revisão bibliográfica do controle de qualidade aplicado à farinha de trigo. 54f. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2022.

SCHIDLOWSKI, L. L. Produtividade e qualidade industrial de trigo em diferentes anos e regiões de cultivo. 46f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2014.


SOUZA, M. A. S.; LUCIANO, A. V.; BARRIENTOS, M. O. Determinação do teor de umidade em amostras de farinha de trigo. *Revista Brasileira de Saúde Funcional*, v.11, n.1, p.77-84, 2023.

ZARDO, F. P. Análises Laboratoriais para o controle de qualidade da farinha de trigo. 46f. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul. Bento Gonçalves, 2010.

USO DO SIG PARA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA IRRIGADA DO MILHO (ZEA MAYS L.) EM REGIÃO SEMIÁRIDA


Paulo Roberto Megna Francisco

Doutorando em Eng. de Recursos Naturais, UFCG, Campina Grande-PB, paulomegna@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-5062-5434>


Viviane Farias Silva

Dra. Profa. Associada, UFCG, Patos-PB, viviane.farias@professor.ufcg.edu.br

 <https://orcid.org/0000-0002-5891-0328>


Djail Santos

Dr. Prof. Titular, UFPB, Areia-PB, santosdjail@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0003-2207-3115>


George do Nascimento Ribeiro

Dr. Prof. Associado, CDSA, UFCG, Sumé-PB, george@ufcg.edu.br

 <https://orcid.org/0000-0003-4225-0967>


Gypson Dutra Junqueira Ayres

Doutorando em Eng. Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, fgypsond@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-5260-1682>


Raimundo Calixto Martins Rodrigues

Dr. Prof., UEMA, São Luís-MA, calixto_80@hotmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-8437-7857>

José Crispiniano Feitosa Filho

Phd. Prof. Associado IV, DSER, CCA, UFPB, jcfeitosafilho@gmail.com

 <http://lattes.cnpq.br/1161881618455980>

Introdução

Em toda extensão territorial brasileira, o milho (*Zea mays L.*) é cultivado, destacando-se das demais culturas e ocupando assim a segunda maior área cultivada do país (CONAB, 2007). No Brasil, o milho constitui uma das principais culturas agrícolas. De acordo com o Levantamento Sistemático da Produção Agrícola do IBGE (2015), a produção nacional de grãos no ano de 2014 foi de aproximadamente 79 milhões de toneladas. De acordo com Silva et al. (2012), essa cultura é importante na composição de silagem e rações, sendo a principal fonte de energia na dieta de rebanhos bovinos, caprinos, ovinos e na avicultura, e também para alimentação humana.

A cultura do milho apresenta pouca tolerância à falta de água. Cultivado em diversos sistemas produtivos, o milho é plantado principalmente nas regiões do Centro-Oeste, Sudeste e Sul. No Nordeste do Brasil os rendimentos da cultura são muito baixos, cultivado por pequenos agricultores que utilizam pouco ou nenhum recurso tecnológico. Entretanto, apesar dos baixos rendimentos, o milho é um cereal tradicional e apresenta aspectos culturais e históricos na região (BARROS et al., 2012).

A irregularidade pluviométrica torna o cultivo agrícola de sequeiro uma atividade de alto risco. Com isso, semiárido brasileiro possui sua capacidade produtiva limitada, por causa das características intrínsecas em relação à vegetação, clima e solo (CAVALCANTI & RESENDE, 2001).

Quanto ao clima, os fatores que afetam o crescimento da cultura de milho variam com a região. Nas regiões temperadas e subtropicais, a limitação maior se deve à temperatura do ar e a radiação solar. No Nordeste, destacam-se a precipitação, a temperatura e a evapotranspiração, pois afetam as atividades fisiológicas, interferindo diretamente na produção de grãos e de matéria seca (SILVA et al., 2012).

O milho é cultivado em regiões com precipitação de 400mm anuais, caso do semiárido nordestino, com baixíssimos rendimentos, a valores superiores a 1.500mm anuais, sendo que a quantidade de água consumida pelo milho durante o seu ciclo está em torno de 600 a 800 mm (ALDRICH et al., 1982), consistindo em uma das culturas mais afetadas pela variabilidade espaço-temporal da precipitação pluviométrica.

De acordo com EMBRAPA (2004), o milho necessita de no mínimo 350 a 500mm de chuva por ciclo, pluviometria menores irá exigir o uso de irrigação, sendo que a precipitação ideal gira em torno de 500 a 800mm. Porém, de acordo com Bergamaschi et al. (2006), a necessidade hídrica do milho varia de 200 a 400mm para o ciclo completo, mas estes valores variam com os diferentes locais e épocas de plantio.

A região Nordeste do Brasil caracteriza-se pela irregularidade espacial e temporal da precipitação e dos processos de escoamento e erosão dos solos, como também pelo alto potencial para evaporação da água em função da enorme disponibilidade de energia solar e altas temperaturas durante todo o ano. Assim, a região Nordeste do Brasil é considerada como uma região anômala no que se refere à distribuição espacial e temporal da precipitação ao longo do ano (SOUZA et al., 1998).

O uso da irrigação viabiliza a produção agrícola especialmente em áreas áridas e semiáridas, como no caso do Nordeste brasileiro, onde a escassez hídrica representa uma séria limitação para o desenvolvimento socioeconômico, que se traduz em baixos níveis de renda e padrões insatisfatórios de nutrição, saúde e saneamento de parcela representativa da sua população. A adoção e a aplicação de metodologias atualizadas de classificação de terras para a irrigação podem permitir o planejamento do uso da terra com vistas ao desenvolvimento sustentável. Essas ações poderiam minimizar a degradação das terras e/ou da baixa taxa de retorno econômico, que afetam em muitos casos o pleno sucesso dos projetos irrigados (AMARAL, 2005).

Com o advento da informática, o uso de geotecnologias, do Sistema de Informações Geográficas, a evolução dos sistemas computacionais para estudos de análise ambiental, tem proporcionado excelentes resultados no processo de automação da maioria dos trabalhos executados de forma convencional e tem permitido o processamento de um grande volume de informações relevantes para tomadas de decisão (CARVALHO et al., 2009; CÂMARA & MEDEIROS, 1996; FERNANDES et al., 1998). Um dos aspectos mais importantes do uso das geotecnologias é o potencial dos SIGs em produzir novas informações a partir de um banco de dados geográficos. Tal capacidade é fundamental para aplicações como ordenamento territorial e estudos de impacto ambiental, caso em que a informação final deve ser deduzida e compilada a partir de levantamentos básicos (CÂMARA et al., 1996).

Portanto, este trabalho objetiva para a região do médio curso rio Paraíba, avaliar e mapear o potencial da produção agrícola irrigada do milho utilizando técnicas de geoprocessamento.

Material e Métodos

A área de estudo compreende a região do médio curso do rio Paraíba com área de 379.406,37 ha localizada no Estado da Paraíba, considerada a 6ª maior bacia (Figura 1), composta total e/ou parcialmente pelos municípios de Aroeiras, Alcantil, Barra de Santana, Boa Vista, Boqueirão, Barra de São Miguel, Caturité, Campina Grande, Fagundes, Gado Bravo, Itatuba, Natuba, Pocinhos, Puxinanã, Queimadas, Riacho de Santo Antônio, Santa Cecília e Umbuzeiro.

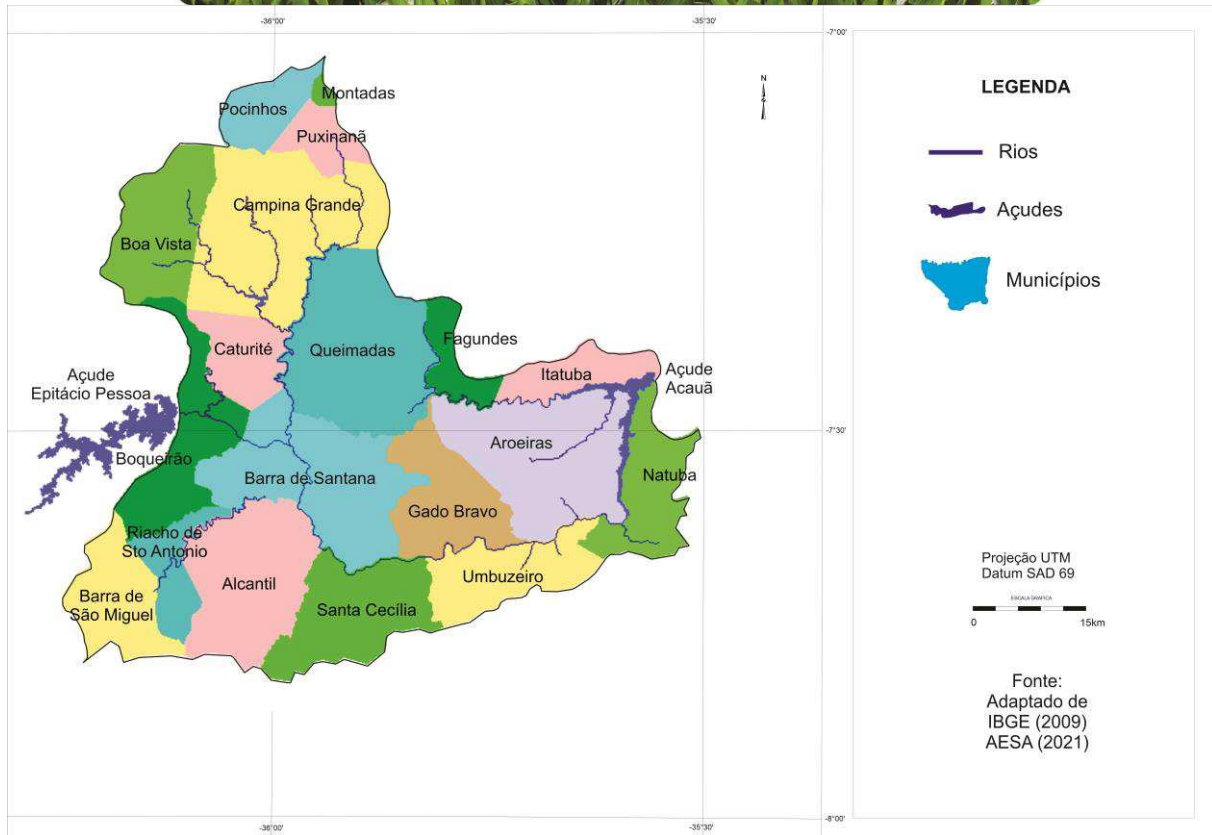


Figura 1. Localização da área de estudo. Fonte: adaptado de IBGE (2009); AESA (2021).

Conforme Francisco (2010), a área de estudo engloba a encosta oriental do Planalto da Borborema, porção leste da bacia, com o clima, segundo a classificação de Köppen, do tipo As' - Tropical Quente e Úmido com chuvas de outono-inverno. A precipitação decresce do litoral para o interior da região ($600 \text{ mm}\cdot\text{ano}^{-1}$) devido, principalmente, a depressão do relevo. Na porção oeste da bacia, o clima é do tipo Bsh - Semiárido quente, precipitação predominantemente, abaixo de $600 \text{ mm}\cdot\text{ano}^{-1}$, e temperatura mais baixa, devido ao efeito da altitude (400 a 700m).

A vegetação representativa da área de estudo é do tipo caatinga hiperxerófila (FRANCISCO, 2010). Os solos predominantes na área de estudo, conforme Campos e Queiroz (2006) são Luvisolos Crômicos órtico típico, Neossolos Litólicos Eutróficos típico, e Vertissolo Cromado Órtico típico, Planossolo Nátrico Órtico típico (Figura 2).

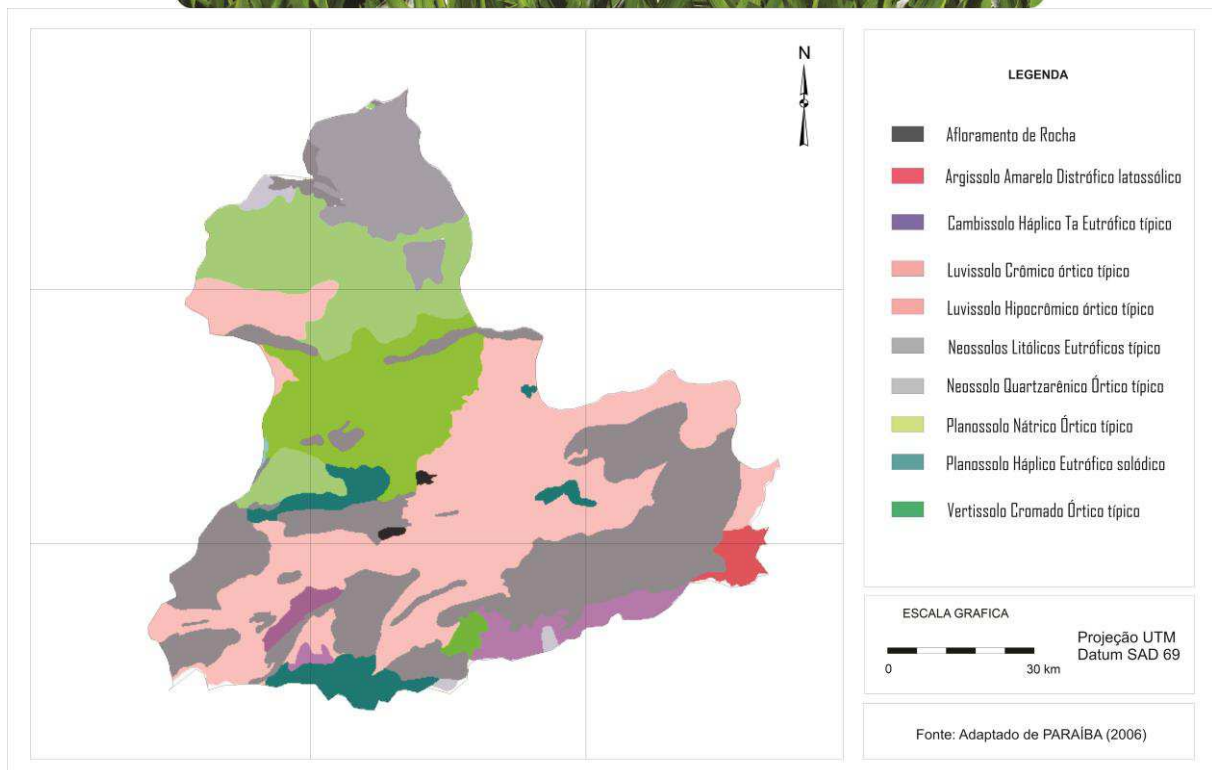


Figura 2. Mapa de solos da área de estudo. Fonte: adaptado de PARAÍBA (2006).

Baseada nas potencialidades e limitações de solo e de clima para cultura agrícola e considerando o uso da terra na condição de sequeiro (sem irrigação) e um cenário pluviométrico, foi elaborado o mapa do potencial de produção agrícola entre o cruzamento matricial do potencial de irrigação e de capacidade de retenção de água dos solos.

Para tal, foi utilizado o mapa de potencial de irrigação dos solos elaborado por Francisco et al. (2021) que utilizou a classificação do *Bureau of Reclamation* (BUREC, 1953) com adaptações desenvolvidas para as condições da região nordeste do Brasil por Cavalcanti et al. (1994), onde por este trabalho foi categorizado nas classes de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1. Classes do potencial de irrigação dos solos

Classes de Irrigação	
I 1	Terras aráveis, altamente adequadas para agricultura irrigada
I 2	Terras aráveis, com moderada aptidão para agricultura irrigada
I 3	Terras aráveis com aptidão restrita para agricultura irrigada
I 4	Terras aráveis de uso especial
I 5	Terras não-aráveis, mas em situação provisória
I 6	Terras não-aráveis

Também foi elaborado o mapa de capacidade de retenção de água dos solos baseado na metodologia do MAPA (2008) e de Francisco et al. (2011) utilizando as classes de capacidade de uso (PARAÍBA, 1978), onde foi possível classificar e elaborar o mapa categorizado conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Classificação da Capacidade de retenção de água dos solos

Classe	Condições do solo
T1 - Tipo 1	Com teor de argila maior que 10% e menor ou igual a 15
T2 - Tipo 2	Com solos com teor de argila entre 15 e 35% e menos de 70% areia
T3 - Tipo 3	Com solos com teor de argila maior que 35%
AP - Área Proibida	Sendo expressamente proibido o plantio de qualquer cultura que esteja em solos que apresentem teor de argila inferior a 10% nos primeiros 50 cm de solo; em solos que apresentem profundidade inferior a 50 cm; em solos que se encontra em áreas com declividade superior a 45%; e em solos muito pedregosos, isto é, solos nos quais calhaus e matacões ocupam mais de 15% da massa e/ou da superfície do terreno

Fonte: MAPA (2008).

Após, foi gerado o mapa parcial através do cruzamento matricial dos mapas de potencial de irrigação dos solos e de capacidade de retenção dos solos, utilizando o LEGAL do SPRING. As classes foram definidas pelo mais alto grau de limitação imposto e categorizado pelas classes definidas conforme a Tabela 3.

Tabela 3. Classes do cruzamento matricial entre o mapa parcial de potencial de irrigação e o de capacidade de retenção de água no solo

Classes	Capacidade retenção de água no solo			
	T1	T2	T3	AP
Irrigação				
I1	MA1	MA2	MA3	MA4
I2	A1	A2	A3	A4
I3	M1	M2	M3	M4
I4	B1	B2	B3	B4
I5	MB1	MB2	MB3	MB4
I6	MB1	MB2	MB3	MB4

Legenda: I-Irrigação; T- Cap. Ret. Água no Solo; MA-Muito Alto; A-Alto; M-Médio; B-Baixo; MB-Muito Baixo.

Os dados de precipitações climatológicas médias mensais e anuais foram adquiridos da base de dados coletado pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAs), para o período de 109 anos entre 1912 a 2021 dos postos pluviométricos e selecionando-se os que possuem 30 ou mais anos de observações e procedida de uma análise no tocante à sua consistência,

homogeneização e no preenchimento de falhas em cada série, sendo utilizada uma planilha eletrônica e elaborado o cálculo de pluviosidade. O mapa foi espacializado utilizando o software Surfer® 9 trial pelo método estatístico de interpolação por krigagem e após o mapa recortado utilizando os limites da bacia e importado ao SIG SPRING.

Utilizando o mapa de pluviosidade média anual foi elaborado o mapa da condição climática para a cultura do milho. A discriminação da condição climática foi adaptada de Francisco e Santos (2018) e da proposta de Varejão e Barros (2002). As classes foram definidas em 5 critérios determinadas de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4. Classes de condição climática

Legenda	Condição Climática	Pluviosidade (mm)
C1	Plena	1.050-1.100
C2	Plena com período chuvoso prolongado	1.100-1.200
C3	Moderada por excesso hídrico	> 1.200
C4	Moderada por deficiência hídrica	1.000-1.050
C5	Inapta por deficiência hídrica acentuada	< 1.000

Fonte: adaptado de Francisco e Santos (2018).

Após foi elaborada uma linguagem no LEGAL do SPRING para geração do mapa de potencial de produção agrícola através do cruzamento matricial entre o mapa parcial e o mapa de cenário climático, conforme a categorização das classes descritas na Tabela 5.

Tabela 5. Classes do potencial de produção agrícola das culturas

Potencial Parcial	Condição climática				
	C1	C2	C3	C4	C5
IT1	MA1	MA2	MA3	MA4	MB5
IT2	A1	A2	A3	A4	MB6
IT3	M1	M2	M3	M4	MB7
IT4	B1	B2	B3	B4	MB8
IT5-IT6	MB1	MB2	MB3	MB4	MB9

Legenda: C-Condição climática; I-Irrigação; T- Cap. Ret. Água no Solo; MA-Muito Alto; A-Alto; M-Médio; B-Baixo; MB-Muito Baixo.

Resultados e Discussão

De acordo com a Figura 3, observa-se Terras aráveis com aptidão restrita da classe 3, com área de 44.264,00 ha representando 11,67% da área total. Terras aráveis de uso especial da classe 4 com

área de 32.029,00 ha representando 8,44% do total. As Terras não aráveis da classe 6 apresentam área de 303.113,37 ha em 79,89% da bacia. Estas estão distribuídas em toda a região da bacia onde ocorre diversidade de solos.

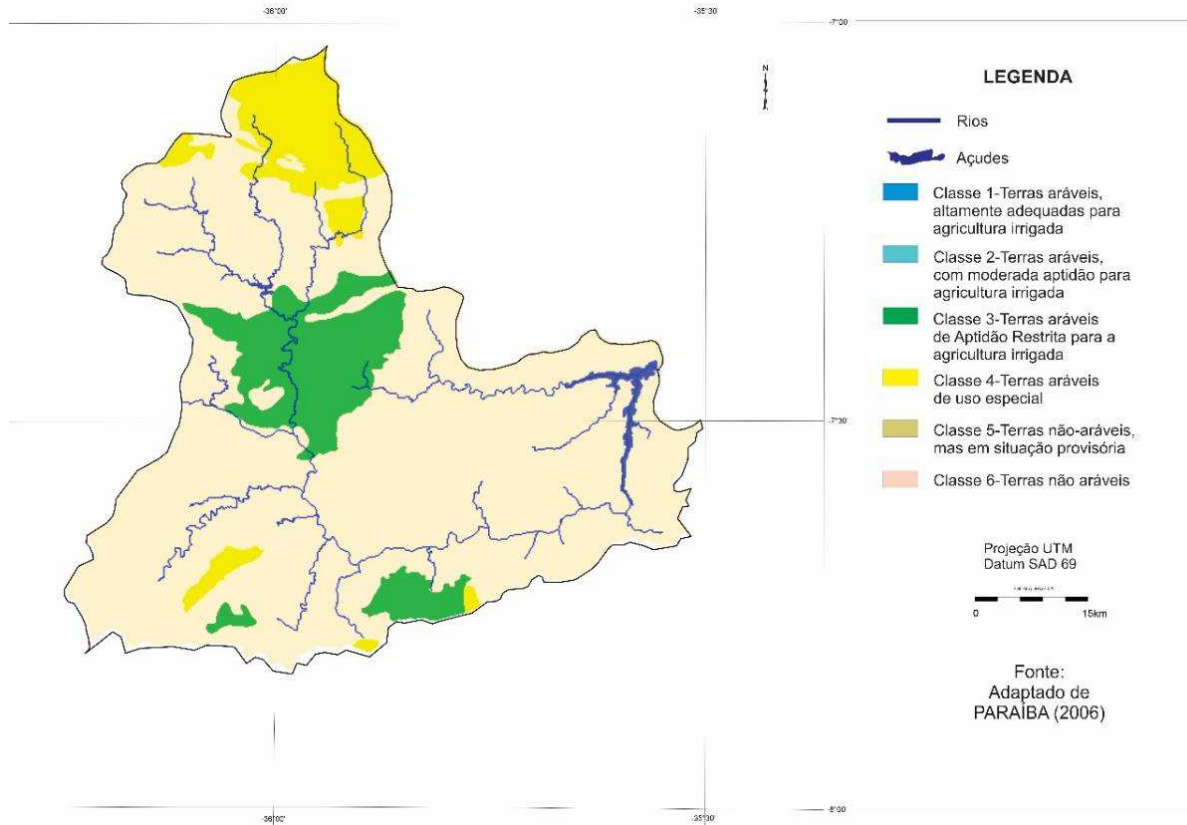


Figura 3. Potencial para irrigação da área de estudo. Fonte: Francisco et al. (2021).

Identifica-se 64.041,00 ha de terras do Tipo 1 (Figura 4) representando 16,88% da área total da bacia. As áreas de terras do Tipo 2 perfazem 71.135,00 ha, representando 18,75% da área total. As áreas de terras do Tipo 3 perfazem um total de 64.284,00 ha, representando 16,94% da área. As áreas identificadas como Proibidas totalizam 179.946,37 ha, representando 47,43% da área distribuídas pela bacia.

As áreas recomendadas para irrigação mapeadas por este trabalho (Figura 5) apresentam para a classe Média área de 44.250,12 ha representando 11,66% do total. A classe Baixa com 32.016,51 ha de área representando 8,44% do total localizada ao norte da bacia. A classe Muito Baixa em 79,90% da área com 303.139,74 ha distribuída por toda a bacia hidrográfica.

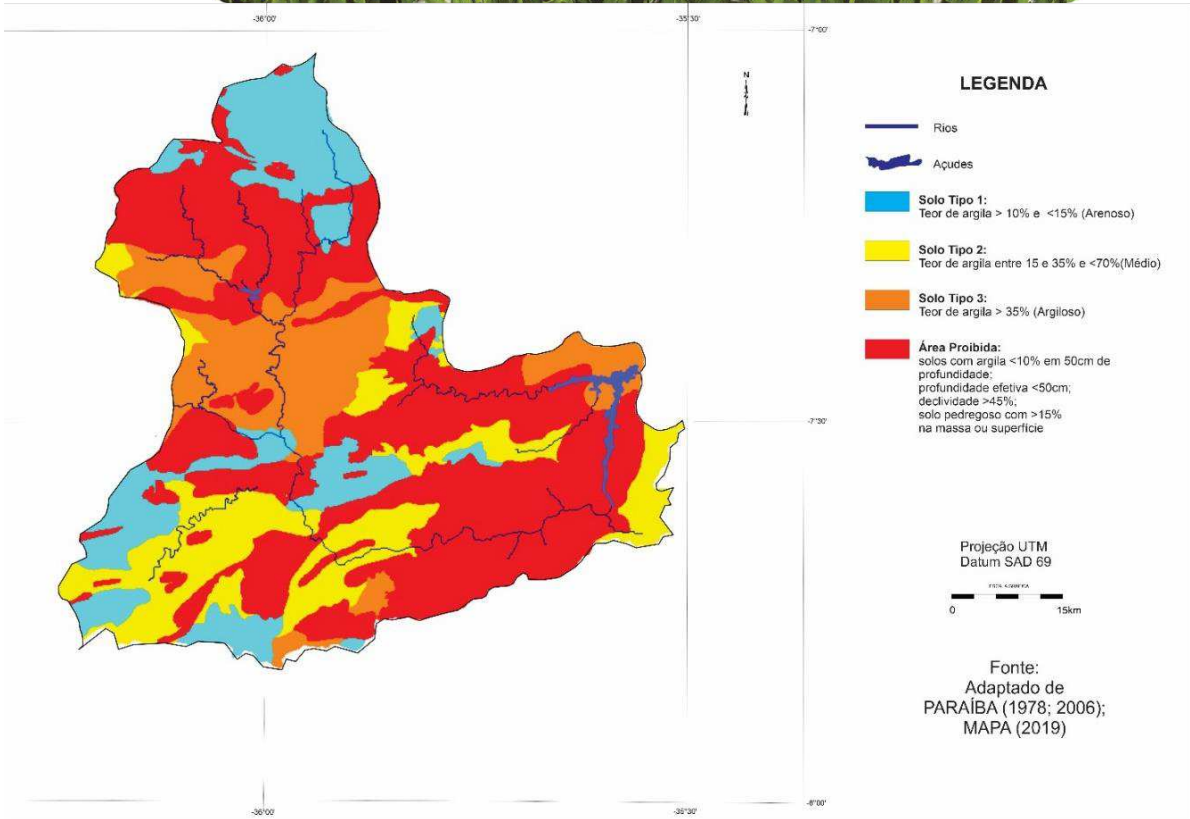


Figura 4. Capacidade de retenção de água no solo da área de estudo.

Fonte: Adaptado de PARAÍBA (1978; 2006); MAPA (2019).

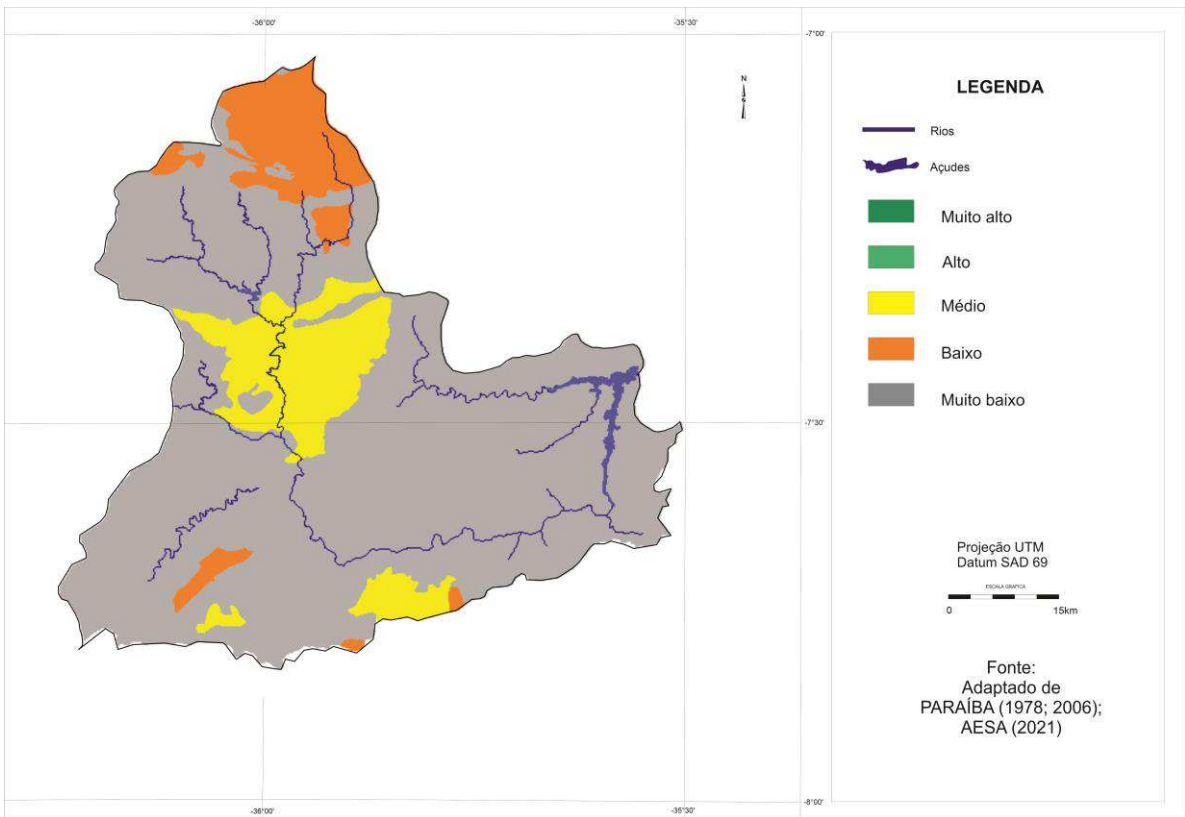


Figura 5. Recomendação para irrigação.

Fonte: Adaptado de PARAÍBA (1978; 2006); AESA (2021).

No mapa da condição climática para cultura do milho (Figura 6), observa-se que somente 2,02% da área da bacia em 7669,74 ha apresenta condição climática Plena (C1). Essa área está localizada ao sudeste da bacia no município de Natuba divisa com Pernambuco. Observa-se que a condição climática plena com período chuvoso prolongado (C2) e a moderada por excesso hídrico (C3) não são identificadas na bacia para esta cultura. Para a condição climática Moderada por deficiência hídrica (C4), observa-se 13626,50 ha representando somente 0,86% do total. Essa área apresenta-se em uma pequena e estreita faixa entre a classe inapta (C5) localizada no município de Natuba. As áreas inaptas por deficiência hídrica acentuada (C5) perfazem um total de 368.474,13 ha (97,12%). Estas áreas ocorrem distribuídas por toda a bacia.

