

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – CAMPUS CERES  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO

POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE ÁGUA DE NASCENTES NO  
MUNICÍPIO DE CERES (GO)

Autor: Washington Nunes da Silva  
Orientador: Prof. Dr. Roriz Luciano Machado

CERES-GO  
MARÇO – 2024

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – CAMPUS CERES  
PRÓ-REITORA DE PESQUISA PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO

## POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE ÁGUA DE NASCENTES NO MUNICÍPIO DE CERES (GO)

Autor: Washington Nunes da Silva  
Orientador: Prof. Dr. Roriz Luciano Machado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Irrigação no Cerrado, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Ceres, como parte das exigências para a obtenção do título de MESTRE EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO. Área de concentração: Irrigação.

CERES-GO  
MARÇO – 2024

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

**Sistema Integrado de Bibliotecas (SIBI) – Instituto Federal Goiano**

S586p

Silva, Washington Nunes da.

Potencial de produção de água de nascentes no Município de Ceres (GO) [manuscrito] / Washington Nunes da Silva. -- Ceres, GO: IF Goiano, 2024.

58 fls. : tabs.

Orientador: Prof. Dr. Roriz Luciano Machado.

Dissertação (Mestrado Profissional em Irrigação no Cerrado) – Instituto Federal Goiano, Campus Ceres, 2024.

1. Hidrologia. 2. Geoprocessamento. 3. Microbacia. 4. Vazão. 5. SIG. I. Machado, Roriz Luciano Machado. II. Título.

CDU 631.5(817.3)CERES

## TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

### IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado)                  | <input type="checkbox"/> Artigo científico              |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro              |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização)       | <input type="checkbox"/> Livro                          |
| <input type="checkbox"/> TCC (graduação)                   | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Washington Nunes da Silva

Matrícula:

2022103330640009

Título do trabalho:

Potencial de produção de água de nascentes no município de Ceres (GO)

### RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial:  Não  Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 1 / 11 / 24

O documento está sujeito a registro de patente?  Sim  Não

O documento pode vir a ser publicado como livro?  Sim  Não

### DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Ceres - GO

24 / 9 / 24

Local

Data



Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:



Assinatura do(a) orientador(a)



Documento assinado digitalmente

RORÉZ LUCIANO MACHADO

Data: 24/09/2024 21:21:31 -0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Documento 587230

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – CAMPUS CERES  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO

**Potencial de produção de água de nascentes no município de Ceres (GO)**

Autor: Washington Nunes da Silva

Orientador: Prof. Dr. Roriz Luciano Machado

TITULAÇÃO: Mestre em Irrigação no Cerrado – Área de Concentração:  
Irrigação

APROVADO em: 27 de março de 2024.

Documento assinado digitalmente  
**RORIZ LUCIANO MACHADO**  
Data: 27/03/2024 16:12:48-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Prof. Dr. Roriz Luciano Machado**

Presidente da banca

IF Goiano - Campus Ceres

Documento assinado digitalmente  
**JHON LENNON BEZERRA DA SILVA**  
Data: 27/03/2024 15:58:14-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Prof. Dr. Jhon Lennon Bezerra da Silva**

Avaliador Interno

IF Goiano - Campus Ceres

Documento assinado digitalmente  
 MILTON MARQUES FERNANDES  
Data: 27/03/2024 15:38:53-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Prof. Dr. Milton Marques Fernandes**

Avaliador Externo

Universidade Federal de Sergipe

INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Ceres

Rodovia GO-154, Km.03, Zona Rural, 03, Zona Rural, CERES / GO, CEP 76300-000

(62) 3307-7100

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Senhor meu Deus, por todas as bênçãos recebidas e por todos os livramentos mesmo que desconhecidos de minha parte. Que sua glória seja sempre louvada!

Agradeço aos meus pais, Paulo Alves da Silva e Aparecida Nunes da Silva, não somente pelo apoio, mas também pela disposição de enfrentar a empreitada de adentrar matas à procura de nascentes comigo.

Agradeço ao meu orientador, Professor Dr. Roriz Luciano Machado, pelos ensinamentos, paciência e o companheirismo.

Agradeço aos professores do PPGIC e à secretária Verônica Santos, pelo companheirismo na jornada.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Ceres e a servidores, por oferecerem todos os recursos disponíveis para amparar minha pesquisa.

Agradeço a bolsa de formação concedida pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás - FAPEG, de suma importância e de grande incentivo para a realização desta e de outras pesquisas em andamento no estado de Goiás.

Agradeço a todos que me ajudaram nessa jornada, também aos que não me ajudaram, pois já se dizia que “mar calmo nunca fez bons marinheiros”.

## **BIOGRAFIA DO AUTOR**

Washington Nunes da Silva, nascido no dia 22 de abril de 1986, natural de Ceres-GO. No ano de 2016, iniciou o Curso de Engenharia Civil pela Universidade Evangélica – Campus Ceres, na condição de bolsista do Programa Federal PROUNI, onde atuou como monitor das disciplinas Física I e II e Cálculo I e II, tendo concluído a graduação de Engenharia Civil em 2020. No ano de 2018, iniciou o Curso Técnico em Agropecuária pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Ceres, tendo participado como monitor na disciplina de Topografia, concluindo em 2019. No ano de 2020, iniciou o Curso de Especialização em Docência para a Educação a Distância pela Universidade Federal de São Carlos, concluindo no ano de 2022. No ano de 2021, iniciou o Curso Técnico em Geoprocessamento pelo Instituto Federal Sul de Minas - Campus Inconfidentes, concluindo em 2023. No ano de 2021, ingressou no Curso de Agronomia pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Ceres, quando desenvolveu estudos como bolsista do CNPq no monitoramento de mananciais no município de Ipiranga de Goiás e atuou como monitor das disciplinas Topografia e Cartografia, participou do projeto LabTI de tecnologias de Irrigação e ainda está cursando essa graduação. É membro titular do Conselho Superior do IF Goiano (CONSUP), desempenhando papel de conselheiro na Câmara Consultiva de Ensino e de Assuntos Estudantis (CEAE), Câmara Consultiva de Extensão (CAEX) e Câmara Consultiva de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação (CAPPI). No ano de 2022, iniciou o curso de Mestrado Profissional no Programa de Pós-Graduação em Irrigação no Cerrado pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Ceres, Área de concentração Tecnologias de Irrigação, concluindo em março de 2024.

## RESUMO

WASHINGTON NUNES DA SILVA. Instituto Federal Goiano, Campus Ceres, Goiás (GO), março 2024. **Potencial de produção de água de nascentes no município de Ceres (GO)**. Orientador: Prof. Dr. Roriz Luciano Machado.

A melhoria do manejo de bacias hidrográficas é uma das alternativas para aumentar a produção de água nos municípios. O presente trabalho objetivou analisar atributos hidrológicos e tipos uso e ocupação do solo para agrupamento de microbacias com características semelhantes no município de Ceres-GO. As etapas do trabalho compreenderam a utilização de Sistemas de Informação Geográfica para o processamento e manipulação de dados de sensoriamento remoto, a seleção de imagens, a identificação das nascentes nas imagens, a integração com mapas hidrográficos e de relevo, além da medição das características físico-hidrológicas e de uso do solo com agrupamento das nascentes com características similares. As características hidrológicas investigadas em cada microbacia foram: perímetro, área, largura média, distância de borda, índice de Gravélius-Kc, comprimento axial, fator forma-Kf, densidade de drenagem-Dd, distância direta, índice de sinuosidade-S, altitude máxima, altitude média, altitude mínima, altitude no afloramento, altitude no encontro com o próximo curso; declividade na nascente, vazão, cobertura florestal, cobertura natural não florestal, cobertura uso agropecuária, área não vegetada, cobertura corpos d'água, MB-3 (Floresta; %), MB-4 (Formação Savânica; %), MB-9 (Silvicultura; %), MB-11 (Campo Alagado/Área pantanosa; %), MB-12 (Formação Campestre; %), MB-15 (Pastagem; %), MB-19 (Lavoura Temporária; %), MB-21 (Mosaico de Usos; %), MB-24 (Área Urbanizada; %), MB-25 (Outras áreas não Vegetadas; %) e MB-33 (Rios, Lagos e Oceanos; %). Os dados foram submetidos a análises descritivas, análise de agrupamento de Ward e análise de componentes principais. Os valores de perímetro, área, Kc, Kf e Dd das microbacias variaram de 2 a 15,9 m, de 14,86 a 977,34 ha, de 1,28 a 1,72, de 0,334 a 1,656 e de 0,039 a 1,167, respectivamente.

A maioria das variáveis apresenta coeficiente médio de variação. As microbacias ocorrem com maior frequência em altitudes mínimas de 519 a 775 e máximas de 547 a 1005 m e as nascentes, entre 534 e 857 m. A análise de agrupamento de Ward identificou seis grupos de microbacias com características semelhantes, as quais não consideram as divisões políticas do município. Com base na análise de componentes principais, os atributos mais importantes para discriminar as microbacias foram: vazão Kf, índice de sinuosidade S, índice de sinuosidade P, declividade e número de cursos, Kc, Dd e distância direta, respectivamente. Os tipos de cobertura mostraram-se pouco correlacionados na separação das microbacias e evidenciaram a predominância do uso agropecuária com quase 80 % da área do município. Esses resultados podem orientar novos estudos e futuras ações de manejo e conservação dos recursos hídricos no município.

Palavras-chave: Geoprocessamento. Hidrologia. Microbacia. SIG. Vazão.

## ABSTRACT

WASHINGTON NUNES DA SILVA. Goiano Federal Institute, Ceres Campus, Goiás State (GO), Brazil, March 2024. **Potential for water production from water sources in Ceres municipality, Goiás State (GO), Brazil.** Advisor: Prof. Dr. Machado, Roriz Luciano.

The improvement of watershed management is one of the alternatives to increase water production in municipalities. The present study aimed to analyze hydrological attributes and types of land use and occupation to group micro-watersheds with similar characteristics in the municipality of Ceres-GO. The work stages involved the use of Geographic Information Systems for processing and manipulating remote sensing data, image selection, identifying springs in the images, integrating with hydrographic and relief maps, as well as measuring the physical-hydrological and land use characteristics, and grouping springs with similar features. The hydrological characteristics investigated in each micro-watershed were: perimeter, area, average width, edge distance, Gravelius Index-Kc, axial length, form factor-Kf, drainage density-Dd, direct distance, sinuosity index-S, maximum altitude, average altitude, minimum altitude, altitude at the outcrop, altitude at the meeting with the next course; slope at the spring, flow rate, forest cover, non-forest natural cover, agro-livestock use, non-vegetated area, water bodies cover, MB-3 (Forest; %), MB-4 (Savanna Formation; %), MB-9 (Silviculture; %), MB-11 (Flooded Field/Swampy Area; %), MB-12 (Grassland Formation; %), MB-15 (Pasture; %), MB-19 (Temporary Crop; %), MB-21 (Mosaic of Uses; %), MB-24 (Urbanized Area; %), MB-25 (Other Non-Vegetated Areas; %), and MB-33 (Rivers, Lakes, and Oceans; %). The data were subjected to descriptive analyses, Ward's cluster analysis, and principal component analysis. The values of perimeter, area, Kc, Kf, and Dd for the micro-watersheds ranged from 2 to 15.9 m, 14.86 to 977.34 ha, 1.28 to 1.72, 0.334 to 1.656, and 0.039 to 1.167, respectively. Most variables showed a medium coefficient of variation. The micro-

watersheds occur more frequently at minimum altitudes of 519 to 775 and maximum altitudes of 547 to 1005 m, and the springs, between 534 and 857 m. Ward's cluster analysis identified six groups of micro-watersheds with similar characteristics, which do not consider the municipality's political boundaries. Based on the principal component analysis, the most important attributes for discriminating the micro-watersheds were flow Kf, sinuosity index S, sinuosity index P, slope, number of courses, Kc, Dd, and direct distance, respectively. The coverage types showed little correlation in the separation of the micro-watersheds and revealed the predominance of agro-livestock use, occupying nearly 80% of the municipality's area. These results can guide new studies and future actions for the management and conservation of water resources in the municipality

Keywords: Flow. Hydrology. Geoprocessing. Microbasin. SIG.

.

## LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 – Coordenadas das nascentes e vazão média .....	20
Tabela 1 – Coordenadas das nascentes e vazão média (conclusão) .....	21
Tabela 2 – Estatísticas simples de atributos morfométricos do relevo e vazão de microbacias do município de Ceres (GO) .....	25
Tabela 3– Coordenadas das nascentes e vazão média nas microbacias estudadas .....	26
Tabela 4– Relação de grupos de microbacias semelhantes .....	27
Tabela 5 – Autovalores e componentes principais 1, 2 com correlação individual e acumulada entre variáveis e amostras (microbacias) .....	30

## LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 – Mapa de localização do município de Ceres (GO) .....	3
Figura 2 – Percurso do Rio das Almas .....	4
Figura 3 – Bacias hidrográficas brasileiras.....	5
Figura 4 – Principais biomas do Brasil.....	8
Figura 5 – Disposição do município de Ceres na bacia hidrográfica Tocantins-Araguaia .....	16
Figura 6 – Formação geológica em que o município de Ceres está inserido .....	17
Figura 7 – Solos predominantes no município de Ceres de acordo com Embrapa (2022) .....	17
Figura 8 – Imagem do satélite CBERS 4A do município de Ceres.....	18
Figura 9 – Modelo digital de elevação após tratamento, usando a ferramenta LS Factor .....	19
Figura 10 – Cursos d'água constantes na base de dados ANA .....	20
Figura 11 – Município de Ceres com microbacias de 1ª ordem (nascentes), delimitadas por meio de sensoriamento remoto e validação em campo .....	23
Figura 12 – Mapa de uso e cobertura do solo de Ceres em 2022 .....	27
Figura 13 – Classificação hierárquica para 29 microbacias no município de Ceres .....	28
Figura 14 – Localização dos grupos de microbacias no município de Ceres.....	28
Figura 15 – Localização dos grupos de microbacias no município de Ceres, considerando divisão territorial (córregos) político-administrativa .....	29
Figura 16 – Altitude de ocorrência de nascentes .....	29
Figura 17 – Análise de componentes principais para dados hidrológicos e de uso da terra em microbacias, em Ceres (GO) .....	31

## LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIATURAS E UNIDADES

Símbolo/Sigla	Significado	Unidade de Medida
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico	-
CANG	Colônia Agrícola Nacional de Goiás	-
CBERS	Programa Espacial Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres	-
CBERS 4A	Satélite Colaborativo China-Brasil	-
COPERNICUS	Programa Espacial da Agência Europeia	-
DEM	Modelo Digital de Elevação	-
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária	-
ESA	Agência Espacial Europeia	-
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística	-
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais	-
m	metro	m
MicBac_Alt_Max	Altitude Máxima da Microbacia	m
MicBac_Alt_Med	Altitude média da Microbacia	m
MicBac_Alt_Min	Altitude mínima da Microbacia	m
Nas_Alt_Ini	Altitude da nascente	m
Nas_Alt_Fim	Altitude da confluência	m
Nas_Decliv	Declividade no trajeto nascente confluência.	%
NASA	National Aeronautics and Space Administration	-
Kc	Índice de compacidade ou Índice de Gravélius	-
Kf	Fator forma	-
Dd	Densidade de drenagem	Km/km <sup>2</sup>
S	Índice de Sinuosidade	-
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission	-

## SUMÁRIO

	Página
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Recursos Hídricos no Brasil .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2 Desafios futuros da humanidade sobre produção x demanda de água .....</b>	<b>7</b>
<b>2.3 Fatores que influenciam o hidrograma de bacias hidrográficas.....</b>	<b>10</b>
<b>2.4 Delimitação de microbacias .....</b>	<b>12</b>
<b>2.5 Indicadores da paisagem sobre o potencial de produção de água de nascentes .....</b>	<b>12</b>
<b>2.6 Metodologias de agrupamento de microbacias responsivas, utilizando indicadores .....</b>	<b>13</b>
<b>2.7 Análise estatística de agrupamento de Ward (Distância Euclidiana).....</b>	<b>14</b>
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>16</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>23</b>
<b>5 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>33</b>

# 1 INTRODUÇÃO

As atividades antropogênicas, incluindo a agricultura e a pecuária intensivas, a urbanização mal planejada e a industrialização, desempenham papel crucial nas mudanças climáticas globais e nos padrões hidrológicos regionais. Conseqüentemente, a gestão responsável dos recursos hídricos torna-se uma prioridade universal, com foco crescente na eficiência de uso e na sua conservação (MENG *et al.*, 2023).