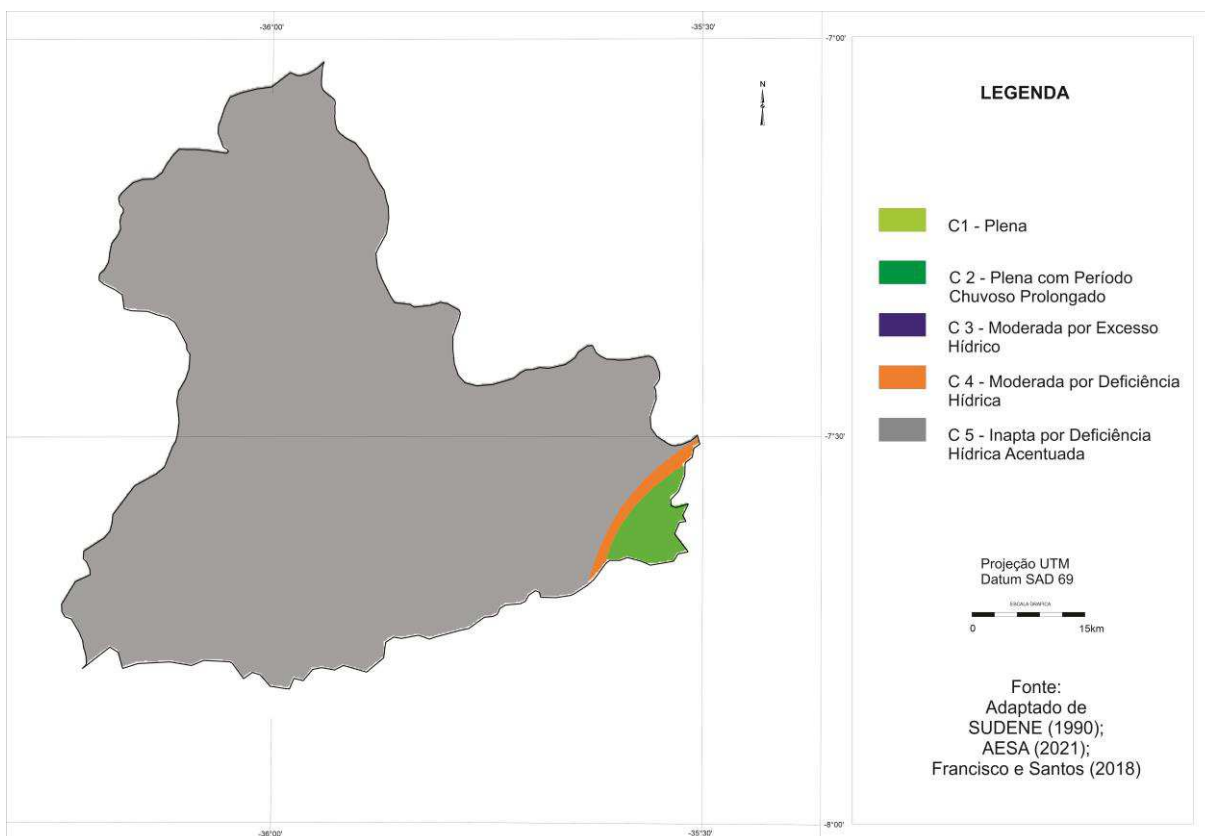


Figura 6. Condição climática para o milho.

Fonte: Adaptado de PARAÍBA (1978; 2006); AESA (2021); Francisco e Santos (2018).

A irregularidade pluviométrica torna o cultivo agrícola de sequeiro uma atividade de alto risco. Com isso, semiárido brasileiro possui sua capacidade produtiva limitada, por causa das características intrínsecas em relação à vegetação, clima e solo (CAVALCANTI & RESENDE, 2001).

A cultura está entre as de maior consumo de água. A deficiência hídrica na planta é quase diária, em função da alta demanda evaporativa da atmosfera, notadamente nas regiões tropicais, onde as taxas de transpiração são elevadas. Nos dias mais quentes, a planta perde mais água do que

consegue absorver, mesmo em condições de disponibilidade de água no solo. A escassez hídrica na planta afeta todos os processos relacionados com seu desenvolvimento (TAIZ & ZAIGER, 2004).

Na Figura 7, no mapa de potencial de produção agrícola irrigada da cultura do milho, observa-se que somente a classe Muito Baixa está representada no mapeamento.

Estes ambientes desta classe abrangem o total da bacia em 379.406,37 ha, com ocorrência das subclasses MB1, MB4, MB7, MB8 e MB9 (Tabela 6). Notadamente em ambientes por apresentarem solos de potencial Médio, e condição climática Plena, Plena com período chuvoso prolongado e por Moderada por deficiência.

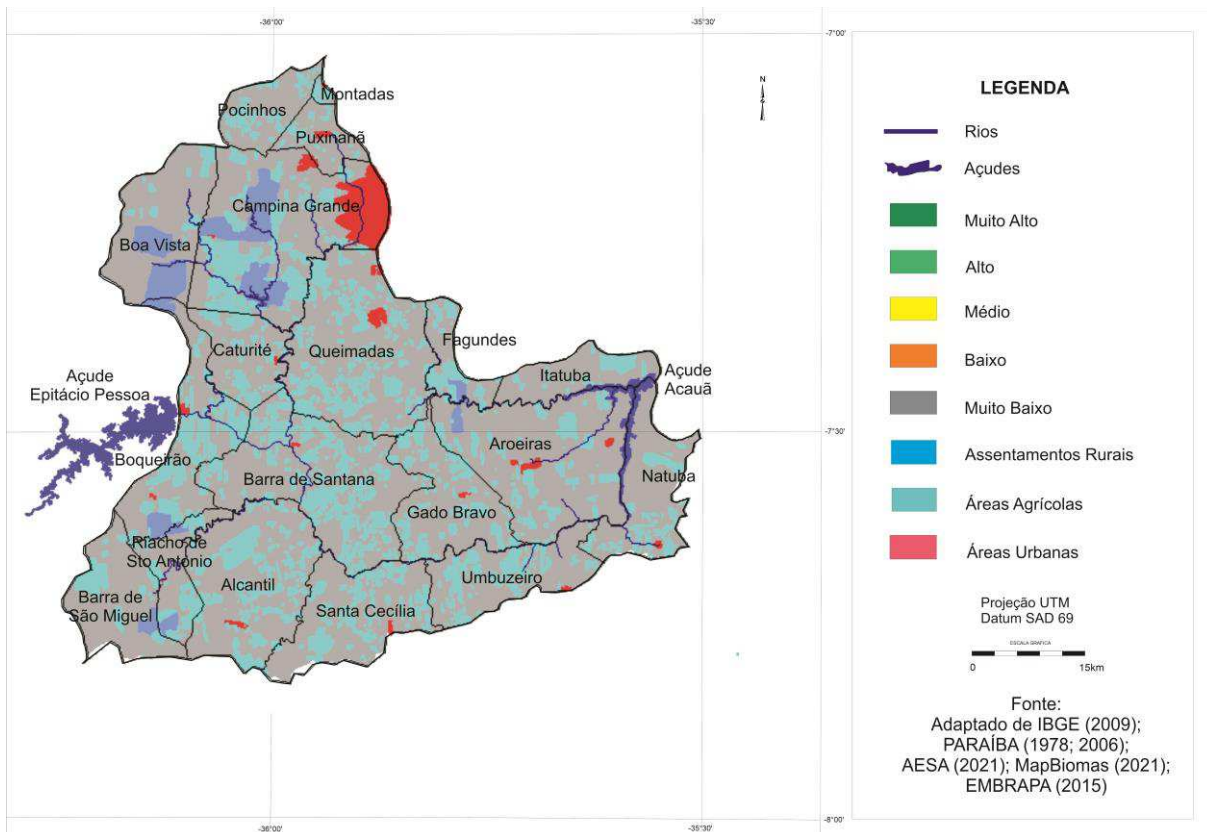


Figura 7. Potencial de produção agrícola para a mandioca.

Fonte: Adaptado de PARAÍBA (1978; 2006); AESA (2021).

Para a cultura do milho, os resultados deste mapeamento do potencial de produção agrícola irrigado diferem com os dados do IBGE (2017) de produção onde a cultura do milho é produzida em 7.792 ha, com destaque para Puxinanã, Queimadas, Campina Grande e Fagundes, localizado ao noroeste da bacia, e com 4.198 ha localizado ao leste da bacia em 2.158 ha nos municípios de Aroeiras, Itatuba, Natuba e Umbuzeiro.

Mesmo não apresentando áreas aptas mapeadas por este trabalho, mesmo com as deficiências da pluviosidade, indica que a experiência dos agricultores quanto à produção de subsistência, mesmo com riscos de perdas, podendo assim, serem ampliadas para irrigação, desde que sigam as

recomendações da época de plantio e da cultivar mais adequada, como também o manejo adequado da irrigação.

Tabela 6. Classes de potencial de produção agrícola para o milho

Classe	Subclasse	Área (ha)	%
Muito Alta	MA1/ MA2	-	-
Alta	A1/ A2	-	-
Média	M1/M2/M3/M4/M5/M6/M7/M8	-	-
Baixa	B1/B2/B3/B4	-	-
	MB1	7.062,34	1,86
	MB2/MB3	-	-
	MB4	3.209,58	0,85
Muito Baixa	MB5/MB6	-	-
	MB7	39.654,36	10,45
	MB8	35.855,82	9,45
	MB9	293.624,27	77,39
Total		379.406,37	100,00

PARAÍBA (1978) observou que a exploração da cultura do milho tem uma grande difusão e encontra-se distribuída em todo o interior do Estado principalmente em áreas de subsistência e cultivadas em consórcio. Para Sousa e Peres (1998), a maior parte da produção de milho no Brasil é realizada em condições de sequeiro, estando sujeita às várias instabilidades climáticas.

Francisco et al. (2016), mapeando o potencial pedoclimático para o milho concluíram que os ambientes de potencial Baixo e Muito Baixo ocorrem em maior magnitude na região semiárida e tendem aumentar sua abrangência à medida que se acentua o grau de deficiência hídrica. Resultado similar a este estudo na área da bacia.

A cultura está entre as de maior consumo de água. A deficiência hídrica na planta é quase diária, em função da alta demanda evaporativa da atmosfera, notadamente nas regiões tropicais, onde as taxas de transpiração são elevadas. Nos dias mais quentes, a planta perde mais água do que consegue absorver, mesmo em condições de disponibilidade de água no solo. A escassez hídrica na planta afeta todos os processos relacionados com seu desenvolvimento (TAIZ & ZAIGER, 2004).

Quando o déficit hídrico ocorre durante o período crítico da cultura, a produtividade de grãos é afetada, reduzindo, principalmente, o número de grãos por espiga (MATZENAUER, 1994; BERGONCI et al., 2001). Nessas condições, o uso da irrigação torna-se fundamental, pois é no período crítico que ocorrem os maiores efeitos do déficit hídrico e também a maior eficiência do uso da irrigação, tanto na produção de matéria seca quanto na produtividade de grãos (BERGAMASCHI et al., 2004).

A variabilidade pluviométrica entre as regiões é fator que afeta a produtividade do milho. A cultura é altamente exigente em termos de disponibilidade de água (GONG et al., 2015), que é um dos aspectos chave para a sua produção (ARTUZO et al., 2019). Quantidade e distribuição de chuva são

geralmente os principais fatores de produtividade que influenciam na variabilidade sob condições de sequeiro (BERGAMASCHI et al., 2004; ARAUS et al., 2012). Estudos ecofisiológicos demonstraram como a seca afeta o rendimento de diferentes formas, dependendo do estágio da cultura. Durante o estabelecimento, a seca pode reduzir a germinação das plantas; enquanto o estresse hídrico, durante a expansão da área foliar, reduz a sua área e a interceptação da radiação solar (YAN et al., 2016).

No caso do melhoramento da deficiência de água para a irrigação, alguns fatores limitantes não são viáveis de melhoramento, uma vez que basicamente as limitações expressam as diferenças de umidade predominante nas diversas situações climáticas onde são recomendadas algumas práticas de manejo que favoreçam a umidade disponível das terras, tais como ajustamento do período do plantio e cultivo das culturas à época de chuvas; seleção de culturas e cultivares mais adaptadas à falta d'água; uso de práticas que assegurem a máxima retenção de água no solo como incorporação de restos vegetais e cobertura do solo assegurando a máxima infiltração e mínima evaporação.

Conclusão

O uso das técnicas de geoprocessamento proporcionou resultados satisfatórios no mapeamento das áreas.

Para cultura do milho foi identificada condição climática Plena (C1) em 2,02% do total da bacia; a condição climática plena com período chuvoso prolongado (C2) e a condição climática moderada por excesso hídrico (C3) não foram identificadas; a condição climática Moderada por deficiência hídrica (C4) em 0,86%; a condição inapta por deficiência hídrica acentuada (C5) em 97,12% da bacia.

O potencial de produção agrícola irrigada para a cultura do milho não apresentou potencial Muito Alto (MA), Alto (A), Médio (M) e Baixo (B), somente o potencial Muito Baixo (MB) em 100% da bacia.

Mesmo com estes resultados constatou-se que ocorre produção da cultura em alguns municípios da área na forma tradicional.

Agradecimentos

Ao apoio do CNPq e da Fapesq-PB.

Referências Bibliográficas

AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. João Pessoa, 2021. Disponível em: <http://geo.aesa.pb.gov.br>. Acesso em: 9 de abril 2021.

ALDRICH, S. R.; SCOTT, W. O.; LENG, E. R. Modern corn production. 2 ed. Champaign: A&L Publication, 1982. 371p.

- AMARAL, F. C. S. DO. Sistema brasileiro de classificação de terras para irrigação: enfoque na Região Semi-Árida. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2005. 218p. Convênio Embrapa Solos/CODEVASF.
- ARAUS, J. L.; SERRET, M. D.; EDMEADES, G. Phenotyping maize for adaptation to drought. *Frontiers in Physiology*, v.3, p.305, 2012.
- ARTUZO, F. D.; FOGUESATTO, C. R.; MACHADO, J. A. D.; OLIVEIRA, L. DE; SOUZA, A. R. L. DE. O potencial produtivo brasileiro: uma análise histórica da produção de milho. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v.12, n.2, p.515-540, 2019.
- BARROS, A. H. C.; VAREJÃO-SILVA, M. A.; TABOSA, J. N. Aptidão climática do Estado de Alagoas para culturas agrícolas. Relatório Técnico. Convênios SEAGRI-AL/Embrapa Solos n.10200.04/0126-6 e 10200.09/0134-5. Recife: Embrapa Solos, 2012. 86p.
- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; BERGONCI, J. I.; BIANCHI, C. A. M.; MÜLLER, A. G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, n.9, p.831-839, 2004.
- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; COMIRAN, F. Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.41, n.2, p.243-249, 2006.
- BUREC. Department of the Interior of United States. Bureau of Reclamation Manual. Irrigated Land use: Land Classification. v.5. pt.2. Denver, 1953. 54p.
- CÂMARA, G.; MEDEIROS, C. B.; CASANOVA, M. A.; HEMERLY, A. MAGALHÃES, G. Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica. Escola de Computação. SBC, 1996.
- CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling. *Computers & Graphics*, v.20, n.3, p.395-403, 1996.
- CARVALHO, C. C. N.; ROCHA, W. F.; UCHA, J. M. Mapa digital de solos: uma proposta metodológica usando inferência fuzzy. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, n.1, p.46-55, 2009.
- CAVALCANTI, A. C.; RIBEIRO, M. R.; ARAÚJO FILHO, J. C. A.; SILVA, F. B. R. Avaliação do potencial das terras para irrigação no Nordeste. Embrapa. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semiárido. Brasília: Embrapa-SPI, 1994. 38p.
- CAVALCANTI, N. B.; RESENDE, G. M. Avaliação de barreiros e finalidade da água armazenada na região semiárida da Bahia. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.5, n.3, p.568-570, 2001.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Avaliação da Safra Agrícola 2006/2007 – Sétimo Levantamento. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2007. Disponível em: <http://www.bibliotekevirtual.org/simposios/8SBCMAC/8sbcmac-a046.pdf>. Acesso em: 7 de novembro de 2021.
- EMBRAPA. Manual de segurança e qualidade para a cultura do milho. Brasília: Embrapa/Sede, 2004. 78p.

- FERNANDES, M. F.; BARBOSA, M. P.; SILVA, M. J. DA. O uso de um sistema de informações geográficas na determinação da aptidão agrícola das terras de parte do setor leste da bacia do Rio Seridó, PB. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.2, n.2, p.195-198, 1998.
- FRANCISCO, P. R. M. Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas. 122f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2010.
- FRANCISCO, P. R. M.; LIMA, E. R. V. DE; SANTOS, D.; CHAVES, I. DE B.; BEIRIGO, R. M. Mapeamento do potencial pedológico do Estado da Paraíba para o cultivo da mandioca (*ManiOTH esculenta Crantz*). In: Encontro de Extensão, Pesquisa e Inovação em Agroecologia, 2, 2016, Sumé. Anais...Sumé, 2016.
- FRANCISCO, P. R. M.; MORAES NETO, J. M. DE; SILVA, V. F.; SANTOS, D.; RIBEIRO, G. DO N. Potencial de irrigação da região do médio curso do rio Paraíba. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 7, 2021, Goiânia. Anais...Goiânia, 2021.
- FRANCISCO, P. R. M.; PEREIRA, F. C.; MEDEIROS, R. M. DE; SÁ, T. F. DE. Zoneamento de risco climático e aptidão de cultivo para o município de Picuí–PB. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.5, p.1043-1055, 2011.
- FRANCISCO, P. R. M.; SANTOS, D. Aptidão Climática do Estado da Paraíba para as Principais Culturas Agrícolas. 1ª ed. EPGRAF: Campina Grande, 2018. 120p.
- GONG, F.; WU, X.; ZHANG, H.; CHEN, Y.; WANG, W. Making better maize plants for sustainable grain production in a changing climate. *Frontiers in Plant Science*, v.6, p.8-35, 2015.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2009. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 7 de novembro de 2021.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola: Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, v.29, n.3, p.1-81, 2015.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Agrícola Municipal 2017. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 20/10/2021.
- MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Zoneamento Agrícola de Risco Climático. Portarias segmentadas. 2019. Disponível em: <http://indicadores.agricultura.gov.br/zarc/index.htm>. Acesso em: 9 de maio de 2021.
- MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Zoneamento Agrícola de Risco Climático. Instrução Normativa Nº 2, de 9 de outubro de 2008. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/riscos-seguro/programa-nacional-de-zoneamento-agricola-de-risco-climatico/documentos/INn2de09.10.2008.pdf>. Acesso em: 12 de outubro de 2021.
- PARAÍBA. Governo do Estado. Secretaria de Agricultura e Abastecimento. CEPA-PB. Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba. Relatório ZAP-B-D-2146/1. UFPB-Eletro Consult Ltda. 1978. 448p.

PARAÍBA. Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente. Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba, AESA. PERH-PB: Plano Estadual de Recursos Hídricos: Resumo Executivo e Atlas. Brasília, DF, 2006. 112p.

SILVA, A. B. DA; AMARAL, A. J. DO; BARROS, A. H. C.; ACCIOLY, L. J. DE O.; SANTOS, J. C. P. DOS; ARAÚJO FILHO, J. C. DE; OLIVEIRA NETO, M. B. DE; PARAYBA, R. DA B. V.; GOMES, E. C. Potencial pedoclimático do Estado de Alagoas para a cultura do milho em manejo com alta tecnologia, manejo C e cenário chuvoso regular. In: Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 29, 2012, Águas de Lindóia. Anais...Águas de Lindóia, 2012.

SOUSA, S. A. V.; PERES, F. C. Programa computacional para simulação da ocorrência de veranicos e queda de rendimento. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.33, n.12, p.1951-1956, 1998.

SOUZA, E. B.; ALVES, J. M. B.; NOBRE, P. Anomalias de precipitação nos setores norte e leste do nordeste brasileiro em associação aos eventos do padrão de dipolo observados na bacia do atlântico tropical. Revista Brasileira de Meteorologia, v.13, p.45-55, 1998.


TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

YAN, W.; ZHONG, Y.; SHANGGUAN, Z. Evaluation of physiological traits of summer maize under drought stress. Acta Agricultura e Scandinavica, v.66, n.2, p.133-140, 2016.

GEOESTATÍSTICA APLICADA AO ESTUDO DA VARIABILIDADE ESPACIAL DE INDICADORES DE QUALIDADE DOS SOLOS


Paulo Roberto Megna Francisco

Doutorando em Eng. de Recursos Naturais, UFCG, Campina Grande-PB, paulomegna@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-5062-5434>


Viviane Farias Silva

Dra. Profa. Associada, UFCG, Patos-PB, viviane.farias@professor.ufcg.edu.br

 <https://orcid.org/0000-0002-5891-0328>


Djail Santos

Dr. Prof. Titular, UFPB, Areia-PB, santosdjail@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0003-2207-3115>


George do Nascimento Ribeiro

Dr. Prof. Associado, CDSA, UFCG, Sumé-PB, george@ufcg.edu.br

 <https://orcid.org/0000-0003-4225-0967>


Gypson Dutra Junqueira Ayres

Doutorando em Eng. Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, fgypsond@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-5260-1682>


Raimundo Calixto Martins Rodrigues

Dr. Prof., UEMA, São Luís-MA, calixto_80@hotmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-8437-7857>


José Crispiniano Feitosa Filho

Phd. Prof. Associado IV, DSER, CCA, UFPB, jcfeitosafilho@gmail.com

 <http://lattes.cnpq.br/1161881618455980>

Guttemberg da Silva Silvino

Dr. Prof. Associado, UFPB, Areia-PB, guttembergs@gmail.com

 <http://orcid.org/0000-0002-9199-2732>

Introdução

Avanços tecnológicos na agropecuária têm mostrado a importância de se medir a variação espacial e temporal de propriedades que afetam o rendimento das culturas, com o objetivo de otimizar o aproveitamento de recursos e diminuir custos (CARVALHO et al., 2002).

O conhecimento da variabilidade dos atributos do solo e das culturas, no espaço e no tempo, é considerado, atualmente, o princípio básico para o manejo preciso das áreas agrícolas, qualquer que seja sua escala. O emprego de tecnologia agregada à variabilidade espacial e temporal é de suma importância, sobretudo na pesquisa agrônômica que estuda o solo e a sua capacidade produtiva (GREGO & VIEIRA, 2005).

De acordo com Millani et al. (2006), a análise detalhada da variabilidade dos atributos do solo pode indicar tomadas de decisões, orientando a correção de fatores que afetam a produção ao longo do tempo, com base nos mapas de manejo. Campos et al. (2009) afirmam que o conhecimento da variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos do solo auxilia no manejo preciso das atividades agrícolas por meio de separação de ambientes, práticas adequadas de adubação e alocação de variedades.

Gomes et al. (2007) afirmam que a utilização da geoestatística permite identificar a existência ou não de dependência espacial entre as observações, podendo ser aplicada em mapeamentos, orientação de futuras amostragens e modelagens, permitindo, assim, estimar o valor do atributo em locais não amostrados, facilitando a gestão dos recursos naturais, especialmente no contexto pedológico e de uso do solo.

Com o avanço da utilização de técnicas geoestatísticas aplicadas a problemas relacionados à ciência da terra, este trabalho objetiva realizar pesquisa bibliográfica em busca de indicadores de qualidade dos solos utilizados nas últimas décadas.

Revisão de Literatura

Indicadores de qualidade do solo

A qualidade do solo refere-se à interação de processos no solo e propicia a estimativa das alterações de sua condição, decorrente de diversos fatores como uso da terra, padrões climáticos, sequências culturais e sistemas de manejo, esta qualidade, do ponto de vista físico, está associada àquele solo que permita a infiltração, retenção e disponibilização de água às plantas, córregos e subsuperfície, respondente ao manejo e resistente à degradação permitindo as trocas gasosas e de calor com a atmosfera possibilitando o desenvolvimento de plantas (REICHERT et al., 2003). Para Palm et al. (2013), a qualidade do solo pode ser definida como, a capacidade de sustentar a produtividade agrícola e manter a qualidade do ambiente no solo, e garantir a saúde humana de animais e plantas, está diretamente relacionada aos serviços ambientais provenientes do solo. Para Silva et al. (2010) a

qualidade física do solo é intrínseca do solo, e pode ser inferida a partir de seus atributos ou observações indiretas.

Os indicadores físicos da qualidade do solo (CAVALIERI et al., 2011) têm sido utilizados em diferentes condições de uso e manejo e são fundamentais para entender os processos de degradação dos solos e o potencial de contaminação das águas (HAYGARTH & JARVIS, 2002).

Para Cunha et al. (2002) os indicadores físicos de qualidade do solo são parâmetros utilizados para avaliar as possíveis mudanças ambientais no sistema solo-planta. Um desses indicadores é a resistência do solo à penetração, que se caracteriza como uma das propriedades físicas que está diretamente relacionada com o crescimento das plantas.

A variabilidade espacial dos atributos dos solos é resultado de processos pedogenéticos e pode ser avaliada por levantamentos e análises dos solos (SILVA et al., 2010). A variabilidade espacial do solo está associada a diferentes fatores, tais como: processos que envolvem a formação do solo, variações climáticas, práticas de manejo e outros. A descrição do padrão espacial de um atributo do solo possibilita a caracterização de subáreas que poderão ser tratadas de uma forma individualizada (NIELSEN & WENDROTH, 2003). Essa descrição é possível desde que se considere a posição no espaço dos valores amostrais e a estrutura de dependência espacial do atributo. Quando um determinado atributo varia de um local para outro, com algum grau de organização ou continuidade, expresso através da dependência espacial, a estatística clássica e a geoestatística podem ser usadas conjuntamente no estudo da variabilidade espacial (VIEIRA, 2000; REICHARDT & TIMM, 2016).

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

Geoestatística

De acordo com Greco e Oliveira (2015), os primeiros relatos do uso da geoestatística datam de 1911, com W.B. Mercer e A.D. Hall que examinaram a variação da produção de culturas no espaço de pequenos lotes, mas somente na década de 60 a geoestatística foi consolidada. Na área de mineração, em 1951, Daniel G. Krige, engenheiro de minas de ouro na África do Sul, observou ganhos na precisão das estimativas com dados de concentração do mineral quando considerou as amostras vizinhas (KRIGE, 1951). Desta forma, a autocorrelação espacial tornou-se prática nas minas de ouro, considerando que para encontrar sentido nas variações das concentrações de ouro, era preciso levar em conta as distâncias entre as amostras.

Inicialmente a geoestatística aplicava-se somente em geologia mineira na lavra e prospecção, como nos trabalhos de Journel e Huijbregts (1978), Valente (1982) e Yamamoto (2001).

Posteriormente, sua aplicação estendeu-se para outros campos como cartografia, climatologia, geologia ambiental, geotecnia, hidrogeologia, pedologia e agricultura de precisão (LANDIM, 2006).

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

Segundo Isaaks e Srivastava (1989), a teoria fundamental da geoestatística é a esperança de que, na média, as amostras próximas no tempo e espaço sejam mais similares entre si do que as que estiverem distantes. Para Matheron (1965), é uma função que varia de um lugar a outro no espaço com certa aparência de continuidade. São variáveis cujos valores amostrados estão relacionados com a posição espacial que ocupam, assumindo valores diferentes em diferentes lugares de observação, com certa independência de um lugar a outro.

A análise estatística clássica e o estudo da variabilidade espacial das variáveis de interesse permitem compreender as leis que regem o comportamento dessas variáveis (PIRES, 2002). Contudo, diferentemente da estatística clássica, a geoestatística possibilita, separar a variabilidade explicada, pela relação existente entre as amostras, e a variabilidade casual, sua aplicação, pode diminuir o número de amostras necessárias, para descrever as características de um determinado local, reduzindo custos de levantamento, mantendo a precisão das estimativas realizadas (VIEIRA et al., 1983).

Segundo Vieira et al. (2002), para a geoestatística os valores medidos em uma determinada região estão de alguma forma em concordância com a distribuição espacial, logo, as observações tomadas a curtas distâncias devem ser mais semelhantes do que aquelas a distâncias maiores. A estimativa da dependência entre amostras vizinhas no espaço pode ser realizada por meio da autocorrelação que é de grande utilidade quando se está trabalhando com amostragem em uma direção. Vieira (2000) ressalta a necessidade de se avaliar a variabilidade espacial das amostragens em campo por meio da geoestatística, no sentido de se verificar sua dependência espacial por meio de semivariograma.

Uma técnica que auxilia a avaliação e compreensão dos recursos naturais é a geoestatística, que permite descrever a continuidade espacial, característica essencial de muitos fenômenos naturais. A geoestatística oferece um conjunto de ferramentas estatísticas que incorporam no processamento dos dados as coordenadas espaciais das observações (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989).

A espacialização de atributos do solo possibilita conhecer melhor a variação e o comportamento destes no ambiente. Conforme Berge e Klamt (1997) e Couto et al. (2000), estes estudos podem ser feitos em grandes áreas, abrangendo diversos tipos de solo, desde que haja uma malha amostral adequada. Estudos de variabilidade espacial dos atributos do solo são importantes não

apenas em amostragens ou interpretação dos dados, mas também auxiliam o levantamento e classificação de solos (NOVAES FILHO et al., 2007).

Técnicas como a geoestatística podem permitir o conhecimento da estrutura espacial e temporal dessa variável, bem como estimar os valores de variáveis correlacionadas. A geoestatística também permite analisar adequadamente dados experimentais que, muitas vezes, são mal interpretados por se considerar a hipótese de aleatoriedade verdadeira, sem a ocorrência de dependência espacial (MIGUEL et al., 2009). A geoestatística tem-se mostrado de grande utilidade na ciência do solo para caracterizar e estudar a variação espacial de suas propriedades (MANZIONE et al., 2002).

Krigagem

A Krigagem é a designação genérica adotada em geoestatística para o conjunto de métodos dos mínimos-quadrados baseados na combinação linear $Z^*(x_0)$ dos pontos amostrais, enquanto considerados interdependentes pelas funções covariância ou semivariograma. Dentre as formas mais comuns de krigagem pode-se citar a Krigagem Simples, Krigagem Ordinária, Krigagem Indicatriz, Krigagem Universal, entre outras (DEUTSCH & JOURNEL, 1992),

A krigagem compreende um conjunto de técnicas geoestatísticas de ajuste usadas para aproximar dados pelo princípio de que: fixado um ponto no espaço, os pontos no seu entorno são mais relevantes do que os mais afastados. Isto pressupõe a existência de dependência entre os dados, exigindo saber até onde, espacialmente, esta correlação importa (ISAACS & SRIVASTAVA, 1989). A técnica consiste em estimar valores médios e também uma medida de acuracidade dessa estimativa. Seus pesos são calculados com base na distância entre a amostra e o ponto estimado, na continuidade espacial e no arranjo geométrico do conjunto (BETTINI, 2007).

As formas mais usuais de simular ou estimar variáveis regionalizadas são a Krigagem simples e a Krigagem ordinária. A Krigagem simples é utilizada quando a média é assumida como estatisticamente constante para toda a área. A Krigagem ordinária utiliza a média móvel de um estimador linear, com mínima variância para interpolação do atributo medido em posições não amostradas. Enquanto que, a Krigagem indicativa é uma ramificação da Krigagem ordinária onde os dados são transformados e categorizados tomando como referência pontos de corte, antes da estimativa, denominado de codificação por indicação (FELGUEIRAS et al., 2002; MOTOMIYA et al., 2006; SILVA et al., 2011).

Conforme Vieira et al. (1983), os valores obtidos através da krigagem não são viciados e têm variância mínima e ideais para a construção de mapas de isolinhas ou tridimensionais para verificação e interpretação da variabilidade espacial. As informações mostradas nestes gráficos de isolinhas são muito úteis para melhor entender a variabilidade das propriedades do solo no campo e para identificar áreas que necessitam diferentes tipos de preparo.

A krigagem é apontada como uma boa ferramenta de interpolação de dados (JAKOB, 2002). Ela aplica o dado tabular e sua posição geográfica para calcular as interpolações. Utilizando o princípio da Primeira Lei de Geografia de Tobler, que diz que unidades de análise mais próximas entre si são mais parecidas do que unidades mais afastadas, a krigagem utiliza funções matemáticas para acrescentar pesos maiores nas posições mais próximas aos pontos amostrais e pesos menores nas posições mais distantes e criar, assim, os novos pontos interpolados com base nessas combinações lineares de dados.

A geoestatística, aplicada às ciências agrárias, tem utilizado a técnica de Krigagem que por meio da função do variograma ou semivariograma (processo de estimativa por médias móveis, de valores de variáveis distribuídas no espaço a partir de valores adjacentes) permite estimar ou simular variáveis regionalizadas em locais não amostrados, identificando a variabilidade espacial dos atributos do solo e das culturas, no espaço e no tempo (LANDIM & STURARO, 2002).

Metodologia

Foi realizada pesquisa exploratória utilizando levantamento bibliográfico de produções científicas elaboradas nas últimas décadas em busca do uso da geoestatística aplicada ao estudo da variabilidade espacial de indicadores de qualidade dos solos.

Resultados

A geoestatística constitui-se de uma ferramenta que permite a detecção da variabilidade existente no ambiente, a análise das características e seus aspectos aleatórios e espaciais, e a criação de imagens que demonstrem a espacialização dos caracteres (SILVA NETO et al., 2011).

Grego e Vieira (2005) ressaltam que as construções de mapas com os valores obtidos por meio de krigagem são importantes para a verificação e interpretação da variabilidade espacial.

Com o uso crescente do GPS (Global Positioning System) na agricultura, associado às técnicas de geoestatística, vem auxiliando a realização do mapeamento de atributos qualitativos e quantitativos das características químicas e físicas do solo; dentre tais características, a compactação do solo em diferentes profundidades (BOTTEGA et al., 2011).

No Brasil diversas pesquisas quanto a variabilidade espacial de atributos dos solos foi realizada, quanto as características químicas por Carvalho et al. (2002) em Goiás; atributos físico-hídricos em Minas Gerais por Gomes et al. (2007) (Figura 1); características físico-químicas avaliadas no Rio Grande do Sul por Wojciechowski et al. (2009); por Miguel et al. (2009) em São Paulo avaliando a infiltração de água em solo (Figura 2); resistência do solo à penetração por Bottega et al. (2011) em Mato Grosso do Sul (Figura 3); na qualidade física em dois solos em Santa Catarina por Luciano et al. (2011) (Figura 4); por Oliveira et al. (2011) em atributos físicos e químicos (Figura 5); quanto a penetração e umidade por Campos et al. (2012) na Amazônia (Figura 6); resistência do solo a penetração por Ecco et al. (2012) em Mato Grosso do Sul (Figura 7); compactação do solo por Ribeiro (2012) na Paraíba (Figura 8); na variabilidade espacial de atributos do solo em Mato Grosso do Sul por

Bottega et al. (2013) (Figura 9); quanto ao atributo químico por Caetano et al. (2017) em Goiás (Figura 10); atributos químicos do solo em Tocantins por Santana et al. (2019) (Figura 11); atributos físico-hídricos no Rio Grande do Sul por Dutra Junior (2019) (Figura 12); e na estimativa da erodibilidade dos solos por Brito (2021) na Paraíba (Figura 13).

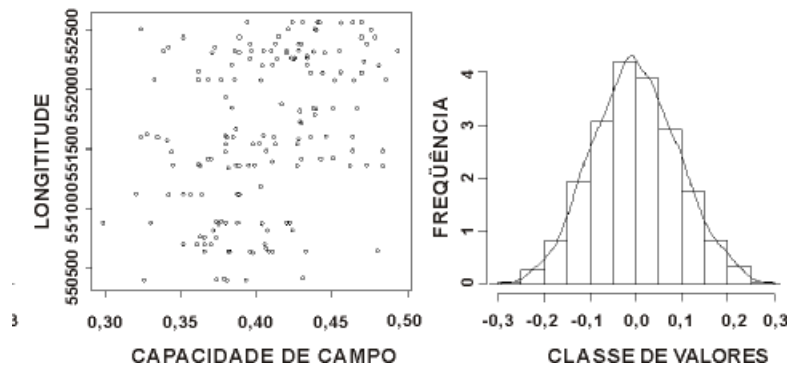


Figura 1. Gráficos da análise exploratória dos dados. Fonte: adaptado de Gomes et al. (2007).

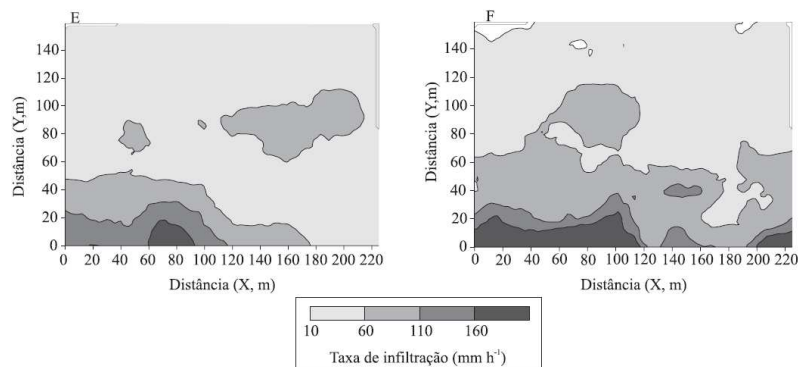


Figura 2. Mapas da taxa de infiltração de água no solo. Fonte: adaptado de Miguel et al. (2009).

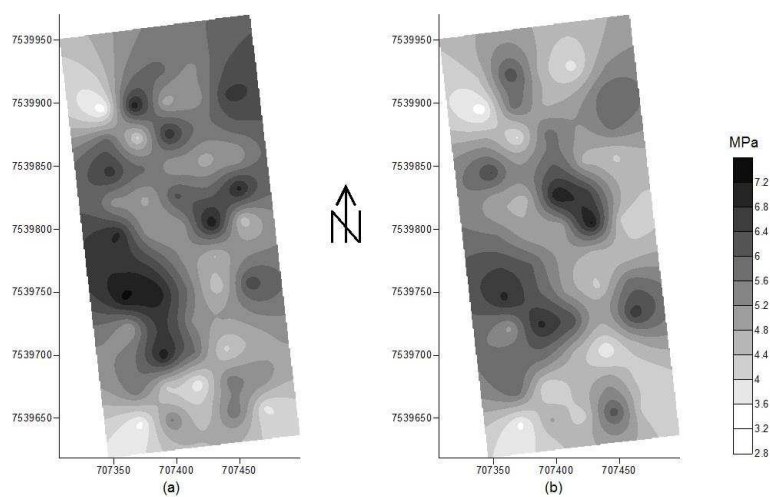


Figura 3. Resistência do solo à penetração. Fonte: Bottega et al. (2011).

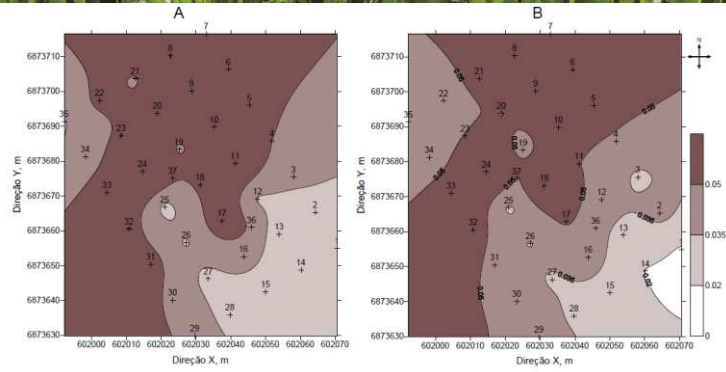


Figura 4. Mapas de isolinhas para o Índice S em Neossolo Litólico. Fonte: Luciano et al. (2011).

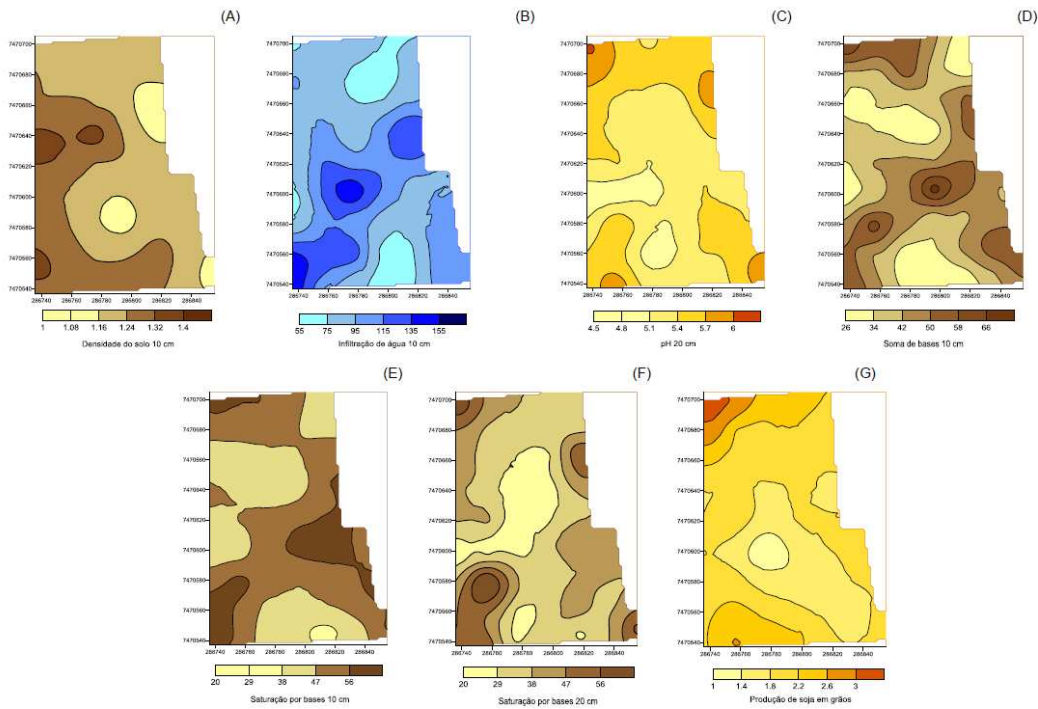


Figura 5. Mapas de isolinhas da densidade do solo, infiltração de água no solo, pH em água, soma de bases, saturação por bases e produção de soja em grãos. Fonte: Oliveira et al. (2011).

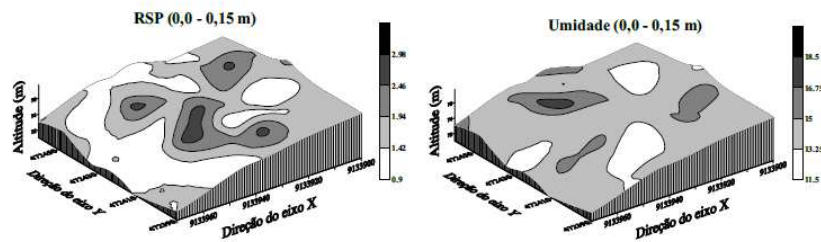


Figura 6. Mapas de Krigagem da resistência do solo à penetração e umidade do solo. Fonte: adaptado de Campos et al. (2012).

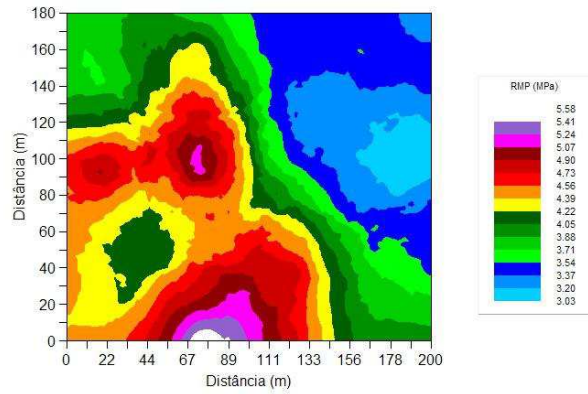


Figura 7. Distribuição espacial para a variável RMP (MPa) na camada de solo.

Fonte: Ecco et al. (2012).

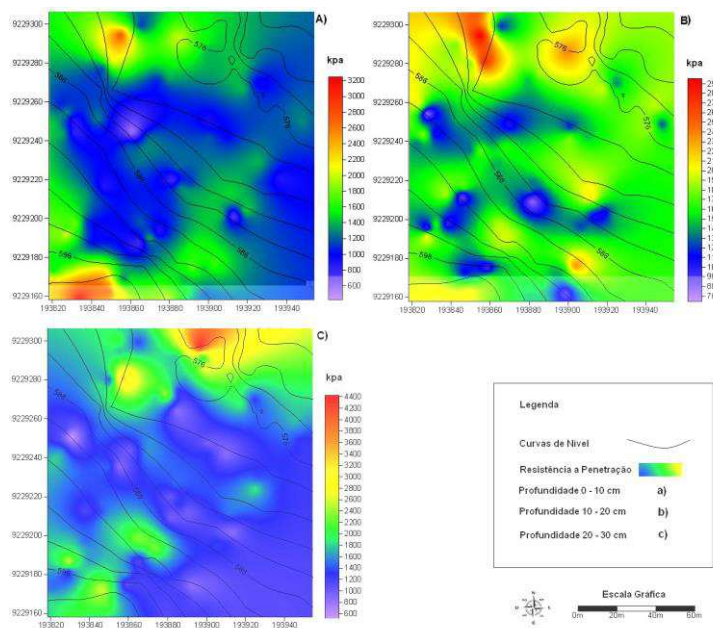


Figura 8. Mapas de distribuição espacial de resistência à penetração. Fonte: Ribeiro (2012).

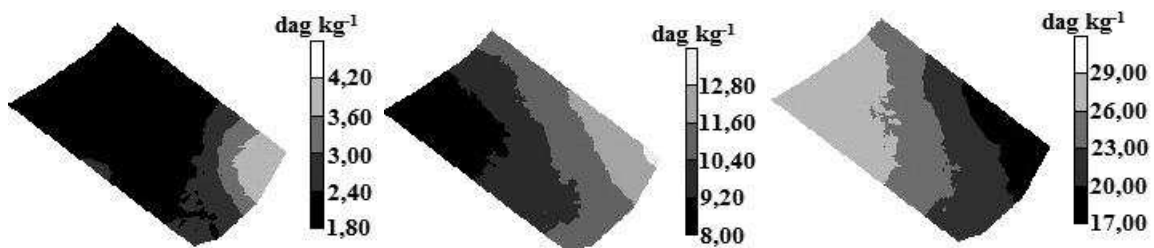


Figura 9. Mapas de distribuição espacial dos atributos do solo.

Fonte: adaptado de Bottega et al. (2013).

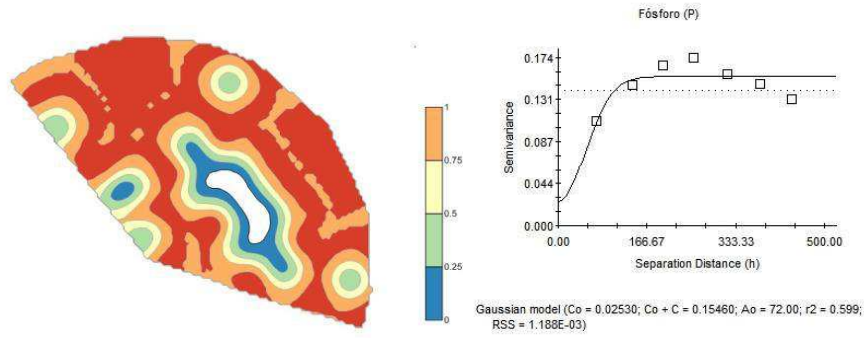


Figura 10. Mapa de probabilidade de ocorrência do atributo fósforo e semivariograma.

Fonte: Caetano (2017).

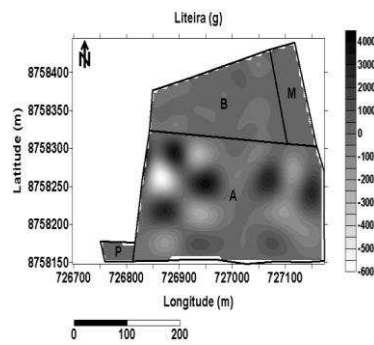


Figura 11. Mapa de distribuição espacial do atributo liteira. Fonte: Santana et al. (2019).

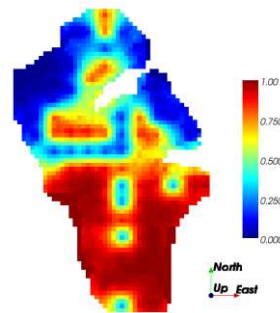


Figura 12. Krigagem indicatriz macroporosidade. Fonte: Dutra Junior (2019).

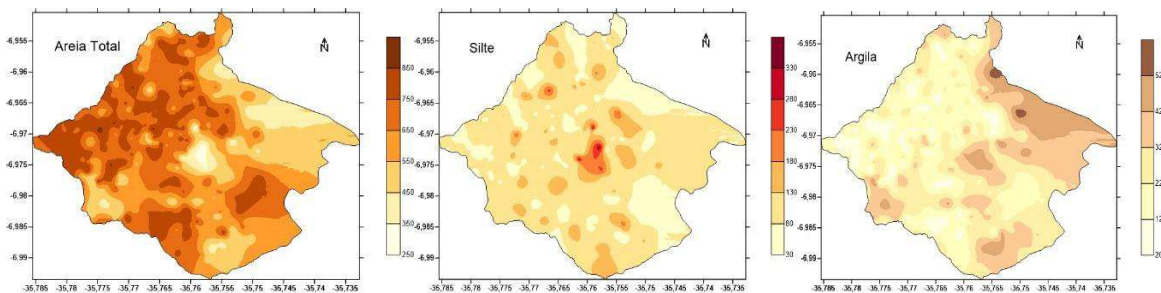


Figura 13. Mapa de distribuição da areia total, silte e argila. Fonte: Brito (2021).



Avanços tecnológicos na agropecuária têm mostrado a importância de se medir a variação espacial e temporal de propriedades que afetam o rendimento das culturas, com o objetivo de otimizar o aproveitamento de recursos e diminuir custos (CARVALHO et al., 2002).

De acordo com Oliveira et al. (2011), a combinação de dados espacialmente distribuídos da produção agrícola, como os de produtividade e atributos do solo, constitui importante ferramenta de diagnóstico para o uso mais eficiente das informações, possibilitando melhor manejo da variabilidade no campo.

O emprego de tecnologia agregada à variabilidade espacial e temporal é de suma importância, sobretudo na pesquisa agrônoma que estuda o solo e a sua capacidade produtiva. O conhecimento da variabilidade dos atributos do solo e das culturas, no espaço e no tempo, é considerado, atualmente, o princípio básico para o manejo preciso das áreas agrícolas, qualquer que seja sua escala (GREGO & VIEIRA, 2005).

Considerações Finais

A análise exploratória de dados mostra-se importante ferramenta no estudo de atributos do solo.

A geoestatística se mostra como uma ferramenta eficaz para compreensão da magnitude e estrutura da variabilidade espacial dos atributos dos solos, indicadores fundamentais para o manejo do solo e dos demais recursos naturais.

A krigagem se mostra eficiente ferramenta para mapear a probabilidade de ocorrência de atributos do solo e boa resposta para explicar a variabilidade espacial dos dados.

Agradecimentos

Ao apoio do CNPq e da Fapesq-PB.

Referências Bibliográficas

- BERG, M. V. D.; KLAMT, E. Variabilidade espacial de características de solo na região do Planalto Médio, RS: I, análise de variância por amostragem aninhada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.21, n.1, p.393-399, 1997.
- BETTINI, C. Conceitos básicos de geoestatística. In: MEIRELLES, M. S. P.; CÂMARA, G.; ALMEIDA, C. M. (Ed.). *Geomática: modelos e aplicações ambientais*. Brasília: Embrapa, 2007. p.193-234.
- BOTTEGA, E. L.; BOTTEGA, S. P.; SILVA, S. DE A.; QUEIROZ, D. M. DE; SOUZA, C. M. A. DE; RAFULL, L. Z. L. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em um Latossolo Vermelho distroférrico. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.6, n.2, p.331-336, 2011.
- BOTTEGA, E. L.; QUEIROZ, D. M. DE; PINTO, F. DE A. DE C.; SOUZA, C. M. A. DE. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. *Revista Ciência Agrônoma*, v.44, n.1, p.1-9, 2013.

- BRITO, T. P. DE. Estimativa da erodibilidade dos solos da microbacia hidrográfica de Vaca Brava, Areia-PB, utilizando diferentes modelos. 70f. TCC (Graduação em Agronomia). Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2021.
- CAETANO, L. R.; ALVES, S. M. DE F.; FREITAS, E. DE F. M.; SOARES, C. M.; ROCHA, I. J. DE F. Variabilidade espacial de atributos químicos de um solo por meio de krigagem indicativa. In: Congresso de Ensino, Pesquisa e Extensão da UEG, 4, 2017, Pirenópolis. Anais...Pirenópolis, 2017.
- CAMPOS, M. C. C.; JÚNIOR, J. M.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M.; MONTANARI, R. Planejamento agrícola e implantação de sistema de cultivo de cana-de-açúcar com auxílio de técnicas geoestatísticas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.13, n.3, 2009.
- CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, I. A. DE; SANTOS, L. A. C. DOS; AQUINO, R. E. DE; SOARES, M. D. R. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e umidade em áreas cultivadas com mandioca na região de Humaitá, AM. Revista Agro@ambiente On-line, v.6, n.1, p.09-16, 2012.
- CARVALHO, J. R. P.; SILVEIRA, P. M. DA; VIEIRA, S. R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.37, n.8, p.1151-1159, 2002.
- CAVALIERI, K. M. V.; CARVALHO, L. D.; SILVA, A. D.; LIBARDI, P. L.; TORMENA, C. A. Qualidade física de três solos sob colheita mecanizada de cana-de-açúcar. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.35, n.5, p.1541-1549, 2011.
- COUTO, E. G.; KLAMT, E.; STEIN, A. Estimativa do teor de argila e de potássio trocável em solo esparsamente amostrado no sul do Estado de Mato Grosso. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.24, n.1, p.129-140, 2000.
- CUNHA, J. P. A. R. DA; VIEIRA, L. B.; MAGALHÃES, A. C. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água. Engenharia na Agricultura, v.10, p.1-4, 2002.
- DEUTSCH, C. V.; JOURNEL, A. G. GSLIB Geostatistical Software Library and User's Guide. Oxford University Press, 1992. 340p.
- DUTRA JUNIOR, L. A. Técnica geoestatística na avaliação de atributos físico-hídricos dos solos da sub-bacia hidrográfica Santa Rita, Pelotas/RS. 74f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2019.
- ECCO, M.; CARVALHO, L. A. DE; FERRARI, L. P. Variabilidade espacial da resistência do solo a penetração em área cultivada com cana-de-açúcar na safra 2008/2009. Revista Agrarian, v.5, n.17, p.263-269, 2012.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Geoestatística aplicada na agricultura de precisão utilizando o Vesper. OLIVEIRA, R. P. DE; GREGO, C. R.; BRANDÃO, Z. N. (Ed.). Brasília, DF: Embrapa, 2015. 159p.
- FELGUEIRAS, C. A.; DRUCK, S.; MONTEIRO, A. M. V. Análise espacial de superfície: o enfoque da geoestatística por indicação. São José dos Campos, SP: INPE, 2002. cap.4, p.1-23.

- GOMES, N. M.; SILVA, A. M. DA; MELLO, C. R. DE; FARIA, M. A. DE; OLIVEIRA, P. M. DE. Métodos de ajuste e modelos de semivariograma aplicados ao estudo da variabilidade espacial de atributos físico-hídricos do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.435-443, 2007.
- GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, n.2, p.169-177, 2005.
- HAYGARTH, P. M.; JARVIS, S. C. *Agriculture, hydrology, and water quality*. CABI Pub., 2002.
- ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. *An introduction to applied geostatistics*. New York: Oxford University Press, 1989. 561p.
- ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. *Applied geostatistics*. New York: Oxford University Press, 1989.
- JAKOB, A. A. E. A krigagem como método de análise de dados demográficos. In: Encontro da Associação Brasileira de Estudos Populacionais, 13, 2002, Ouro Preto. Anais...Ouro Preto, 2002.
- JOURNEL, A.; HUIJBREGTS, C. J. *Mining geostatistics*. London: Academic Press, 1978. 600p.
- KRIGE, D. G. A statistical approach to some basic mine evaluation problems on the Witwatersrand. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, v.52, n.6, p.151-163, 1951.
- LANDIM, P. M. B. Sobre Geoestatística e Mapas. *Terra Didática*, v.2, n.1, p.19-33, 2006.
- LANDIM, P. M. B.; STURARO, J. R. Krigagem Indicativa aplicada à elaboração de mapas de probabilidades de riscos. DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro. Lab. Geomatemática. Texto Didático 06, 2002. 19p.
- LUCIANO, R. V.; ALBUQUERQUE, J. A.; MIQUELLUTI, D. J.; BIFFI, L. J.; SPIAZZI, F. R. Variabilidade espacial de indicador da qualidade física em dois solos do Planalto Sul Catarinense. In: Simpósio de Geoestatística em Ciências Agrárias, 2, 2011, Botucatu. Anais...Botucatu, 2011.
- MANZIONE, R. L.; RODRIGUES, J. B. T.; ZIMBACK, C. R. L. Análise espacial multivariada na avaliação de parâmetros químicos do solo. In: BALASTREIRE, L. A. *Avanços na Agricultura de Precisão no Brasil no período de 1999-2001*. Piracicaba, 2002. 347p.
- MATHERON, G. *Les variables régionalisées et leur estimation: une application de la théorie de fonctions aléatoires aux sciences de la nature*. Paris: Masson, 1965. 306p.
- MIGUEL, F. R. M.; VIEIRA, S. R.; GREGO, C. R. Variabilidade espacial da infiltração de água em solo sob pastagem em função da intensidade de pisoteio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.44, n.11, p.1513-1519, 2009.
- MILANI, L.; SOUZA, E. G.; URIBE-OPAZO, M. A.; GABRIEL FILHO, A.; JOHANN, J. A.; PEREIRA, J. O. Unidades de manejo a partir de dados de produtividade. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.28, n.2, p.591-598, 2006.
- MOTOMIYA, A. V. A.; CORÁ, J. E.; PEREIRA, G. T. Uso da krigagem indicatriz na avaliação de indicadores de fertilidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, n.3, p.485-496, 2006.
- NIELSEN, D. R.; WENDORTH, O. *Spatial and temporal statistics – sampling field soils and their vegetation*. Catena Verlag, 2003.

- NOVAES FILHO, J. P.; COUTO, E. G.; OLIVEIRA, V. Á. DE; JOHNSON, M. S.; LEHMANN, J.; RIHA, S. S. Variabilidade espacial de atributos físicos de solo usada na identificação de classes pedológicas de microbacias na Amazônia Meridional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, n.1, p.91-100, 2007.
- OLIVEIRA, A. DE; GREGO, C. R.; RODRIGUES, C. A. G.; NOGUEIRA, S. F.; FURTADO, A. L. S.; ALMEIDA, C. G. F. Geoestatística aplicada aos atributos físicos e químicos do solo relacionados com a produção da cultura da soja. In: Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica, 5, 2011, Campinas. Anais...Campinas, 2011.
- PALM, R.; DRIANKOV, D.; HELLENDORRN, H. Model based fuzzy control: fuzzy gain schedulers and sliding mode fuzzy controllers. Springer Science & Business Media, 2013.
- REICHARDT, K.; TIMM, L. C. Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações. 3a ed. Barueri, SP: Manole, 2016.
- REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Revista Ciência & Ambiente*, v.27, p.29-48, 2003.
- RIBEIRO, T. DE S. Variabilidade espacial da compactação superficial e subsuperficial de uma topossequência sob pastagem. 36f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2012.
- SANTANA, W. D.; SANTOS, A. C. DOS; REIS, A. DA S.; TAVARES, R. DE C.; FREITAS, G. A. DE. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em sistema de agropecuária familiar no Tocantins. *Científica*, v.47, n.3, p.344-357, 2019.
- SILVA NETO, S. P.; SANTOS, A. C.; LIMA, R. L.; DIM, V. P.; CRUZ, R. S.; PEDRICO, A.; NEVES NETO, D. N. Análise espacial de parâmetros da fertilidade do solo em região de ecótono sob diferentes usos e manejos. *Ciências Agrárias*, v.32, n.2, p.541-552, 2011.
- SILVA, A. F.; QUARTEZANI, W. Z.; ZIMBACK, C. R. L.; LANDIM, P. M. B. Aplicação da Geoestatística em Ciências Agrárias. In: Simpósio de Geoestatística aplicada a Ciências Agrárias, 2, 2011, Botucatu. Anais...Botucatu, 2011.
- SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; DIAS JUNIOR, M. S.; IMHOFF, S.; KLEIN, V. A. Indicadores da Qualidade Física do Solo. In: van LIER, Q. J. Física do Solo. SBCS. 2010. p.241-281.
- SILVA, L. S.; CAMARGO, F. A.; CERETTA, C. A. Composição da fase sólida orgânica do solo. In: Fundamentos de química do solo. Porto Alegre: Ed. Evangraf Ltda, 2010, p.60-83.
- VALENTE, J. M. G. P. Geomatemática, Lições de Geoestatística. Ed. Fundação Gorceix, v.I-VIII, 1982.
- VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo, In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed) Tópicos em ciência do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, p.1-54, 2000.
- VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geoestatistical theory and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia*, v.51, n.3, p.1-75, 1983.

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

WOJCIECHOWSKI, J. C.; SCHUMACHER, M. V.; PIRES, C. A. DA F.; MADRUGA, P. R. DE A.; KILCA, R. DE V.; BRUN, E. J.; SILVA, C. R. S. DA; VACCARO, S.; RONDON NETO, R. M. Geoestatística aplicada ao estudo das características físico-químicas do solo em áreas de floresta estacional decidual. Ciência Florestal, v.19, n.4, p.383-391, 2009.


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

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. Geoestatística: Conceitos e Aplicações. 1ª ed. Editora Oficina de Textos, 2013.

ATUALIZAÇÃO DO MAPA DE SOLOS DO ESTADO DA PARAÍBA UTILIZANDO GEOTECNOLOGIAS


Paulo Roberto Megna Francisco

Doutorando em Eng. de Recursos Naturais, UFCG, Campina Grande-PB, paulomegna@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-5062-5434>


Djail Santos

Dr. Prof. Titular, UFPB, Areia-PB, santosdjail@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0003-2207-3115>


Flávio Pereira de Oliveira

Dr. Prof. Associado, Universidade Federal da Paraíba, UFPB, flavio.oliveira@academico.ufpb.br

 <http://orcid.org/0000-0001-7968-6145>


Guttemberg da Silva Silvino

Dr. Prof. Associado, UFPB, Areia-PB, guttembergs@gmail.com

 <http://orcid.org/0000-0002-9199-2732>


George do Nascimento Ribeiro

Dr. Prof. Associado, CDSA, UFCG, Sumé-PB, george@ufcg.edu.br

 <https://orcid.org/0000-0003-4225-0967>


Viviane Farias Silva

Dra. Profa. Associada, UFCG, Patos-PB, viviane.farias@professor.ufcg.edu.br

 <https://orcid.org/0000-0002-5891-0328>


Gypson Dutra Junqueira Ayres

Doutorando em Eng. Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, fgypsond@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-5260-1682>

Raimundo Calixto Martins Rodrigues

Dr. Prof., UEMA, São Luís-MA, calixto_80@hotmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-8437-7857>

Introdução

O conhecimento sobre a distribuição geográfica dos solos é fundamental para o planejamento ambiental, e é importante por subsidiar a criação de políticas públicas de gestão do uso e preservação, visto que é um recurso natural de lenta renovação (DALMOLIN et al., 2004).

Ainda de acordo com Dalmolin et al. (2004), os levantamentos de solos constituem um inventário das características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas dos solos, bem como apresentar uma classificação taxonômica e interpretativa e a distribuição geográfica dos mesmos na área abrangida pelo estudo. A distribuição geográfica dos solos é representada em mapas, enquanto as demais informações são descritas nos relatórios dos levantamentos.

A classificação pedológica brasileira teve por base o sistema americano, formulado por Baldwin et al. (1938), modificado por Thorp e Smith (1949). Os conceitos centrais da antiga classificação americana de solos constituem a base da classificação brasileira. O enfoque principal sempre esteve dirigido ao nível hierárquico de grandes grupos de solos. A partir do final da década de 1950, com o amplo uso de princípios que foram sendo recomendados, em paralelismo com as aproximações do novo Sistema Americano de Classificação de Solos, deu origem ao Soil Taxonomy, muitas concepções surgidas com a produção deste novo Sistema vieram a ser absorvidos pela classificação em desenvolvimento no Brasil. Do mesmo modo, alguns conceitos e critérios formulados no esquema referencial do mapa mundial de solos (FAO, 1974) foram também assimilados no desenvolvimento da classificação nacional (JACOMINE, 2009).

Durante a década de setenta, através de esforços governamentais e dos pesquisadores na área de Pedologia, foram verificados a campo e classificadas diversas classes de solos além das anteriormente descritas em levantamentos mais antigos. Constituindo uma série de dados relativos aos solos de cada Estado, a Paraíba teve também o seu Boletim (BRASIL, 1972), em que reunia, além da identificação morfológica dos solos localizados no estado, as potencialidades locais de uso e manejo (CAVALCANTE et al., 2005). No ano de 1978, um convênio entre órgãos estaduais e federais realizou o Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba (PARAÍBA, 1978) com a descrição de 132 perfis.

A classificação de solos permite que sejam designados nomes, classes de solos, que expressam sinteticamente o que se conhece sobre eles, facilitando a avaliação do seu potencial para exploração agrícola ou não (RESENDE et al., 2002). Pois a classificação baseia-se nas características morfogenéticas dos solos e utiliza os horizontes diagnósticos para designá-los. Uma vez classificados os solos podem ser mapeados, portanto constituindo uma das etapas

dos levantamentos pedológicos, daí a sua grande importância (PRADO, 1996; DALMOLIN et al., 2004).

A partir da publicação do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS pela EMBRAPA (2013), novos critérios e definições também foram concebidos pelo Comitê Executivo de Classificação de Solos do Brasil, que após testes de validação, foram incorporados a Nova Classificação Brasileira de Solos, os nomes das classes de solos empregados até então sofreram mudanças, tornando-se necessária a atualização através de um processo de reclassificação e correlação com o sistema atualmente usado. Entretanto, com este é um sistema aberto, permite a incorporação de novos níveis categóricos venham a ser conhecido, o que resulta em ajustamentos ou reformulações conceituais sobre os solos (JACOMINE, 2001; 2009; CAMPOS & QUEIROZ, 2006).

Conforme Campos e Queiroz (2006), é desejável que as novas denominações comecem também a serem utilizadas fazendo-se necessário, pois, correlacionar-se a nomenclatura anteriormente empregada à nomenclatura atual.

De acordo com EMBRAPA (2018), o SiBCS é um sistema taxonômico de solos, hierárquico, multicategórico e aberto, com a finalidade de classificar todos os solos existentes no Brasil. O sistema descreve os símbolos e as cores das classes de solos existentes a fim de padronizar as legendas utilizadas nos mapas de solos em todo o País onde define os símbolos e propõe sua utilização até o 3º nível, uniformizando a notação de classes de solos para todos os usuários do sistema.