Cerca de 2,5% da água total do planeta é constituída por água doce, sendo que 1,9% desse montante está nas calotas polares, e do restante (0,6%), 90% ocorrem na forma de água subterrânea (MISHRA; DUBEY, 2015). Embora não esteja igualmente distribuída, o Brasil tem cerca de 12 % de toda água doce do planeta (MOURA, A. *et al.*, 2022). Contudo, o país perdeu, entre 1990 e 2020, 15,7% da superfície coberta por água (MAPBIOMAS, 2020).

O crescimento populacional coloca pressão significativa sobre os recursos naturais, especialmente a água doce. A construção de barragens para evitar o colapso do abastecimento de água de centros urbanos é uma das principais medidas, principalmente nas médias e grandes cidades. No entanto, essa estratégia demanda grandes investimentos financeiros além de causar uma série de impactos ambientais nos ecossistemas aquáticos e terrestres e em aspectos sociais e econômicos na sua construção e manutenção. Uma das alternativas, principalmente em cidades menores, é otimizar a rede hidrológica com ações unitárias em nível de nascentes/microbacias, por meio de práticas conservacionistas que otimizem a infiltração da água das chuvas e a recarga dos aquíferos, melhorando, conseqüentemente, a vazão dos cursos de água, o que fará com que as ações sejam multiplicadas, ganhem escala e mitiguem problemas de escassez nos períodos críticos.

Para tanto, é necessário encontrar combinações de fatores ambientais (naturais e antrópicos), incluindo características de solo, relevo, uso e cobertura, que indiquem o potencial de produção de água das microbacias/nascentes. Isso permite identificar e selecionar microbacias que tenham maior potencial de oferecer serviços ecossistêmicos, como aumento da conversão da precipitação pluviométrica em escoamento subsuperficial

regularizado, atenuando as cheias e amplificando a vazão mínima (FIGUEIRA; VALCARCEL; BAPTISTA, 2019), após a implantação de práticas de recuperação/conservação, priorizando, assim, recursos financeiros.

A identificação e a delimitação de microbacias envolvem técnicas de análise geoespacial e hidrológica, utilizando dados de topografia, como modelos digitais de elevação, imagens de satélite e informações sobre a rede de drenagem para identificar as divisas naturais que separam as diferentes microbacias. Avaliar a cobertura e o uso da terra no espaço e no tempo é essencial, e as aplicações do geoprocessamento e o uso de geotecnologias, associados aos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), são avanços efetivos para estudar as condições de mudanças na superfície (SILVA, J. S.; UTSUMI; SANTOS, C., 2023).

A implementação de práticas destinadas a aumentar a infiltração da água da chuva em microbacias específicas objetiva alcançar o conceito de "escoamento zero" (SUHARDI *et al.*, 2019). A redução do escoamento superficial melhora a recarga dos aquíferos locais e pode aumentar a produção de água. Essas práticas podem incluir preparo e plantio em contorno, a construção de terraços, bacias de infiltração, descompactação do solo, uso do sistema de plantio direto, melhoria do manejo das pastagens, entre outras técnicas agrícolas.

O município de Ceres tem na agricultura e na pecuária os principais tipos de uso da terra, com produção agrícola diversificada, desde agricultura familiar, com produção marcante de hortifrutigranjeiros, a grandes empreendimentos sulcroalcooleiros e pecuários, que demandam grande quantidade de água do Rio das Almas e de seus afluentes para funcionamento dessas atividades, sobretudo para irrigação, além do consumo urbano do município.

O trabalho parte da hipótese de que o potencial de produção de água de microbacias está relacionado a características naturais intrínsecas como também a efeitos antrópicos, que podem ser percebidos por indicadores específicos e técnicas estatísticas, permitindo agrupar microbacias com características semelhantes. Para tanto, o presente trabalho teve como objetivos realizar a individualização, caracterização e agrupamento de microbacias, com características semelhantes, no município de Ceres (GO), por meio de indicadores hidrológicos e de cobertura do solo, visando a gerar subsídios para tomadas de decisão em trabalhos futuros que objetivem aumentar a vazão e a perenidade dos recursos hídricos no município.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

A região do Vale do São Patrício abriga a cidade de Ceres-GO (Fig. 1), que se originou de um dos primeiros projetos de reforma agrária no cerrado, a chamada Colônia Agrícola Nacional de Goiás (CANG). Sua implantação ocorreu em razão das suas qualidades hídricas e de solos da região na bacia do Rio das Almas (DIAS; MIZIARA; LAMEIRÃO, 2021).

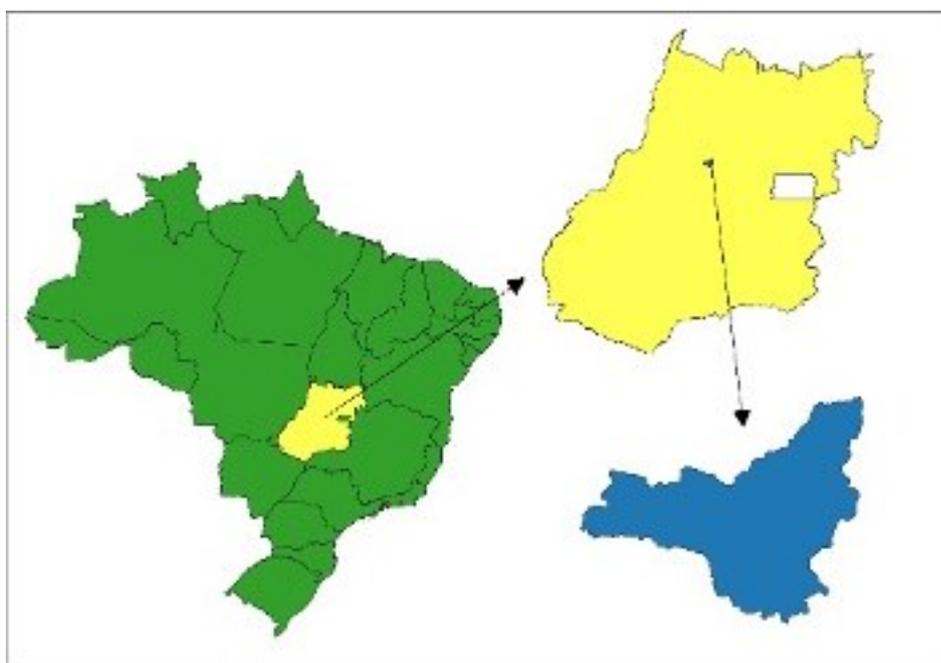


Figura 1 – Mapa de localização do município de Ceres (GO)  
Fonte: IBGE (2022).

O Rio das Almas (Fig. 2) é um curso d'água de significativa importância. Ele nasce na região de Pirenópolis, estado de Goiás, Brasil, desdobrando-se ao longo de cerca de 240 km em um percurso marcado por uma topografia de suave a forte ondulada, repleta de colinas e serras. Essa configuração geográfica peculiar não apenas confere ao rio uma paisagem deslumbrante, mas também molda o caráter de seu fluxo, criando corredeiras e quedas d'água, que embelezam sua trajetória (BARBALHO *et al.*, 2019).

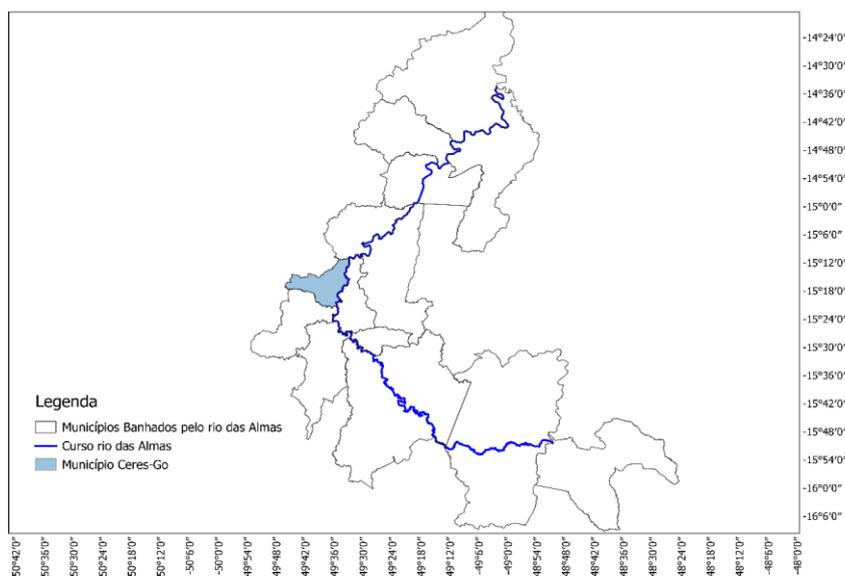


Figura 2 – Percurso do Rio das Almas  
 Fonte: ANA (2023).

Além de seu valor ambiental, o Rio das Almas desempenha papel crucial na economia regional, servindo como fonte de água para a agricultura, o abastecimento humano e a pecuária ao longo de sua bacia hidrográfica. Contudo, enfrenta desafios consideráveis no que diz respeito à conservação ambiental. A pressão pelo uso agrícola, a poluição por resíduos e o desmatamento das margens são ameaças sérias à saúde e à sustentabilidade do rio (SILVA, J. S.; UTSUMI; SANTOS, C., 2023).

Para garantir a perenidade e a regularidade da vazão dos rios, é essencial adotar medidas de gestão sustentável dos recursos hídricos e promover a conservação das nascentes, visando a equilibrar a oferta diante de uma demanda cada vez maior do recurso água. Isso inclui não apenas a proteção das áreas de matas ciliares, mas também estudos mais complexos, que englobem desde o estudo hidrológico das nascentes, como iniciativas que objetivem a identificação de indicadores, seleção de microbacias responsivas ao manejo na área de contribuição, a estudos de práticas conservacionistas para aumentar a infiltração da água das chuvas e controlar os sedimentos, otimizando recursos financeiros empregados para aumentar a produção de água (FIGUEIRA; VALCARACEL; BAPTISTA, 2019; LONGO *et al.*, 2023).

## 2.1 Recursos Hídricos no Brasil

O Brasil é um país rico em recursos hídricos, possuindo uma vasta rede de rios,

lagos e aquíferos espalhados por todo o território nacional, constituindo 12 bacias hidrográficas (Fig. 3). Esses recursos desempenham papel fundamental na economia do país, na geração de energia, no abastecimento de água para consumo humano e na preservação dos ecossistemas naturais (ANA, 2018).

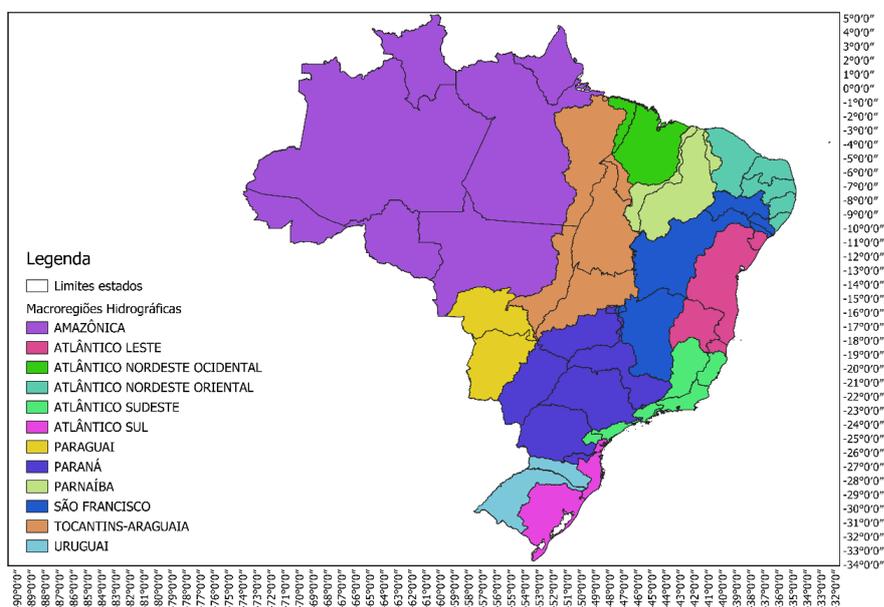


Figura 3 – Bacias hidrográficas brasileiras

Fonte: ANA (2023).

O Brasil destaca-se no cenário mundial por sua riqueza hídrica, possuindo uma quantidade expressiva de água doce em comparação com muitos outros países, como Kuwait, Emirados Árabes, Qatar, Maldivas e Bahamas. Aproximadamente 12% de toda a água doce superficial do mundo se encontra em território brasileiro, um recurso valioso que molda não apenas o ambiente natural, mas também desempenha papel crucial em sua diversificada economia (ANA, 2018).

A relação entre água e economia no Brasil é intrínseca e multifacetada, refletindo-se em diversos setores-chave, incluindo:

**Agricultura** - como um dos principais produtores agrícolas do mundo, o Brasil depende fortemente da água para a irrigação de suas culturas. A disponibilidade desse recurso influencia diretamente a produtividade e a diversidade dos cultivos, afetando significativamente a produção agrícola e, conseqüentemente, os preços dos alimentos (SIQUEIRA; FERREIRA, 2023).

**Energia** - a água é uma fonte vital de energia no Brasil, especialmente através de usinas hidrelétricas. A geração hidrelétrica representa uma parte considerável da matriz energética nacional. Portanto, a disponibilidade de água tem um impacto direto na

capacidade de geração de energia, o que pode afetar o suprimento energético e os preços da eletricidade (PAULA, 2019).

Indústria - diversos setores industriais dependem da água como insumo essencial para seus processos de fabricação, resfriamento e limpeza. A garantia de disponibilidade de água de qualidade é fundamental para a operação eficiente e sustentável dessas indústrias (MOURA, P. *et al.*, 2020).

Transporte e Logística - o Brasil tem uma extensa rede de hidrovias navegáveis, em que a água desempenha papel crucial no transporte e na logística. O transporte de mercadorias por vias fluviais é uma opção econômica e eficiente para muitas empresas, tornando a manutenção da navegabilidade dos rios fundamental para garantir a continuidade desse modo de transporte (BATISTA, 2017).

Turismo e Recreação - recursos hídricos, como praias, rios, lagos e cachoeiras, são importantes atrativos turísticos no Brasil. O turismo relacionado à água contribui significativamente para a economia local, gerando empregos e receitas através da hospedagem, alimentação, transporte e atividades de lazer (ARAÚJO; ABDALA; MEDINA, 2021).

Apesar da riqueza hídrica, a questão da gestão adequada da água é essencial. O Brasil tem um sistema de gestão de recursos hídricos relativamente avançado, estabelecendo diretrizes por meio da Lei das Águas. No entanto, os desafios persistem, como o uso ineficiente da água na agricultura, impactos ambientais negativos, falta de conscientização e educação sobre o uso responsável da água (ANA, 2018).

Além disso, a questão de a produção de água acompanhar a demanda é indispensável especialmente diante do crescimento populacional, do desenvolvimento econômico e das mudanças climáticas. Investimentos em infraestrutura hídrica, melhoria na eficiência do uso da água e uma abordagem integrada e adaptativa para a gestão dos recursos hídricos são fundamentais para garantir o fornecimento sustentável de água no Brasil (ASSIS; FARIA; BAYER, 2022).

O manejo de bacias hidrográficas emerge como uma abordagem mais abrangente e sustentável para a gestão dos recursos hídricos, priorizando uma visão holística da bacia como uma unidade de gerenciamento. Ao conservar ecossistemas, controlar enchentes e erosão, envolver a participação comunitária e promover a sustentabilidade a longo prazo, o manejo de bacias oferece soluções eficazes para os desafios relacionados à água, contribuindo para o desenvolvimento sustentável do Brasil (SILVA, FABIO *et al.*, 2021).

## 2.2 Desafios futuros da humanidade sobre produção x demanda de água

Os desafios futuros da humanidade em relação à produção e à demanda de água são complexos e variados. À medida que a população mundial cresce e o desenvolvimento econômico se expande, a pressão sobre os recursos hídricos aumenta significativamente. Além disso, as mudanças climáticas estão afetando os padrões de chuva e a disponibilidade de água em muitas regiões, tornando a gestão sustentável da água uma tarefa cada vez mais difícil, sendo que, em muitas partes do mundo, a demanda por água está superando a disponibilidade de recursos hídricos. A escassez de água pode resultar em problemas de abastecimento para a dessedentação de animais, para a agricultura e a indústria (VULOVA *et al.*, 2023) e para a população, principalmente a urbana.

Especificamente nas regiões do nordeste brasileiro, além das secas históricas, tem sido observada uma frequência cada vez maior de eventos de seca, o que tem propiciado condições climáticas e hidrológicas extremas e altamente dinâmicas. É importante ressaltar que essa região e suas sub-regiões estão intrinsecamente ligadas a diversos fenômenos de grande escala e complexidade climática. Esses fenômenos são caracterizados por uma variedade de eventos meteorológicos e climatológicos que contribuem para a instabilidade das chuvas. Fatores como a seca, a semiaridez e o acentuado déficit hídrico são reflexos da variabilidade climática. Nesse contexto, as precipitações tendem a ser escassas, distribuídas de forma irregular no espaço e no tempo, muitas vezes ocorrendo com alta intensidade e curta duração, fatores significativos para a gestão dos recursos hídricos (FERNANDES *et al.*, 2023).

Apesar de ser uma região que conta com importantes bacias hidrográficas, como a do Rio Paraíba do Sul e do Rio Doce, o Sudeste do Brasil também enfrenta problemas relacionados à escassez e à poluição da água, especialmente em razão da urbanização desordenada e da crescente demanda por água em áreas metropolitanas como São Paulo e Rio de Janeiro (BICUDO *et al.*, 2015).

O cerrado brasileiro detém do título de “caixa d’água do Brasil” por sua grande abrangência territorial em relação ao território brasileiro e por abrigar em seu território importantes nascentes que se direcionam para quase todas as bacias hidrográficas (Fig. 4) (SOUZA *et al.*, 2020).

No entanto, muitas áreas urbanas de diversos municípios brasileiros já sofrem problemas por falta de água, necessitando de determinado nível de racionamento na época

da seca, bem como problemas de excesso em razão das inundações na época das águas (LONDE *et al.*, 2014).

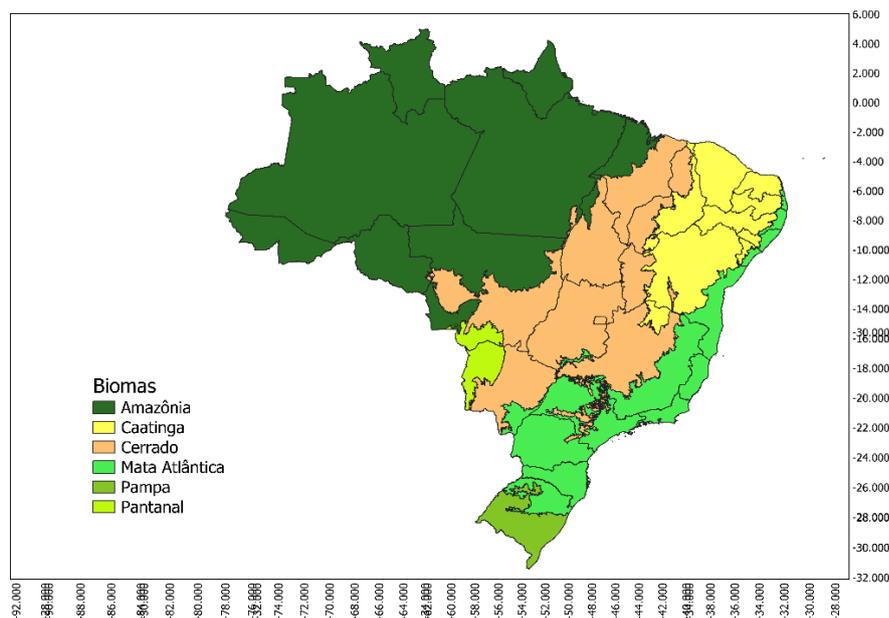


Figura 4 – Principais biomas do Brasil  
Fonte: ANA (2023).

O município de Goiânia, por exemplo, enfrenta recorrentes faltas d'água e inundações, resultantes de uma complexa interação de fatores naturais e antropogênicos. Entre esses fatores, estão a urbanização desordenada, que aumenta as superfícies impermeáveis e reduz a drenagem natural; o assoreamento de córregos e rios decorrente das atividades de desenvolvimento não controladas; o desmatamento e a degradação ambiental, diminuindo a capacidade do solo de absorver água; infraestrutura inadequada de drenagem, exacerbando os riscos de inundação, especialmente durante eventos de chuvas intensas; os impactos das mudanças climáticas, incluindo padrões de precipitação mais intensos e erráticos; e a má gestão dos recursos hídricos, um problema sistêmico que afeta os principais cursos d'água que percorrem a região metropolitana, especialmente o Rio Meia Ponte, Rio dos Bois, Córrego Botafogo, Córrego Cascavel, Córrego Caveirinha e Córrego Capim Puba (TAVARES *et al.*, 2023).

De acordo com ANA (2018), promover o uso sustentável da água na agricultura, indústria e setor doméstico é indispensável para garantir a disponibilidade a longo prazo. Isso pode ser alcançado pela adoção de práticas agrícolas mais eficientes em termos de uso da água, da implementação de tecnologias de reutilização de água na indústria e do incentivo ao uso consciente da água nas residências, por meio de campanhas de

conscientização e políticas de incentivo.

Segundo Silva, J. S., Utsumi e Santos, C. (2023), o desenvolvimento de tecnologias inovadoras para reutilização e dessalinização da água é uma estratégia promissora para enfrentar a escassez de água em muitas regiões. A dessalinização é especialmente importante em áreas costeiras onde a água do mar pode ser uma fonte viável de água potável. Além disso, a reutilização de água tratada para fins não potáveis, como irrigação e uso industrial, pode ajudar a conservar os recursos hídricos.

A implementação de políticas de conservação e proteção de bacias hidrográficas é essencial para garantir a disponibilidade e a qualidade da água. Isso inclui medidas como a criação de áreas de proteção ambiental ao redor de nascentes e rios, a restauração de ecossistemas aquáticos degradados e a implementação de regulamentações para reduzir a poluição e o desmatamento nas áreas de captação de água (ASSIS; FARIA; BAYER, 2021).

A melhoria da governança e a colaboração entre os setores público e privado para a gestão eficiente da água são fundamentais para garantir uma abordagem integrada e coordenada para a gestão dos recursos hídricos. Isso envolve a criação de políticas e regulamentações claras, o estabelecimento de parcerias público-privadas para investimentos em infraestrutura hídrica e a promoção de mecanismos de participação e consulta pública nas decisões relacionadas à água (ANA, 2018).

Segundo Santos, L. *et al.* (2021), a conscientização da população sobre a importância da preservação dos recursos hídricos e a necessidade de uso responsável da água são indispensáveis para promover uma mudança de comportamento em relação ao uso da água. Isso pode ser feito por meio de campanhas educativas, programas de educação ambiental nas escolas e iniciativas comunitárias para incentivar práticas sustentáveis de uso da água.

O investimento em infraestruturas de armazenamento, distribuição e tratamento de água mais eficientes é fundamental para enfrentar os desafios futuros relacionados à água. Isso envolve a modernização e a expansão das redes de distribuição de água potável, a construção de reservatórios adequados para armazenamento e a implementação de sistemas avançados de tratamento de água para garantir a qualidade e a segurança do abastecimento (KARAMOUZ; NAZIF; YASERI, 2017; TORTAJADA, 2014).

No entanto, os barramentos, como barragens e represas, são opções onerosas que acarretam uma série de impactos ambientais, sociais e econômicos consideráveis. Em termos financeiros, sua construção, manutenção e gestão demandam investimentos termos

substanciais. Além disso, sua implementação pode resultar em alterações drásticas nos ecossistemas aquáticos e terrestres, provocando deslocamento de espécies, perda de habitats naturais e mudanças na qualidade da água. Socialmente, a construção de barragens frequentemente leva ao deslocamento forçado de comunidades locais, perda de terras agrícolas e impactos culturais negativos (JONES; BULL, 2020).

Em contrapartida, o manejo de microbacias engloba práticas de conservação e restauração de ecossistemas naturais, como florestas, matas ciliares, solos saudáveis e sistemas de drenagem naturais. Essas estratégias têm o potencial de ampliar a capacidade de retenção e de infiltração de água no solo, aprimorar a qualidade da água, reduzir os riscos de erosão e inundação e favorecer a recarga de aquíferos (OPPERMAN *et al.*, 2022).

### **2.3 Fatores que influenciam o hidrograma de bacias hidrográficas**

Uma bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água das precipitações, convergindo os escoamentos para um único ponto de saída, sendo composta por um conjunto de superfícies vertentes e de rede de drenagem formada por cursos de água que se confluem até formar um leito único no exutório (TUCCI, 2004).

As sub-bacias têm diferentes conceitos em termos de área e quantidade de subdivisões de uma bacia hidrográfica (maior). Segundo Fastino (1996), são áreas maiores que 100 km<sup>2</sup> e menores que 700 km<sup>2</sup>. Já para Rocha (1997) apud Martins *et al.* (2005), elas compreendem áreas menores, entre 200 e 300 km<sup>2</sup>. Não está na lista

Microbacia é uma unidade de drenagem ainda menor que uma sub-bacia hidrográfica, não havendo consenso sobre o tamanho de sua área máxima, que pode variar de 0,1 a 200 km<sup>2</sup> (CECÍLIO; REIS, 2006 apud TEODORO *et al.*, 2007). Podem ser consideradas áreas formadas por canais de 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> e até 3<sup>a</sup> ordem (Strahler), definidas em função de critérios como a dinâmica de processos hidrológicos, geomorfológicos e biológicos (CALIJURI; BUBEL, 2006). Segundo Teodoro *et al.* (2007), microbacias são áreas sensíveis às perturbações de suas características, podendo ser mais facilmente evidenciadas alterações em escalas espacial, temporal e observacional.

O hidrograma de uma bacia hidrográfica é uma representação gráfica da variação do fluxo de água ao longo do tempo em um determinado ponto de medição, geralmente em um rio ou curso de água. O hidrograma é influenciado por uma série de fatores naturais e

antropogênicos (SHAO *et al.*, 2019) que afetam a quantidade de água que entra na bacia e como essa água é liberada ao longo do tempo.

Alguns dos principais fatores que influenciam o hidrograma de bacias hidrográficas:

A quantidade, intensidade e distribuição espacial da precipitação são fatores críticos que influenciam o hidrograma de uma bacia. Chuvas intensas e prolongadas podem resultar em picos de fluxo de água, enquanto períodos secos levam a baixos fluxos (CHISANGA *et al.*, 2022).

As características geológicas e topográficas da bacia influenciam na rapidez com que a água escoar e se infiltra no solo. Solos permeáveis podem permitir maior infiltração, enquanto solos impermeáveis levam a um maior escoamento superficial (DAKIN KUIPER *et al.*, 2022).

A cobertura vegetal na bacia afeta a quantidade de água interceptada pelas folhas, evapotranspirada pela vegetação e infiltrada no solo. Florestas densas tendem a reter mais água, enquanto áreas urbanizadas com pouca vegetação podem gerar escoamento superficial mais rápido (WANG *et al.*, 2023).

As mudanças no uso da terra, como desmatamento, urbanização, agricultura intensiva e mineração, podem alterar a capacidade de infiltração do solo e a velocidade do escoamento, impactando diretamente o hidrograma (WANG *et al.*, 2023).

O tamanho e a forma da bacia hidrográfica e a área total da bacia também influenciam o hidrograma. Bacias maiores tendem a ter hidrogramas mais suaves e gradualmente ascendentes, enquanto bacias menores podem apresentar hidrogramas mais abruptos e de curta duração (DAKIN KUIPER *et al.*, 2022).

A presença de lagos, represas, aquíferos e de outras formas de armazenamento de água na bacia hidrográfica pode atenuar as variações no fluxo de água, liberando água durante períodos secos e armazenando água durante períodos chuvosos (DAKIN KUIPER *et al.*, 2022).

As mudanças climáticas podem alterar padrões de precipitação, temperatura e eventos climáticos extremos, influenciando o hidrograma das bacias hidrográficas ao longo do tempo (SÁNCHEZ-ZAOERO *et al.*, 2023).

Ações humanas, como construção de barragens, desvios de água para irrigação, captação de água para abastecimento urbano e lançamento de poluentes, também podem ter um impacto significativo no hidrograma de uma bacia (PAULA, 2019).

Esses fatores não atuam isoladamente, mas interagem de maneira complexa, tornando o comportamento do hidrograma uma combinação de diferentes influências naturais e antrópicas. O entendimento desses fatores é essencial para uma gestão adequada e sustentável dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica (MARTINS; BERGMANN; SCHIMIDT, 2021).

A preservação das microbacias de primeira ordem desempenha papel fundamental no aumento do fluxo de água nas bacias hidrográficas, tendo em vista que essas microbacias são responsáveis por contribuições contínuas ao longo do curso principal (PATHARE, J.; PATHARE, A., 2020).

#### **2.4 Delimitação de microbacias**

A delimitação de microbacias é o processo de identificar e definir os limites geográficos das unidades de drenagem menores dentro de uma bacia hidrográfica maior. Uma bacia hidrográfica é uma área de terra na qual toda a água que cai ou escorre drena para um único ponto de saída, geralmente um rio principal ou um corpo d'água. Dentro dessa bacia hidrográfica, existem várias subunidades menores, chamadas de microbacias, que também têm seus próprios sistemas de drenagem, com pequenos riachos ou córregos que fluem para um único ponto de saída (LOPES *et al.*, 2022).

A delimitação de microbacias é uma ferramenta importante para o planejamento e gestão dos recursos hídricos. Permite entender melhor a distribuição da água na área estudada, identificar áreas críticas de escoamento ou acúmulo de água e facilitar o desenvolvimento de estratégias de manejo sustentável dos recursos hídricos em diferentes escalas (ALAFFITA; BONILLA; BADILLO, 2020).

A delimitação de microbacias envolve técnicas de análise geoespacial e hidrologia, utilizando dados de topografia, como modelos digitais de elevação, imagens de satélite e informações sobre a rede de drenagem para identificar as divisas naturais que separam as diferentes microbacias (LOPES *et al.*, 2022).

#### **2.5 Indicadores da paisagem sobre o potencial de produção de água de nascentes**

O potencial de produção de água de nascentes é influenciado por uma série de fatores na paisagem. Para avaliar esse potencial, podem ser utilizados diversos indicadores que consideram as características naturais e antrópicas do ambiente

(HOLANDA; SALES, 2022).

Alguns indicadores comuns incluem:

- a) O fator uso e cobertura do solo é um indicador que expressa a distribuição e a proporção das diferentes classes de cobertura na microbacia, como áreas urbanas, agricultura, pastagens, florestas, corpos d'água, entre outros. Isso é fundamental para entender como as atividades humanas estão impactando a paisagem e os recursos hídricos (ROMA *et al.*, 2023);
- b) Os padrões de vegetação dizem respeito à distribuição espacial e à composição da vegetação na microbacia, incluindo tipos de vegetação, densidade, fragmentação e conectividade. Isso é importante para avaliar a saúde dos ecossistemas terrestres e sua capacidade de fornecer serviços ecossistêmicos, como a proteção dos recursos hídricos (ALI *et al.*, 2023);
- c) A topografia da microbacia, incluindo aspectos como altitude, declividade e forma do terreno, desempenha papel importante na dinâmica hidrológica e na distribuição dos recursos hídricos. Portanto, a caracterização da topografia é um indicador importante para entender a hidrologia da bacia (ROMA *et al.*, 2023); e
- d) Os padrões de drenagem analisam a rede de drenagem natural da microbacia, incluindo a densidade de rios e córregos, padrões de fluxo e conectividade hidrológica. Isso é importante para entender como a água flui através da paisagem e como os diferentes usos do solo podem afetar a qualidade e a quantidade dos recursos hídricos (YU *et al.*, 2023).

Esses indicadores são úteis para avaliar o potencial de produção de água de nascentes e podem ser usados em estudos hidrogeológicos, planejamento de recursos hídricos e conservação ambiental. É importante lembrar que cada nascente pode ser única e ser influenciada por uma combinação específica desses fatores, tornando a avaliação do potencial de produção de água uma tarefa complexa e localmente específica (HOLANDA; SALES, 2021).

## **2.6 Metodologias de agrupamento de microbacias responsivas, utilizando indicadores**

Agrupar microbacias responsivas com base em indicadores é uma estratégia útil para a gestão integrada dos recursos hídricos. Essa abordagem permite identificar grupos

de microbacias, com características semelhantes, que podem ser gerenciados de forma mais eficiente e adaptados às suas necessidades específicas.