Valeriano e Abdon (2007), afirmam que é um fator importante favorecer a inclusão do relevo na identificação e na análise de sistemas terrestres que advém de recentes coletas de dados topográficos por técnicas de sensoriamento remoto. A utilização de bases topográficas digitais obtidas por sensores orbitais representa uma alternativa de grande interesse para suprir a carência de mapeamentos, sobretudo na África, Oceania e América do Sul.

Portanto, o objetivo deste trabalho é atualizar o mapeamento dos solos do Estado da Paraíba utilizando imagens SRTM para ajustes e atualizar a legenda pelo SiBCS.

Material e Métodos

O Estado da Paraíba, localizado na região Nordeste do Brasil, apresenta uma área de 56.467,24 km² (IBGE, 2021). Seu posicionamento encontra-se entre os paralelos 6°02'12" e 8°19'18"S, e entre os meridianos de 34°45'54" e 38°45'45"W (Figura 1). Ao Norte, limita-se com o Estado do Rio Grande do Norte; ao Leste, com o Oceano Atlântico; a Oeste, com o Estado do Ceará; e ao Sul, com o Estado de Pernambuco (FRANCISCO, 2010).

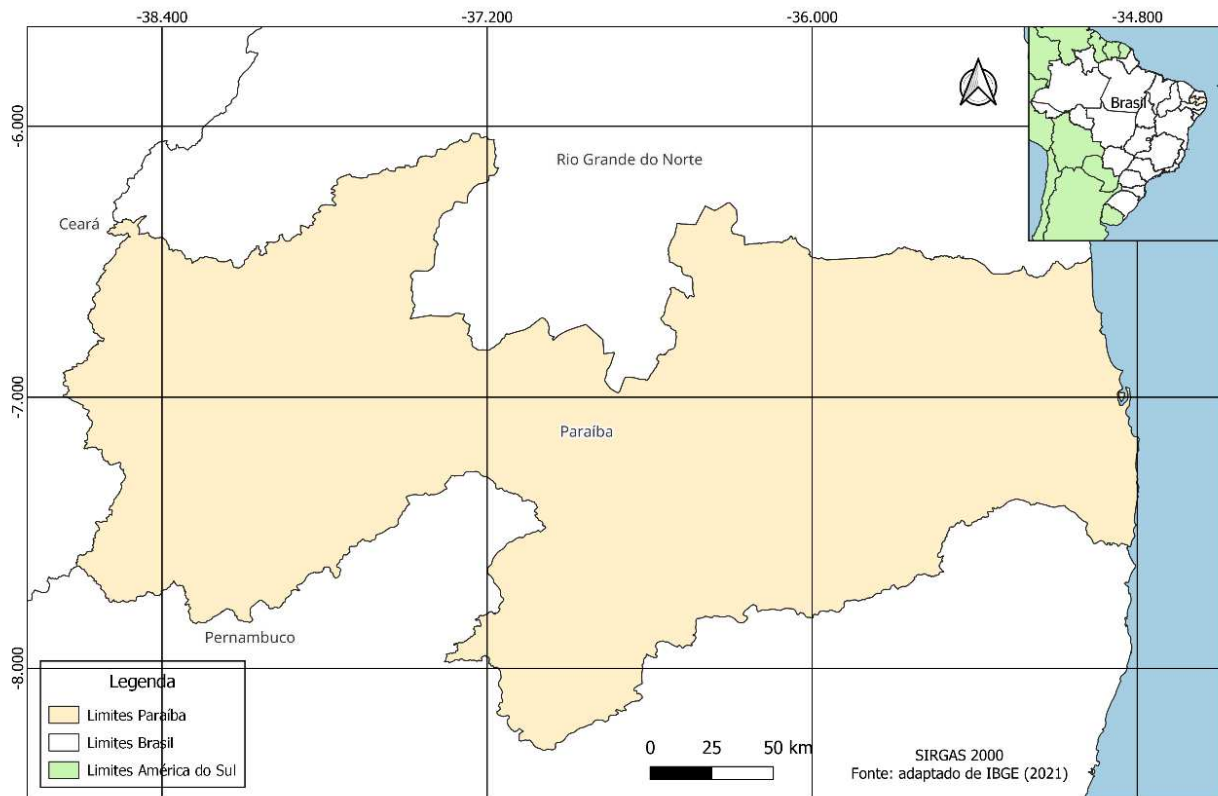


Figura 1. Localização da área de estudo. Fonte: Adaptado de IBGE (2021).

O relevo apresenta-se de forma geral bastante diversificado, atuando sob climas distintos e sobre rochas pouco ou muito diferenciadas. No tocante à geomorfologia, existem dois grupos formados pelos tipos climáticos mais significativos do Estado: úmido, subúmido e semiárido. O uso atual e a cobertura vegetal caracterizam-se por formações florestais definidas, como Caatinga Arbustiva Arbórea Aberta, Caatinga Arbustiva Arbórea Fechada, Caatinga Arbórea Fechada, Tabuleiro Costeiro, Mangues, Mata-úmida, Mata semidecidual, Mata Atlântica e Restinga (PARAÍBA, 2006) (Figura 2).

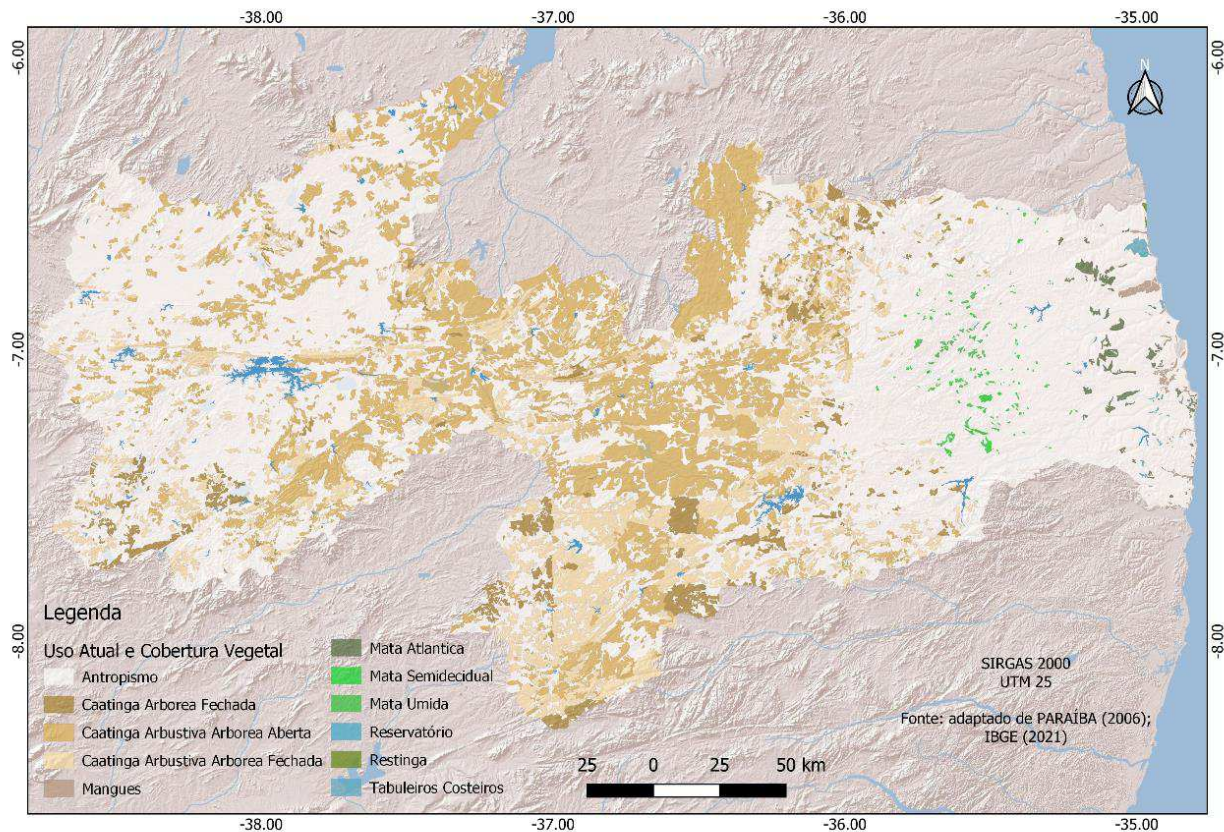


Figura 2. Uso atual e cobertura vegetal da área de estudo.

Fonte: Adaptado de PARAÍBA (2006); IBGE (2021); ESRI (2022).

O clima caracteriza-se por temperaturas médias elevadas (22 a 30°C) com baixa amplitude térmica anual, em função da baixa latitude e elevações (<700 m). A precipitação varia de 400 a 800mm anuais, nas regiões interiores semiáridas, e no Litoral, mais úmido, pode ultrapassar os 1.600mm (VAREJÃO-SILVA et al., 1984) (Figura 3).

Conforme Francisco et al. (2015), o Estado da Paraíba apresenta, de acordo com a classificação climática de Köppen, quatro tipos diferentes de clima. O clima Aw, que caracteriza a região do Litoral norte como Tropical com estação seca no inverno, o clima Am no Litoral norte e Sul do Estado, o tipo climático As que dominam em sua maioria nas regiões de parte do Litoral, Brejo, Agreste e em pequena faixa da região do Sertão e em toda área do Alto Sertão. O tipo climático Bsh é predominante na área do Cariri/Curimataú, e boa parte da área do Sertão.

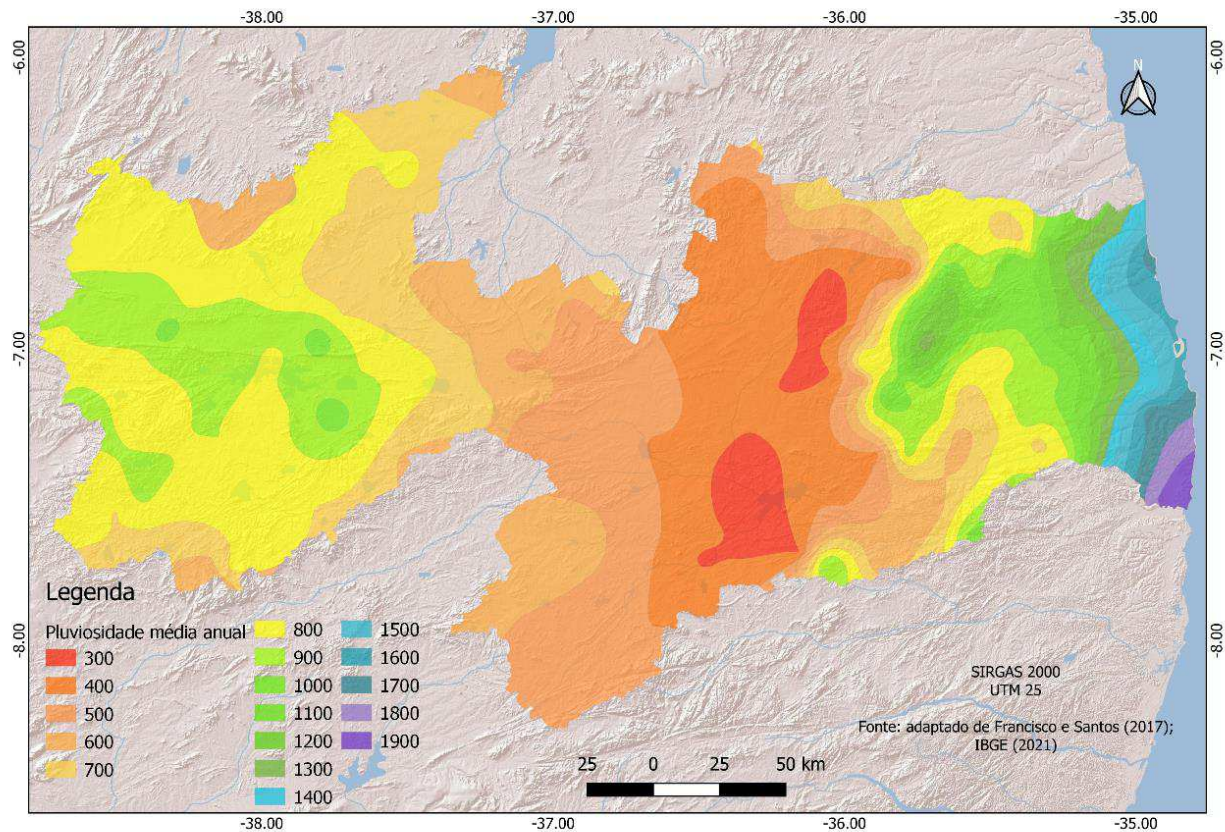


Figura 3. Pluviosidade média anual da área de estudo.

Fonte: Adaptado de Francisco e Santos (2017); IBGE (2021); ESRI (2022).

Conforme Francisco et al. (2013) as classes predominantes de solos área de estudo estão descritas no Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba (PARAÍBA, 1978), e estas diferem pela diversidade geológica, pedológica e geomorfológica; atendendo também a uma diversidade de características de solo, relacionadas à morfologia, cor, textura, estrutura, declividade e pedregosidade e outras características. De uma forma geral os solos predominantes são os Luvisolos crômicos, Neossolos Litólicos, Planossolos Solódicos, Neossolos Regolíticos Distróficos e Eutróficos distribuídos pela região do sertão e nos cariris, os Vertissolos na região de Souza, e os Argissolos Vermelho Amarelo e os Neossolos Quartzarênicos no litoral do Estado (FRANCISCO, 2010).

Para elaboração deste trabalho foi adquirido um mosaico digital SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), elaborado pela NASA (Agência Espacial Americana) e obtido no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais no programa TOPODATA (INPE, 2011) dos quadrantes SB24ZA, SB24ZB, SB24ZC, SB24ZD, SB25YA, SB25YC, SC24XB, com dados de altimetria, para pontos espaçados numa malha quadrada de 30 metros de distância. Além do

arquivo de malha digital dos limites do Estado da Paraíba elaborado pela Coordenação de Cartografia do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021).

Após foi utilizado o software QGIS® 3.28 para importação dos dados e elaboração da declividade utilizando o plugin raster em análise e classificação conforme Francisco et al. (2013) (Tabela 1), e realizado o recorte dos limites utilizando arquivo do IBGE (2021).

Tabela 1. Classes de declividade

Limites de Classe (%)	Classes de Declividade
0 - 3	Plano
3 - 6	Suave Ondulado
6 - 12	Moderadamente Ondulado
12 - 20	Ondulado
20 - 40	Forte Ondulado
> 40	Montanhoso

Fonte: adaptado de Francisco et al. (2013).

Após utilizando o software QGIS® 3.28 foi importado arquivo digital em formato *shape* dos solos da área de estudo na escala de 1:200.000 fornecido pela AESA (PARAÍBA, 2006), representando a área de estudo e a ocorrência e distribuição das classes de solos predominantes no Estado. Em seguida, o mapa de solos foi ajustado seus polígonos interiores levando em consideração a declividade local e realizado o recorte da área de estudo utilizando os limites de IBGE (2021).

Utilizando a tabela de atributos, os polígonos dos solos foram reclassificados a nomenclatura e cores da legenda, conforme recomenda o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018). De forma auxiliar foram também utilizadas as informações do Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba (PARAÍBA, 1978), e o trabalho de Reclassificação dos perfis descritos no Levantamento Exploratório - Reconhecimento de solos do Estado da Paraíba realizado por Campos e Queiroz (2006) (Tabela 2).

Foram elaborados os respectivos mapas utilizando o plugin *r.report* do QGIS® onde foi realizado o cálculo das áreas das classes.

Tabela 2. Classes dos polígonos de solos

Perfil	Local	Símbolo (PARAÍBA, 1978)	Classificação/Símbolo (EMBRAPA, 1999)	Classificação/Símbolo (EMBRAPA, 2018)	Cor (html)	
1	Bananeiras	Lvd1	Latossolo Amarelo Distrófico típico	LAd	Argissolos Vermelho-Amarelos	PVA #ffa77f
2	Conde	Lvd2	Argissolo Amarelo Distrófico latossólico	PAd	Argissolos Vermelho-Amarelos	PVA #ffa77f
3	Alhandra	Lvd3	Latossolo Amarelo Distrófico argissólico	LAd	Argissolos Vermelho-Amarelos	PVA #ffa77f
4	Cuité	Lve1	Latossolo Amarelo Distrófico argissólico	LAd	Argissolos Vermelho-Amarelos	PVA #ffa77f
5	Araruna	Lve2	Latossolo Amarelo Distrófico argissólico	LAd	Argissolos Vermelho-Amarelos	PVA #ffa77f
6	Natuba	PV1	Argissolo Amarelo Distrófico latossólico	PAd	Argissolos Amarelos	PA #f1ccc8
7	Mamanguape	PV3	Argissolo Acinzentado Distrófico fragipânico	PACd	Argissolos Acinzentados	PAC #fdf1f0
8	Pitimbu	PV2	Argissolo Amarelo Distrófico latossólico	PAd	Argissolos Amarelos	PA #f1ccc8
9	Rio Tinto	PV4	Argissolo Amarelo Distrófico arênico fragipânico	PAd	Argissolos Amarelos	PA #f1ccc8
10	Sapé	PV5	Argissolo Amarelo Distrófico abrupto fragipânico	PAd	Argissolos Amarelos	PA #f1ccc8
11	Pedras de Fogo	PV6	Argissolo Amarelo Distrófico abrupto fragipânico	PAd	Argissolos Amarelos	PA #f1ccc8
12	Princesa Isabel	PE2	Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico abrupto	PVAe	Argissolos Vermelho-Amarelos	PVA #ffa77f
13	Bonito de Santa Fé	PE3	Argissolo Vermelho Eutrófico típico	Pve	Argissolos Vermelhos	PV #f07f7f
14	Teixeira	Lve3	Plintossolo Pétrico Concrecionário típico	Pfce	Plintossolos Pétricos	FF #ecaccb
15	Souza	PE5	Argissolo Vermelho Eutrófico abrupto	PVe	Argissolos Vermelhos	PV #f07f7f
16	Tavares	PE6	Cambissolo Háptico Tb Eutrófico típico	Cxbe	Cambissolos Hápticos	CX #d7c5a5
17	Itabaiana	PE9	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico fragipânico	PVAd	Argissolos Vermelho-Amarelos	PVA #ffa77f
18	Sapé	PE8	Argissolo Amarelo Distrófico típico	PAd	Argissolos Amarelos	PA #f1ccc8
19	Jacará	PE10	Plintossolo Argilúvico Eutrófico espessarênico	Fte	Plintossolos Argilúvicos	FT #ec87cb
20	Areia	PE11	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico abrupto	PVAd	Argissolos Vermelho-Amarelos	PVA #ffa77f
21	Guarabira	PE14	Argissolo Vermelho Eutrófico abrupto	PVe	Argissolos Vermelhos	PV #f07f7f
22	Lagoa Seca	PE13	Argissolo Vermelho Eutrófico abrupto	PVe	Argissolos Vermelhos	PV #f07f7f
23	Alagoa Grande	TRe1	Argissolo Vermelho Eutrófico abrupto	PVe	Argissolos Vermelhos	PV #f07f7f
24	Pombal	NC1	Luvissolo Crômico Órtico típico	Tco	Luvissolos Crômicos	TC #d49616
25	Monteiro	NC2	Luvissolo Crômico Órtico típico	Tco	Luvissolos Crômicos	TC #d49616
26	Patos	NC3	Luvissolo Crômico Órtico típico	Tco	Luvissolos Crômicos	TC #d49616
27	Solânea	NC3	Luvissolo Hipocrômico Crômico Órtico típico	Tpo	Luvissolos Crômicos	TC #d49616
28	Sapé	NC4	Luvissolo Hipocrômico Crômico Órtico típico	Tpo	Luvissolos Crômicos	TC #d49616
29	Ingá	NC4	Luvissolo Hipocrômico Crômico Órtico típico	Tpo	Luvissolos Crômicos	TC #d49616
30	São Miguel de Taipu	NC4	Luvissolo Hipocrômico Crômico Órtico típico	Tpo	Luvissolos Crômicos	TC #d49616
31	São Mamede	NC8	Luvissolo Crômico Órtico típico	Tco	Luvissolos Crômicos	TC #d49616
32	Barra de Santa Rosa	NC6	Planossolo Háptico Eutrófico típico	SXe	Luvissolos Crômicos	TC #d49616
33	Cuité	NC6	Planossolo Háptico Eutrófico típico	SXe	Luvissolos Crômicos	TC #d49616
34	Gurinhém	PL	Planossolo Háptico Eutrófico solódico	SXe	Planossolos Hápticos	SX #b5d6ae
35	Tacima	PL	Planossolo Háptico Eutrófico solódico	SXe	Planossolos Hápticos	SX #b5d6ae
36	Princesa Isabel	Ce1	Cambissolo Háptico Tb Eutrófico latossólico	CXbe	Cambissolos Hápticos	CX #d7c5a5
37	Taperoá	Ce3	Cambissolo Háptico Ta Eutrófico típico	CXve	Cambissolos Hápticos	CX #d7c5a5
38	Campina Grande	V1	Vertissolo Cromado Órtico típico	Vco	Vertissolos Hápticos	VX #c0c091
39	Queimadas	V2	Vertissolo Ebânico Órtico típico	Ve0	Vertissolos Ebânicos	VE #868f72
40	Souza	V4	Vertissolo Cromado Órtico solódico	VCo	Vertissolos Hápticos	VX #c0c091
41	Sumé	V4	Vertissolo Cromado Órtico típico	VCo	Vertissolos Hápticos	VX #c0c091
42	Boqueirão	V3	Vertissolo Cromado Órtico típico	VCo	Vertissolos Hápticos	VX #c0c091
43	Cubatã	SS2	Planossolo Nátrico Órtico típico	SNo	Planossolos Nátricos	SN #89cac7
44	Campina Grande	SS1	Planossolo Nátrico Órtico típico	SNo	Planossolos Nátricos	SN #89cac7
45	Uiraúna	SS4	Planossolo Nátrico Órtico típico	SNo	Planossolos Nátricos	SN #89cac7
46	Conde	HP	Espodossolo Ferrocarbônico Órtico típico	Eso	Espodossolos Ferri-humilúvicos	ESK #b6bec5
47	Santa Rita	Ae	Neossolo Flúvico Ta Eutrófico solódico	Ruve	Neossolos Flúvicos	RY #eeebdc
48	São José de Piranhas	Re1	Neossolo Litólico Eutrófico típico	RLe	Neossolos Litólicos	RL #969595
49	Santana dos Garrotes	Re2	Neossolo Litólico Eutrófico típico	RLe	Neossolos Litólicos	RL #969595
50	Picuí	Re3	Neossolo Litólico Eutrófico típico	RLe	Neossolos Litólicos	RL #969595
51	Umbuzeiro	Re8	Neossolo Litólico Eutrófico típico	RLe	Neossolos Litólicos	RL #969595
52	Araruna	Re8	Neossolo Regolítico Eutrófico léptico	RRe	Neossolos Regolíticos	RR #cfcece
53	Soledade	Re11	Neossolo Litólico Eutrófico típico	RLe	Neossolos Litólicos	RL #969595
54	Souza	Re11	Neossolo Regolítico Eutrófico léptico	RRe	Neossolos Regolíticos	RR #cfcece
55	Conceição	Re5	Cambissolo Háptico Ta Eutrófico léptico	CXve	Neossolos Litólicos	RL #969595
56	Piancó	Re20	Neossolo Litólico Eutrófico típico	RLe	Neossolos Litólicos	RL #969595
57	Junco do Seridó	Re6	Neossolo Litólico Psamítico típico	RLq	Neossolos Regolíticos	RR #cfcece
58	Fagundes	Re7	Neossolo Litólico Eutrófico típico	RLe	Neossolos Regolíticos	RR #cfcece
59	Alagoinhas	Re7	Neossolo Litólico Eutrófico típico	RLe	Neossolos Litólicos	RL #969595
60	Solânea	REe1	Neossolo Regolítico Psamítico solódico	RRq	Neossolos Regolíticos	RR #cfcece
61	Teixeira	REe3	Neossolo Quartzarênico Órtico fragipânico	Rq0	Neossolos Quartzarênicos	RQ #fffe73
62	Livramento	REe2	Neossolo Regolítico Psamítico típico	RRq	Neossolos Regolíticos	RR #cfcece
63	Campina Grande	REd	Neossolo Quartzarênico Órtico típico	RQ0	Neossolos Quartzarênicos	RQ #cfcece
64	Cabedelo	AMd	Neossolo Quartzarênico Órtico solódico	RQ0	Neossolos Quartzarênicos	RQ #fffe73
		HG	Solos Gley Distróficos Indiscriminados		Gleissolos Tiomórficos Órticos sálicos	GJ #6ca3cd
		SM	Solos de Mangue		Gleissolos Tiomórficos	G #6ca3cd
		AR	Afloramento de Rocha	AR	Afloramento de Rocha	AR #000000

Fonte: adaptado de Campos e Queiroz (2006); PARAÍBA (1978); EMBRAPA (1999; 2018).

Resultados e Discussão

Pelos resultados obtidos observa-se pela Figura 4 que a declividade da área de estudo apresenta-se em sua maioria na classe Nula de declividade com 25.301,35 km² (44,81%) (Tabela 3) distribuída nas regiões do litoral até os limites do Planalto da Borborema e sob o planalto e após na região do Sertão com altitudes mais baixas (300 m) e em diversos tipos de solos de todo o Estado em áreas mais baixas e de drenagem.

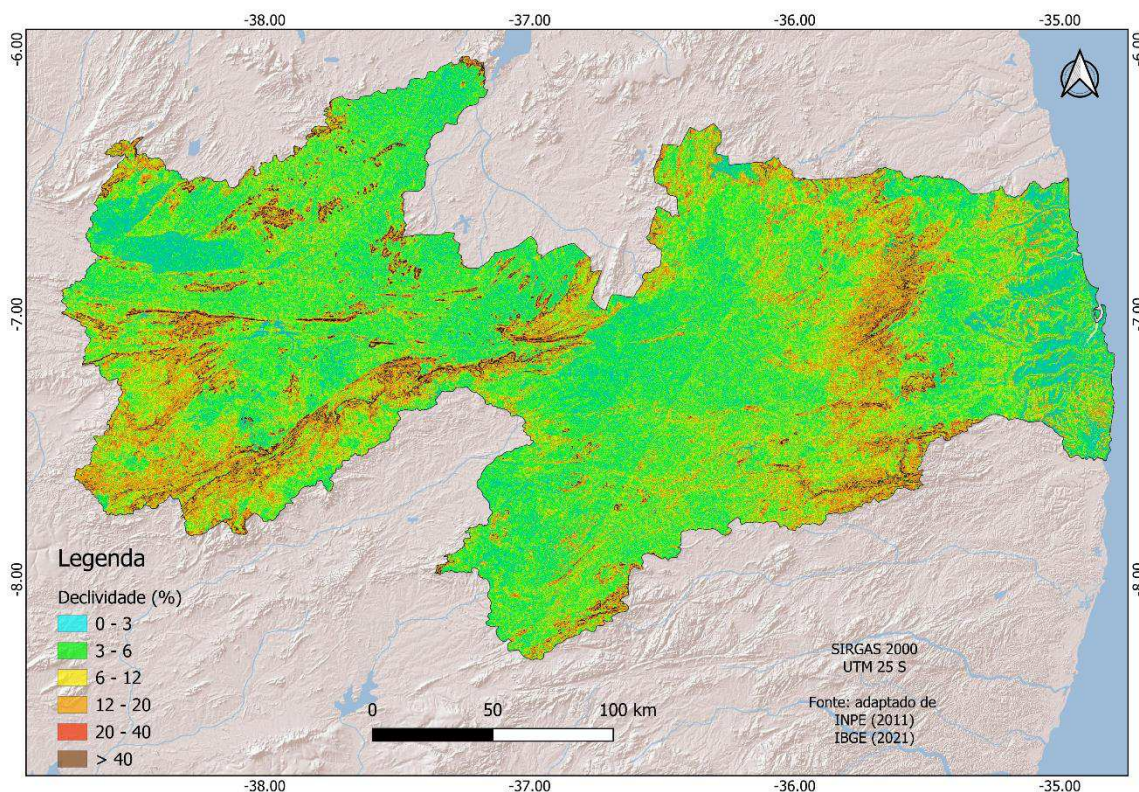


Figura 4. Declividade do Estado da Paraíba.

Fonte: adaptado de INPE (2011); IBGE (2021); ESRI (2022).

Tabela 3. Distribuição da declividade

Classes	Área (km ²)	%
Nula	25.301,35	44,81
Ligeira	12.837,95	22,74
Moderada	9.802,82	17,36
Forte	4.502,26	7,97
Muito Forte	3.297,24	5,84
Extremamente Forte	725,62	1,29
Total	56.467,24	100,00

Pela Tabela 3 pode-se observar que a classe Ligeira de declividade se apresenta em 22,74% (12.837,95 km²) da área de estudo seguida pela classe Moderada com 9.802,82 km² (17,36%). As classes Forte, Muito Forte e Extremamente Forte representam 15,1% da área de estudo localizadas nos contrafortes do Planalto da Borborema, na depressão sertaneja e na divisa com Pernambuco.

Francisco (2010) utilizando imagem SRTM de 90 metros, obteve valores próximos a este trabalho, mesmo devido ter utilizado uma simplificação da área para o mapeamento à

mecanização. Observa-se que, o uso de imagens SRTM de 30 metros por este trabalho, proporciona resultados mais fidedignos quanto a declividade e ao relevo próximo ao real.

Valladares et al. (2007), utilizando dados de declividade de superfície gerados pelo SRTM observaram que permitiu um melhor detalhamento da aptidão agrícola das terras do Estado do Maranhão. Bardales et al. (2007), utilizando imagens SRTM na elaboração de mapas de solos na região do Vale do Baixo Rio Iaco, no Estado do Acre, observaram que as interpretações do relevo associados às cotas altimétricas foram determinadas com maior facilidade e agilidade os diferentes tipos de solos. Outros autores como Valeriano e Abdon (2007) utilizaram SRTM em estudo do Pantanal; Santos et al. (2006) na Amazônia; no continente Africano, Gonçalves (2008) em Angola e Moçambique.

Na Figura 5 pode-se observar a distribuição das classes dos solos da área de estudo atualizada em seus limites pela declividade gerada pelas imagens SRTM, e a legenda atualizada pelo SiBCS.

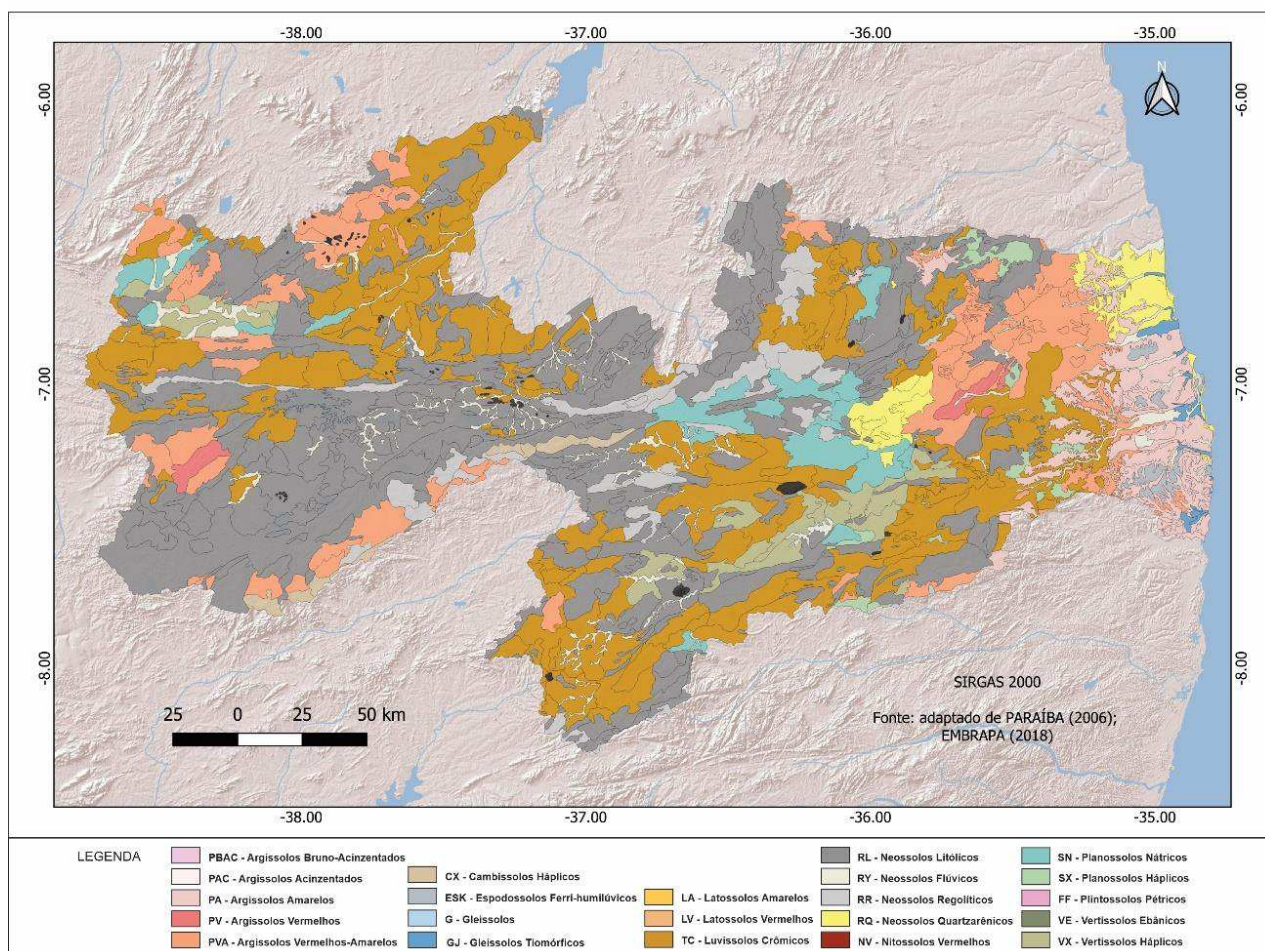


Figura 5. Solos do Estado da Paraíba.

Fonte: adaptado de PARAÍBA (2006); EMBRAPA (2018); IBGE (2021); ESRI (2022).

Na Tabela 4, observam-se os dados do mapeamento, os valores em área e percentagem de ocupação das classes de solos e sua variação espacial na área de estudo.

Observa-se que vários polígonos de solos apresentam-se deslocados, ou não correspondem exatamente, em forma e tamanho às descrições do relevo das unidades de mapeamento. De acordo com Medeiros (2018), que realizou trabalho similar, relata que, tal fato pode estar relacionado às distorções e ajustes da fotointerpretação e representação cartográfica utilizados na elaboração do mapa de solos pela Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba (PARAÍBA, 2006) que utilizou o mapa de solos de PARAÍBA (1978).

Outro fator que causou modificação nas unidades de mapeamento dos solos é a atualização dos limites do Estado, com base no mapa digital do IBGE (2021), principalmente as áreas das unidades de solos contíguas aos Estados vizinhos.

Tabela 4. Distribuição das classes de solos

Classificação 1º nível	Classificação 2º nível	Área (km²)	%
Argissolos – P	Argissolos Acinzentados – PAC	8,53	0,02
	Argissolos Amarelos – PA	2.647,28	4,69
	Argissolos Vermelhos – PV	5.675,59	10,05
	Argissolos Vermelho-Amarelos – PVA	531,07	0,94
Cambissolos – C	Cambissolos Háplicos – CX	406,86	0,72
Espodossolos – E	Espodossolos Ferri-humilúvicos – ESK	278,73	0,49
Gleissolos – G		150,96	0,27
	Gleissolos Tiomórficos – GJ	49,48	0,09
Latosolos – L	Latosolos Amarelos – LA	26,47	0,05
	Latosolos Vermelhos – LV	28,58	0,05
Luvissolos – T	Luvissolos Crômicos – TC	15.052,26	26,66
Neossolos – R	Neossolos Litólicos – RL	21.182,31	37,51
	Neossolos Flúvicos – RY	1.648,66	2,92
	Neossolos Regolíticos – RR	2.231,15	3,95
	Neossolos Quartzarênicos – RQ	1.780,92	3,15
Planossolos – S	Planossolos Nátricos – SN	2.167,00	3,84
	Planossolos Háplicos – SX	520,28	0,92
Plintossolos – F	Plintossolos Argilúvicos – FT	36,64	0,06
	Plintossolos Pétricos – FF	49,93	0,09
Vertissolos – V	Vertissolos Ebânicos – VE	203,24	0,36
	Vertissolos Háplicos – VX	1.633,59	2,89
Afloramento de Rocha - AR	Afloramento de Rocha - AR	157,71	0,28
Total		56.467,24	100,00

Pelos resultados obtidos pode-se observar que, a classe dos Neossolos (Litólicos, Flúvicos, Regolíticos e Quartzarênicos) apresentam-se distribuídas em 47,53% da área do

Estado, principalmente na região semiárida, seguido pelos Argissolos (Acinzentados, Amarelos, Vermelhos, Vermelho-Amarelos) em 15,70% distribuídos em sua maioria na região do litoral, e pelos Luvisolos (Crômicos) em 26,66% também distribuídos em sua maioria na região do Sertão e sob o Planalto da Borborema.

De acordo com Cavalcante et al. (2005), os Neossolos Flúvicos são solos de grande importância, no que diz respeito à exploração agrícola e pecuária da região semiárida. Para Cunha et al. (2010), são considerados de grande potencialidade agrícola, mesmo aqueles com baixa saturação por bases, em função da posição que ocupam na paisagem, ou seja, áreas de várzea.

Francisco et al. (2013), afirmam que em grande parte, a ocorrência destes solos se dá nas regiões semiáridas do Estado, sendo representadas pelos solos Neossolos Litólicos, Luvisolos Crômicos e Argissolos Vermelho Amarelo, normalmente, compreendendo suas fases rasas, declivosas e/ou pedregosas. E também, solos com horizontes B argilosos, com caráter nátrico ou vértico, dentro dos 40 cm de profundidade, a exemplo dos Planossolos Solódicos, Luvisolos Vérticos e Vertissolos.

Os Planossolos (Nátricos e Háplicos) representam 4,76% da área de estudo seguido pelas demais classes com menores áreas distribuídas pelo Estado. Os Afloramento de Rochas representam 0,28% da área, no entanto Francisco et al. (2014) ajustando estes polígonos no mapa de solos obteve a mesma proporção, que se distribuem na região do Sertão e sob o Planalto da Borborema.

Os Afloramento de Rochas que em grande parte descrevem linhas de serras, ou serras isoladas comuns em toda a área e principalmente na região semiárida devido o contraste com as áreas de relevo mais suaves do entorno, fato observado também por Medeiros (2018).

A classe dos Gleyssolos, caracterizados anteriormente como solos de mangue indiscriminados, que por este trabalho apresenta 0,35% da área de estudo, apresentou por Francisco et al. (2013) 0,49%, resultados próximos, mas que de acordo com Medeiros (2018) foram discriminados por Nunes e Beirigo (2017) e Souza e Beirigo, (2017) na região do litoral como Associação de Gleissolos Tiomórficos Órticos sálicos e Organossolos Tiomórficos Sápricos, e por Coelho et al. (2017) no município de Cabedelo como Gleissolos Tiomórficos Órticos sálicos e Gleissolos Sálicos Sódicos neofluvisólicos.

Espera-se que os ajustes realizados por este trabalho, a depender do nível de detalhamento do mapeamento de solos, possa dar suporte técnico ao planejamento, manejo e a conservação dos solos.

Conclusão

As aplicações dos recursos do QGIS® como ferramenta para mapear os solos permitiram, com economia, rapidez e relativa precisão, a análise espacial e a representação cartográfica das unidades de solos do Estado da Paraíba.

Com a utilização da imagem SRTM foi possível obter uma caracterização da declividade do terreno, bem como ajustes e correções da representação cartográfica das unidades de mapeamento dos solos utilizadas neste trabalho.

As áreas de solos de maior ocorrência foram os Neossolos, seguido pelos Argissolos e Luvisolos.

Agradecimentos

Ao apoio do CNPq e da Fapesq-PB.

Referências Bibliográficas

- BALDWIN, M.; KELLOGG, C. E.; THORP, J. Soil classification. In: USA. Department of Agriculture. Soil and Men. Washington, D.C., 1938. p.979–1001. (Agriculture Yearbook, n. 1938).
- BARDALES, N. G.; LANI, J. L.; AMARAL, E. F. do; MELO, A. W. F. de; ARAÚJO, E. A.; ROSADO, J. F. Uso de imagens SRTM na elaboração de mapas de solos na região do Vale do Baixo Rio Iaco, Acre, Brasil. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 31, 2007, Gramado. Anais...Gramado, 2007.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Levantamento Exploratório e de Reconhecimento dos Solos do Estado da Paraíba. Rio de Janeiro. (Boletins DPFS-EPE-MA, 15 - Pedologia 8). Convênio MA/CONTA/USAID/BRASIL, 1972.
- CAMPOS, M. C. C.; QUEIROZ, S. B. Reclassificação dos perfis descritos no Levantamento Exploratório - Reconhecimento de solos do Estado da Paraíba. Revista de Biologia e Ciências da Terra, v.6, n.1, 2006.
- CAVALCANTE, F. DE S.; DANTAS, J. S.; SANTOS, D.; CAMPOS, M. C. C. Considerações sobre a utilização dos principais solos no estado da Paraíba. Revista Científica Eletrônica de Agronomia, v.4, n.8, p.45-50, 2005.
- COELHO, M. R.; D'ANDREA, A. F.; SILVA, O. A. DA; VASQUES, G. DE M.; OLIVEIRA, A. P. DE. Levantamento pedológico detalhado (escala 1:5.000) e estoque de carbon orgânico do solo da Floresta Nacional Restinga de Cabedelo, municípios Cabedelo e João Pessoa, PB. Rio de

Janeiro: Embrapa Solos, 2017. 120p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento/Embrapa Solos).

CUNHA, T. J. F.; PETRERE, V. G.; SILVA, D. J.; MONTEIRO, A.; MENDES, 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. p.49-88. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010.

DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; PEDRON, F. DE A.; AZEVEDO, A. C. DE. Relação entre as características e o uso das informações de levantamentos de solos de diferentes escalas. *Ciência Rural*, v.34, n.5, p.1479-1486, 2004.

EMBRAPA. CNPS. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2013. 412p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Santos et al. 5ª. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 359p.

ESRI. Mapa Topográfico Mundial. Disponível em: <http://www.arcgis.com/home/item.html?id=30e5fe3149c34df1ba922e6f5bbf808f>. Acesso em: novembro de 2022.

FAO/UNESCO. Soil map of the world. 1:5.000.000 legend. v.1. Paris, UNESCO, 1974.

FRANCISCO, P. R. M. Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas. 122f. Dissertação (Manejo de Solo e Água). Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2010.

FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. DE B.; LIMA, E. R. V. DE. Classificação de terras para mecanização agrícola e sua aplicação para o Estado da Paraíba. *Revista Educação Agrícola Superior*, v.28, n.1, p.30-35, 2013.

FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. DE B.; LIMA, E. R. V. DE; SANTOS, D. Tecnologia da geoinformação aplicada no mapeamento das terras à mecanização agrícola. *Revista Educação Agrícola Superior*, v.29, n.1, p.45-51, 2014.

FRANCISCO, P. R. M.; MEDEIROS, R. M. DE; SANTOS, D.; MATOS, R. M. DE. Classificação climática de Köppen e Thornthwaite para o Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.8, n.4, p.1006-1016, 2015a.

FRANCISCO; P. R. M.; CHAVES; I. DE B.; LIMA, E. R. V. DE. Mapeamento das terras para mecanização agrícola Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.2, p.233-249, 2012.

GONÇALVES, J. A. Avaliação da potencialidade do MDT-SRTM para análise geográfica e produção cartográfica. In: Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia, 5, 2008, Maputo. Anais...Maputo, 2008.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 10 de abril de 2022.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. TOPODATA. Banco de dados geomorfométricos do Brasil. 2011. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>. Acesso em: novembro de 2022.

JACOMINE, P. K. T. A nova classificação brasileira de solos. Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica, v.5/6, p.161-179, 2008-2009.

JACOMINE, P. K. T. Justificativas para existência e a necessidade de complemento e aprimoramento do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.26, n.2, p.13-15, 2001.

MEDEIROS, B. M. Atualização da classificação do mapa de solos da Paraíba. 38f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia). Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2018.

NUNES, J. A.; BEIRIGO, R. M. Mapeamento dos solos dos manguezais da área de proteção ambiental da barra do rio Mamanguape-PB. In: MEDEIROS, I. A.; BRAGA, C. F.; BAROSA, R. O. (Orgs.). Anais do XXV Encontro de Iniciação Científica da UFPB. João Pessoa: Editora da UFPB, 2017. 19p.

PARAÍBA. Governo do Estado. Secretaria de Agricultura e Abastecimento. CEPA-PB. Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba. Relatório ZAP-B-D-2146/1. UFPB-Eleto Consult Ltda., 1978. 448p.

PARAÍBA. Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente. Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba, AESA. PERH-PB: Plano Estadual de Recursos Hídricos: Resumo Executivo & Atlas. Brasília, DF, 2006. 112p.

PRADO, H. do. Manual de Classificação de Solos do Brasil. 3º ed. Jaboticabal, FUNEP, 1996, 196p.

QGIS. Development Team. 2022. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>.


RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B. de; CORREA, G. F. Pedologia: base para distinção de ambientes. 4º ed. Viçosa, NEPUT, 2002. 338p.

- SANTOS, P. R. A. DOS; GABOARDI, C.; OLIVEIRA, L. C. DE. Avaliação da precisão vertical dos modelos SRTM para a Amazônia. *Revista Brasileira de Cartografia*. v.58, n.1, p.101-107, 2006.
- SOUZA, H. M.; BEIRIGO, R. M. Caracterização e classificação dos solos dos manguezais da área de proteção ambiental da barra do rio Mamanguape-PB. In: MEDEIROS, I. A.; BRAGA, C. F.; BAROSA, R. O. (Orgs.). *Anais do XXV Encontro de Iniciação Científica da UFPB*. João Pessoa: UFPB, 2017. 18p.
- THORP, J.; SMITH, G. D. higher categories for soil classification. *Soil Science*, v.67, p.117-126, 1949.
- VALERIANO, M. DE M.; ABDON, M. DE M. Aplicação de dados SRTM a estudos do Pantanal. *Revista Brasileira de Cartografia*, v.59, n.1, p.63-71, 2007.
- VALLADARES, G. S.; QUARTAROLI, C. F.; HOTT, M. C.; MIRANDA, E. E. DE; NUNES, R. DA S.; KLEPKER, D.; LIMA, G. P. Mapeamento da Aptidão Agrícola das Terras do Estado do Maranhão. *Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite*, 2007. 25p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 6).
- VAREJÃO-SILVA, M. A.; BRAGA, C. C.; AGUIAR M. J. N.; NIETZCHE, M. H.; SILVA, B. B. *Atlas Climatológico do Estado da Paraíba*. UFPB, Campina Grande. 1984.

APLICAÇÃO DO SIBCTI NO POTENCIAL DE TERRAS PARA IRRIGAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DA REGIÃO DO MÉDIO CURSO DO RIO PARAÍBA


Paulo Roberto Megna Francisco

Doutorando em Eng. de Recursos Naturais, UFCG, Campina Grande-PB, paulomegna@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-5062-5434>


Viviane Farias Silva

Dra. Prof. Associada, UFCG, Patos-PB, viviane.farias@professor.ufcg.edu.br

 <https://orcid.org/0000-0002-5891-0328>

Djail Santos

Dr. Prof. Titular, UFPB, Areia-PB, santosdjail@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0003-2207-3115>


Flávio Pereira de Oliveira

Prof. Dr. Associado, CCA, UFPB, Areia-PB, pereira@cca.ufpb.br

<http://orcid.org/0000-0001-7968-6145>


George do Nascimento Ribeiro

Dr. Prof. Associado, CDSA, UFCG, Sumé-PB, george@ufcg.edu.br

 <https://orcid.org/0000-0003-4225-0967>


Gypson Dutra Junqueira Ayres

Doutorando em Eng. Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, fgypsond@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-1959-1424>


Raimundo Calixto Martins Rodrigues

Doutorando em Eng. Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, calixto_80@hotmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-8437-7857>

José Crispiniano Feitosa Filho

Phd. Prof. Associado IV, DSER, CCA, UFPB, jcfeitosafilho@gmail.com

 <http://lattes.cnpq.br/1161881618455980>

Introdução

O planejamento agrícola como preceito da política ambiental se constitui num instrumento de fundamental importância no processo de gestão do espaço rural e da atividade agropecuária. Este quando bem aplicado racionaliza as ações, tornando-se instrumento de sistematização de informações, reflexão sobre os problemas e especulação de cenários potenciais para o aproveitamento dos recursos naturais (FRANCISCO, 2010).

Programas e projetos voltados para o uso, manejo e conservação das terras requerem informações do meio natural visando orientar, de forma racional, a alocação de recursos e a intervenção no meio rural. Vários projetos no setor da agricultura irrigada têm apresentado resultados insatisfatórios devido às deficiências no planejamento, principalmente em função da falta de informações pormenorizadas do meio físico e biótico. O conhecimento das potencialidades e limitações das terras para uso com agricultura irrigada é, portanto, imprescindível para a orientação das atividades a serem executadas, especialmente em projetos visando o uso sob manejo irrigado (EMBRAPA, 2006).

Nas últimas décadas, a irrigação tem desempenhado papel indispensável ao incremento da produtividade de culturas básicas, possibilitando o desenvolvimento econômico de muitas regiões, e ao mesmo tempo incorporando novas áreas ao processo produtivo, garantindo com isso, o abastecimento interno e ampliando as exportações de produtos agrícolas (SAMPAIO et al., 2011).

O uso da irrigação viabiliza a produção agrícola especialmente em áreas áridas e semiáridas, como no caso do Nordeste brasileiro, onde a escassez hídrica representa uma séria limitação para o desenvolvimento socioeconômico. A adoção e a aplicação de metodologias atualizadas de classificação de terras para a irrigação podem permitir o planejamento do uso da terra com vistas ao desenvolvimento sustentável. Essas ações poderiam minimizar a degradação das terras e/ou da baixa taxa de retorno econômico, que afetam em muitos casos o pleno sucesso dos projetos irrigados (AMARAL, 2005).

Para Sousa et al. (2013), a classificação de terras para irrigação é feita com base nas potencialidades e limitações dos solos. Essas informações são necessárias para a delimitação das terras de classes aptas, eliminando as áreas inaptas nas condições econômicas prevalentes. De acordo com EMBRAPA (2006) os dados da classificação das terras também são usados para estabelecer as necessidades de água para os diferentes tipos de solos, bem como as perdas por meio da percolação, eficiência do uso da água, definição do método de irrigação e o padrão de cultivo mais adaptado à área específica.

A metodologia do Sistema Brasileiro de Classificação de Terras para Irrigação (SiBCTI) tem por finalidade o desenvolvimento de uma sistemática adaptada à realidade brasileira, servindo como um sistema de suporte à decisão para as áreas a serem objeto de projetos de irrigação (EMBRAPA, 2014). Conforme Amaral (2011), esse sistema apresenta critérios técnicos objetivos e mais bem adequados aos ambientes tropicais, sobretudo, para avaliações no contexto da região semiárida brasileira.

O SiBCTI adota um sistema especialista construído por meio de regras similar à classificação por árvore de decisão, sendo que seus parâmetros são previamente estabelecidos pelo critério especialista para cada classe. É desenhado a partir de tabelas e de um conjunto de regras construídas por conhecimento especialista, que permitem a entrada (ou seleção) de dados (fatos) fornecidos para cada atributo, relativos à terra e à água, para efetuar a decisão de classificar uma determinada terra em classes de aptidão para irrigação, apontando suas respectivas limitações e potencialidades (EMBRAPA, 2007).

Sistemas especialistas são programas constituídos por uma série de regras que analisam informações, normalmente fornecidas pelo usuário do sistema, sobre uma classe específica de problema, também conhecido por domínio do problema (TAVARES et al., 2021).

Com o avanço da tecnologia, ferramentas computacionais são cada vez mais utilizadas para apoiar na resolução de problemas de distintas áreas, tais como medicina, biologia, engenharia e marketing (REZENDE, 2003; BOTTAZZINI, 2001; TIBES, 2011). Nesse contexto, o desenvolvimento de sistemas inteligentes capazes de resolver e/ou apoiar na resolução de tarefas que envolvem alto nível de especialização e conhecimento tem se tornado um tema de interesse e amplamente explorado no meio científico (NADAI, 2012).

Vários estudos já foram realizados na região semiárida empregando o SiBCTI, pela EMBRAPA (2006; 2007; 2009; 2009a; 2012; 2014; 2020) na Bacia do Tucano-BA, em Juazeiro-BA no projeto Salitre, em Canindé do São Francisco-SE, no Projeto Jequitá-MG, no Zoneamento Agroecológico do Estado de Alagoas, em Jequitá-MG para o cultivo de cana-de-açúcar, e na região das Vertentes Litorâneas da Paraíba, respectivamente; por Sousa et al. (2013) em Aliança-PE, por Lucena e Amaral (2015) avaliando o capim elefante para inclusão no SiBCTI.

Portanto, o presente trabalho tem como objetivo realizar para a bacia hidrográfica da região do médio curso do rio Paraíba a avaliação das áreas potencialmente irrigáveis para diversas culturas e sistemas.

Material e Métodos

A área de estudo compreende a região do médio curso do rio Paraíba com área de 379.416,21 ha localizada no Estado da Paraíba, com uma população de 506.734 habitantes, composta total e/ou parcialmente pelos municípios de Aroeiras, Alcantil, Barra de Santana, Boa Vista, Boqueirão, Barra de São Miguel, Caturité, Campina Grande, Fagundes, Gado Bravo, Itatuba, Natuba, Pocinhos, Puxinanã, Queimadas, Riacho de Santo Antônio, Santa Cecília e Umbuzeiro (Figura 1).

Conforme Francisco (2010), a área de estudo engloba a encosta oriental do Planalto da Borborema, porção leste da bacia, com o clima, segundo a classificação de Köppen, do tipo As' - Tropical Quente e Úmido com chuvas de outono-inverno. Nesta região as chuvas são formadas pelas massas atlânticas trazidas pelos ventos alísios de sudeste, e a altitude de 600 m nos pontos mais elevados dos contrafortes do Planalto. A precipitação decresce do litoral para o interior da região (600

mm.ano⁻¹) devido, principalmente, a depressão do relevo. Na porção oeste da bacia, o clima é do tipo Bsh - Semiárido quente, precipitação predominantemente, abaixo de 600 mm.ano⁻¹, e temperatura mais baixa, devido ao efeito da altitude (400 a 700m).

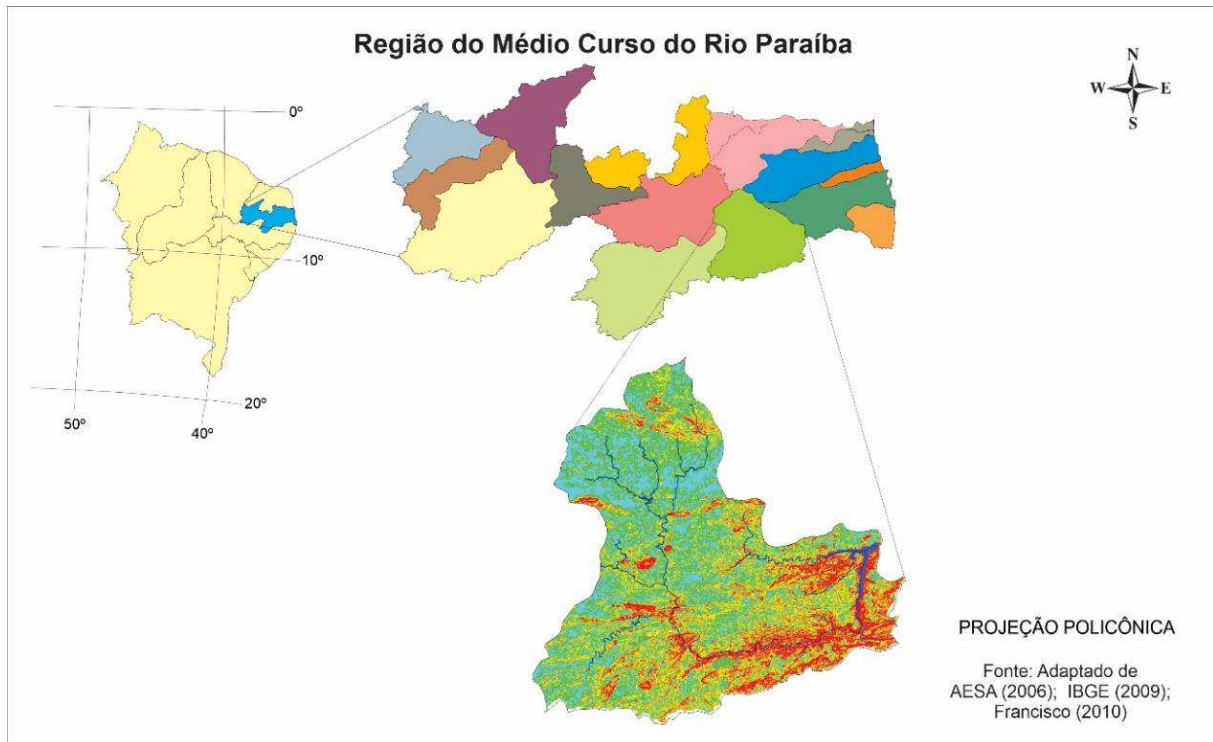


Figura 1. Localização da área de estudo e declividade.

Fonte: Adaptado de Francisco (2010); PARAÍBA (2006); IBGE (2009).

De acordo com Francisco (2010) a vegetação representativa da área de estudo é do tipo caatinga hiperxerófila. Os solos predominantes na área de estudo (Figura 2), conforme PARAÍBA (1978) são os Brunos Não Cálcidos e os solos Litólicos Eutróficos, distribuídos por toda a área da bacia, como também os Vertisols, com maior ocorrência no centro da bacia, mais próximos ao Açude Epitácio Pessoa, e os Solonetz Solodizado na região de Campina Grande, estes reclassificados para o novo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos por Campos e Queiroz (2006) como Luvisolos Crômicos órtico típico, Neossolos Litólicos Eutróficos típico, e como Vertissolo Cromado Órtico típico, Planossolo Nátrico Órtico típico, respectivamente. Francisco et al. (2015) afirmam que, estas diferem pela diversidade geológica, pedológica e geomorfológica; atendendo também a uma diversidade de características de solo, relacionadas à morfologia, cor, textura, estrutura, declividade e pedregosidade e outras características, justificada pelo fato de que, no semiárido o tipo de solo determina a dinâmica da água quanto à drenagem, retenção ou disponibilidade, condicionando, por conseguinte os sistemas de produção agrícola.

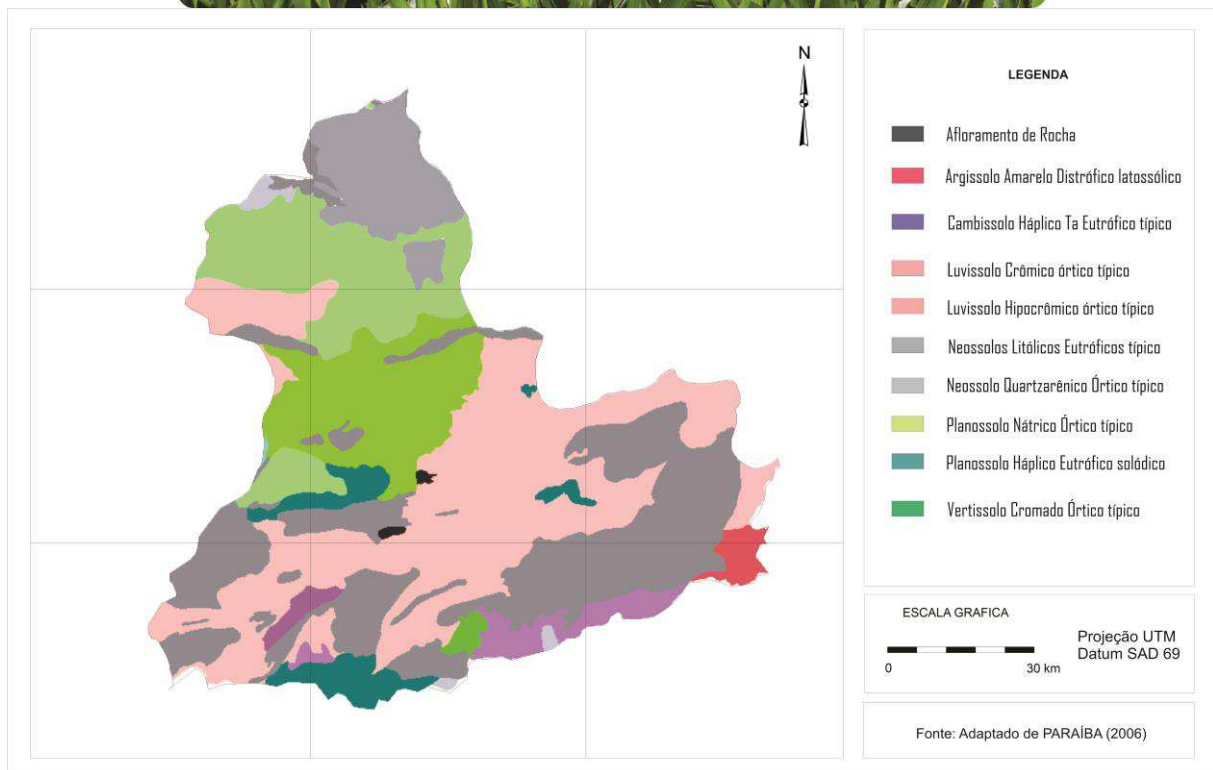


Figura 4. Solos da área de estudo.

Fonte: adaptado de PARAÍBA (1978); AESA (2006).

Na classificação de terras para irrigação (EMBRAPA, 2022) adotou-se 4 classes de terras consideradas aráveis e 2 consideradas não-aráveis. Nas terras aráveis, a vocação cultural ou capacidade de pagamento decresce progressivamente das classes de 1 para a 4. As terras da classe 4, denominadas de uso especial, são aquelas de uso restrito e que podem ter uma deficiência excessiva ou várias deficiências combinadas. As terras não-aráveis são aquelas definidas pelas classes 5 e 6. A concepção do sistema admite que na classe 5 estejam incluídas terras com valor potencial que possam passar para uma classe arável ou para classe 6 em definitivo, após estudos agrônômicos, de engenharia civil ou de economia. A classe 6 inclui as terras que não apresentam as condições mínimas exigidas para seu enquadramento em outra classe e, portanto, são inadequadas para cultivos irrigados convencionais.

Para a classificação foi utilizado o programa especialista SiBCTI onde avaliou-se a interação solo x sistema de irrigação x cultura específica x qualidade e custo da água para determinar a classe de aptidão de terra para irrigação. Os parâmetros dos solos utilizados apresentam-se nas Tabelas 1 e 2 e da água na Tabela 3.

Tabela 1. Parâmetros das propriedades dos solos

	Z	V	P	R	A	W	G	B	
Tipo de Solo	cm	Profundidade (cm)	Classe Textural	Pedregosidade	Rochosidade	Mineralogia da Argila	Profundidade da Zona de Redução (cm)	Topografia (%)	Área é abaciada
Neossolo Litólico Eutrófico típico (RLe)	0 - 20	Semipermeável	Média	Pedregosa	Rochosa	1:1	20	6	Não
	20 - 60	Impermeável							
Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo)	0 - 20	Semipermeável	Arenosa	Não pedregosa	Não rochosa	1:1	30	6	Não
	20 - 60	Impermeável							
Luvissolo Crômico Órtico típico (TCO)	0 - 20	Semipermeável	Arenosa/média	Moderadamente	Não rochosa	1:1	60	6	Não
	20 - 60	Semipermeável							
	60 - 120	Impermeável							
Vertissolo Cromado Órtico típico (Vco)	0 - 20	Semipermeável	Arenosa/média	Pedregosa	Não rochosa	1:1	20	6	Não
	20 - 60	Impermeável							
Planossolo Nátrico Órtico típico (SNo)	0 - 20	Semipermeável	Média/Arenosa	Não pedregosa	Não rochosa	1:1	40	3	Não
	20 - 60	Impermeável							
Planossolo Háptico Eutrófico solódico (SXe)	0 - 20	Semipermeável	Média/arenosa	Não pedregosa	Não rochosa	1:1	40	3	Não
	20 - 60	Impermeável							
Argissolo Amarelo Distrófico	0 - 20	Semipermeável	Média/arenosa	Não pedregosa	Não rochosa	1:1	30	3	Não
	20 - 60	Impermeável							
Cambissolo Háptico Ta Eutrófico típico (CXVe)	0 - 20	Semipermeável	Média	Não pedregosa	Não rochosa	1:1	100	3	Não
	20 - 60	Semipermeável							
	60 - 120	Impermeável							

Fonte: adaptado de BRASIL (1972).