Análise de Componentes Principais (PCA) é uma técnica estatística multivariada que permite reduzir a dimensionalidade dos dados, combinando múltiplos indicadores em um número menor de componentes principais. Esses componentes capturam a maior parte da variabilidade dos dados originais. As microbacias podem ser agrupadas com base na similaridade dos valores desses componentes principais (ZHANG; CHENG; LIANG, 2018).

A lógica Fuzzy é uma abordagem que permite incorporar a incerteza e a ambiguidade aos dados. A análise Fuzzy pode ser aplicada para agrupar microbacias responsivas, levando em conta a incerteza nas medições dos indicadores, permitindo que as microbacias pertençam a múltiplos grupos, com diferentes graus de pertinência (LIU *et al.*, 2021).

Sistema de Informações Geográficas (SIG) é uma abordagem eficaz para a análise espacial de microbacias e indicadores. O SIG pode integrar dados de diferentes fontes e realizar análises espaciais para identificar padrões e agrupar as microbacias responsivas com base em sua localização geográfica e características físicas (HUANG *et al.*, 2023).

Índices de Similaridade envolvem a criação de índices de semelhança entre as microbacias com base nos indicadores selecionados. Os índices de similaridade podem ser calculados utilizando fórmulas que ponderem a diferença entre os valores dos indicadores. Em seguida, técnicas de classificação, como classificação hierárquica ou de partição, podem ser aplicadas para agrupar as microbacias, com base em suas similaridades (FANG *et al.*, 2017).

Análise de Cluster (ou Agrupamento) é uma técnica que agrupa as microbacias em clusters ou grupos com base em sua proximidade nos valores dos indicadores. Existem diferentes algoritmos de agrupamento, como k-means, hierárquico e DBSCAN, que podem ser usados para essa finalidade. As microbacias dentro de um mesmo cluster apresentam características semelhantes em relação aos indicadores considerados (WALLIS *et al.*, 2023).

## **2.7 Análise estatística de agrupamento de Ward (Distância Euclidiana)**

A análise estatística de agrupamento de Ward é uma técnica que busca agrupar

elementos (neste caso, microbacias) de forma a minimizar a variância dentro de cada grupo. Essa abordagem é baseada nas distâncias euclidianas entre os elementos, sendo conhecida como o método de Ward. O objetivo é formar grupos homogêneos em relação aos critérios utilizados como indicadores de características da paisagem, no nosso caso (CORDEIRO; MARTINEZ; PEÑA-LUQUE, 2021).

No método de Ward, são calculadas as distâncias euclidianas para cada par de microbacias com base nos valores dos indicadores selecionados. A distância euclidiana é uma métrica de similaridade que mede a diferença entre os valores dos indicadores de duas microbacias (CORDEIRO; MARTINEZ; PEÑA-LUQUE, 2021). Em seguida, é feita a fusão das microbacias. Inicialmente, cada microbacia é considerada um cluster separado. O algoritmo de Ward começa a unir as microbacias em pares, formando um cluster maior a cada etapa. A decisão de qual par de microbacias unir é baseada na minimização da soma dos quadrados das diferenças dentro do cluster (Soma de Quadrados Dentro do Cluster - SWC) (SHAO *et al.*, 2019).

O cálculo do SWC é a métrica que representa a variância total dentro de um cluster. O algoritmo busca combinar as microbacias que minimizam o aumento do SWC quando elas são agrupadas. O critério de parada é o processo de fusão que continua até que todas as microbacias estejam agrupadas em um único cluster ou até que um critério de parada seja alcançado.

A análise de agrupamento de Ward com distância euclidiana é uma técnica eficaz para identificar padrões e estruturas dentro dos dados de indicadores das microbacias. Ela permite formar grupos com base na proximidade das características da paisagem, facilitando a interpretação e a análise das relações entre as microbacias em termos de potencial de produção de água, demanda hídrica ou qualquer outro aspecto relevante para o estudo (SANTOS, V.; BLANCO; OLIVEIRA JÚNIOR, 2019).

Vale ressaltar que a escolha dos indicadores e a interpretação dos resultados são indispensáveis para obter agrupamentos significativos e úteis para o planejamento e gestão dos recursos hídricos (PERSELLO *et al.*, 2019)

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O município de Ceres (GO) está localizado na latitude de 15°18'38" S e longitude de 49°36'11" W e pertence à Bacia Hidrográfica do Tocantins-Araguaia (Fig. 5). O clima é Aw, segundo a classificação de Koeppen (ALVARES *et al.*, 2013), com duas estações bem definidas: a estação das chuvas, que vai de novembro a abril, caracterizada por um verão quente e chuvoso; e a estação seca, de maio a outubro, com inverno ameno e seco, sendo os meses mais frios junho e julho.

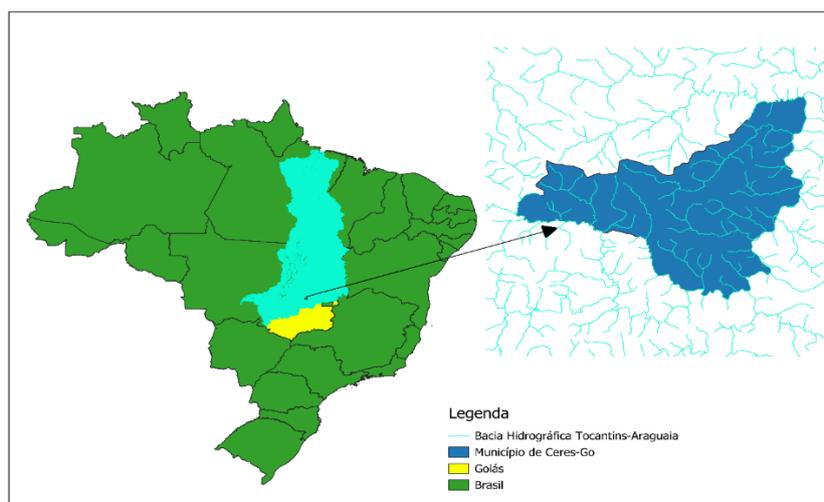


Figura 5 – Disposição do município de Ceres na bacia hidrográfica Tocantins-Araguaia  
Fonte: ANA (2023).

A formação geológica pertence ao complexo Máfico-Ultramáfico de Barro Alto – CBA (Fig. 6) caracterizada por originar solos de moderada fertilidade (OLIVEIRA; JACOMINE; COUTO, 2017), com predominância das classes Chernossolos, Latossolos e Nitossolos (EMBRAPA 2022), Figura 7, refletindo-se em sua vegetação de floresta tropical semidecidual e decidual (DAMBRÓS *et al.*, 1981).

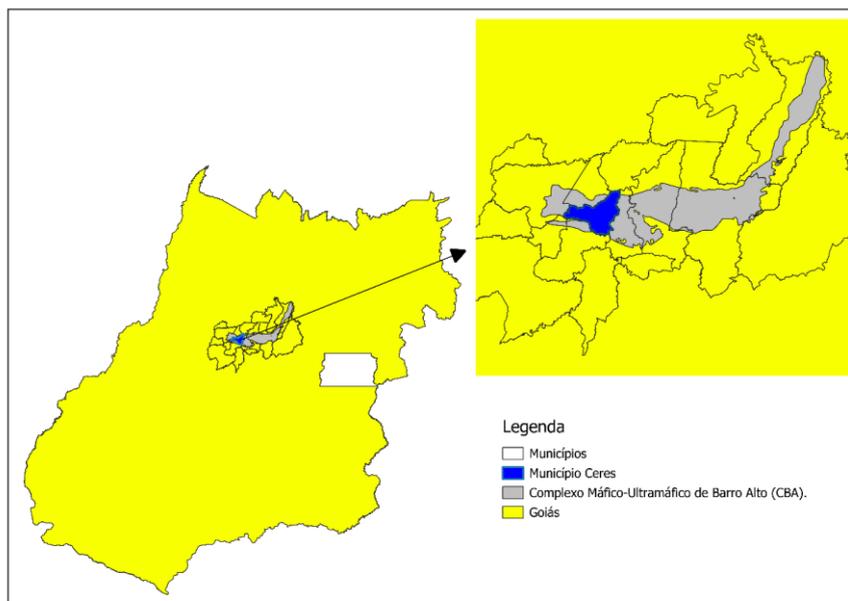


Figura 6 – Formação geológica em que o município de Ceres está inserido  
Fonte: IBGE (2022).

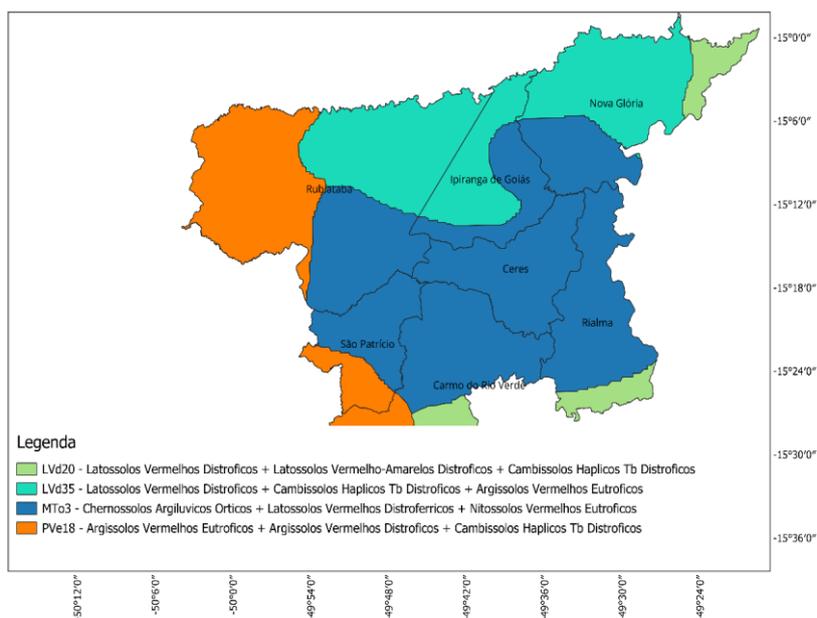


Figura 7 – Solos predominantes no município de Ceres de acordo com Embrapa (2022)  
Fonte: IBGE (2022).

O presente estudo consistiu nas etapas de obtenção e análise de dados de sensoriamento remoto, delimitação de microbacias de primeira ordem, confirmação das microbacias *in loco*, obtenção de dados morfométricos, utilizando ferramentas de SIG, e determinação de vazão no campo.

Os dados de sensoriamento remoto foram adquiridos do IBGE, que continham as coordenadas limites do município de Ceres (GO), e da Agência Nacional de Águas e

Saneamento Básico – ANA, de onde foram obtidos dados vetoriais de hidrologia, que incluíam as nascentes e os cursos d'água. Os dados vetoriais do IBGE foram empregados como máscara para o recorte (delimitação) e processamento dos demais dados. Os dados vetoriais da ANA utilizados (Bacia Tocantins-Araguaia) não apresentavam dados de todas nascentes e cursos d'água (Fig. 8), do município, excluindo diversas microbacias e cursos d'água menores como os de primeira ordem (Strahler). Para tanto, o presente trabalho teve seu foco nessas nascentes do município, que não aparecem nos mapas da ANA.

Para identificar essas nascentes, imagens do satélite CBERS-4A foram utilizadas e fusionadas em formato RGB+PAN (QIU *et al.*, 2023), enquanto os dados matriciais do Modelo Digital de Elevação (MDE), disponibilizados pela ESA/Copernicus, foram utilizados com uma resolução de 10 m pixel<sup>-1</sup>. As imagens do satélite CBERS-4A, (Fig. 8), passaram por tratamento, utilizando o processo de *Pansharpening* com a banda PAN, resultando em imagens com resolução espacial de 2 m pixel<sup>-1</sup>. Com esse processo, foi possível obter a melhor resolução possível com os dados para a região de estudo, os quais usualmente estão disponíveis com resoluções maiores que 10 m pixel<sup>-1</sup> e com cobertura de 100 m<sup>2</sup> em um único pixel, o que aumenta consideravelmente a dificuldade de mapeamento de pequenas nascentes (AKIYAMA; MARCATO JUNIOR; TOMMASELLI, 2018).

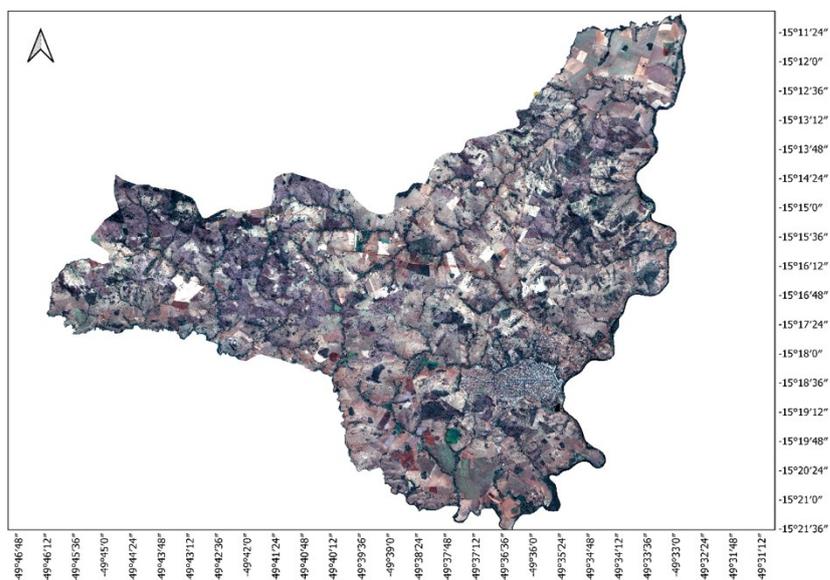


Figura 8 – Imagem do satélite CBERS 4A do município de Ceres  
Fonte: ANA (2023).

Os mapas de MDE em formato raster (Fig. 8) foram tratados utilizando a ferramenta LS Factor (Fig. 9) e sobrepostos às imagens vetoriais da ANA da malha de recursos hídricos disponível para o município em estudo (Fig. 10). Com isso, foi possível identificar as depressões do relevo (ravinas), os trajetos de escoamento de água superficial e, assim, identificar de forma conjunta por exclusão e análise de padrões de vegetação microbacias/nascentes de primeira ordem, bem como sua área de contribuição ainda não mapeadas, conforme mencionado anteriormente.

A etapa seguinte foi a validação, ou seja, a confirmação das microbacias por meio de visitas *in loco*, que foram feitas no período de julho a setembro de 2023. Uma vez identificada a nascente nas imagens, ela foi exportada para o software QField em smartphone com sistema Android para sua localização em campo, de acordo com Montagnetti e Guarino (2021).

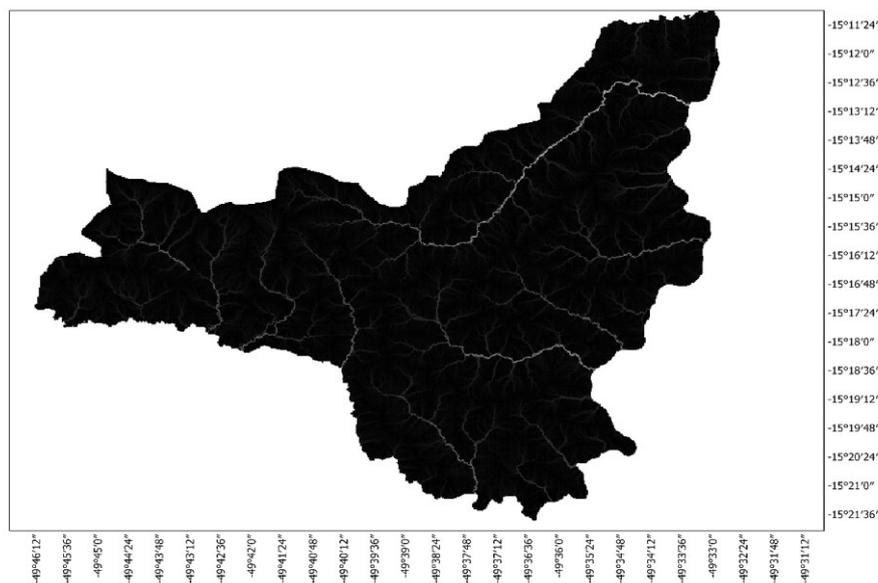


Figura 9 – Modelo digital de elevação após tratamento, usando a ferramenta LS Factor  
Fonte: INPE/CBERS-4A (2023).