Tabela 2. Parâmetros das propriedades dos solos (2.a parte)

	Y	T	H	S	M	C	E	K	I	D	
Tipo de Solo	cm	Ca + Mg (cmol _c kg ⁻¹)	T (cmol _c kg ⁻¹)	pH em Água	Saturação com Sódio Trocável (100 Na T ⁻¹)	Alumínio Trocável (cmol _c kg ⁻¹)	Capacidade de Água Disponível (mm)	Condutividade de Elétrica Ext. Sat. (dS m ⁻¹)	Condutividade de Hidráulica (cm h ⁻¹)	Velocidade de Infiltração (cm h ⁻¹)	Espaçamento entre Drenos (m)
Neossolo Litólico Eutrófico típico (RLe)	0-20	4,4	6,5	6,3	1	0	0,125	0	16,4	48	30
Neossolo Quartzarênico	0-20	3	2,2	1,5	2	0,3	0,125	0	8,3	20	30
	20-60	1	1,4	0,8	2	0,4	0,125		8,3		
Luvissolo Crômico Órtico típico (TCO)	0-20	10	11	6,4	1	0	0,41	0	2,7	3,2	30
	20-60	13	14,2	6,2	1	0,2	0,41	0	2,7		
	60-120	20	21	6,4	2	0,5	0,41	0	2,7		
Vertissolo Cromado Órtico típico (Vco)	0-20	32,6	34,7	6,7	1	0	1,2	0	0,6	0,9	30
	20-60	40,3	41,1	7	1	0	1,2	0,9	0,6		
Planossolo Nátrico Órtico	0-20	4,8	7,6	5,9	2	0	1,95	0	0,6	20	30
	20-60	20,8	23,7	6,7	5	0	1,95	1,7	0,6		
	60-120	32,6	35	7,3	7	0	1,95	2,1	0,6		
Planossolo Háptico	0-20	5,2	8,4	6,1	2	0	1,95	0	8,3	20	30
	20-60	19,2	23,9	6,1	8	0	1,95	1	8,3		
Argissolo	0-20	1	2,5	6,3	2	0,3	1,85	0	8,3	20	30
	20-60	1,2	4,6	5,7	3	0,5	1,85	0	8,3		
Cambissolo Háptico Ta	0-20	7,2	8,6	7,4	1	0	1	0	8,3	20	30
	20-60	3	5,7	5,5	2	0	1	0	8,3		
	60-120	2,6	5,9	5,3	1	0	1	0	8,3		

Fonte: adaptado de: BRASIL (1972).; I e K (EMBRAPA, 2020); C (SOUZA et al., 2004; PEQUENO, 2016; WERLANG, 2001).

Tabela 3. Parâmetros das propriedades da água

Fonte de água	e	s	f	b	f	d	h
	CE Condutividade Elétrica (dS m ⁻¹)	RAS (mmolc ^{1/2} L ^{-1/2})	Fe (mg L ⁻¹)	B (mg L ⁻¹)	Cl ⁻ (mg L ⁻¹)	Distância da Captação (km)	Diferença de Cota da Captação (m)
Açude Epitácio Pessoa	392,93	3,62	0	0,3	66,7	30	10
Açude Acauã	1.840,00	4,40	0	0,3	380,0	30	10

Fonte: adaptado de: Fe (CORDEIRO NETO et al., 2018); RAS (SILVA FILHO et al., 2000; MENDES, 2007); Cl e CE (AESAs, 2022).

A representação da classe de terra para irrigação foi sintetizada em uma fórmula alfanumérica com apenas quatro caracteres. Onde o primeiro caractere é uma letra minúscula que expressa a possível rentabilidade esperada e o custo de captação de água; o segundo, é um caractere numérico que expressa a classe de terra propriamente dita; e os dois últimos, são caracteres que informam os dois fatores mais limitantes à classe de terra para irrigação, sejam de solo, água ou de ambos (EMBRAPA, 2020).

Foram selecionadas para a classificação as culturas do milho (*Zea mays L.*), feijão (*Vigna unguiculata (L.) Walp.*), banana (*Musa spp.*), melancia (*Citrullus lanatus*) e a uva (*Vitis vinifera L.*) por estarem de acordo com a previsão do MAPA (2022) no Zoneamento Agrícola de Risco Climático para o município e especificados os sistemas de irrigação como geral, localizada e aspersão.

Para expressar o potencial de terras para irrigação em conformidade com as informações contidas nas unidades de mapeamento de solos (UM) conforme a Tabela 4.

Tabela 4. Discriminação dos ambientes

Potencial	Classe	Descrição dos ambientes (UM)
Muito Alto (MA)	1	Classe 1 + Classe 2 ≥ 75%
Alto (A)	2	Classe 1 + Classe 2 ≥ 50 e < 75%
Médio (M)	3	Classe 1 + Classe 2 + Classe 3 ≥ 40%
Baixo (B)	4	Classe 1 + Classe 2 + Classe 3 ≥ 20 e < 40% ou Classe 4 ≥ 50%
Muito Baixo (MB)	5/6	Ausência das Classes 1, 2, 3, 4, 5 e classe 6 < 50%

Fonte: adaptado de EMBRAPA (2022).

Como produto final foi elaborado o mapa do potencial geral de terras para irrigação, e o do potencial para irrigação as culturas em sistema de irrigação por aspersão e localizada. Para elaboração foi utilizado arquivo digital dos limites da bacia (AESAs, 2006) e solos (PARAÍBA, 2006) na escala 1:250.000.

Resultados e Discussão

As informações do potencial geral estão sintetizadas, em termos de extensão territorial, na Tabela 5 e a geoespacialização está apresentada na Figura 5.

As terras da bacia como um todo, classifica-se com potencial geral muito baixo (classe 6) para irrigação e ocupa 100% da área (Tabela 1). Observa-se que estas áreas apresentam as maiores restrições ambientais para fins de irrigação. Observa-se na classe 6 áreas que não apresentam as condições mínimas exigidas para seu enquadramento em outra classe e, portanto, são inadequadas para cultivos irrigados convencionais. Áreas de terras com potencial muito baixo é uma consequência direta das exigências do sistema de irrigação. Conforme EMBRAPA (2020), as terras enquadradas na classe 6 são as que possuem as restrições ambientais mais limitantes para uso em manejos irrigados.

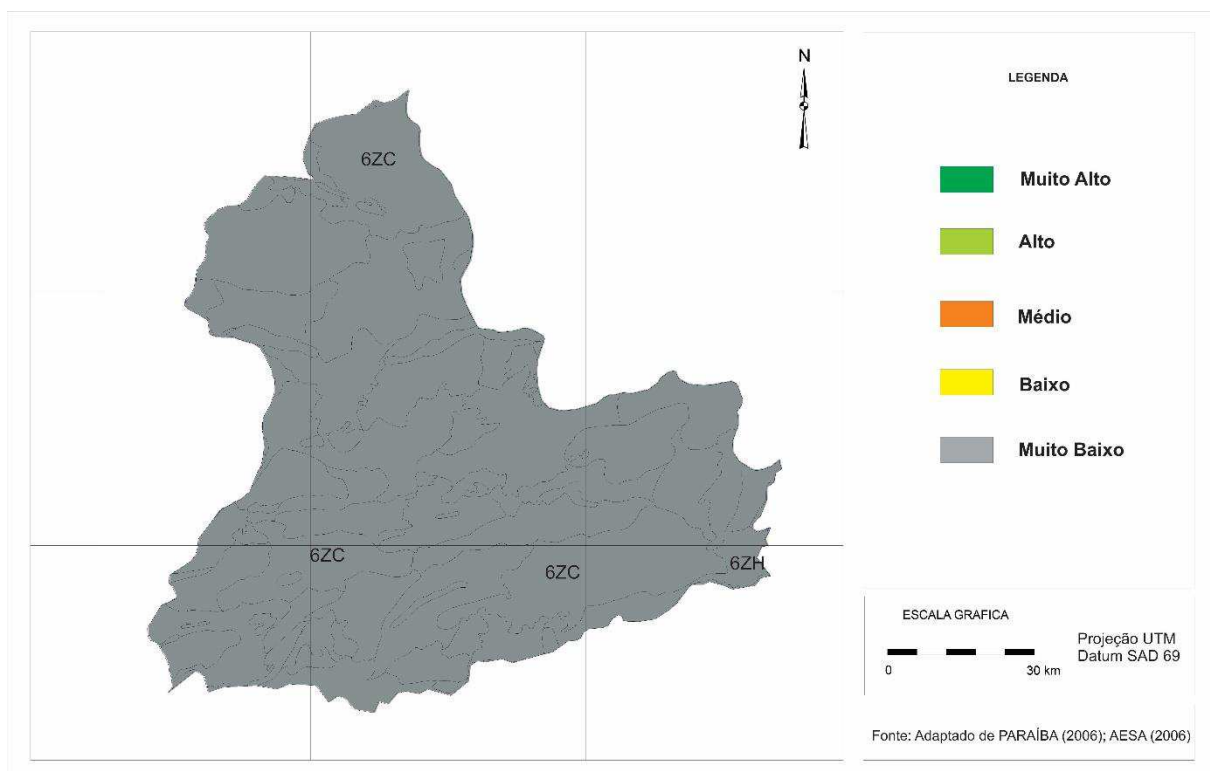


Figura 5. Potencial de irrigação. Fonte: adaptado de PARAIBA (2006); AESA (2021).

Entre as restrições, destaca-se a profundidade efetiva muito limitada (< 30 cm) em áreas de Neossolos Litólicos e Neossolos Quartzarênicos, que de acordo com a EMBRAPA (2020) são os principais solos com restrições ambientais que se enquadram no potencial geral muito baixo.

Essa dominância de terras na classe 6 também foi observada em toda área da região Nordeste do Brasil por Cavalcanti et al. (1994), e por Santos et al. (2013) para toda área do Estado de Alagoas. Os autores observaram que esta dominância é uma consequência do predomínio de terras no ambiente semiárido, onde se destacam solos com muitas limitações de ordem física e/ou química.

Tabela 5. Distribuição e classificação do potencial de irrigação

Tipo de solo	Cultura	Sistema de irrigação	Fator Econômico	Classe	Fator limitante		Área	
					solo	água	ha	%
Neossolo Litólico Eutrófico típico (RLe)		Geral		6	ZC			
	Banana	Localizada	a	6	ZK			
	Melancia	Localizada	a	6	ZW	100.488,9	26,49	
	Uva	Localizada	a	6	ZW			
	Milho	Aspersão	m	6	ZW			
	Feijão	Aspersão	m	6	ZW			
Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo)		Geral		6	ZC			
	Banana	Localizada	a	6	ZW			
	Melancia	Localizada	a	6	ZW	29.140,5	7,68	
	Uva	Localizada	a	6	ZW			
	Milho	Aspersão	m	6	ZW			
	Feijão	Aspersão	m	6	ZW			
Luvissolo Crômico Órtico típico (TCO)		Geral		6	ZC			
	Banana	Localizada	a	6	ZC			
	Melancia	Localizada	a	6	CZ	120.418,6	31,74	
	Uva	Localizada	a	6	ZC			
	Milho	Aspersão	m	6	CZ			
	Feijão	Aspersão	m	6	CZ			
Vertissolo Cromado Órtico típico (Vco)		Geral		6	ZC			
	Banana	Localizada	a	6	ZW			
	Melancia	Localizada	a	6	ZW	44.240,7	11,66	
	Uva	Localizada	a	6	ZW			
	Milho	Aspersão	m	6	ZW			
	Feijão	Aspersão	m	6	ZW			
Planossolo Nátrico Órtico típico (SNo)		Geral		6	ZC			
	Banana	Localizada	a	6	ZW			
	Melancia	Localizada	a	6	ZC	51.245,5	13,51	
	Uva	Localizada	a	6	ZW			
	Milho	Aspersão	m	6	ZW			
	Feijão	Aspersão	m	6	ZC			
Planossolo Háptico Eutrófico solódico (SXe)		Geral		6	ZC			
	Banana	Localizada	a	6	ZW			
	Melancia	Localizada	a	6	ZC	14.945,3	3,94	
	Uva	Localizada	a	6	ZW			
	Milho	Aspersão	m	6	ZW			
	Feijão	Aspersão	m	6	ZC			
Argissolo Amarelo Distrófico latossólico (PAd)		Geral		6	ZH			
	Banana	Localizada	a	6	ZW			
	Melancia	Localizada	a	6	ZW	1.3741,0	3,62	
	Uva	Localizada	a	6	ZW			
	Milho	Aspersão	m	6	ZW			
	Feijão	Aspersão	m	6	ZW			
Cambissolo Háptico Ta Eutrófico típico (CXVe)		Geral		6	ZC			
	Banana	Localizada	a	6	ZC			
	Melancia	Localizada	a	6	CZ	4.307,2	1,14	
	Uva	Localizada	a	6	ZC			
	Milho	Aspersão	m	6	CZ			
	Feijão	Aspersão	m	6	CZ			
Afloramento Rochoso						888,4	0,23	
Total						379.416,2	100,00	

Legenda: a: alto; m: médio; Z: profundidade solo; W: prof. zona redução; C: capacidade água disponível; H: pH em água.

Santos e Araújo Filho (2008), utilizando a mesma metodologia no Estado da Bahia no município de Glória identificaram para estes mesmos solos a classe 6. Sousa et al. (2013) no Estado de Pernambuco no município de Aliança identificaram 92,3% da área na classe 6 em Neossolos Litólicos.

EMBRAPA (2020) no Estado da Paraíba, em estudo na região da Vertente Litorânea, encontrou resultados similares a este trabalho.

Quanto à rentabilidade no investimento para irrigação (Fator econômico), de acordo com os resultados (Tabela 5), observa-se um retorno alto para as culturas da banana, melancia e uva (irrigação localizada), e retorno mediano para as culturas do milho e feijão (irrigação por aspersão). Quanto ao fator limitante água a classificação não apresenta limitações aos sistemas de irrigação.

Para o sistema de irrigação por aspersão, a classificação para o milho e feijão, apresenta para os Neossolos Litólicos e Neossolos Quartzarênicos fatores limitantes quanto à profundidade efetiva (Z) e a profundidade da zona redução (W). Para o Luvissole Crômico Órtico típico, estes apresentam limitações quanto a profundidade efetiva e a capacidade de água disponível (C). Para o Vertissolo Cromado Órtico típico, a classificação para o milho e feijão apresenta os fatores limitantes de profundidade da zona redução e profundidade efetiva. Para o Planossolo Nátrico Órtico, Planossolo Háplico e para o Argissolo Amarelo Distrófico latossólico os fatores limitantes são a profundidade da zona redução, a profundidade efetiva do solo e a capacidade de água disponível. No caso do Cambissolo Háplico, as limitações são a profundidade efetiva do solo e a capacidade de água disponível.

Para o sistema de irrigação localizada, a classificação para a banana, melancia e a uva, apresenta para os Neossolos Litólicos, Neossolos Quartzarênicos, Vertissolo Cromado Órtico típico, Planossolo Nátrico Órtico, Planossolo Háplico e Argissolo Amarelo Distrófico latossólico os fatores limitantes são quanto à profundidade do solo e da zona de redução. Já para os Luvissoles e Cambissolo Háplico os fatores limitantes são a profundidade efetiva e a capacidade de água disponível.

Conforme Cunha et al. (2010), os Neossolos Litólicos apresentam poucas alternativas de uso por se tratar de solos rasos ou muito rasos e, usualmente, rochosos e pedregosos. A pequena espessura do solo é uma das limitações mais comuns para este tipo de solo. Cavalcanti et al. (2012) afirmam que, na região semiárida as terras classificadas como sendo inaptas para a irrigação estão relacionadas com extensas áreas de solos rasos, principalmente das classes dos Neossolos Litólicos.

De acordo com Oliveira et al. (1992), os Luvissoles são de elevado potencial nutricional decorrente das altas quantidades de nutrientes disponíveis às plantas e de minerais primários facilmente intemperizáveis, e são ricos em bases trocáveis, especialmente o potássio. As áreas onde estes solos ocorrem são bastante deficientes em água, sendo este o principal fator limitante para o uso agrícola destes solos. Para Cunha et al. (2008), os Luvissoles são bastante utilizados com a pecuária extensiva, palma forrageira e agricultura de sequeiro (milho e feijão).

De acordo com Cavalcante et al. (2005), os Vertissolos são solos muito susceptíveis à salinização. São facilmente erodíveis e em alguns locais são muito rasos e não se prestam para irrigação. Apesar de a fertilidade ser alta, de um modo geral, estes solos possuem baixos teores de matéria orgânica e nitrogênio. A principal limitação ao uso agrícola dos mesmos é a falta d'água, que é muito forte, em face do clima ter um longo período seco, com forte evaporação.

Os Planossolos ocorrem tipicamente em áreas de cotas baixas, planas a suave onduladas. São, geralmente, pouco profundos, com horizonte superficial de cores claras e textura arenosa ou média (leve), seguido de um horizonte B plânico, de textura média, argilosa ou muito argilosa, adensado, pouco permeável, com cores de redução, decorrente de drenagem imperfeita, e responsável pela formação de lençol suspenso temporário (EMBRAPA, 2006).

O Cambissolo Háplico Ta Eutrófico típico em área localizada ao sudeste divisa com Pernambuco, de acordo com Francisco (2010), nesta região, são bem profundos e conforme Cavalcante et al. (2005), estes solos são usados para culturas de subsistência (milho, feijão, fava) e algodão herbáceo, em geral consorciados. Com relação às propriedades químicas, deve ressaltar que apesar de possuírem fertilidade alta, geralmente apresentam baixos teores de matéria orgânica e nitrogênio.

De acordo com EMBRAPA (1994), para o potencial das Terras para irrigação no Nordeste, argumenta que para utilização dessas terras para a irrigação implicam numa rigorosa seleção de áreas, e na adoção de práticas conservacionistas.

Conforme IBGE (2021), os municípios que contemplam a bacia hidrográfica apresentam em relação ao uso da terra, uma área de 345.622 ha referente aos estabelecimentos produtivos (91,1%), onde a área utilizada para o plantio de lavouras temporárias é de 42.370 ha, portanto somente 12,25% das áreas declaradas sendo utilizadas à produção agrícola. Destas, somente 1.702 ha são irrigados, representando 4,01% das áreas agrícolas e uma pequena parcela representando 0,44% do total da bacia em estudo. São identificados a produção das culturas do feijão (10.544 ha) e milho (7.792 ha). Com estes resultados obtidos quanto à classificação e seus fatores limitantes apresentando-se na classe muito baixa, a bacia apresenta quanto ao uso da terra, a produção das culturas do feijão e do milho estudadas neste trabalho. Mesmo não sendo tradicional o cultivo das demais culturas, os resultados demonstram a possibilidade de cultivo destas.

Puxinanã localizada ao norte da bacia, tradicionalmente cultiva feijão e milho (IBGE, 2017), a região de Campina Grande, ao nordeste, e Boqueirão a oeste da bacia, onde a principal cultura agrícola perene cultivada é a banana (SIMÕES & SANTOS, 2013). Em Barra de São Miguel, ao sudoeste da bacia, as principais lavouras temporárias são o milho e feijão, e a cultura permanente da banana (IBGE, 2015). Em Barra de Santana, localizada ao centro-sul, cultiva-se as culturas permanentes banana como também das culturas temporárias o feijão e o milho (GAMA, 2016). Os municípios de Aroeiras e Umbuzeiro, ao sudeste da bacia, dominam as atividades econômicas das culturas do milho e feijão (SOUSA, 2001). O município de Natuba, ao sudeste da área, baseado na fruticultura destaca-se o cultivo da bananeira (GRABOIS & SILVA, 1991), o milho e feijão (SOUSA, 2001).

Observa-se que a cultivo da uva por irrigação localizada pode ser viável, pois de acordo com Pommer (2009) destaca que, a videira é considerada resistente à seca por seu sistema radicular ser capaz de atingir grandes profundidades. Vários autores já haviam identificado a possibilidade expansão da uva em região semiárida, como Teixeira e Azevedo (1996), Teixeira et al. (2002), e Andrade Júnior et al. (2009).

Conclusão

As áreas com potencial muito baixo predominaram em toda a bacia hidrográfica com terras da classe 6 de aptidão para irrigação. Estes ambientes são os menos recomendados para manejos irrigados, pois não possuem terras consideradas irrigáveis.

Nestes ambientes ocorrem solos com limitações físicas e/ou químicas, quanto à profundidade do solo, zona redução e da capacidade de água disponível, o que pode dificultar ou mesmo inviabilizar determinadas práticas para manejos irrigados.

Das culturas estudadas observou-se que o milho e feijão são cultivados na área, e os resultados demonstraram a possibilidade de ampliação do cultivo utilizando irrigação de aspersão. Quanto as culturas permanentes, observou-se o cultivo da banana e a possibilidade de ampliação de forma irrigada.

Agradecimentos

Ao apoio do CNPq e da Fapesq-PB.

Referências Bibliográficas

- AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Precipitação máxima dos municípios/postos no período de 01/01/1990 até 01/04/2022. 2022. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas/?formdate=1990-01-01&produto=municipio&periodo=personalizado>. Acesso em: 11 de abril 2022.
- AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. 2006. Disponível em: <http://geo.aesa.pb.gov.br>. Acesso em: 9 de julho 2018.
- AESA. Agencia Executiva de Gestão das Águas. QualiÁguas. Relatórios de dados sobre a qualidade de água de reservatórios. 2020. Disponível em: http://www.aesa.pb.gov.br:8080/aesa-relatorio/paginas/publico/dashboard.xhtml?dashboard_id=8. Acesso em: 27 de maio de 2022.
- AMARAL, F. C. S. do. Sistema brasileiro de classificação de terras para irrigação: enfoque na região semiárida. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 164p.
- AMARAL, F. C. S. do. Sistema brasileiro de classificação de terras para irrigação: enfoque na Região Semi-Árida. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2005. 218p. Convênio Embrapa Solos/CODEVASF.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SILVA, F. A. M.; LIMA, M. G.; AMARAL, J. A. B. Zoneamento de aptidão climática para o algodoeiro herbáceo no Estado do Piauí. Revista Ciência Agronômica, v.40, n.2, p.175-184, 2009.
- BOTTAZZINI, M. C. Sistema Inteligente de monitoramento de riscos em ambientes de trabalho. 115f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2001.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Levantamento Exploratório e de Reconhecimento dos Solos do Estado da Paraíba. Rio de Janeiro. Convênio MA/CONTA/USAID/BRASIL, 1972. (Boletins DPFS-EPE-MA, 15 - Pedologia, 8).

- CAMPOS, M. C. C.; QUEIROZ, S. B. Reclassificação dos perfis descritos no Levantamento Exploratório - Reconhecimento de Solos do Estado da Paraíba. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.6, n.1, p.45-50, 2006.
- CAVALCANTE, F. DE S.; DANTAS, J. S.; SANTOS, D.; CAMPOS, M. C. C. Considerações sobre a utilização dos principais solos no Estado da Paraíba. *Revista Científica Eletrônica de Agronomia*, v.4, n.8, p.1-10, 2005.
- CAVALCANTI, A. C.; ARAÚJO FILHO, J. C. DE; SANTOS, J. C. P. DOS. Zoneamento Agroecológico do Estado de Alagoas. Potencial de Terras para Irrigação. Relatório Técnico. Convênios SEAGRI-AL/Embrapa Solos Nos 10200.04/0126-6 e 10200.09/0134-5. Recife, 2012.
- CAVALCANTI, A. C.; RIBEIRO, M. R.; ARAÚJO FILHO, J. C.; SILVA, F. B. R. Avaliação do potencial das terras para irrigação no Nordeste (para compatibilização com os recursos hídricos). Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 1994. 38p.
- CORDEIRO NETO, R. J. S.; SILVA, L. J. R.; SILVA FILHO, E.D.; GONZAGA, F. A. S.; DUARTE, M. T. L. Caracterização físico-química da água do açude Epitácio Pessoa localizado em Boqueirão-PB, antes e após a chegada da transposição do Rio São Francisco. In: Simpósio de Segurança Alimentar, 16, 2018, Gramado. Anais...Gramado, 2018.
- CUNHA, T. J. F.; PETRERE, V. G.; SILVA, D. J.; MONTEIRO, A.; MENDES, 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*. p.49-88. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010.
- CUNHA, T. J. F.; SILVA, F. H. B. B. da; SILVA, M. S. L. da; PETRERE, V. G.; SÁ, I. B.; OLIVEIRA NETO, M. B. de; CAVALCANTI, A. C. Solos do Submédio do Vale do São Francisco: potencialidades e limitações para uso agrícola. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2008. 60p. (Embrapa Semi-Árido. Documentos, 211).
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 412p.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido CPTSA. Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento – UEP Recife. Avaliação do potencial das terras para irrigação no Nordeste. (Org.) CAVALCANTI, A. C.; RIBEIRO, M. R.; ARAUJO FILHO, J. C.; SILVA, F. B. R. Brasília, 1994. 41p.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Classificação da Irrigabilidade das Terras do Entorno do Projeto Salitre, Juazeiro-BA. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento N.º 122. Rio de Janeiro, 2007. 37p. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/339467/1/bpd1222007classifirrig_salitre.pdf. Acesso em: 25 de maio de 2022.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Solos. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Secretaria do Desenvolvimento da Agropecuária e da Pesca. Governo do Estado da Paraíba. Zoneamento pedoclimático da área de influência do Canal das Vertentes Litorâneas da Paraíba-ZON-PB. Uso e Cobertura de Terras. Relatório Técnico. Recife, 2020. 47p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Potencial de terras para irrigação em uma área de reassentamento de colonos na Bacia do Tucano-BA. Comunicado Técnico N.º 43. Rio de Janeiro, 2006. 11p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/967519/1/comtec43potencialtucano.pdf>. Acesso em: 25 de maio de 2022.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Potencial das Terras do Projeto Jequitai (MG) para o Cultivo de Cana-de-açúcar sob Três Sistemas de Irrigação. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento N.º 242. Rio de Janeiro, 2014. 29p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/126491/1/BPD-242-Cana-Projeto-Jequitai.pdf>. Acesso em: 25 de maio de 2022.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Proposta de Reavaliação da Irrigabilidade das Terras do Projeto Jacaré-Curitiba, Município de Canindé do São Francisco, Estado de Sergipe. 2009. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-projetos/-/projeto/7310/proposta-de-reavaliacao-da-irrigabilidade-das-terras-do-projeto-jacare-curitiba-municipio-de-caninde-do-sao-francisco-estado-de-sergipe>. Acesso em: 25 de maio de 2022.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Proposta de Reavaliação do Levantamento e da Irrigabilidade dos Solos do Projeto Jequitai, Estado de Minas Gerais. 2009. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-projetos/-/projeto/4151/proposta-de-reavaliacao-do-levantamento-e-da-irrigabilidade-dos-solos-do-projeto-jequitai-estado-de-minas-gerais>. Acesso em: 25 de maio de 2022.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Zoneamento Pedoclimático da Área de Influência do Canal das Vertentes Litorâneas da Paraíba. Potencial de Terras para Irrigação. Relatório Técnico. Embrapa Solos. Recife, 2020. 80p.

EMBRAPA. Zoneamento Agroecológico do Estado de Alagoas. Potencial Pedológico do Estado de Alagoas para Culturas Agrícolas. Relatório Técnico. Convênios SEAGRI-AL/Embrapa Solos N.ºs 10200.04/0126-6 e 10200.09/0134-5. Recife: Embrapa Solos, 2012. 123p. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/77202/1/Relatorio-Pot-Pedologico.pdf>. Acesso em: 15 de novembro de 2014.

FRANCISCO, P. R. M. Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas. 123f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2010.

- FRANCISCO, P. R. M.; PEREIRA, F. C.; BRANDÃO, Z. N.; ZONTA, J. H.; SANTOS, D.; SILVA, J. V. DO N. Mapeamento da aptidão edáfica para fruticultura segundo o zoneamento agropecuário do Estado da Paraíba utilizando o SPRING. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.8, n.2, p.387-390, 2015.
- GAMA, C. M. DA. Degradação da cobertura vegetal e suas consequências ambientais no município de Barra de Santana, PB. 163f. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2016.
- GRABOIS, J.; SILVA, M. J. DA. O brejo de Natuba – Estudo da organização de um espaço periférico. *Revista Brasileira de Geografia*, v.53, n.2, p.33-62, 1991.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Malha Municipal. 2021. <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=downloads>. Acesso em: 06/04/2022.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2009. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 7 de novembro de 2021.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2021. Censo Agropecuário 2017 - Resultados definitivos. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/pesquisa/panorama>. Acesso em: 7 de novembro de 2021.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola: Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, v.29, n.3, p.1-81, 2015.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Agrícola Municipal 2017. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 20/10/2021.
- LUCENA, S. R. DE; AMARAL, F. C. S. DO. Comportamento do Capim Elefante em relação a Parâmetros do Solo e sua Influência na Classificação para Irrigação. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 35, 2015, Natal. Anais...Natal, 2015.
- MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Zoneamento Agrícola de Risco Climático. 2022. Disponível em: <https://indicadores.agricultura.gov.br/zarc/index.htm>. Acesso em: 28 de maio de 2022.
- MENDES, J. DA S. Caracterização de águas e de solos do município de Congo, PB, microrregião do cariri ocidental. 137f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2007.
- NADAI, B. L. DE. Construção de um protótipo de sistema especialista para o diagnóstico de salubridade frente ao agente físico ruído no ambiente de trabalho. 69f. Monografia (Engenharia de Segurança do Trabalho). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2012.
- OLIVEIRA, F. P. DE; SANTOS, D.; SILVA, I. DE F. DA; SILVA, M. L. N. Tolerância de Perda de Solo por Erosão para o Estado da Paraíba. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.8, n.2, p.60-71, 2008.
- OLIVEIRA, J. B.; JACOMINE, P. K; CAMARGO, M. N. Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 201p.


- PARAÍBA. Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente. Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba, AESA. PERH-PB: Plano Estadual de Recursos Hídricos: Resumo Executivo e Atlas. Brasília, DF, 2006. 112p.
- PEQUENO, P. L. DE L. Funções de pedotransferência para estimativa de retenção de água em solos da mesorregião do agreste paraibano. 231f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2016.
- POMMER, C. V.; MENDES, L. S.; HESPANHOL-VIANA, L.; BRESSAN-SMITH, R. Potencial climático para a produção de uvas em Campos dos Goytacazes, região norte fluminense. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.31, n.4, p.1076-1083, 2009.
- REZENDE, S. O. *Sistemas Inteligentes: fundamentos e aplicações*. Barueri: Manole, 2003.
- SAMPAIO, C. B. V.; WEILL, M. DE A. M.; DOURADO, C. DA S.; SAMPAIO FILHO, C. V. Classificação do potencial de terras para irrigação na região do alto da bacia do rio Itapicuru. In: *Reunião Sulamericana para Manejo e Sustentabilidade da irrigação em Regiões Áridas e Semiáridas, 2*, Cruz das Almas, 2011. *Anais...Cruz das Almas*, 2011.
- SANTOS, J. C. P. DOS; ARAÚJO FILHO, J. C. DE (Ed.). *Avaliação detalhada do potencial de terras para irrigação nas áreas de reassentamento de colonos do projeto Jusante - área 3*, Glória, BA. Recife: Embrapa Solos, 2008. 110p.
- SANTOS, J. C. P.; ARAÚJO FILHO, J. C.; BARROS, A. H. C.; ACCIOLY, L. J. O.; TAVARES, S. C. C. H.; SILVA, A. B. *Zoneamento agroecológico do Estado de Alagoas*. Recife: Embrapa Solos UEP Recife/Secretaria de Estado de Agricultura e do Desenvolvimento Agrário de Alagoas, 2013. 9. v.1 CD-ROM.
- SILVA FILHO, S. B. da; CAVALCANTE, L. F.; OLIVEIRA, F. A. de; LIMA, E. M. de; COSTA, J. R. M. Monitoramento da qualidade da água e acúmulo de sais no solo pela irrigação. *Irriga*, v.5, n.2, p.101-109, 2000.
- SIMÕES, J. P. DE O.; SANTOS, S. L. Planejamento agrícola de culturas perenes cultivadas no entorno do reservatório público Epitácio Pessoa, Boqueirão, Paraíba. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.8, n.5, p.01-08, 2013.
- SOUSA, A. R. DE; SILVA, A. B. DA; ACCIOLY, L. J. DE O.; LIMA E SÁ, V. A. DE; NUNES FILHO, J.; SIQUEIRA, S. M. Avaliação do potencial das terras do município de Aliança-PE para uso com irrigação. In: *Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 34*, 2013, Florianópolis. *Anais...Florianópolis*, 2013.
- SOUSA, L. G. de. *Análise de desempenho das culturas agrícolas da Paraíba*. 214f. Dissertação (Mestrado em Economia Rural). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2001.
- SOUZA, B. A. I. DE; SILANS, A. M. B. P. DE; SANTOS, J. B. DOS. Contribuição ao estudo da desertificação na Bacia do Taperoá. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.8, n.2/3, p.292-298, 2004.
- SOUZA, B. I. DE; SILANS, A. M. B. P. DE; SANTOS, J. B. DOS. Contribuição ao estudo da desertificação na Bacia do Taperoá. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.8, n.2/3, p.292-298, 2004.