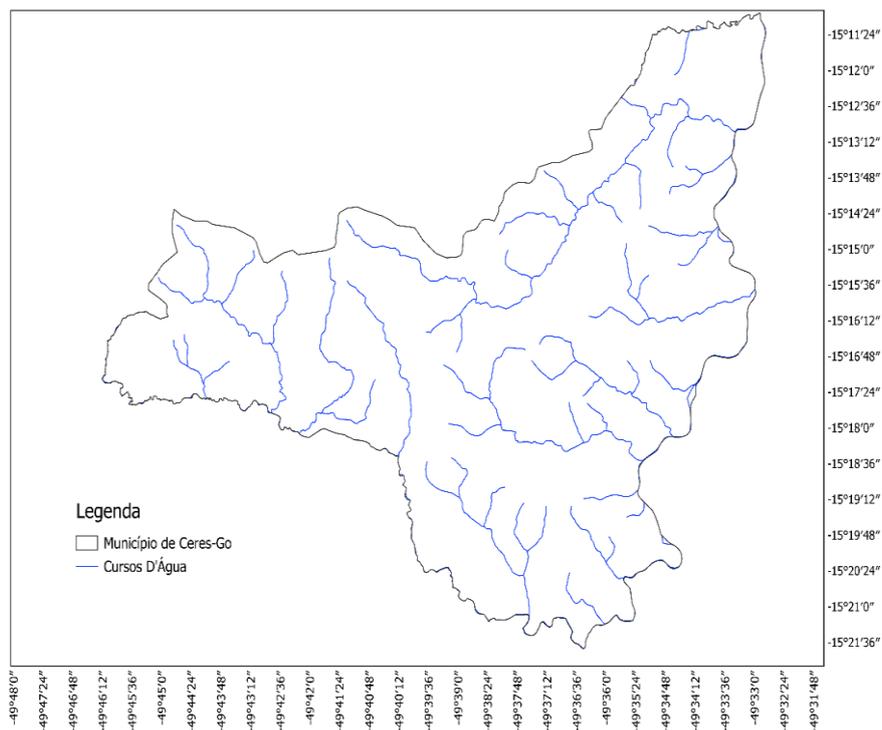


Figura 10 – Cursos d'água constantes na base de dados ANA  
 Fonte: ANA (2023).

Após a confirmação da existência da nascente, foram feitas a determinação da vazão, a coleta de coordenadas no afloramento (Tabela 1) e a obtenção dos dados morfométricos e geométricos da microbacia, utilizando o software QGIS. Os atributos relacionados ao índice de cobertura foram feitos, utilizando dados disponibilizados pelo MapBiomass.

Tabela 1 – Coordenadas das nascentes e vazão média

ID	Latitude	Longitude	Vazão (L h <sup>-1</sup> )
N1	-15,189170899	-49,562273329	0,0
N2	-15,209949013	-49,566714306	2400,0
N3	-15,207843382	-49,579884158	1800,0
N4	-15,211932377	-49,599641894	3000,0
N5	-15,222714415	-49,596288080	1714,3
N6	-15,235597984	-49,630989047	1028,6
N7	-15,241914325	-49,571589656	500,0
N8	-15,261804127	-49,575057413	1800,0
N9	-15,277639570	-49,564321086	3600,0
N10	-15,274445019	-49,577742087	2571,4
N11	-15,298602457	-49,616899141	973,0
N12	-15,311903089	-49,626435426	521,7
N13	-15,343873998	-49,646234227	428,6

(Continua)

Tabela 2 – Coordenadas das nascentes e vazão média (conclusão)

ID	Latitude	Longitude	Vazão (L h <sup>-1</sup> )
N14	-15,324757091	-49,663790272	654,5
N15	-15,306856547	-49,645316667	461,5
N16	-15,250980503	-49,639925494	1800,0
N17	-15,245143621	-49,680263924	766,0
N18	-15,259136057	-49,678989755	734,7
N19	-15,267861880	-49,671442242	590,2
N20	-15,283674206	-49,665237289	679,2
N21	-15,278819996	-49,688001123	620,7
N22	-15,297485126	-49,675789404	705,9
N23	-15,290229745	-49,693135102	666,7
N24	-15,281614315	-49,704997747	486,5
N25	-15,288925349	-49,722453550	1440,0
N26	-15,279129597	-49,731551364	947,4
N27	-15,264641089	-49,724193104	1241,4
N28	-15,289003445	-49,743344199	1000,0
N29	-15,284915920	-49,755454250	3600,0

Fonte: Arquivo pessoal (2023).

Por consequência, os atributos avaliados de cada microbacia foram: perímetro, área, largura média, distância de borda (da nascente ao divisor), índice de Gravélius-Kc, comprimento axial (comprimento do curso principal mais a distância da nascente ao divisor), fator forma-Kf, densidade de drenagem-Dd, distância direta (distância do afloramento ao próximo curso em linha reta; m), índice de sinuosidade-S (relação entre a distância real e a distância direta), altitude máxima na microbacia-MicBac\_Alt\_Max (m), altitude média na microbacia-MicBac\_Alt\_Med (m), altitude mínima na microbacia-MicBac\_Alt\_Min (m), altitude do afloramento da nascente-Nas\_Alt\_Ini (m), altitude final nascente- Nas\_Alt\_Fim (no encontro com o próximo curso; m), declividade na nascente-Nas\_Decliv (entre o afloramento e o próximo curso; %), Vazão-Q (L s<sup>-1</sup>), Floresta-cobertura florestal (%), N floresta-cobertura natural não florestal (%), Agropecuária-cobertura uso agropecuária (%), ANV-área não vegetada (%), Água-cobertura corpos d'água (%), MB-3 (Formação Floresta; %), MB-4 (Formação Savânica; %), MB-9 (Silvicultura; %), MB-11 (Campo Alagado / Área pantanosa; %), MB-12 (Formação Campestre; %), MB-15 (Pastagem; %), MB-19 (Lavoura Temporária; %), MB-21 (Mosaico de Usos; %), MB-24 (Área Urbanizada; %), MB-25 (Outras áreas não Vegetadas; %) e MB-33 (Rios, Lagos e Oceanos; %).

Para caracterizar a produção de água das microbacias (tempo zero) para este e futuros estudos, foi medida a vazão em cada uma das microbacias/nascentes pelo método direto, ou seja, pela quantificação do volume por intervalo de tempo, utilizando um balde graduado em escala de 1 a 5 litros, com 3 repetições. Após o preenchimento do recipiente, o tempo era registrado, resultando na relação volume/tempo. Para tanto, cada curso d'água foi canalizado em tubo com 75 mm de diâmetro com balde posicionado na extremidade (PEREIRA FILHO *et al.*, 2022).

Os dados obtidos dos atributos foram submetidos às análises estatísticas descritivas de mínimo, máximo, média, mediana, desvio padrão, variância, coeficiente de variação, amplitude, assimetria e curtose, à análise de agrupamento de Ward, utilizando a distância euclidiana com base no índice de similaridade e à análise de componentes principais, utilizando o software estatístico Origin Pro (MOBERLY; BERNARDS; WQYMANT, 2018).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o presente estudo, foi possível identificar e ter acesso em nível de campo (validar) a 29 microbacias de primeira ordem (Strahler) (Fig. 11) as quais não constavam anteriormente no banco de dados da ANA (Fig. 10).

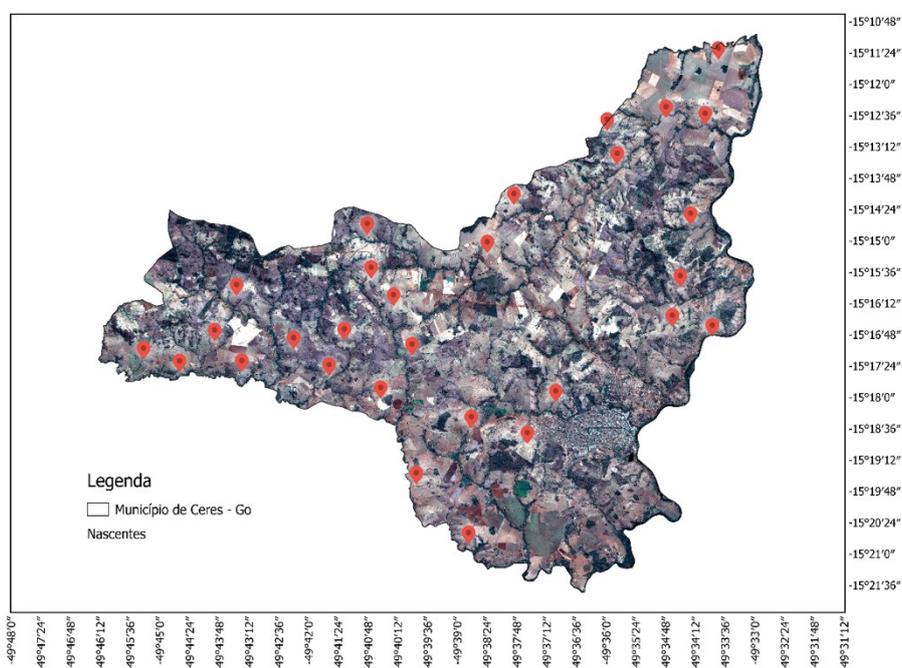


Figura 11 – Município de Ceres com microbacias de 1ª ordem (nascentes), delimitadas por meio de sensoriamento remoto e validação em campo  
Fonte: INPE/CBERS-4A (2023).

A Tabela 2 apresenta os resultados da análise descritiva dos dados das microbacias. O perímetro das microbacias estudadas variou de 2 a 15,903 km, enquanto a área variou de 14,9 a 977,3 ha. A relação entre o perímetro e a área de uma microbacia hidrográfica é um aspecto importante na morfometria de bacias, afetando diretamente características hidrológicas como a velocidade de escoamento e a capacidade de retenção de água. A forma da bacia, representada pelo coeficiente de compacidade ( $K_c$ ), e a razão de alongação ( $K_f$ ) também influenciam essa relação (SILVA *et al.*, 2021).

As características de perímetro, área e largura podem influenciar no número de ocorrências de nascentes em uma região. O índice de Gravélius variou de 1,28 a 1,73 com média de 1,48. Quanto mais próximo de 1, o Kc indica quão próximo é de um círculo de mesma área. As microbacias com Kc próximo de 1,0 apresentam menor tempo de concentração e maior tendência de pico de cheia.

Ao analisar os valores do fator de forma das microbacias estudadas, conforme mostrado na Tabela 2, os resultados ficaram entre 0,334 e 1,656. Isso indica que as microbacias apresentam formato não muito alongado.

Os cursos d'água originados pelas nascentes observadas revelaram acréscimo em seu comprimento em comparação com o curso em linha reta da nascente até a foz de, aproximadamente, 30% no comprimento do curso d'água em decorrência da sua sinuosidade (Tabela 2) (PAZ; PAULA, 2023).

A densidade de drenagem variou de 0,039 a 1,167 km km<sup>-2</sup>, com média de 0,478. Segundo Christofolletti (1969), bacias com Dd < 7,5 km km<sup>-2</sup> apresentam baixa densidade de drenagem.

Outro resultado observado no presente estudo foi a tendência de ocorrência de nascentes em altitudes compreendidas entre 534 e 857 m, conforme ilustrado pelo histograma da Figura 16.

A vazão (Tabelas 2 e 3) variou de 0 a 3600, com média de 1300 L s<sup>-1</sup>, podendo ser considerada próxima da vazão crítica em razão da época em que foi avaliada, ou seja, no final da estação seca. Esse parâmetro deve continuar sendo estudado para se ter uma série de dados e, assim, poder estabelecer o tempo zero para estudos de melhoria das nascentes por meio de práticas de recuperação das áreas de contribuição.

Avaliando o coeficiente de variação (CV) das variáveis, verifica-se que os valores variaram de 7,6, para o índice S, a 433,6, para MB-19. As variáveis relacionadas ao uso e ocupação do solo tenderam a apresentar maiores CVs, com exceção dos usos para agropecuária e floresta. A maioria das variáveis ficou com CV entre 10 e 60. Warrick & Nielsen (1980) propuseram classificação baixa para CV < 12%, média de 12% < CV < 60% e alta para CV > 60%. Nesse sentido, grande parte das variáveis das microbacias estudadas apresentou coeficiente de variação médio.

Segundo Webster (1985), valores de assimetria no intervalo entre -0,5 e 0,5 e curtose menor que 3 indicam que os dados têm distribuição normal. Desta forma, observa-se que a maiorias das variáveis não apresenta distribuição normal.

Tabela 2 – Estatísticas simples de atributos morfométricos do relevo e vazão de microbacias do município de Ceres (GO)

Variável (unidade)	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	DesvPad	Variância	CoefVar	Amplitude	Assimetria	Curtose
Perímetro (km)	2	15,903	6,678	6,786	2,452	6,011	36,71	13,903	1,64	6,63
Área (ha)	14,9	977,3	183,3	166,8	168,9	28513,2	92,1	962,5	3,91	18,46
Largura média (m)	292,5	2428	1010,9	1018	399,4	159520,4	39,51	2135,5	1,28	4,75
Dist. borda (m)	82	1209	570	596	279,9	78366,2	49,11	1127	0,54	-0,15
Índice de Gravélius-Kc	1,278	1,726	1,482	1,47	0,122	0,015	8,26	0,4473	0,44	-0,21
Comprimento axial (m)	433	2625	1285,2	1170	518,9	269274,3	40,38	2192	1,03	0,94
Fator de forma-Kf	0,334	1,656	0,848	0,802	0,337	0,1136	39,75	1,3218	0,72	0,32
D. de drenagem-Dd (km km <sup>-2</sup> )	0,039	1,167	0,478	0,430	0,255	0,065	53,34	1,1275	1,01	0,93
Dist. direta (m)	112	1693	672,3	616	343,5	117995	51,09	1581	1,02	1,52
Índice de Sinuosidade-S	0,963	1,313	1,074	1,044	0,082	0,007	7,6	0,350	1,64	2,78
MicBac_Alt_Max (m)	547	1005	779,9	762	114,2	13047,2	14,65	458	0,15	-0,46
MicBac_Alt_Med (m)	531,3	862,4	669,8	648,5	74,9	5616,2	11,19	331,1	0,71	0,37
MicBac_Alt_Min (m)	519	775	600,3	584	65,2	4253,4	10,86	256	1,02	0,51
Nas_Alt_Ini (m)	534	857	660,3	646	76,6	5861,6	11,6	323	0,52	0,29
Nas_Alt_Fim (m)	521	799	612	593	68,5	4687,4	11,19	278	0,96	0,72
Nas_Decliv (%)	0	23,993	6,855	6,897	4,617	21,319	67,35	23,993	1,75	5,71
Q (L h <sup>-1</sup> )	0	3600	1300	947	992	984727	76,32	3600	1,12	0,24
Floresta (%)	2,16	34,75	10,58	9,16	5,8	33,59	54,8	32,59	2,68	10,47
Não Florestal (%)	0	1,069	0,185	0,1029	0,2573	0,0662	138,96	1,0686	2,15	4,72
Agropecuária (%)	46,74	89,03	79,6	80,09	7,35	54,06	9,24	42,29	-3,28	14,55
ANV (%)	0	10,65	1,169	0,39	2,094	4,384	179,13	10,65	3,66	15,57
Água (%)	0	2,171	0,125	0	0,4778	0,2283	381,53	2,171	3,83	14,23
MB-3 (%)	1,701	22,247	6,762	5,348	4,073	16,587	60,23	20,546	2,16	6,62
MB-4 (%)	0,456	12,5	3,815	3,812	2,542	6,463	66,64	12,044	1,48	3,51
MB-9 (%)	0	1,6056	0,0882	0	0,3199	0,1023	362,54	1,6056	4,33	19,62
MB-11 (%)	0	0,7093	0,0825	0	0,1625	0,0264	197,02	0,7093	2,7	7,89
MB-12 (%)	0	1,0686	0,1027	0,0202	0,2139	0,0457	208,32	1,0686	3,7	15,52
MB-15 (%)	46,74	89,03	79,14	79,47	7,44	55,38	9,4	42,29	-3,03	12,88
MB-19 (%)	0	8,408	0,366	0	1,586	2,517	433,06	8,408	5,02	25,92
MB-21(%)	4,626	16,376	8,348	8,492	2,406	5,788	28,82	11,751	1,38	3,16
MB-24 (%)	0	9,555	0,428	0	1,833	3,361	428,58	9,555	4,81	23,97
MB-25 (%)	0	4,384	0,741	0,357	0,961	0,923	129,64	4,384	2,26	6,41
MB-33 (%)	0	2,171	0,1252	0	0,4778	0,2283	381,53	2,171	3,83	14,23

MicBac\_Alt\_Max - altitude máxima na microbacia, MicBac\_Alt\_Med - altitude média na microbacia, MicBac\_Alt\_Min - altitude mínima na microbacia, Nas\_Alt\_Ini - altitude do afloramento da nascente, Nas\_Alt\_Fim - altitude final nascente (no encontro com o próximo curso), Nas\_Decliv - declividade na nascente (entre o afloramento e o próximo curso; Q - vazão, Floresta - cobertura florestal, N floresta-cobertura natural não florestal, Agropecuária-cobertura uso agropecuária, ANV-área não vegetada, Água-cobertura corpos d' água, MB-3 (formação floresta), MB-4 (formação savânica), MB-9 (silvicultura), MB-11 (campo alagado / área pantanosa), MB-12 (formação campestre), MB-15 (pastagem), MB-19 (lavoura temporária), MB-21 (mosaico de usos), MB-24 (área urbanizada), MB-25 (outras áreas não vegetadas), MB-33 (rios, lagos e oceanos)

Tabela 3– Coordenadas das nascentes e vazão média nas microbacias estudadas

ID	Latitude	Longitude	Vazão (L h <sup>-1</sup> )
N1	-15,189170899	-49,562273329	0,0
N2	-15,209949013	-49,566714306	2400,0
N3	-15,207843382	-49,579884158	1800,0
N4	-15,211932377	-49,599641894	3000,0
N5	-15,222714415	-49,596288080	1714,3
N6	-15,235597984	-49,630989047	1028,6
N7	-15,241914325	-49,571589656	500,0
N8	-15,261804127	-49,575057413	1800,0
N9	-15,277639570	-49,564321086	3600,0
N10	-15,274445019	-49,577742087	2571,4
N11	-15,298602457	-49,616899141	973,0
N12	-15,311903089	-49,626435426	521,7
N13	-15,343873998	-49,646234227	428,6
N14	-15,324757091	-49,663790272	654,5
N15	-15,306856547	-49,645316667	461,5
N16	-15,250980503	-49,639925494	1800,0
N17	-15,245143621	-49,680263924	766,0
N18	-15,259136057	-49,678989755	734,7
N19	-15,267861880	-49,671442242	590,2
N20	-15,283674206	-49,665237289	679,2
N21	-15,278819996	-49,688001123	620,7
N22	-15,297485126	-49,675789404	705,9
N23	-15,290229745	-49,693135102	666,7
N24	-15,281614315	-49,704997747	486,5
N25	-15,288925349	-49,722453550	1440,0
N26	-15,279129597	-49,731551364	947,4
N27	-15,264641089	-49,724193104	1241,4
N28	-15,289003445	-49,743344199	1000,0
N29	-15,284915920	-49,755454250	3600,0

Fonte: Arquivo pessoal (2023).

O município (Fig. 12; Tabela 2) tem pequena área de formação florestal natural, com predominância de uso agrícola e pecuário, que varia de 46,74 a 89,03 %. A pequena área de formação florestal natural pode impactar significativamente o meio ambiente e a economia local. Ambientalmente, essa alta taxa de uso agrícola e pecuário pode levar à degradação do solo, perda de biodiversidade e ao aumento da erosão. A redução da área de florestas naturais também diminui a infiltração de água das chuvas e a capacidade de sequestro de carbono, o que pode contribuir para as mudanças climáticas (FIGUEIRA; VALCARCEL; BAPTISTA, 2019; LONGO *et al.*, 2023).

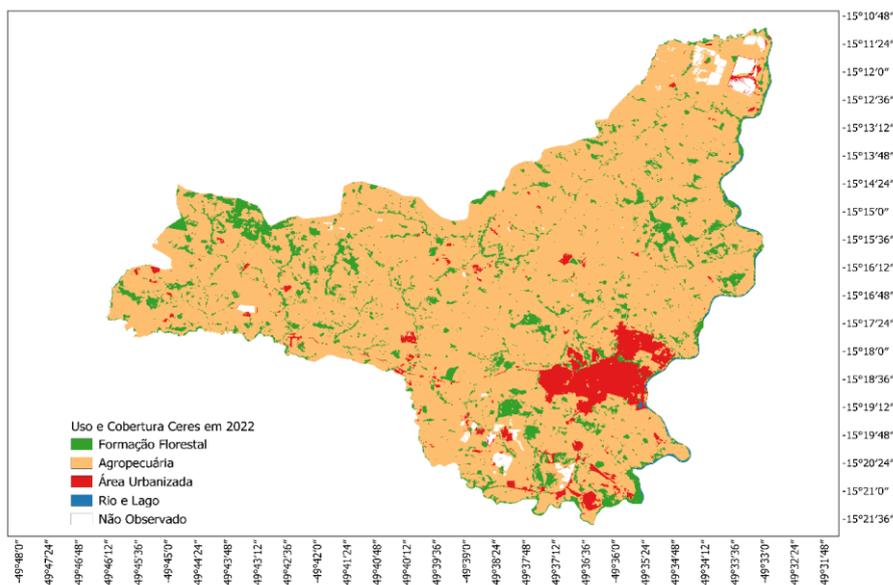


Figura 12 – Mapa de uso e cobertura do solo de Ceres em 2022  
 Fonte: MapBiomass (2022).

O dendrograma apresentado na (Fig. 13; Tabela 3) mostra que a análise de *clustering* aplicada aos dados agrupou as 29 microbacias estudadas em seis grupos distintos, com semelhança de aproximadamente 90% das microbacias dentro do grupo. A quantidade de microbacias por grupo variou de 1 a 12, tendo os grupos II e III, Tabela 3, maior quantidade de microbacias, indicando maior homogeneidade de características. A classificação das microbacias em grupos permite selecionar quais são prioritárias para serem utilizadas em projetos de melhoria da vazão, que após identificado respostas positivas às práticas conservacionistas realizadas para aumentar a produção de água pode-se extrapolar a metodologia para outras microbacias do mesmo grupo. Com isso, se espera maior probabilidade de sucesso e economia de recursos financeiros.

Tabela 4 – Relação de grupos de microbacias semelhantes

Grupo	Nascentes
I	N1 N9 N2 N23 N3
II	N4 N20 N7 N11 N21 N28 N12 N10 N25 N13 N14 N15
III	N6 N29 N16 N17 N18 N26 N19 N8 N27
IV	N22 N24
V	N5

Fonte: Arquivo Pessoal (2023).

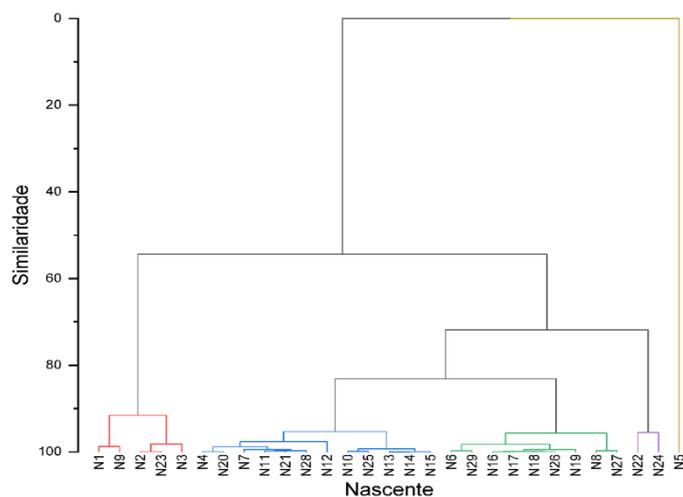


Figura 13 – Classificação hierárquica para 29 microbacias no município de Ceres  
Fonte: Arquivo Pessoal (2023).

A Figura 14 mostra o mapa do município com a disposição das microbacias de seus grupos. Observa-se que, de forma geral, não houve padrão de proximidade espacial no mesmo grupo. No grupo 2, as nascentes ficaram localizadas mais próximas umas das outras em relação aos demais grupos.

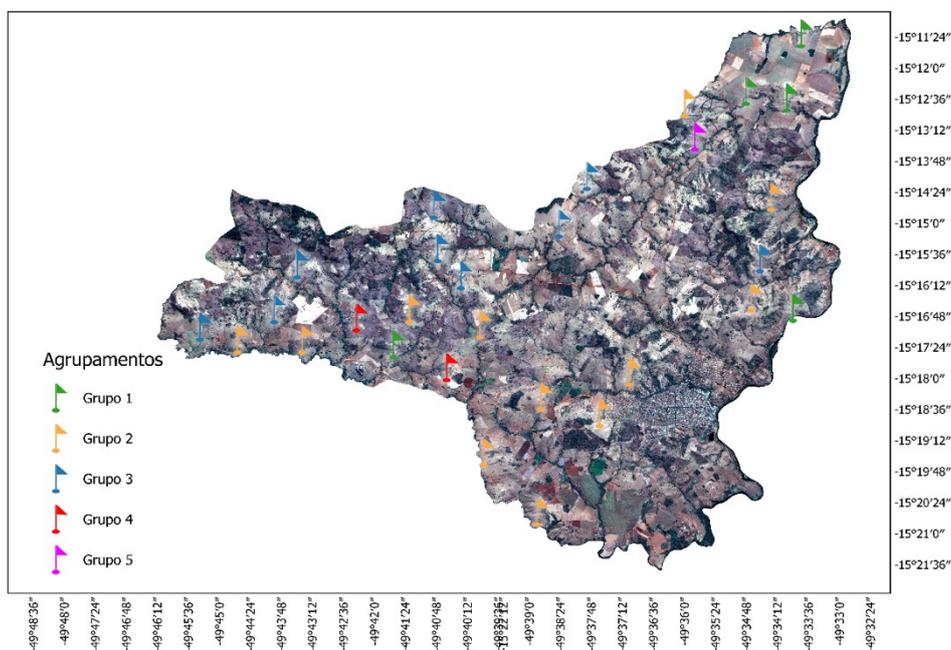


Figura 14 – Localização dos grupos de microbacias no município de Ceres  
Fonte: Arquivo Pessoal (2023).

Na Figura 15, as nascentes foram espacializadas nas microbacias de ordem superior e conforme a divisão política administrativo com o objetivo de identificar

possíveis relações com a divisão territorial do município. Observa-se, com base no agrupamento realizado, que somente os grupos III e II tiveram microbacias mais próximas dentro dos territórios (córregos) classificados pelo município.

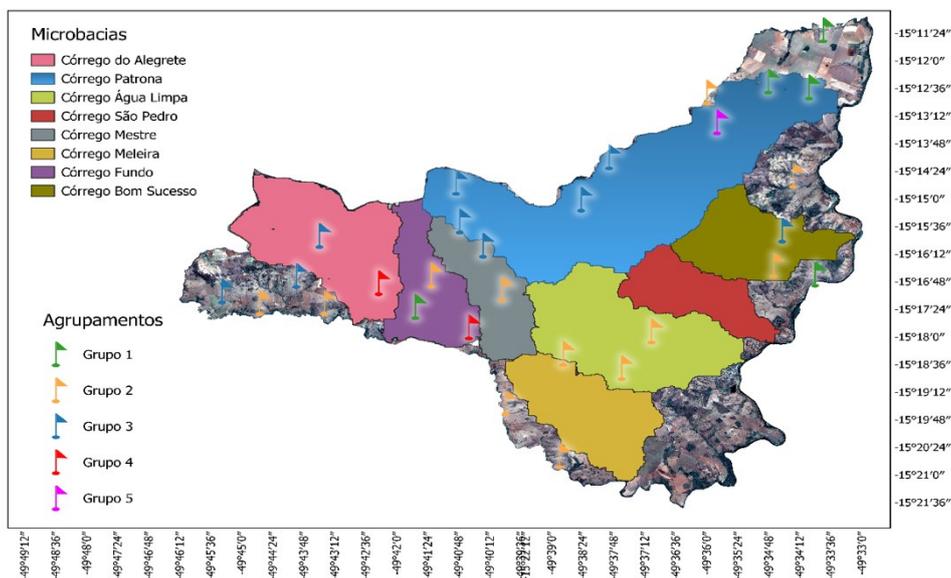


Figura 15 – Localização dos grupos de microbacias no município de Ceres, considerando divisão territorial (córregos) político-administrativa  
Fonte: Arquivo Pessoal (2023).

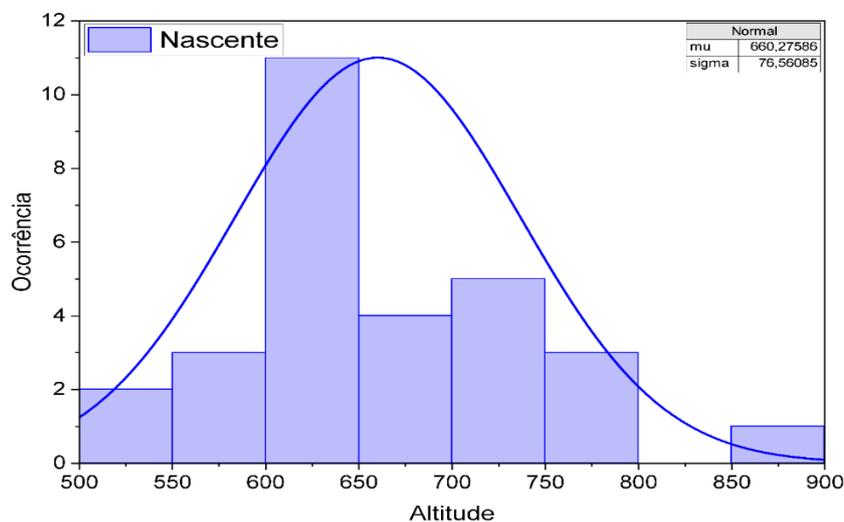


Figura 16 – Altitude de ocorrência de nascentes  
Fonte: Arquivo Pessoal (2023).

De acordo com a Figura 17 e a Tabela 4, as variáveis mais correlacionadas às amostras (microbacias) foram perímetro, área, largura média, distância de borda, Kc, Kf, Dd e distância direta, que, juntas, representam mais de 90% da variância acumulada

dos dados. As demais variáveis mostraram baixa capacidade de discriminar os tratamentos (microbacias), principalmente as relacionadas ao uso da terra.

Tabela 5 – Autovalores e componentes principais 1, 2 com correlação individual e acumulada entre variáveis e amostras (microbacias)

	Variável	Autovalor	Varição Individual (%)	Varição Acumulada (%)	ACP 1	ACP 2
1	Perímetro	7,14559	21,65	21,65	0,18205	0,13326
2	Área	5,84597	17,72	39,37	0,15546	0,06397
3	Larg. Med.	3,6472	11,05	50,42	0,20331	0,00513
4	Borda	3,31775	10,05	60,47	0,04577	0,30304
5	Kc	2,46207	7,46	67,94	-0,18883	0,1677
6	C. axial	2,10256	6,37	74,31	0,14459	0,35407
7	Kf	1,72468	5,23	79,53	0,07556	-0,26699
8	Dt	1,487	4,51	84,04	0,17236	0,27399
9	Dd	1,21328	3,68	87,72	-0,0207	0,16892
10	Dist. Dir.	1,06958	3,24	90,96	0,17416	0,27677
11	S	0,86851	2,63	93,59	-0,03845	-0,13116
12	MicBac. Alt. Max	0,65349	1,98	95,57	0,19097	0,24911
13	MicBac. Alt. Med	0,49095	1,49	97,06	0,23245	0,13699
14	MicBac. Alt. Min.	0,34768	1,05	98,11	0,24224	0,05965
15	Nas. Alt. Ini.	0,16102	0,49	98,60	0,27338	0,11575
16	Nas. Dec.	0,13657	0,41	99,01	0,0319	0,26004
17	Q	0,12232	0,37	99,38	-0,11686	0,06881
18	Flo. (%)	0,0754	0,23	99,61	-0,28505	0,12887
19	N Flo. (%)	0,05577	0,17	99,78	-0,09529	0,20647
20	Agro. (%)	0,03378	0,10	99,88	0,30948	-0,10873
21	ANV (%)	0,01858	0,06	99,94	-0,01166	-0,01106
22	Água (%)	0,01023	0,03	99,97	-0,19636	0,24786
23	MB-3%	0,0067	0,02	99,99	-0,2563	0,19713
24	MB-4%	0,00252	0,01	100,00	-0,23921	-0,02203
25	MB-9%	6,04E-04	0,00	100,00	-0,00121	-0,03554
26	MB-11%	2,02E-04	0,00	100,00	-0,07743	0,14544
27	MB-12%	0	0,00	100,00	-0,05579	0,13786
28	MB-15%	0	0,00	100,00	0,31432	-0,09902
29	MB-19%	0	0,00	100,00	-0,03978	-0,03233

Fonte: Arquivo Pessoal (2023).