- TAVARES, S. R. DE L.; AMARAL, F. C. S. DO; BOTELHO, F. P.; RODRIGUES, N. F. Valores e critérios estabelecidos dos parâmetros relacionados ao solo e à qualidade e custo de captação da água para irrigação utilizados no SiBCTI. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2021. 114p.
- TEIXEIRA, A. H. de C.; AZEVEDO, P. V. de. Zoneamento agroclimático para a videira europeia (*Vitis vinifera* L.) no Estado de Pernambuco. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.4, n.1, p.139-145, 1996.
- TEIXEIRA, A. H. DE C.; SOUZA, R. A. DE; RIBEIRO, P. H. B.; REIS, V. C. DA S.; SANTOS, M. DAS G. L. DOS. Aptidão agroclimática da cultura da videira no estado da Bahia, Brasil. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.6, n.1, p.107-111, 2002.
- TIBES, C. M. S. Estudo e desenvolvimento multidisciplinar de um protótipo de Sistema Especialista para auxílio ao diagnóstico de apendicite aguda. 84f. Monografia (Graduação). Curso de Enfermagem. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Foz do Iguaçu, 2011.
- WERLANG, L. M. Caracterização físico-hídrica de solos numa topossequencia da zona semi-árida da Paraíba. 82f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Centro de Ciências e Tecnologia. Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande, 2001.

AVALIAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL EM BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SUCURU-PB UTILIZANDO O GOOGLE EARTH ENGINE


José Hugo Simplicio de Sousa

Graduando em Eng. de Biosistemas, UFCG, Sumé-PB, jose.hugo@estudante.ufcg.edu.br

 <https://orcid.org/0000-0001-5068-0663>


George do Nascimento Ribeiro

Dr. Prof. Associado, CDSA, UFCG, Sumé-PB, george@ufcg.edu.br

 <https://orcid.org/0000-0003-4225-0967>


Paulo Roberto Megna Francisco

Doutorando em Eng. de Recursos Naturais, UFCG, Campina Grande-PB, paulomegna@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-5062-5434>


Guttemberg da Silva Silvino

Dr. Prof. Associado, UFPB, Areia-PB, guttembergs@gmail.com

 <http://orcid.org/0000-0002-9199-2732>


Jarlean Lopes Nobrega

Graduando em Eng. de Biosistemas, UFCG, Sumé-PB, jarlean.lopes@estudante.ufcg.edu.br

 <https://orcid.org/0009-0008-2159-1002>


Bárbara Brena Ferreira Ayres

Graduanda em Eng. de Biosistemas, UFCG, Sumé-PB, barbara.eng401@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0003-2139-4942>

Luiz Heitor Gonçalves Teodomiro Silva

Graduado em Tecnologia em Agroecologia, UFCG, Sumé-PB, luizheitorteodomiro@hotmail.com

 <https://orcid.org/0009-0000-1824-0510>

Introdução

Para Faustino et al. (2014), bacia hidrográfica é uma unidade de gestão territorial importante para os estudos ambientais, pois todos os componentes pertencentes a ela como geologia, geomorfologia, cobertura vegetal, clima e rios estão integrados e interligados.

As atividades antrópicas desenvolvidas em áreas de bacias hidrográficas acarretam em uma série de desdobramentos no meio ambiente (BARROS, 2021). Desde a ocupação do solo indevido, uso indiscriminado da água, desmatamento de matas ciliares, sedimentação, assoreamento, construção de barragens, desvios de cursos d'água, erosão, salinização, contaminação, impermeabilização, compactação, diminuição da matéria orgânica dentre outras degradações, têm contribuído para o desaparecimento de rios e lagos, afetando profundamente o ciclo da água e o clima (ARAÚJO et al., 2009).

As geotecnologias aplicadas ao estudo e caracterização de bacias hidrográficas proporcionam uma maior espacialização do ambiente estudado, assim, como maior dinamização do processo de geração de informação, aumentando a produtividade e proporcionando um manuseio mais versátil dos dados, além de proporcionar atualizações em tempo real e baixo custo de aquisição e de operação (Santos et al., 2020). O geoprocessamento, sobretudo as geotecnologias e em especial o sensoriamento remoto, são largamente utilizados para monitorar a cobertura vegetal e o conteúdo de água presente, através dos índices de vegetação e de águas continentais (MONTANHER, 2019).

A utilização do sensoriamento remoto e a aplicação conjunta de índices de vegetação, também chamados índices biofísicos, apresentam-se como instrumentos eficientes e eficazes para avaliar e monitorar as condições da cobertura vegetal de uma região geográfica, em função de sua precisão, praticidade e caráter multiespectral (CHAGAS, 2012; RIBEIRO et al., 2016a; SALLO et al., 2014).

Segundo Magalhães et al. (2017), para analisar uma vegetação, faz-se necessário utilizar processamento de imagens de satélite com o intuito de propiciar uma melhor extração dos alvos analisados.

Atualmente, plataformas baseadas em processamento digital em nuvem estão sendo disponibilizadas gratuitamente para diversos públicos, principalmente na área de geoprocessamento, como a plataforma Google Earth Engine (GEE). O GEE é uma referência na área de sensoriamento remoto orbital e é baseado no geoprocessamento de nuvens em escala planetária, com um catálogo de vários petabytes de imagens e dados de observação da Terra (CAMPOS-TABERNER et al., 2018). Tem sido aplicado em diversos tipos de pesquisas, como classificação de uso e cobertura da terra (MELO et al., 2022), mapeamento de áreas queimadas (FATTORE et al., 2021), caracterização da cobertura vegetal em diferentes biomas por meio de índices de vegetação (JARDIM et al., 2022; BEZERRA et al., 2022), e estimativa de evapotranspiração (ALLEN et al., 2015; LAIPELT et al., 2021; OLIVEIRA-JÚNIOR et al., 2021).

As imagens orbitais utilizadas permitem extrair informações sobre objetos em superfície terrestre através da captação do registro de energia refletida ou emitida, principalmente aqueles de

maior sensibilidade do infravermelho, como são o caso de pesquisas que envolvam a cobertura de vegetação e umidade (ROCKETT, 2014).

Estudos na região do Cariri paraibano, exemplificam o uso do sensoriamento remoto e geotecnologias como ferramentas poderosas para estudos ambientais, compreensão de processos hidrológicos e gestão de recursos naturais em bacias hidrográficas, pois fornecem informações variadas e geram mapas de cobertura vegetal que são úteis na tomada de decisões (BARBOSA et al., 2021).

Diante do exposto, têm-se a importância de avaliar a cobertura vegetal da bacia hidrográfica localizada em região semiárida, tornando-se essencial para estudos ambientais, gestão e planejamento de recursos naturais e compreender os seus processos hidrológicos, diante a dinâmica de áreas urbanas e rurais.

Portanto, o objetivo deste trabalho é avaliar a cobertura vegetal na bacia hidrográfica do rio Sucuru-PB, utilizando a plataforma do GEE, por meio de diferentes índices de vegetação do período seco e chuvoso da região.

Material e Métodos

A bacia hidrográfica do rio Sucuru (BHRS) representa parcela significativa da bacia do Alto rio Paraíba e está localizada no semiárido paraibano (Figura 1), na Mesorregião da Borborema e na Microrregião Homogênea do Cariri Ocidental, centro do Estado da Paraíba, com área territorial de aproximadamente 1.652,5 km²; engloba total ou parcialmente os municípios de Amparo, Monteiro, Ouro Velho, Prata, Sumé, Serra Branca e Coxixola. A área se encontra entre as coordenadas geográficas 7°28'00" e 7°50'00" de latitude sul e 37°14'00" e 36°49'00" de longitude oeste (Santos et al., 2020). A sua área de compreensão está totalmente inserida no Semiárido do Brasil, nos domínios da Caatinga com inúmeras variações paisagísticas (SILVA, 2017).

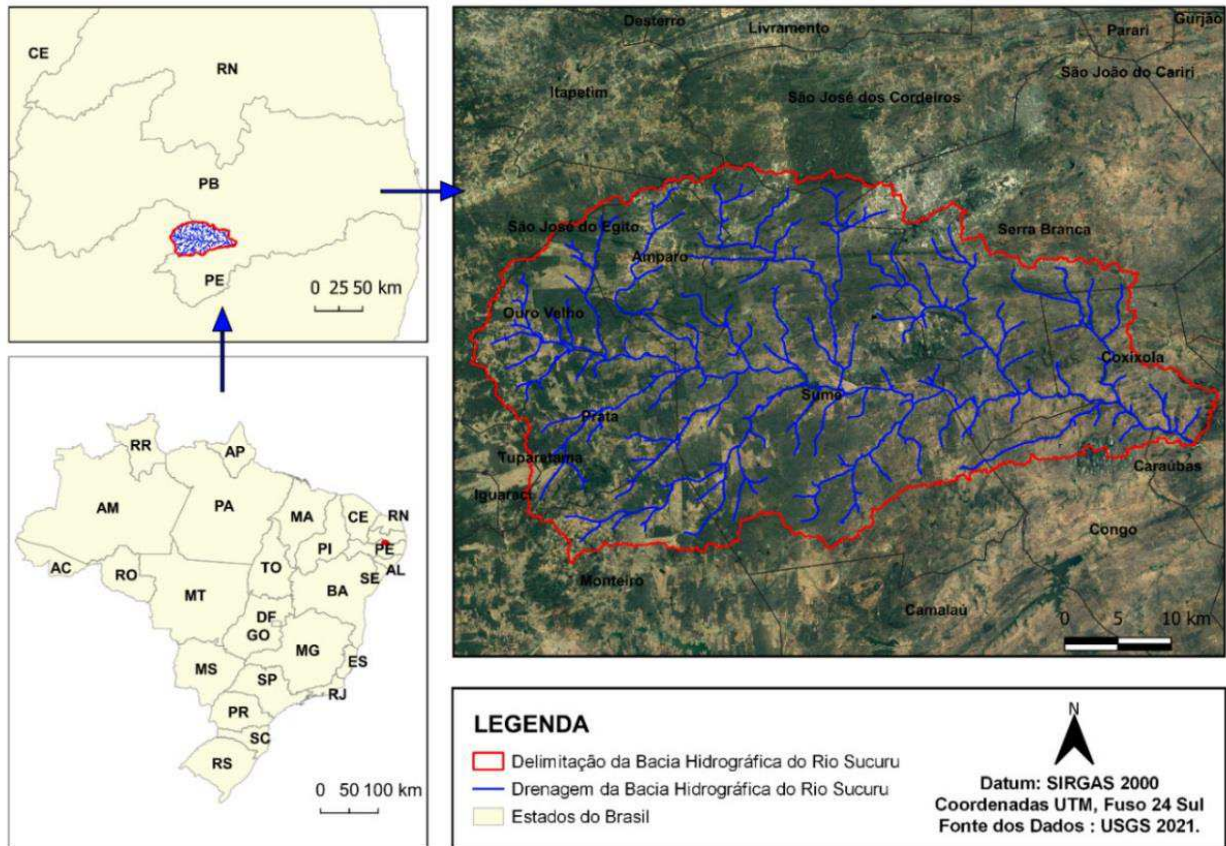


Figura 1. Localização da área de estudo. Fonte: adaptado do Google Earth Engine (2021); USGS (2021); IBGE (2009).

A nascente do rio principal da bacia de regime intermitente, o Sucuru, situa-se na serra dos Cariris Velhos, com altimetria aproximada a 591 metros, nos limites da Paraíba com Pernambuco, drenando águas de forma parcial e total da área de oito municípios de Amparo, Congo, Coxixola, Monteiro, Ouro Velho, Prata, Serra Branca e Sumé. Esses municípios contribuem com um fluxo hídrico para o açude público de Sumé e o de Epitácio Pessoa, que é conhecido popularmente como Boqueirão (GALVÍNCIO et al., 2006; CUNHA, 2011; ALMEIDA et al., 2012; FRANCISCO, 2013).

De acordo com a classificação de Gaussen a área em estudo está sob a influência dos tipos climáticos 4aTh (tropical quente de seca acentuada), 2b (subdesértico quente de tendência tropical) e 3aTh (mediterrâneo quente ou nordestino de seca acentuada). Não obstante, de acordo com a classificação de Köppen, o clima predominante na região é do tipo Bsh (semiárido quente), com precipitações médias anuais baixas (em torno de 400mm) com estação seca que pode atingir até 11 meses. O índice de aridez (IA) de Thornthwaite para a bacia do Sucuru é de 0,22, que caracteriza o seu clima como semiárido (ALENCAR, 2008).

Diniz et al. (2020), ao realizarem pesquisa sobre o índice de anomalia de chuvas na microrregião do Cariri Ocidental em um período de 21 anos (1999-2019), obtiveram como resultado que, a climatologia temporal da precipitação na região de estudo, compreende como o período chuvoso entre os meses de janeiro a maio, em contrapartida o período seco ocorre entre os meses de junho a dezembro, sendo setembro tido como o mês mais seco.

Com relação aos aspectos físicos da bacia hidrográfica do rio Sucuru, observa-se na Figura 2 que, em geral, predominam altitudes entre 452 a 841 m. Especificamente, nas regiões sul, oeste e norte, o relevo é irregular e não homogêneo, compreendendo ao Planalto da Borborema, caracterizada por altas elevações. Em contrapartida, o leste possui baixas elevações.

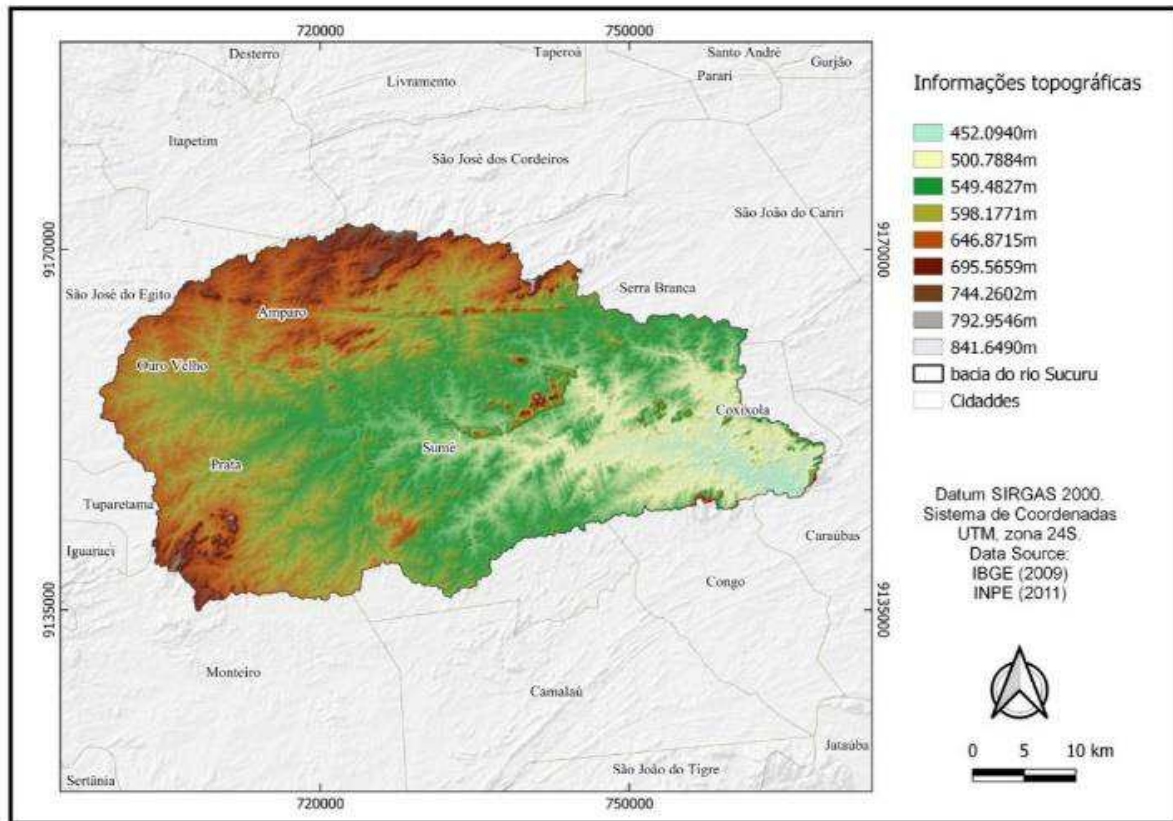


Figura 2. Mapa hipsômetro da área de estudo. Fonte: Adaptado do INPE (2011); IBGE (2009).

Na região de estudo predomina a caatinga hiperxerófila de porte arbóreo baixo ou arbóreo arbustivo. A vegetação da caatinga possui alta capacidade de adaptação à escassez hídrica, uma vez que seus recursos bioquímicos e físicos a tornam altamente adaptada aos longos períodos de estiagem da região (RIBEIRO, 2014).

De acordo com Francisco (2010), na área ocorrem os Neossolos Litólicos Eutróficos, fase pedregosa substrato gnaisse e granito, e os Vertissolos apresentando relevo suave ondulado e ondulado, predominantemente nas partes mais baixas no entorno da drenagem, e os Planossolos Nátricos, relevo plano e suave ondulado, e a predominância de solos Luvisolos Crômicos bem desenvolvidos, em relevo suave ondulado.

A agricultura se baseia na agricultura familiar com o plantio de espécies como feijão macassá ou de corda e o milho (*Zea mays*), ainda nas culturas de batata-doce, fava, algodão herbáceo, mamona, mandioca, milho, tomate, feijão, banana, coco, goiaba, manga e sisal. A pecuária está embasada na criação extensiva de rebanhos, por ordem de importância: caprino, bovino, ovino, suíno, equino, asinino e muare. Na última década, apresenta-se uma crescente no quantitativo aviário (RIBEIRO, 2014).

Para a avaliar a cobertura vegetal foram utilizados os índices de vegetação, NDVI e o SAVI. O Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), foi criado para detectar a presença ou ausência de vegetação utilizando-se de comprimentos de onda do vermelho e vermelho próximo (Equação 1), destacando assim, a presença ou ausência de vegetação (ORNELLAS & LOPES, 2020).

Os valores de NDVI são representados de -1.0 a 1.0, sendo que os intervalos dos valores variam de região para região devido o comportamento da vegetação, e no semiárido com a predominância do bioma Caatinga os valores negativos de reflectância caracterizam regiões com superfícies tomadas pela água ou por sombras, valores acima ou próximo a zero, representam área de solo exposto com pouca ou nenhuma vegetação, e conforme os valores aproximam-se de 1.0 indicam vegetação com maior biomassa e atividade fotossintética (FITZ, 2020; MELO, 2011).

$$NDVI = \frac{Nir - Red}{Nir + Red}, \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde: NIR = refletância na faixa espectral do infravermelho próximo (Banda 8), e RED = refletância na faixa espectral do vermelho (Banda 4).

O Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IVAS) do inglês Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI), foi desenvolvido na tentativa de minimizar a influência da reflectância do solo sobre o NDVI, incorporando a um fator L (HUETE, 1988). O fator de correção para minimizar as variações de brilho do solo, o torna preferível em regiões semiáridas, de vegetação tendencialmente mais esparsa onde a resposta do solo predomina em relação à resposta da vegetação (MACHADO et al., 2011). A adoção de L foi estabelecida conforme descrito na literatura: áreas com baixa densidade de vegetação, L = 1; para densidade de vegetação intermediária, L = 0,5 e, para densidade de vegetação alta, L = 0,25 (SILVA et al., 2020a; SILVA et al., 2020b; SILVA et al., 2021). Portanto, foi adotado um L de 0,5, por se tratar do bioma Caatinga (MELO et al., 2022). O SAVI é calculado através da Equação 2 proposta por (HUETE, 1988).

$$SAVI = (1 + L) * \frac{NIR - RED}{NIR + RED + L}, \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde: NIR = refletância na faixa espectral do infravermelho próximo (Banda 8), e RED = refletância na faixa espectral do vermelho (Banda 4).

Para o estudo da cobertura vegetal, foram utilizadas imagens do sensor multiespectral do Sentinel-2, com nível 1c, (melhor nível de correção produzido de forma sistemática que inclui:

projeção em sistema cartográfico utilizando Modelo Digital de Terreno; valores de reflectância em Topo de Atmosfera (TOA); reamostragem em grid padrão de 10, 20 e 60m (GSD) e inclusão de máscara de nuvem (ESA, 2015). Os satélites Sentinel-2A e 2B são satélites de imageamento multispectral que geram imagens em alta resolução (com bandas de 10 a 60m) e com alta capacidade de revisita (5 dias) (DRUSCH et al., 2012).

O script foi elaborado na linguagem JavaScript a partir da plataforma de programação e processamento em nuvem do GEE, denominada Code Editor. Foi aplicado um filtro para remoção de pixels de nuvem nas imagens capturadas entre 01/01/2022 à 01/05/2022 e 01/06/2022 à 01/12/2022, referente ao período chuvoso e seco, respectivamente, e gerada uma imagem síntese dos períodos utilizando o valor da mediana de cada pixel. Rosa (2018), ressalta que a utilização do valor da mediana é importante pois elimina pixels contaminados por ruídos causados por névoas, nuvem ou sombra de nuvem que não tenham sido removidos no filtro inicial.

A partir das imagens obtidas, foram realizados os cálculos dos índices espectrais e, então exportadas as imagens para o software QGIS 3.22 para elaboração do layout.

Resultados e Discussão

Na Figura 3, observam-se produtos do NDVI para a bacia hidrográfica do rio Sucuru, para o período o seco e chuvoso do ano de 2022, respectivamente.

Durante o período seco, os valores máximo e mínimo de NDVI foram -0,08 e 0,40 (Figura 3), delineando corpos d'água e áreas de pastagem e arbustos presentes na área de estudo, respectivamente. Há concordância entre esses resultados obtidos neste estudo e o trabalho realizado por Karaburun (2010), que observou que o NDVI possui propriedades que variam de $-1,0 \leq \text{NDVI} \leq 1,0$. Ainda para o autor, valores negativos de NDVI ($\text{NDVI} < 0$) indicam corpos d'água, valores muito baixos ($\text{NDVI} < 0,1$) correspondem as áreas inférteis, já valores considerados moderados ($0,2 \leq \text{NDVI} \leq 0,3$) representam áreas de pastagem e arbustos, enquanto ($0,6 \leq \text{NDVI} \leq 0,8$) expressam florestas tropicais e temperadas e indicam a presença de vegetação viva, e finalmente o solo exposto tem valor nulo ($\text{NDVI} = 0$).

Dados semelhantes ao de Besalatpour et al. (2013) em pesquisa realizada na bacia hidrográfica altamente montanhosa de Bazoft, no sudoeste do Irã, constataram que o NDVI variou de $-0,31 \leq \text{NDVI} \leq 0,47$, mínimo e máximo, respectivamente.

Em estudo realizado por Barbosa et al. (2021) que aplicaram diferentes índices de vegetação na bacia hidrográfica do rio Sucuru, mediante o ano de 2016, os mesmos verificaram que o NDVI variou entre ($-0,2 \leq \text{NDVI} \leq 0,4$), confirmando, assim, os resultados do estudo, onde o valor máximo foi de 0,40 durante o período seco.

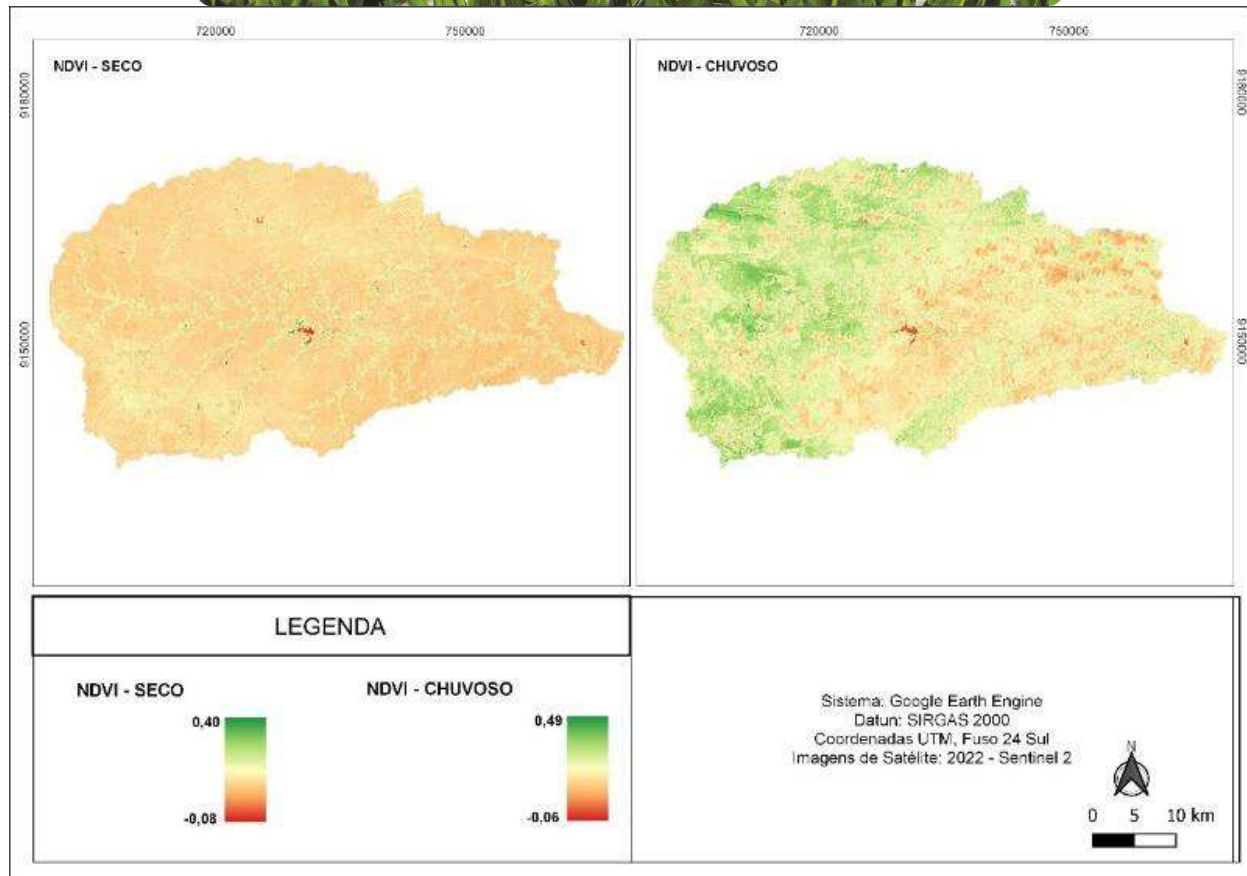


Figura 3. NDVI para o período seco e chuvoso do ano de 2022.

Fonte: Adaptado do Google Earth Engine (2021).

Conforme Alves (2016), isso relaciona-se à época de imageamento da região, que corresponde ao período de precipitações pluviais mínimas, e também devido à própria vegetação da área, formada por Caatinga caducifólia arbustiva, que se caracteriza pela queda das folhas no período seco (agosto a dezembro).

Medeiros et al. (2022), em estudo elaborado no município de Patos-PB, afim de obter a resposta espectral do comportamento do NDVI e NDWI, relataram que o NDVI variou de $0,08 \leq \text{NDVI} \leq 0,28$, para o período seco de 2014.

Gameiro et al. (2016), avaliaram a cobertura vegetal em Jaguaribe - CE utilizando índices de vegetação. O resultado trouxe imagens de períodos secos e úmidos da área de estudo que detectaram diferenças relevantes, incluindo perdas de vegetação natural para a agricultura.

Gandhi et al. (2015), avaliando o distrito de Vellore na Índia, por meio do software QGIS, encontraram valores de NDVI entre $0,1 \leq \text{NDVI} \leq 0,5$. Ainda para os autores, o NDVI tem sido bastante utilizado para analisar a relação entre a variabilidade espectral e as mudanças nas taxas de crescimento da vegetação, além de detectar às mudanças na cobertura vegetal, os valores mais baixos de NDVI são encontrados nos solos menos vegetados, porque a reflexão no solo é alta, dessa forma

produz menores valores na faixa do infravermelho próximo e altos na faixa vermelha, portanto os valores do NDVI são baixos.

Lima (2021) aplicando NDVI no bioma Caatinga, para estimar o estoque de carbono e biomassa acima do solo, observou que na estação chuvosa ocorre um pico de refletância na região do infravermelho, devido a interação com a clorofila, já na estação seca esse pico não ocorre, pois nesse período as árvores perdem suas folhas. Em termos de quantificação e caracterização quantitativa das características da cobertura vegetal, o NDVI é um indicador que está inteiramente relacionado ao crescimento da vegetação e distribuição espacial, que devido ao seu cálculo simples, ao fácil acesso aos parâmetros de cálculo e ampla faixa de monitoramento, é possível quantificar o crescimento das plantas com biomassa, cobertura vegetal, além do índice de área foliar (LI BINBIN et al., 2014).

Na Figura 3, observa-se os valores de NDVI variam de um máximo e mínimo de -0,06 e 0,49, respectivamente, para o período chuvoso da bacia hidrográfica do rio Sucuru no ano de 2022, sendo representados como corpos d'água e a presença de áreas de pastagem e arbustos presentes na área de estudo, respectivamente.

Macedo (2019), estimando os índices de vegetação na unidade de conservação do parque estadual das Carnaubas – CE, mediante o ano de 2018, obteve os valores máximos de NDVI de 0,58 para o período úmido, o mesmo enfatiza que essa característica se justifica pelo fato da presença de umidade, os índices sofrerem alterações.

Freitas et al. (2017), avaliando o comportamento da vegetação através do NDVI em Remanso-BA ao longo do ano de 2016. Os autores apresentaram resultados com valores de NDVI alto no período chuvoso, enquanto no período seco os valores foram menores. Ficando evidente a diminuição de vegetação densa nos primeiros meses do ano e o aumento das áreas desprovidas de vegetação devido à carência de chuva.

Silva et al. (2020a), avaliaram em uma região do bioma Caatinga a distribuição espaço-temporal do índice de vegetação de diferença normalizada (NDVI), para o período de 1998 a 2018, e observaram valores variando de -0,283 a 0,642.

Existem alguns fatores que influenciam no crescimento da vegetação e por conseguinte afetam a resposta do NDVI, dentre os quais a refletividade das folhas, que possivelmente mudam com a idade, podem levar de um a dois meses para atingir a expansão total com maior refletividade, e as precipitações afetando os valores dos índices de vegetação, ao promoverem a redução da radiação refletida pelo solo e no caso da caatinga, especificamente, elevam o índice de área foliar da vegetação após um evento chuvoso (YANG et al., 2014; FERREIRA, 2013).

Maldonado (2005) acentua que a diferença de valores existentes entre os dois períodos se faz presente, primordialmente, pelo fato de a caatinga ser uma vegetação que perde as suas folhas na

época seca, o que deixa de ser classificada como vegetação densa e passa a ser caracterizada como vegetação escassa e/ou solo exposto.

Notam-se produtos do SAVI, exposto na Figura 4 para a bacia hidrográfica do rio Sucuru, para o período o seco e chuvoso do ano de 2022, respectivamente.

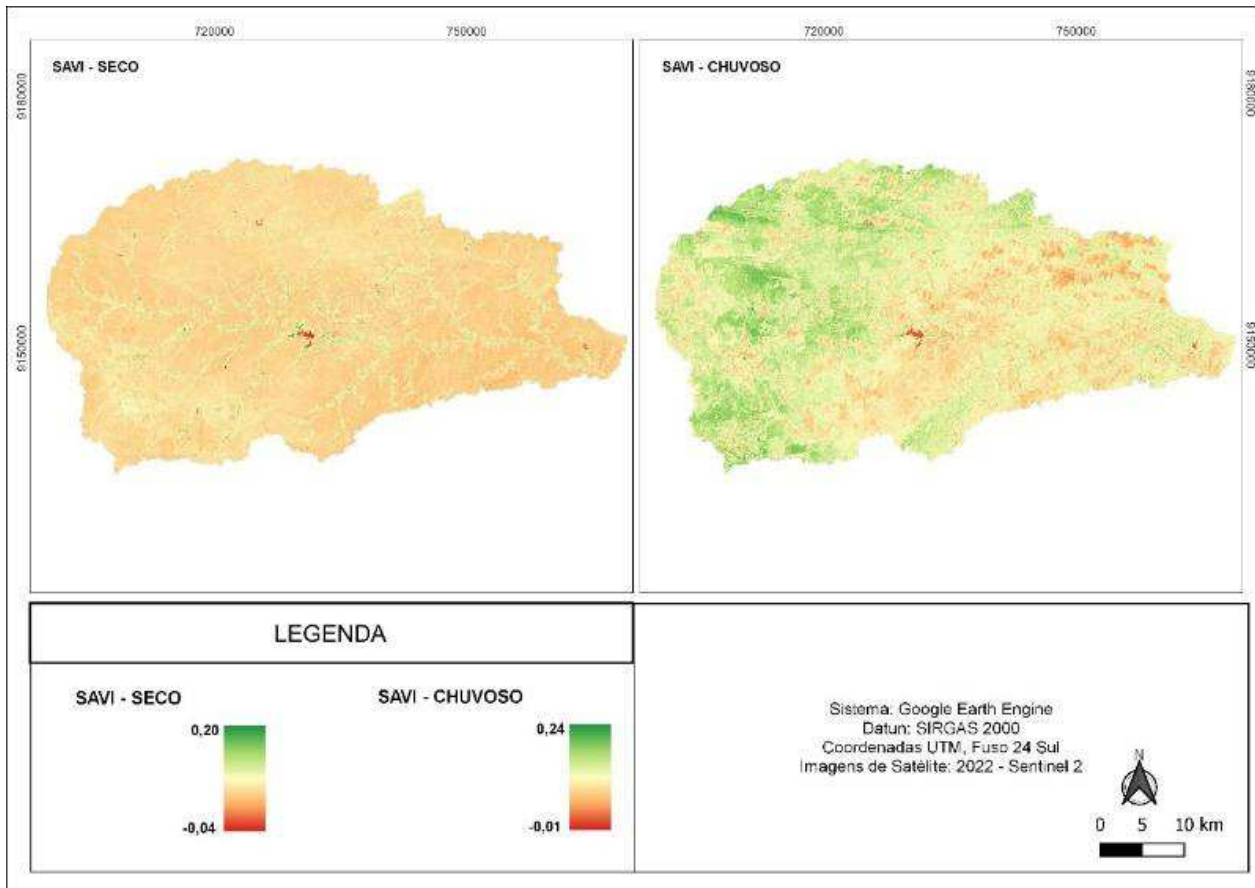


Figura 4. SAVI para o período seco e chuvoso do ano de 2022.