A Figura 17 mostra a análise de componentes principais com base em todas as variáveis estudadas. Observa-se no primeiro componente (direita para esquerda) a formação de 3 grupos: um com as microbacias 17 e 18, um segundo grupo com a

microbacia 9, e um terceiro com as demais microbacias que ficaram próximos da média. No componente 2 (baixo para cima), são observados também 2 grupos distintos com as microbacias 1, 15, 13, 22, 3 e 2, e outro com, a microbacias 7, sendo que as demais estão no mesmo grupo do componente 2, ou seja, próximo da média dos dados. Os resultados da análise de componentes principais foram relativamente coerentes com a análise de agrupamento de Ward, tendo em vista as microbacias comuns nos grupos I e III de Ward.

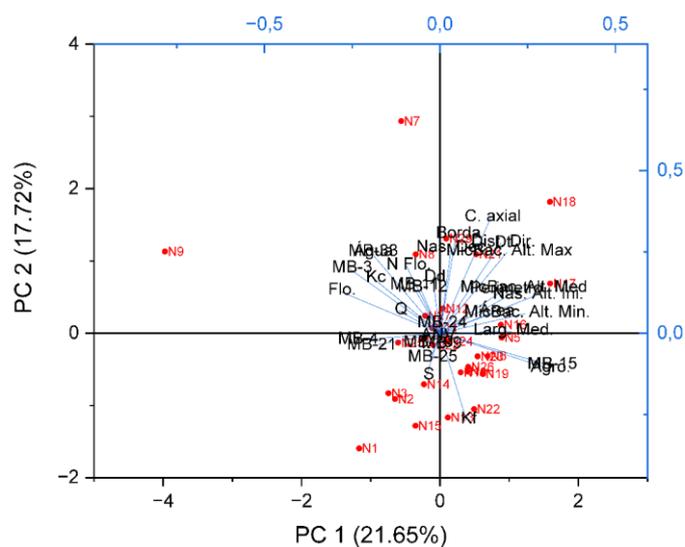


Figura 17 – Análise de componentes principais para dados hidrológicos e de uso da terra em microbacias, em Ceres (GO)

Fonte: Arquivo Pessoal (2023).

## 5 CONCLUSÕES

De acordo com a metodologia empregada, há seis grupos de nascentes com características semelhantes.

As variáveis perímetro, área, largura média, distância de borda, Kc, Kf, Dd e distância direta são as mais importantes para discriminar microbacias. As variáveis relacionadas à uso e ocupação do solo apresentam baixa capacidade preditora para esse fim.

Observou-se que a ocorrência das nascentes predomina em altitude entre 600 e 650 metros.

Os resultados da análise de componentes principais foram relativamente coerentes com o método de agrupamento de Ward.

A metodologia empregada para agrupar as nascentes se mostra promissora, devendo ser aprimorada em futuros estudos

## 5 REFERÊNCIAS

AKIYAMA, Thales Shoití; MARCATO JUNIOR, José; TOMMASELLI, Antonio Maria Garcia. Geometrical correction of CBERS-4/PAN images with generalized models, using as reference national system of land management data. **Anuário do Instituto de Geociências**, UFJR. v.41, n.2, p.358-368, Aug. 2018.

[https://doi.org/10.11137/2018\\_2\\_358\\_368](https://doi.org/10.11137/2018_2_358_368) Disponível em: <https://revistas.ufjr.br/index.php/aigeo/article/view/28471/15502> Acesso em: 25 jun. 2023.

ALAFFITA, Leobardo Chávez; BONILLA, Mauricio Hernández; BADILLO, Griselda Benítez. Intervención y transformación de áreas naturales, en el contexto nanocuenca, como espacios públicos en la ciudad de Xalapa-México. **ACE: Architecture, City and Environment**, Universidade Politécnic de Caralunya, Barcelona; Espanha, v.15, n.44, out. 2020. <http://dx.doi.org/10.5821/ace.15.44.8984> Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/348685132\\_Intervencion\\_y\\_transformacion\\_de\\_areas\\_naturales\\_en\\_el\\_contexto\\_nanocuenca\\_como\\_espacios\\_publicos\\_en\\_la\\_ciudad\\_de\\_Xalapa-Mexico](https://www.researchgate.net/publication/348685132_Intervencion_y_transformacion_de_areas_naturales_en_el_contexto_nanocuenca_como_espacios_publicos_en_la_ciudad_de_Xalapa-Mexico) Acesso em: 9 mar. 2023.

ALI, Hazrat; MUHAMMAD, Zahir ; MAJEED, Muhammad; AZIZ, Robina; KHAN, Adam; MANGRIO, Wali Muhammad; ABDO, Hazem Ghassan; ALMOHAMAD, Hussein; AL DUGHAIRI, Ahmed Abdullah. Vegetation diversity pattern during spring season in relation to topographic and edaphic variables in sub-tropical zone. **Botanical Studies**, [S.l.], v.64, n.25, Sept. 2023. Disponível em: <https://as-botanicalstudies.springeropen.com/articles/10.1186/s40529-023-00398-5> Acesso em: 27 dez. 2023.

ALVARES, Clayton Alcarde; STAPE, Jose Luiz; SENTELHAS, Paulo Cesar; GONCALVES, Jose Leonardo de Moraes; SPAROVEK, Gerd. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Berlin, Germany: 1992, Stuttgart, v.22, n.6, p.711-728, 2013, published online Jan. 2014. Disponível em: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/http://www.lerf.eco.br/img/publicacoes/Alvares\\_etal\\_2014.pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/http://www.lerf.eco.br/img/publicacoes/Alvares_etal_2014.pdf) Acesso em: 5 jul. 2023.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). Relatório: Conjuntura dos Recursos Hídricos 2017. [Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional](https://www.gov.br/ana/pt-br/centrais-de-conteudos/videos/videos-ana/relatorio-conjuntura-dos-recursos-hidricos-2017), 7 fev. 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/centrais-de-conteudos/videos/videos-ana/relatorio-conjuntura-dos-recursos-hidricos-2017> Acesso em: 2 abr. 2022.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). Conjuntura dos Recursos

Hídricos, Brasil, 2022. Informe Anual. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, Brasília: DF, 2023. 105p.:il. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos> Acesso em: 27 dez 2023

ARAÚJO, Raquel Nominato; ABDALA, Klaus de Oliveira; MEDINA, Gabriel da Silva. Impacto ambiental do turismo de pesca: aplicação da Lei da Cota Zero no Rio Araguaia, em Goiás. **Interações**, Campo Grande, v.22, n.2, Apr.-Jun. 2021. <https://doi.org/10.20435/inter.v22i2.2428> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/inter/a/c4cbwwLDFh7hTC3ZRBZBdkD/abstract/?lang=pt#> Acesso em: 7 out. 2022.

ASSIS, Pâmela Camila; FARIA, Karla Maria Silva de; BAYER, Maximiliano. Unidades de Conservação e sua efetividade na proteção dos recursos hídricos na Bacia do Rio Araguaia. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, MG, v.34, 2022. <https://doi.org/10.14393/SN-v34-2022-60335> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sn/a/Zy8CPNvzw9X9G7Q7wHbNXfB/abstract/?lang=pt> Acesso em: 23 out. 2023.

BARBALHO, Maria Gonçalves da Silva; LEAL, Antonio Cezar; RODRIGUES, João Osvaldo Nunes; MORAES, Cristiane Gonçalves de; PEIXOTO, Josana Castro. Unidades da paisagem da bacia do Rio das Almas, microrregião de Ceres/GO. **Planeta Amazônia: Revista Internacional de Direito Ambiental e Políticas Públicas**, [S.l.], v.153, ago. 2019. [10.18468/planetaamazonia.2018n10.p153-166](https://doi.org/10.18468/planetaamazonia.2018n10.p153-166) Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/335370871\\_UNIDADES\\_DA\\_PAISAGEM\\_D\\_A\\_BACIA\\_DO\\_RIO\\_DAS\\_ALMAS\\_MICRORREGIAO\\_DE\\_CERESGO](https://www.researchgate.net/publication/335370871_UNIDADES_DA_PAISAGEM_D_A_BACIA_DO_RIO_DAS_ALMAS_MICRORREGIAO_DE_CERESGO) Acesso em: 26 maio 2023.

BATISTA, Alcelides. A (in)viabilidade da navegação comercial pelo Araguaia: um século de desafios. **MARGENS - Revista Interdisciplinar**, Instituto Educacional Santa Catarina - IESC, v.11, n.16, p.161-173, Jun. 2017. Disponível em: Acesso em: 27 jun. 2022.

BICUDO, Carlos Eduardo de Mattos; NOBRE, Carlos Afonso; TUCCI, Carlos; DALBERSON, Danny; ASSAD, Eduardo; BARBOSA, Francisco; KELMAN, Jerson; TUNDISI, José Galizia; MARENGO, José; ROSA, Luiz Pinguelli; SELUCHI, Marcelo; PORTO, Monica; NUCCI, Nelson Luiz Rodrigues; AZEVEDO, Sandra; SOARES, Sérgio Ayrimoraes; CIMINELLI, Virginia. Carta de São Paulo Recursos hídricos no Sudeste: segurança, soluções, impactos e riscos. **Revista USP**, São Paulo, n.106, p.11-20, jun.-ago.-set. 2015. <https://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/110009> Disponível em: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgicfindmkaj/https://core.ac.uk/download/pdf/268322294.pdf](https://efaidnbmnnnibpcajpcgicfindmkaj/https://core.ac.uk/download/pdf/268322294.pdf) Acesso em: 19 nov. 2023.

CALIJURI, Maria do Carmo; BUBEL, Ana Paola Michelano. Conceituação de microbacias. In: LIMA, Walter de Paula; ZAKIA, Maria José Brito (org.) *As florestas plantadas e a água: implementando o conceito da microbacia hidrográfica como unidade de planejamento*. São Carlos: Ed. RiMA, 2006. 226p

CHISANGA, Charles Bwalya; MUBANGA, Kabwe Harnadih; SICHINGABULA,

Henry M.; BANDA, Kawawa; MUCHANGA, Manoah; NCUBE, Lindani; NIEKERK, Elna Joanna van; ZHAO, Baojin; MKONDE, Akhona Amanda; RASMENI, Sonwabile Kidwell. Modelling climatic trends for the Zambezi and Orange River Basins: implications on water security. **Journal of Water and Climate Change**, [S.l.], v.13, n.3, p. 1275-1296, Mar. 2022. <https://doi.org/10.2166/wcc.2022.308> Disponível em: [https://iwaponline.com/jwcc/article/13/3/1275/87038/Modelling-climatic-trends-for-the-Zambezi-and](https://iwaponline.com/jwcc/article/13/3/1275/87038/Modelling-climatic-trends-for-the-Zambezi-and-Acesso) Acesso em: 9 jun. 2023.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. **Revista Geomorfologia**, Campinas, v.18, n.9, p.35-64, 1969. Disponível em: [chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/https://cesad.ufs.br/ORBI/public/uploadCatalogo/15511716022012Geomorfologia\\_Fluvial\\_e\\_Hidrografia\\_aula\\_9.pdf](chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/https://cesad.ufs.br/ORBI/public/uploadCatalogo/15511716022012Geomorfologia_Fluvial_e_Hidrografia_aula_9.pdf) Acesso em: 15 jul. 2023.

CORDEIRO, Maurício CR; MARTINEZ, Jean-Michel; PEÑA-LUQUE, Santiago. Automatic water detection from multidimensional hierarchical clustering for Sentinel-2 images and a comparison with Level 2A processors. **Remote Sensing of Environment**, [S.l.], v.253, p.112209, Feb. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112209> Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425720305824> Acesso em: 26 set. 2022.

DAKIN KUIPER, Spencer; COOPS, Nicholas C.; TOMPALSKI, Piotr; HINCH, Scott G.; NONIS, Alyssa; WHITE, Joanne C.; HAMILTON, Jeffery; DAVIS, Donald J. Characterizing stream morphological features important for fish habitat using airborne laser scanning data. **Remote Sensing of Environment**, [S.l.], v.272, p.112948, Apr. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.112948> Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425722000621> Acesso em: 26 set. 2022.

DAMBRÓS, Lino Augusto; DIAS, Armando de Araújo; FONZAR, Benedito Carlos. Vegetação. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. Folha SD.22 Goiás: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Projeto RADAMBRASIL v.25, Levantamento de Recursos Naturais, Rio de Janeiro, p.509-560, 1981. 636p.:il.mapas. Acesso em: 20 set. 2022.

DIAS, Denise Oliveira; MIZIARA, Fausto; LAMEIRÃO, Camila Romero. O governo de Getúlio Vargas (1930-1945) e as implicações políticas para Goiás. **Research, Society and Development**, [S.l.], v.10, n.16, p.e286101623652, 12 dez. 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i16.23652> Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/23652> Acesso em: 22 jul. 2022.

FANG, Meihong; JU, Weimin; ZHAN, Wenfeng; CHENG, Tao; QIU, Feng; WANG, Jun. A new spectral similarity water index for the estimation of leaf water content from hyperspectral data of leaves. **Remote Sensing of Environment**, [S.l.], v.196, p.13-27, Jul. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.04.029> Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425717301864?via%3Dihub> Acesso em: 2 ago. 2023.

FIGUEIRA, Douglas Leite; VALCARCEL, Ricardo; BAPTISTA, Marcelle Nardelli. Technical contributions to territorial planning and the use of ecosystemic services in a hydrographic basin with a water deficit in the Atlantic Rainforest of Brazil. **Revista Ambiente & Água**, v.14, n.2, p.e2296., 2019. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2296> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/3BcQ6BPcD6vzPwJgnHkhZCr/?lang=en> Acesso em: 3 dez. 2022.

HOLANDA, Débora Maciel Castelo; SALES, Marta Celina Linhares. Nascentes na legislação brasileira: implicações e consequências para o gerenciamento hídrico ambiental. **Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)**, [S.l.], v.23, n.3, 2021. <https://doi.org/10.35701/rcgs.v23.809> Disponível em: <https://rcgs.uvanet.br/index.php/RCGS/article/view/809> Acesso em: 25 abr. 2023.

HUANG, Fan; JIANG, Sida; ZHAN, Wenfeng; BECHTEL, Benjamin; LIU, Zihan; DEMUZERE, Matthias; HUANG, Yuan; XU, Yong; MA, Lei; XIA, Wanjun; QUAN, Jinling; JIANG, Lu; LAI, Jiameng; WANG, Chenguang; KONG, Fanhua; DU, Huilin; MIAO, Shiqi; CHEN, Yangyi; CHEN, Jike. Mapping local climate zones for cities: A large review. **Remote Sensing of Environment**, [S.l.], v.292, p.113573, 1 Jul. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2023.113573> Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425723001244> Acesso em: 3 dez. 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). SGI 2.5 – Introdução ao Sistema de Informações Geográficas – SGI. Imagem Geosistemas São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1995.

JONES, Isabel L.; BULL, Joseph W. Major dams and the challenge of achieving “No Net Loss” of biodiversity in the tropics. **Sustainable Development**, special issue article, n.28, p.435-443, 2020. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/sd.1997> Acesso em: 22 out. 2023.

KARAMOUZ, Mohammad; NAZIF, Sara; YASERI, Korosh. Reliability-Based Assessment of Lifecycle Cost of Urban Water Distribution Infrastructures. **Journal of Infrastructure Systems**, [S.l.], v.22, n.4, 2017. 411p. Disponível em: <https://ikcest.org/journal-534119.htm> Acesso em: 1 maio 2022.

LIU, Xiaohan; STEELE, Christopher; SIMIS, Stefan; WARREN, Mark; TYLER, André; SPYRAKOS, Evangelos; SELMES, Nick; CAÇADOR, Pedro. Retrieval of Chlorophyll-a concentration and associated product uncertainty in optically diverse lakes and reservoirs. **Remote Sensing of Environment**, [S.l.], v.267, p.112710, 15 dez. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112710> Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425721004302> Acesso em: 2 jun. 2022.

LONDE, Luciana de Resende; COUTINHO, Marcps Pellegrini; DI GREGÓRIO, Leandro Torres; SANTOS, Leonardo Bacelar Lim; SORIANO, Érico. Desastres relacionados à água no Brasil: perspectivas e recomendações. **Ambiente & Sociedade**, v.17, n.4, p.133-152, Dec. 2014. <https://doi.org/10.1590/1809-4422ASOC1082V1742014>

Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/D65yDDZ5kXt5vrpH6PX6QPw/?lang=pt>  
Acesso em: 21 maio 2023.

LONGO, Regina Márcia; GARCIA, Joice Machado; GOMES, Raissa Caroline; NUNES, Adélia Nobre. Identifying key indicators for monitoring water environmental services payment programs - a case study in Brazil. **Sustainability**, v.15, n.12, p. 9593, 15 Jun. 2023. <https://doi.org/10.3390/su15129593> Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/12/9593> Acesso em: 20 dez. 2023.

LOPES, Jessica Rafaelly Almeida; BEZERRA, Joel Medeiros; ALMEIDA, Natália Maria Diniz Pereira; COSTA, Helves Cleverton Guerra; FERNANDES, Gabriel Siqueira Tavares; GONÇALVES, Gustavo Leite; MENDONÇA, Sarah de Souza Cruz; OLIVEIRA JÚNIOR, Marcos Elias de. Caracterização morfométrica da microbacia hidrográfica do Açude Grande no semiárido do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.l.], v.15, n.1, p.4429-442, 2022. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.1.p429-442> Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/251330> Acesso em: 7 abr. 2023.

MAPBIOMAS. Brasil. País perdeu 24 árvores por segundo em 2020. **Relatório Anual do Desmatamento no Brasil 2020**. Projeto MapBiomas Amazônia, 2020. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/2017/09/08/pais-perdeu-24-arvores-por-segundo-em-2020/> Acesso em: 06 dez. 2023.

MARTINS, Vinicius Emmel; BERGMANN, Mireli Duarte; SCHMIDT, Marcio Augusto Reolon. Integração de SIG com técnica AHP na identificação de locais com vulnerabilidade a erosão hídrica de uma microbacia hidrográfica em contexto de Mata Atlântica. **Revista de geografia (Recife, Brazil)**, Recife, PE, v.38, n.3, p.136-153, 2021. <https://doi.org/10.51359/2238-6211.2021.248676> Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/revistageografia/article/view/248676> Acesso em: 28 jun. 2022.

MENG, Qingyan; QIAN, Jiangkang; SCHLINK, Uwe; ZHANG, Linlin; HU, Xinli; GAO, Jianfeng; WANG, Qiao. Anthropogenic heat variation during the COVID-19 pandemic control measures in four Chinese megacities. **Remote Sensing of Environment**, [S.l.], v.293, p.113602, 1 Aug. 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425723001530> Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425723001530> Acesso em: 3 dez. 2023.

MISHRA, Rakesh Kumar; DUBEY, S. C. Fresh water availability and it's global challenge. **International Journal of Engineering Science Invention Research & Development**; v.2 n.6, p.351-407, Dec. 2015. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/368685921\\_FRESH\\_WATER\\_AVAILABILITY\\_AND\\_ITS\\_GLOBAL\\_CHALLENGE](https://www.researchgate.net/publication/368685921_FRESH_WATER_AVAILABILITY_AND_ITS_GLOBAL_CHALLENGE) Acesso em: 27 dez. 2023.

MOBERLY, James G.; BERNARDS, Matthew T.; ; WAYNANT, Kristopher V. Key features and updates for origin 2018. **Journal of Cheminformatics**, [S.l.], v.10, n.5, 9 Feb. 2018. <https://doi.org/10.1186/s13321-018-0259-x> Disponível em:

<https://jcheminf.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13321-018-0259-x> Acesso em: 5 out. 2022.

MONTAGNETTI, Roberto; GUARINO, Giuseppe. From Qgis to Qfield and vice versa: how the new android application is facilitating the work of the archaeologist in the field. *In*: 2021. **Anais of Environmental Sciences Proceedings**, Italy, v.10, n.1, p.6, 23 Oct. 2021. <https://doi.org/10.3390/environsciproc2021010006> Disponível em: <https://www.mdpi.com/2673-4931/10/1/6> Acesso em: 11 jan. 2023.

MOURA, Agnaldo; LUTTER, Stephan; SIEFERT, Cesar Augusto Crovador; DOMBROWSKI NETTO, Nicolas; NASCIMENTO, José Antônio Sena; CASTRO Fernando. Estimating water input in the mining industry in Brazil: a methodological proposal in a data-scarce context. **The Extractive Industries and Society**. v.9., p.101015, 9 Mar. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2021.101015> Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214790X21001866?via%3Dihub> Acesso em: 05 jul. 2023.

MOURA, Priscila Gonçalves; ARANHA, Felipe Nicolau; HANDAM, Natasha Berendonk; MARTIN, Luis Eduardo; SALLES, Maria José; CARVAJAL, Elvira; JARDIM, Rodrigo; Sotero-Martins, Adriana. Água de reúso: uma alternativa sustentável para o Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.l.], v.25, n.6, nov.-dez. 2020. <https://doi.org/10.1590/S1413-4152202020180201> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/7888VSVHBqZK7Bnz85X5Z8x/?lang=pt#> Acesso em: 17 nov. 2023.

OLIVEIRA, V. A, JACOMINE, P. K. T; COUTO, E. G. Solos do bioma Cerrado. *In*: CURI Nilton; KER, João Carlos; NOVAIS, Roberto Ferreira; VIDAL-TORRADO, Pablo; SCHAEFER, Carlos Ernesto G. R. (ed.). **Pedologia - Solos dos Biomas Brasileiros**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017. 597p.

OPPERMAN, Jeffrey J.; CAMARGO, Rafael R.; LAPORTE-BISQUIT, Ariane; ZARFL, Christiane; MORGAN, Alexis J. Using the WWF water risk rilter to screen existing and projected hydropower ojects for climate and biodiversity risks. **Water**, Switzerland, v.14, n.5, p.721, 24 Feb. 2022. <https://doi.org/10.3390/w14050721> Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/14/5/721> Acesso em: 5 jul. 2023.

PATHARE, Jyoti A.; PATHARE, Anilkumar R. Prioritization of micro-watershed based on morphometric analysis and runoff studies in upper Darna basin, Maharashtra, India. **Modeling Earth Systems and Environment**, [S.l.], v.6, p.1123-1130, 22 Mar. 2020. <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00745-6> Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40808-020-00745-6> Acesso em: 6 fev. 2023.

PAULA, Eder Mileno Silva de. Repercussão da Exploração Hidroelétrica no Funcionamento Geocológico de Paisagens Fluviais Amazônicas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.l.], v.12, n.6, p.2259-2270, dez. 2019. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.6.p2259-2270> Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/241190/34391> Acesso em: 19 jul. 2023.

PAZ, Otacílio Lopes de Souza da; PAULA, Eduardo Vedor de. Evolução geomorfológica

de canal fluvial após assoreamento por corridas de lama e detritos de obras de engenharia: o caso do Rio Jacareí (litoral do Paraná). **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, MG, v.24, n.92, p. 323-342, abr. 2023. <https://doi.org/10.14393/RCG249264135> Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/64135> Acesso em: 21 nov. 2023.

PEREIRA FILHO, Sérgio Eduardo; PEDROBON JUNIOR, Vilter Donizete; APARECIDO, Camila Fernandes Ferreira; CARVALHO, Jaqueline Bonfim de; MACHADO, Danilo Agostini. Avaliação de um sistema de irrigação por microaspersão na cultura do limão. **Unifunec Científica Multidisciplinar**, [S.l.], v.11, n.13, jan./dez. 2022. <https://doi.org/10.24980/ucm.v11i13.4406> Disponível em: <https://seer.unifunec.edu.br/index.php/rfc/article/view/4406> Acesso em: 17 jul. 2023.

PERSELLO, Cláudio; TOLPEKIN, Valentyn A.; BERGADO, John Ray; BY, Rolf A. de. Delineation of agricultural fields in smallholder farms from satellite images using fully convolutional networks and combinatorial grouping. **Remote Sensing of Environment**, [S.l.], v.231, p.111253, 15 Sept. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111253> Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003442571930272X>. Acesso em: 4 dez. 2023.

QIU, Shi; ZHU, Zhe; OLOFSSON, Pontus; WOODCOCK, Curtis E.; JIN, Suming. Evaluation of Landsat image compositing algorithms. **Remote Sensing of Environment**, [s. l.], v.285, p.113375, 1 Feb. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113375> Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425722004813> Acesso em: 2 dez. 2023.

ROMA, Adrielly Fernandes Weiller; SOUZA, Ilui Sue de; CORREIA, Karina de Paula; ALEGRE, Douglas Ribeiro; CAVALHEIRO, Wanderson Cleiton Schmidt; FULAN, João Anderson; CARNEIRO, Kalline de Almeida Alves; STACHIW, Rosalvo; FIGUEIRA, Waléria Souza; VENDRUSCOLO, Jhony. Dinâmica da cobertura do solo na microbacia e zona ripária do Rio Bela Bista, Amazônia ocidental, Brasil. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar** - ISSN 2675-6218, [S.l.], v.4, n.1, p.e412596, 2023. <https://doi.org/10.47820/recima21.v4i1.2596> Disponível em: <https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/2596> Acesso em: 4 ago. 2022.

SANTOS, Lariane Braz dos; SANTOS, Eliana de Oliveira dos; SCHWANTZ, Patricia Inês; BOHRER, Robson Evaldo Gehlen; PRESTES, Marta Martins Barbosa; LARA, Daniela Mueller de. Análise ambiental de nascentes do Bairro Fontes no município de Soledade (RS), Brasil. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, [S.l.], v.14, n.Supl.2, dez. 2021. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2021v14Supl.2.e8771> Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/8771> Acesso em: 10 jan. 2023.

SANTOS, Vanessa Conceição dos; BLANCO, Claudio; OLIVEIRA JÚNIOR, José Francisco de. Distribution of rainfall probability in the Tapajos River Basin, Amazonia, Brazil. **Revista Ambiente & Água**, [S.l.], v.14, n.3, 2019. <https://doi.org/10.4136/ambiagua.2284> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/ZhjKrzPmFQkxP9WZVRkMg5D/?lang=em> Acesso em: 6 nov. 2023.

SHAO, Zhenfeng; FU, Huyan; LI, Deren; ALTAN, Orhan; CHENG, Tao. Remote sensing monitoring of multi-scale watersheds impermeability for urban hydrological evaluation. **Remote Sensing of Environment**, [S.l.], v.232, p.111338, Oct. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111338> Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425719303578?via%3Dihub> Acesso em: 22 jan. 2022.

SILVA, Fabio Leandro da; FUSHITA, Ângela Terumi; CUNHA-SANTINO, Marcela Bianchessi da; BIANCHINI JÚNIOR, Irineu; VENEZIANI JÚNIOR, José Carlos Toledo.. Gestão de recursos hídricos e manejo de bacias hidrográficas no Brasil: elementos básicos, histórico e estratégias. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.l.], v.14, n.3, p.1626-1653, 27 jul. 2021. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.3.p1626-1653> Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/248864> Acesso em: 1 abr. 2022.

SILVA, Jaíza Ribeiro Mota e; RODRIGUES, Jéssica Assaid Martins; OLIVEIRA, Luiz Fernando Coutinho de; VIOLA, Marcelo Ribeiro. Estimativa da vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica na bacia hidrográfica do Rio das Mortes (MG). **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, [S.l.], v.14, n.1, p.e007659, jan./mar. 2021. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2021v14n1e007659> <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/7659> Acesso em: 18 jan. 2022.

SILVA, Jéssika Santos; UTSUMI, Alex Garcez; SANTOS, Carla Eloísa Diniz dos. Potencial de utilização de água de reúso em polo nacional de agricultura irrigada. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.l.], v.16, n.3, p.1175-1185, 2023. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.3.p1175-1185> Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/256952> Acesso em: 26 dez. 2023.

SIQUEIRA, Adison Soares de; FERREIRA, Alex Franco. Sistema de irrigação automatizada para estufas de cultivo de tomate,, utilizando a plataforma arduino. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, [S.l.], v.9, n.2, p.1121-1129, 28 fev. 2023. <https://doi.org/10.51891/rease.v9i2.8608> Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/8608> Acesso em: 26 dez. 2023.

SUHARDI; A MUNIR; M T SAPSAL; S N FARIDAH; Samsuar. Implementation of Zero Run-Off (ZRO) system on Cocoa land to increase watershed performance. *In:* , 2019. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. [S.l.:s.n.], v.235, 2019. 10.1088/1755-1315/235/1/012089 Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/235/1/012089> Acesso em:18 mar. 2023.

TAVARES, Felisberto Rodrigues; RIBEIRO, Fernando da Silva; CASTRO, Joana d'Arc Bardella; SILVA, Adriana Aparecida. Valoração do rio meia ponte no trecho urbano do Parque Atheneu em Goiânia. **Revista Mirante** (ISSN 1981-4089), [S.l.], v.16, n.1, p.147-164, 21 mar. 2023. <https://doi.org/10.31668/mirante.v16i1.13860> Disponível em: <https://www.revista.ueg.br/index.php/mirante/article/view/13860> Acesso em: 4 dez. 2023.

TEODORO, Valter Luiz Iost; TEIXEIRA, Demilson; COSTA, Daniel Jadir Leite;

FULLER, Beatriz Buda. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, v.20, p.137-157, 2007. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.uniara.com.br/legado/revistauniara/pdf/20/RevUniara20\_11.pdf Acesso em: 17 nov. 2023.

TORTAJADA, Cecília. Dams: an essential component of development. **Journal of Hydrologic Engineering**, v.20, n.1, 13 jun. 2014. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000919](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000919) Disponível em: https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29HE.1943-5584.0000919 Acesso em: 16 out. 2022.

TUCCI, Carlos E. M. (org.). Hidrologia: ciência e aplicação. 3.ed. Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH). Porto Alegre: Editora da UFRGS. 3.ed. 2004. 943p. Acesso em: 11 set. 2022.

VULOVA, Stenka; ROCHA, Alby Duarte; MEIER, Fred; NOURI, Hamideh; SCHULZ, Christian; SOULSBY, Chris; TETZLAFF, Doerthe; KLEINSCHMIT, Birgit. City-wide, high-resolution mapping of evapotranspiration to guide climate-resilient planning. **Remote Sensing of Environment**, [S.l.], v.287, p.113620, 15 Mar. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2023.113487> Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003442572300038X. Acesso em: 15 nov. 2023.

WALLIS, Christine I. B.; CROFTS, Anna L.; INAMDAR Deep; ARROYO-MORA, J. Pablo; KALACSKA, Margaret; LALIBERTÉ, Étienne; VELLEND, Mark. Remotely sensed carbon content: the role of tree composition and tree diversity. **Remote Sensing of Environment**, [S.l.], v.284, p.113333, Jan. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113333> Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425722004394 Acesso em: 06 jul. 23.

WANG, Huan; WIGNERON, Jean-Pierre; CIAIS, Philippe; YAO, Yitong; FAN, Lei; LIU, Xiangzhuo; LI, Xiaojun; GREEN, Julia K.; TIAN, Feng; TAO, Shengli; LI, Wei; FRAPPART, Frédéric; ALBERGEL, Clément; WANG, Mengjia; LI, Shuangcheng. Seasonal variations in vegetation water content retrieved from microwave remote sensing over Amazon intact forests. **Remote Sensing of Environment**, [S.l.], v.285, p.113409, 1 Feb. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113409> Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425722005156 Acesso em: 24 dez. 2023.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, Daniel (ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. 385p. cap.13, p.319-344. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-348580-9.50018-3> Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9780323152136\_A23648406/preview-9780323152136\_A23648406.pdf Acesso em: 11 set. 2022.

YU, Huafei; AI, Tinghua; YANG, Min; HUANG, Lina; AJI, Gao. Automatic

segmentation of parallel drainage patterns supported by a graph convolution neural network. **Expert Systems with Applications**, [S.l.], v.211, n.14, p.118639, Jan. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.118639> Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417422016839?via%3Dihub> Acesso em: 10 dez. 2023.

ZHANG, Quan; CHENG, Jie; LIANG, Shunlin. Deriving high-quality surface emissivity spectra from atmospheric infrared sounder data using cumulative distribution function matching and principal component analysis regression. **Remote Sensing of Environment**, [S.l.], v.211, p.388-399, 15 Jun. 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2018.04.033> Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425718301901?via%3Dihub> Acesso em: 22 jan. 2022.