Fonte: Adaptado do Google Earth Engine (2021).

Rêgo et al. (2012) aponta que, o SAVI expressa valores que podem variar de $-1,0 \leq \text{SAVI} \leq 1,0$, sendo que valores positivos correspondem a vegetação mais densa, no entanto valores negativos representam solo exposto, corpos d'água ou área construída. Coincidindo com os valores apresentados por este trabalho, valores de máximo e mínimo do SAVI, para o período seco, $-0,04$ e $0,20$ (Figura 4), respectivamente, sendo caracterizada como solo exposto, corpos d'água ou área construída e vegetação mais densa na área em estudo.

Barbosa et al. (2021), utilizando geotecnologias aplicadas ao estudo da cobertura vegetal na região do presente estudo, os mesmos encontraram valores de SAVI na faixa de $-0,05 \leq \text{SAVI} \leq 0,4$ para

o período seco estudado, o que está de acordo com os resultados obtidos no presente trabalho, que são -0,04 e 0,20.

Miranda e Nascimento (2013) destacam que o SAVI quando comparado ao NDVI, separa áreas de solo de áreas de vegetação e pondera pesos diferentes para cada uma dessas classes, tornando mais evidente e menos expressivo o efeito do solo. Silva e Galvêncio (2012), comparando a variação nos índices NDVI e SAVI no município de Petrolina-PE, destacaram a eficiência do SAVI, principalmente em as áreas mais densamente vegetadas, comprovando que este parâmetro possui confiabilidade para os períodos secos do semiárido. Rocha et al. (2011) concluíram que o SAVI discrimina melhor os alvos na superfície terrestre, apresentando um maior número de classes.

A escolha do SAVI foi baseada no critério deste índice ser um NDVI melhorado e ter um coeficiente de ajuste ao solo (ALHUMAIMA & ABDULLAEV, 2020; BAO et al., 2021). Resultados promissores com a aplicação de índices de vegetação como o SAVI são evidenciados na literatura contemporânea (CHAVES et al., 2020; CHAVES et al., 2021; PICOLI et al., 2020).

Conforme Silva e Galvêncio (2012), o SAVI é um índice que tem por finalidade amenizar os efeitos de background (interferência/ruído da refletividade). Para Ponzoni e Shimabukuro (2010), o SAVI constata que o brilho do solo, principalmente em tons escuros é aumentado os valores dos índices de vegetação, especialmente para níveis de cobertura vegetal com aproximadamente 50% de cobertura verde.

Na Figura 4, notam-se produtos de SAVI para a área de estudo no período chuvoso no ano de 2022, sendo atribuídos os valores de máximo e mínimo, -0,01 e 0,24, correspondendo a solo exposto, corpos d'água ou área construída e vegetação mais densa, respectivamente.

Em pesquisa realizada por Melo et al. (2022), o SAVI apresentou valor de -0,20 para o período chuvoso, indicando alta densidade de cobertura vegetal, portanto, apresentando um nível denso e médio de vegetação. Entretanto, Oliveira (2019) obteve valores de SAVI para o período chuvoso, variando de $-0,76 \leq \text{SAVI} \leq 0,85$, em pesquisa voltada a análise da cobertura vegetal no município de Juazeirinho-PB, mediante o ano de 2010.

Para Melo et al. (2022) avaliando a dinâmica espaço-temporal da cobertura vegetal na mesorregião do Agreste do estado de Pernambuco, por meio de índices de vegetação, adotaram $L=0,5$, encontraram valores para o período chuvoso variando de um valor máximo de 0,80 a um valor mínimo de -0,20, mediante o índice de vegetação SAVI. Comportamento semelhante ao relatado por Bezerra et al. (2020), aplicando o $L=0,5$, o SAVI variou entre $-0,44 \leq \text{SAVI} \leq 0,83$, para o período chuvoso.

Segundo Vani e Mandla (2017), o SAVI é um complemento ao NDVI, onde a vegetação e a cobertura florestal estão presentes na terra que são cobertos por vegetação com um pixel de até 15%. Mediante Ribeiro et al. (2016b) o uso do SAVI, no bioma Caatinga, é mais apropriado que os demais índices de vegetação, uma vez que, o mesmo corrige os efeitos do solo na resposta espectral.

Gameiro et al. (2016) apontam que, os dados de SAVI e NDVI se assemelham, diferenciando-se o fato de o SAVI possuir quantitativos mais significativos em relação as médias, além de contribuir para o destaque das características de regiões com presença ou ausência de vegetação, além dos corpos d'água. Devido à similaridade entre os resultados desses parâmetros, com o acréscimo do valor das classes no índice SAVI, os autores acrescentam que considerando o fato desse índice eliminar os efeitos do solo, isso contribui para que haja uma visão mais realista da situação da área analisada.

Sob um adendo, Santos et al. (2020), com o uso de geotecnologias no estudo da degradação ambiental na bacia hidrográfica do rio Sucuru, verificou os níveis de degradação moderado, muito grave, grave, moderado grave, moderado, moderado baixo e baixo das terras. Os mesmos relataram que nas margens dos corpos hídricos da área de estudo, em sua maior parte, encontram-se no nível de degradação grave, decorrente da retirada dessa vegetação em função da exploração dessas áreas para os mais variados usos. Os processos de degradação, aliados ao uso incorreto das terras da bacia estudada tiveram como principal consequência, o êxodo rural, necessitando da intervenção do poder público para que as comunidades locais possam desenvolver atividades sustentáveis, considerando aspectos sociais, econômicos e ambientais. Resultados esses enfatizados por Sousa et al. (2022), ao relatarem o crescimento das atividades florestais e pecuárias, na bacia hidrográfica do rio Sucuru.

Conclusão

O processamento em nuvem digital do Google Earth Engine (GEE) foi eficiente na previsão de índices de vegetação, maximizando o tempo de processamento e minimizando erros de processamento com correções de refletância na superfície terrestre.

Conforme os resultados alcançados de NDVI e SAVI para o período seco variaram de -0,08 a 0,40, -0,40 a 0,20, respectivamente, caracterizando assim, a existência de áreas de pastagem, arbustos e solo exposto, entretanto para o período chuvoso os índices NDVI e SAVI, variaram de -0,06 a 0,49, -0,01 a 0,24, respectivamente, caracterizando assim, a existência de vegetação mais densa, área construída e corpos d'água, evidenciado pelo açude de Sumé-PB.

Os períodos secos apresentaram uma diminuição dos índices, em relação aos períodos chuvosos, comportamento esse destacado por conta da precipitação, apresentando vegetação mais densa e solo exposto, corpos d'água ou área construída, como também áreas de pastagem e arbustos e presença de corpos d'água, respectivamente, um fato comum das condições climáticas características da região do bioma Caatinga.

Conforme os resultados obtidos se destaca o uso do SAVI em regiões de bioma Caatinga, para períodos seco, pois com o uso da constante de ajuste, o SAVI reduzir os efeitos da reflectância do solo. Entretanto, em períodos chuvosos, o SAVI pode avaliar mal os valores dos índices.

Referências

- ARAÚJO, L. E.; SOUSA, F. D. A. S.; NETO, J. M. M.; SOUTO, J. S.; REINALDO, L. R. Bacias hidrográficas e impactos ambientais. *Qualitas Revista Eletrônica*, v.8, n.1, p.1-18, 2009.
- ALHUMAIMA, A. S.; ABDULLAEV, S. M. Tigris basin landscapes: Sensitivity of vegetation index ndvi to climate variability derived from observational and reanalysis data. *Earth Interactions*, v.24, n.7, p.1-18, 2020.
- ALVES, T. L. B. Avaliação do nível de degradação das terras (desertificação) no alto curso da bacia hidrográfica do Rio Paraíba. 143f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais). Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2016.
- ALLEN, R.; MORTON, C.; KAMBLE, B.; KILIC, A.; HUNTINGTON, J.; THAU, D.; GORELICK, N.; ERICKSON, T.; MOORE, R.; TREZZA, R.; RATCLIFFE, I.; ROBISON, C. EEFlux: A Landsat-based evapotranspiration mapping tool on the Google Earth Engine. In: ASABE/IA Irrigation Symposium. Anais...American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2015.
- ALENCAR, M. L. S. Os sistemas Hídricos, o bioma Caatinga e o Social na bacia do Rio Sucuru: Riscos e Vulnerabilidades. 157f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Departamento de Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2008.
- ALMEIDA, N. V.; CUNHA, S. B.; NASCIMENTO, F. R. A cobertura vegetal e sua importância na análise morfodinâmica da bacia hidrográfica do Rio Taperoá – Nordeste do Brasil/Paraíba. *Revista Geonorte*, v.3, n.6, p.365-378, 2012.
- BAO, Z.; ZHANG, J.; WANG, G.; GUAN, T.; JIN, J.; LIU, Y.; LI, M.; MA, T. The sensitivity of vegetation cover to climate change in multiple climatic zones using machine learning algorithms. *Ecological Indicators*, v.124, e107443, 2021.
- BEZERRA, A. C.; SILVA, J. L. B., SILVA, D. A. O.; BATISTA, P. H. D.; PINHEIRO, L. C.; LOPES, P. M. O.; MOURA, G. B. A. Monitoramento Espaço-Temporal da Detecção de Mudanças em Vegetação de Caatinga por Sensoriamento Remoto no Semiárido Brasileiro. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.13, n.1, p.286-301, 2020.
- BESALATPOUR, A. A.; AYOUBI, S.; HAJABBASI, M. A.; MOSADDEGHI, M. R.; SCHULIN, R. Estimating wet soil aggregate stability from easily available properties in a highly mountainous watershed. *Catena*, v.111, p.72-79, 2013.
- BARROS, L. H. V. Compartimentos do relevo na Bacia Hidrográfica do Rio Catu (RN): uma abordagem cartográfica por meio de geotecnologias. 84f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia). Departamento de Geografia. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2021.
- BARBOSA, R. B. G.; RIBEIRO, G. N.; FRANCISCO, P. R. M.; ARRUDA, D. A.; ALMEIDA, R. S.; LEITE, N. M. G. Geotecnologias aplicadas ao estudo da cobertura vegetal em bacia hidrográfica: uso do software “R”. *Revista Geama*, v.7, n.1, p.34-43, 2021.

- BEZERRA, A. C.; SILVA, J. L. B.; MOURA, G. B. A.; LOPES, P. M. O.; NASCIMENTO, C. R.; RIBEIRO, E. P.; GALVÍNCIO, J. D.; SILVA, M. V. Dynamics of land cover and land use in Pernambuco (Brazil): Spatio-temporal variability and temporal trends of biophysical parameters. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, v.25, e100677, 2022.
- CAMPOS-TABERNER, M.; MORENO-MARTÍNEZ, Á.; GARCÍA-HARO, F. J.; CAMPS-VALLS, G.; ROBINSON, N. P.; KATTGE, J.; RUNNING, S. W. Global estimation of biophysical variables from Google Earth Engine platform. *Remote Sensing*, v.10, n.8, p.1167, 2018.
- CUNHA, J. E. B. L.; TAVEIRA, I. M. L. M.; ALMEIDA FILHO, D. F.; SILVA, A. R. S.; RUFINO, I. A. A. Dinâmica interanual da cobertura do solo em região semiárida utilizando sensores orbitais. In: *Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 19, 2011, Maceió. Anais...Maceió, 2011.
- CHAGAS, M. G. S. Condição biológica da vegetação em ecossistemas costeiros e do Sertão do Pajeú em Pernambuco. 123f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2012.
- CHAVES, M. E. D.; PICOLI, M. C. A.; SANCHES, I. D. Recent applications of Landsat 8/OLI and Sentinel-2/MSI for land use and land cover mapping: A systematic review. *Remote Sensing*, v.12, n.18, e3062, 2020.
- CHAVES, M. E.; SOARES, A. R.; SANCHES, I. D.; FRONZA, J. G. CBERS data cubes for land use and land cover mapping in the Brazilian Cerrado agricultural belt. *International Journal of Remote Sensing*, v.42, n.21, p.8398-8432, 2021.
- DRUSCH, M.; DEL BELLO, U.; CARLIER, S.; COLIN, O.; FERNANDEZ, V.; GASCON, F.; HOERSCH, B.; ISOLA, C.; LABERINTI, P.; MARTIMORT, P.; MEYGRET, A.; SPOTO, F.; SY, O.; MARCHESE, F.; BARGELLINI, P. Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services. *Remote sensing of Environment*, v.120, p.25-36, 2012.
- DINIZ, R. R. S.; ALENCAR, M. L. S.; MEDEIROS, S. A.; GUERRA, H. O. C.; SALES, J. C. R. Índice de anomalia de chuvas da Microrregião do Cariri Ocidental Paraibano. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.13, n.6, p.2628-2640, 2020.
- ESA. SENTINEL-2 User Handbook. 2015. Disponível em: <https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook>.
- FRANCISCO, P. R. M. Modelo de mapeamento da deterioração do Bioma Caatinga da bacia hidrográfica do Rio Taperoá, PB. 97f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2013.
- FERREIRA, E. M. Geoprocessamento aplicado ao monitoramento ambiental, texto: análise quantitativa de parâmetros biofísicos de bacia hidrográfica obtidos por sensoriamento remoto. *Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, v.7, n.1, p.31-37, 2013.

- FRANCISCO, P. R. M. Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas. 122. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2010.
- FITZ, P. R. Classificação de Imagens de Satélite e Índices Espectrais de Vegetação: uma Análise Comparativa. *Geosul*, v.35, n.76, p.171-188, 2020.
- FAUSTINO, A. B.; RAMOS, F. F.; SILVA, S. M. P. Dinâmica temporal do uso e cobertura do solo na Bacia Hidrográfica do rio Doce (RN) com base em sensoriamento remoto e SIG: uma contribuição aos estudos ambientais. *Sociedade e Território*, v.26, n.2, p.18-30, 2014.
- FREITAS, I. G. F.; ALVES, L. E. R.; GOMES, H. B.; JUNIOR, J. R. S.; SANTIAGO, D. B.; SILVA, R. A. Analysis of Behavior of Vegetation in the Year of 2016 for the Municipality of Remanso- BA. *Revista Geama*, v.3, n.3, p.149-156, 2017.
- FATTORE, C.; ABATE, N.; FARIDANI, F.; MASINI, N.; LASAPONARA, R. Google earth engine as multi-sensor open-source tool for supporting the preservation of archaeological areas: the case study of flood and fire mapping in Metaponto, Italy. *Sensors*, v.21, n.5, e1791, 2021.
- GALVÍNCIO, J. D.; SOUSA, F. A. S.; SHIRINIVASAN, V. S. Análise do relevo da bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa. *Revista de Geografia Física*, v.23, n.1, p.54-69, 2006.
- GAMEIRO, S.; TEIXEIRA, C. P. B.; NETO, T. A. S.; LOPES, M. F. L.; DUARTE, C. R.; SOUTO, M. V. S.; ZIMBACK, C. R. L. Avaliação da cobertura vegetal por meio de índices de vegetação (IVDN, SAVI e IAF) na sub-bacia hidrográfica do Baixo Jaguaribe, CE. *Revista Terrae*, v.13, n.13, p.15-22, 2016.
- GANDHI, M. G.; PARTHIBAN, S.; THUMMALU, N.; CHRISTY, A. NDVI: Vegetation change detection using remote sensing and gis—A case study of Vellore District. *Procedia Computer Science*, v.57, p.1199-1210, 2015.
- GEE. GOOGLE EARTH ENGINE. A planetary-scale platform for Earth science data & analysis. 2021. Disponível em: <<https://earthengine.google.com/>>. Acesso em: 27 jan. 2023.
- HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, v.25, n.3, p.295-309, 1988.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2009. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 10 set. 2021.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2011. Disponível em: <<http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>>. Acesso em: 09 mar. 2022.
- JARDIM, A. M. D. R. F.; JÚNIOR, G. D. N. A.; SILVA, M. V. D.; SANTOS, A. D.; SILVA, J. L. B. D.; PANDORFI, H.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; TEIXEIRA, A. H. C.; TEODORO, P. E.; LIMA, J. L. M. P.; JUNIOR, C. A. S.; SOUZA, L. S. B.; SILVA, E. A.; SILVA, T. G. F. D. Using remote sensing to quantify the joint effects of climate and land use/land cover changes on the caatinga biome of northeast Brazilian. *Remote Sensing*, v.14, n.8, e1911, 2022.

- KARABURUN, A. Estimation of C factor for soil erosion modeling using NDVI in Buyukcekmece watershed. *Ozean Journal of Applied Sciences*, v.3, n.1, p.77-85, 2010.
- LIMA, M. M. P. Uso de imagens Sentinel para estimativa do estoque de carbono e biomassa acima do solo no bioma Caatinga. 107f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2021.
- LAIPALT, L.; KAYSER, R. H. B.; FLEISCHMANN, A. S.; RUHOFF, A.; BASTIAANSSEN, W.; ERICKSON, T. A.; MELTON, F. Long-term monitoring of evapotranspiration using the SEBAL algorithm and Google Earth Engine cloud computing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v.178, p.81-96, 2021.
- LI BINBIN, L.; ZHANBIN, L.; TAO, Y.; PENG, L. Research on fractal dimension of vegetation cover based on normalized difference vegetation index in watershed scale. *Journal of Agricultural Engineering*, v.30, n.15, p.239-247, 2014.
- MALDONADO, F. D. Desenvolvimento e avaliação de uma metodologia de detecção de mudanças na cobertura vegetal do semi-árido. 311f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais. São José dos Campos, 2005.
- MONTANHER, O. C. Levantamento de dados e análise de mudanças em sistemas fluviais por meio de Geoprocessamento e sensoriamento remoto: proposta metodológica e estudo de caso. *Revista Caminhos de Geografia*, v.20, n.70, p.136-157, 2019.
- MIRANDA, J. R.; NASCIMENTO, C. R. Análise de índices espectrais na avaliação de terraceamento em pastagem cultivadas no norte de Minas Gerais. *Enciclopédia Biosfera*, v.9, n.17, p.128-141, 2013.
- MACHADO, C. C. C.; GALVÍNCIO, J. D.; OLIVEIRA, T. H. Análise espacial e temporal do SAVI e do albedo da superfície no município de São José do Sabugi-PB. *Geografia*, v.36, n.2, p.359-369, 2011.
- MEDEIROS, R. L. B.; SOUSA, G. M.; FIGUEIREDO, C. F. V.; FORMIGA, A. C. S.; OLIVEIRA, F. F. D.; OLIVEIRA, P. A. T.; NASCIMENTO, R. R. A.; MONTEIRO, A. O.; LEITE, A. C. N. Resposta espectral do comportamento do NDVI e NDWI diante de diferentes intensidades pluviométricas na cidade de Patos-PB. *Research, Society and Development*, v.11, n.3, e49811326819, 2022.
- MACEDO, C. E. S. Estimativa dos Índices de Vegetação NDVI e SAVI na Unidade de Conservação do Parque Estadual das Carnaúbas – CE com utilização de técnicas do sensoriamento remoto. 84f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental). Centro de Tecnologia. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2019.
- MELO, M. V. N.; OLIVEIRA, M. E. G.; ALMEIDA, G. L. P.; GOMES, N. F.; MORALES, K. R. M.; SANTANA, T. C.; SILVA, P. C.; MORAES, A. S.; PANDORFI, H.; SILVA, M. V. Spatiotemporal characterization of land cover and degradation in the agreste region of Pernambuco, Brazil, using cloud geoprocessing on Google Earth Engine. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, v.26, e100756, 2022.

- MELO, E. T.; SALES, M. C. L.; OLIVEIRA, J. G. B. Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do Riacho dos Cavalos, Crateús-CE. *Raega*, v.23, p.520-533, 2011.
- MAGALHÃES, I. A. L.; JUNIOR, O. A. C.; SANTOS, A. R. Análise comparativa entre técnicas de sensoriamento remoto para mensuração da vegetação urbana no município de Alegre, ES. *Revista Cerrados*, v.15, n.1, p.156-177, 2017.
- ORNELLAS, J. L.; LOPES, E. R. N. NDVI aplicado nas alterações da reserva extrativista marinha Baía do Iguape. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 11, 2020, Vitória. *Anais...Vitória*, 2020.
- OLIVEIRA, E. M. Mineração do caulim como tendência à desertificação no Seridó paraibano. 182f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2019.
- OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; GOIS, G.; SILVA, I. J. L.; SOUZA, E. O.; JARDIM, A. M. D. R. F.; SILVA, M. V.; SHAH, M.; JAMJAREEGULGARN, P. Wet and dry periods in the state of Alagoas (Northeast Brazil) via Standardized Precipitation Index. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, v.224, e105746, 2021.
- PICOLI, M. C. A.; SIMOES, R.; CHAVES, M.; SANTOS, L. A.; SANCHEZ, A.; SOARES, A.; SANCHES, I. D.; FERREIRA, K. R.; QUEIROZ, G. R. CBERS data cube: a powerful technology for mapping and monitoring Brazilian biomes. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, v.3, p.533-539, 2020.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação. Parêntese, São José dos Campos, 2010. 144p.
- ROCKETT, G. C. Sensoriamento remoto e georradar aplicados à caracterização de sistemas deposicionais eólicos costeiros (uma revisão). *Gravel*, v.12, n.1, p.15-39, 2014.
- ROSA, M. R. Classificação do padrão de ocupação urbana de São Paulo utilizando aprendizagem de máquina e Sentinel 2. *Revista do Departamento de Geografia*, v.15-21, 2018.
- RÊGO, S. C. A.; LIMA, P. P. S.; LIMA, M. N. S.; MONTEIRO, T. R. R. Análise comparativa dos índices de vegetação NDVI e SAVI no município de São Domingos do Cariri-PB. *Revista Geonorte*, v.3, n.5, p.1217-1229, 2012.
- ROCHA, W. J. S. F.; BORGES, E. F.; VIGANÓ, H. A. Análise do desempenho dos Índices de Vegetação NDVI e SAVI a partir de imagem Aster. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15, 2011, Curitiba. *Anais...Curitiba*, 2011.
- RIBEIRO, G. A.; SILVA, J. N. C.; SILVA, J. B. Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI): estado da arte e suas potencialidades. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.9, n.6, p.2054-2074, 2016b.

- RIBEIRO, E. P.; NOBREGA, R. S.; FILHO, F. O. M.; MOREIRA, E. B. Estimativa dos índices de vegetação na detecção de mudanças ambientais na bacia hidrográfica do rio Pajeú. *Geosul*, v.31, n.62, p.59-92, 2016a.
- RIBEIRO, G. N. Uso de geotecnologias no estudo da degradação das terras no município de Sumé-PB. 128f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2014.
- SALLO, F. D. S.; FRANÇA, M. S. D.; MORAIS, D. M. D.; RODRIGUES, R.; BIUDES, M. S. Estimativa de componentes do balanço de radiação em diferentes tipos de uso e cobertura do solo. *Revista Ambiente & Água*, v.9, n.9, p.347-358, 2014.
- SANTOS, E. I.; ALENCAR, M. L. S.; SCHRAMM, V. B.; SANTOS, J. S.; NASCIMENTO, M. T. C. C. Uso de Geotecnologias no estudo da degradação das Terras da Bacia do Rio Sucuru, na Paraíba. *Ciência e Natura*, v.42, n.57, p.15, 2020.
- SOUSA, J. H. S.; MOREIRA, A. R.; NASCIMENTO, A. A.; RIBEIRO, G. N.; NETO, J. N. O.; JÚNIOR, L. S. P. Assessment of land use and cover in the Sucuru Watershed using Google Earth Engine. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.17, n.4, p.235-241, 2022.
- SILVA, M. V.; PANDORFI, H.; LOPES, P. M. O.; SILVA, J. L. B.; ALMEIDA, G. L. P.; SILVA, D. A. D. O.; SANTOS, A.; RODRIGUES, J. A. D. M.; BATISTA, P. H. D.; JARDIM, A. M. D. R. F. Pilot monitoring of caatinga spatial-temporal dynamics through the action of agriculture and livestock in the brazilian semiarid. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, v.19, e100353, 2020a.
- SILVA, J. L. B.; MOURA, G. B. A.; SILVA, M. V.; LOPES, P. M. O.; GUEDES, R. V. S.; SILVA, Ê. F. D. F.; ORTIZ, P. F. S.; RODRIGUES, J. A. M. Changes in the water resources, soil use and spatial dynamics of Caatinga vegetation cover over semiarid region of the Brazilian Northeast. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, v.20, e100372, 2020b.
- SILVA, M. V.; PANDORFI, H.; ALMEIDA, G. L. P.; LIMA, R. P.; SANTOS, A.; JARDIM, A. M. D. R. F.; ROLIM, M. M.; SILVA, J. L. B.; BATISTA, P. H. D.; SILVA, R. A. B.; LOPES, P. M. O.; SILVA, D. C. Spatio-temporal monitoring of soil and plant indicators under forage cactus cultivation by geoprocessing in Brazilian semi-arid region. *Journal of South American Earth Sciences*, v.107, e103155, 2021.
- SILVA, J. N. C. Análise temporal de índices de vegetação no apoio à classificação de imagens: cobertura do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Sucuru. 109f. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais). Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2017.
- SILVA, L. G.; GALVÍNCIO, J. D. Análise Comparativa da Variação nos Índices NDVI e SAVI no Sítio PELD-22, em Petrolina-PE, na Primeira Década do Século XXI. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.5, n.6, p.1446-1456, 2013.




USGS. United States Geological Survey. Earth Explorer. (2021). Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 10 set. 2021.

VANI, V.; MANDLA, V. R. Comparative study of NDVI and SAVI vegetation indices in Anantapur district semi-arid areas. *Int. J. Civ. Eng. Technol*, v.8, n.4, p.559-566, 2017.

YANG, X.; TANG, J.; MUSTARD, J. F. Beyond leaf color: Comparing camera-based phenological metrics with leaf biochemical, biophysical, and spectral properties throughout the growing season of a temperate deciduous forest. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, v.119, n.3, p.181-191, 2014.


CURRICULUM DOS ORGANIZADORES

Paulo Roberto Megna Francisco: Atuou como Pesquisador de Desenvolvimento Científico Regional de Interiorização na Universidade Federal da Paraíba-UFPB-CCA/Areia. Graduado como Engenharia Agrícola pela UFCG. Doutorando em Recursos Naturais (Concentração em Engenharia de Recursos Naturais). Possui Doutorado em Engenharia Agrícola (Concentração em Irrigação e Drenagem) pela Universidade Federal de Campina Grande - UFCG (2013), Mestrado em Agronomia - Manejo de Solo e Água (Concentração - Agricultura Sustentável e Planejamento Ambiental) pela Universidade Federal da Paraíba - UFPB - Areia (2010) e também Graduado como Tecnólogo Agrícola (Mecanização) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP - Bauru (1990). Tem experiência na Docência na área de Agronomia, com ênfase em Mecanização Agrícola, Máquinas e Implementos Agrícolas e Máquinas Agrozootécnicas. Atua como pesquisador, colaborador e orientador em projetos junto à UFPB Campus de Areia, UFCG - Campus de Campina Grande, Campus de Sumé e Campus Patos. Tem experiência em classificação técnica e mapeamento de solos, aptidão agrícola e pedoclimática, capacidade de uso do solo, geoprocessamento, cartografia, sensoriamento remoto, geoestatística, geração de balanço hídrico e índices climáticos. Prestou consultoria para o INCRA/PB na realização de PDAs. Foi Consultor Ad hoc do CONFEA como organizador do CONTECC. Editor Chefe da Editora Portal Tecnológico-EPTEC. Atualmente colabora como organizador e na comissão científica do CNMA-Poços de Caldas.

 <https://orcid.org/0000-0002-5062-5434>


paulomegna@gmail.com

George do Nascimento Ribeiro: Possui graduação em Agronomia (2003) e mestrado em Manejo e Conservação de Solo e Água (2006) pela Universidade Federal da Paraíba, doutorado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande (2014) e Pós-doutorado em Fontes Alternativas de Energias pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Química da UFCG (LABFREN/UFCG). Atualmente é professor da Universidade Federal de Campina Grande/CDSA/Campus Sumé. Tem experiência nas áreas de Geociências, com ênfase em Sensoriamento Remoto (recursos naturais, geotecnologias e mapeamento temático) e em Energias Renováveis (produção de hidrogênio como fonte de combustível para fuel cell e energia solar - placas fotovoltaicas).

 <https://orcid.org/0000-0003-4225-0967>

george@ufcg.edu.br


Gypson Dutra Junqueira Ayres: Possui graduação em Agronomia pela Universidade Estadual do Maranhão (2005). Mestre em Engenharia Agrícola em Armazenamento e Construção Rural pela Universidade Federal de Campina Grande (2020). Doutorando em Engenharia Agrícola no PPGA da UFCG. Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Projetos no Banco do Brasil. Atualmente trabalha com temas vinculados a Construção Rural e Armazenamento, Automação e Monitoramento a Distância.

 <https://orcid.org/0000-0001-5260-1682>

fgypsond@gmail.com

Raimundo Calixto Martins Rodrigues


Possui graduação em Agronomia pela Universidade Estadual do Maranhão (2003), Mestrado em Agroecologia pela Universidade Estadual do Maranhão (2008), Doutorado Engenharia Agrícola, área de concentração em Construções Rurais e Ambiente, na Universidade Federal de Campina Grande UFCG (2022). Professor vinculado ao Departamento de Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual do Maranhão UEMA, Campus Paulo VI em São Luís - MA.

 <https://orcid.org/0000-0001-8437-7857>

calixto_80@hotmail.com


José Crispiniano Feitosa Filho

Possui graduação em Agronomia pela Universidade Federal da Paraíba (1977), mestrado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (1990) e doutorado em Irrigação e Drenagem pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (1998). Pós-doutoramento em Irrigação e Drenagem pela Esalq/USP (2008). Atualmente é Professor Associado III da Universidade Federal da Paraíba. Tem experiência na área de Engenharia Agrícola, com ênfase em Irrigação e Drenagem, atuando principalmente nos seguintes temas: fertirrigação, quimigação, aeração no controle do excesso de íons de ferro e de manganês em água de irrigação, cultivos de melão e de minimelancia tutorados em ambiente protegido e salinidade. Possui Graduação em Bacharelado em Direito pela Faculdade de Ciências Sociais Aplicada de Campina Grande - FACISA em 2014, e advogado com Registro na Ordem dos Advogados na Seção da Paraíba com número 20.195.

 <http://lattes.cnpq.br/1161881618455980>


jcfeitosafilho@gmail.com

Paulo da Costa Medeiros: Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba - Campus II (1995), mestrado em Pós Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba - Campus II (1997) e doutorado em Recursos Naturais pela Universidade Federal de Campina Grande (2011). Atualmente é Associado II da Universidade Federal de Campina Grande. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Engenharia Hidráulica. Atuando principalmente nos seguintes temas: Transformada de Wavelet Contínua, Hidrograma, gestão de recursos hídricos.

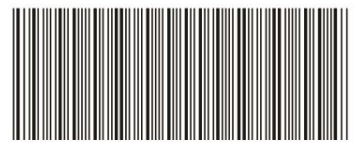
 <https://orcid.org/0000-0002-3506-2266>

medeirospc@gmail.com

Guttemberg da Silva Silvino: Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba, mestrado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal da Paraíba e doutorado em Recursos Naturais pela Universidade Federal de Campina Grande. Atualmente é Professor da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, lotado no Departamento de Solos e Engenharia Rural do Centro de Ciências Agrárias, Campus II - Areia-PB. Tem experiência na área de Engenharia, com ênfase em Recursos Hídricos. Atuando principalmente nos seguintes temas: Topografia, Geoprocessamento e Gestão de Recursos Hídricos. Possui experiência comprovada com o Sistema GNSS - Sistema Global de Navegação por Satélite que é a nova designação para o conjunto de Sistema de Posicionamento Global - GPS, desde 1996.

 <http://orcid.org/0000-0002-9199-2732>

guttembergs@gmail.com



978-65-00-70563-8