



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
NÚCLEO DE DESENVOLVIMENTO AMAZÔNICO EM ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE BARRAGEM E  
GESTÃO AMBIENTAL

LAYSSE ALVES FERREIRA

**PROPOSIÇÃO METODOLÓGICA PARA MELHORIA DO MONITORAMENTO  
PLUVIOMÉTRICO EM REGIÕES DE BARRAMENTO COM ESCASSEZ DE  
POSTOS**

Tucuruí/PA

2022

LAYSSE ALVES FERREIRA

**PROPOSIÇÃO METODOLÓGICA PARA MELHORIA DO MONITORAMENTO  
PLUVIOMÉTRICO EM REGIÕES DE BARRAMENTO COM ESCASSEZ DE  
POSTOS**

Texto dissertativo apresentado ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental da Universidade Federal do Pará como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Gestão Ambiental de Barragens.

Orientador: Prof. Dr. Júnior Hiroyuki Ishirara.

Tucuruí/PA

2022

LAYSSE ALVES FERREIRA

**PROPOSIÇÃO METODOLÓGICA PARA MELHORIA DO MONITORAMENTO  
PLUVIOMÉTRICO EM REGIÕES DE BARRAMENTO COM ESCASSEZ DE  
POSTOS**

Texto dissertativo apresentado ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental da Universidade Federal do Pará como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Gestão Ambiental de Barragens.

Orientador: Prof. Dr. Júnior Hiroyuki Ishirara.

Aprovada em 10 de outubro de 2022.

**BANCA EXAMINADORA:**

Documento assinado digitalmente



Júnior Hiroyuki Ishihara  
Data: 13/12/2022 11:45:03-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Profº Júnior Hiroyuki Ishirara - PEBGA / NDAE / UFPA - Orientador

  
\_\_\_\_\_

Profº Dr. Raynner Menezes Lopes- PEBGA / NDAE / UFPA – Membro interno.

  
\_\_\_\_\_

Dr. Francisco Carlos Lira Pessoa – PPGEC/ITEC/UFPA – Membro externo.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará  
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a)  
autor(a)

---

A474p Alves Ferreira, Laysse.  
PROPOSIÇÃO METODOLÓGICA PARA MELHORIA DO  
MONITORAMENTO PLUVIOMÉTRICO EM REGIÕES DE  
BARRAMENTO COM ESCASSEZ DE POSTOS / Laysse  
Alves Ferreira. — 2022.  
59 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Júnior Hiroyuki Ishirara  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,  
Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia,  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Barragem e  
Gestão Ambiental, Tucuruí, 2022.

1. Regionalização de Chuvas;. 2. Amazônia;. 3.  
Aproveitamento energético;. 4. Barragens hidrelétricas;. 5.  
Monitoramento pluviométrico. I. Título.

CDD 628

---

*Dedico este trabalho ao meu pai Abel Ferreira Filho (in memoriam), que me apoiou neste sonho, enquanto eu viver te levarei comigo.*

## **AGRADECIMENTOS**

Eu te agradeço, Deus por se lembrar de mim, e pelo teu favor e o que me faz crescer. Eu te agradeço, Deus que no deserto não me deixou morrer e nem desanimar, e como aquela mãe, que não desiste, você não se esqueceu, você insiste. Você mudou a minha história e fez o que ninguém podia imaginar, você creditou e isso é tudo. Agradeço a minha mãe Deusimary Dias, cujo o empenho em me educar sempre veio em primeiro lugar. Aqui estão os resultados dos seus esforços. Ao meu pai Abel Ferreira, minha irmã Lorrany Valadão e meu cunhado amigo Mateus Valadão, por serem minha base e por sonharem comigo. A minha amiga Larissa Souza e família que foram benção de Deus em minha vida, obrigada por terem me recebido tão bem em seu lar. A Juliana pelo acolhimento. A Natalia Nascimento, Emanuele Barra, Mirian e todos os demais que me deram suporte nessa caminhada. Ao meu namorado Wilker Ribeiro por permanecer ao meu lado em todo o trajeto, sendo meu escape em horas difíceis. Ao meu orientador Júnior Hiroyuki Ishirara meu muito obrigada pela sua missão de educar, e por não me deixar desistir diante desse desafio. A toda coordenação do PEBGA pelo carinho e ajuda prestada. A todas que fizeram parte desse trajeto, minha gratidão.

“Assim como casas são feitas de pedras, a ciência é feita de fatos. Mas uma pilha de pedras não é uma casa e uma coleção de fatos não é, necessariamente, ciência”. (Jules Henri Poincare)

## RESUMO

A Amazônia brasileira é considerada a maior floresta primária do mundo, tendo grande importâncias na biodiversidade do planeta, bem como na economia nacional, possuindo grandes empreendimentos que utilizam barragens para o seu processo produtivo, como barragens hidroelétricas e barragens para mineração. Apesar da sua importância ambiental e econômica, a Amazônia Legal possui baixa densidade e espacialidade de medição in loco de chuva. Os dados de precipitação são a base dos estudos hidrológicos e para todo o ciclo de implantação, operação e desativação das barragens, onde o conhecimento do comportamento hidrológico possibilita ações para prevenção de eventos climáticos extremos, bem como melhor gerenciamento e tomada de decisões dos recursos hídricos. Grupos de estações que possuem comportamentos hidrológicos semelhantes e diferenças mínimas são denominadas áreas hidrológicamente homogêneas, sendo possível a transferência de dados dessas áreas com monitoramento adequado para áreas que apresentam insuficiência de estações. A regionalização permite essa transferência de dados e a extração de informação sobre o comportamento espacial da precipitação, comumente utilizando algoritmos de agrupamento. Diante deste cenário, utilizou-se neste estudo o método de agrupamento hierárquico de Ward para identificação de grupos hidrológicamente homogêneos e posteriormente regionalização através do método da Krigagem Ordinária. Utilizou-se a série histórica de 1986 -2015 (30 anos) de dados de chuva provenientes de 268 estações. Os resultados demonstraram 6 zonas homogêneas com alta variabilidade de precipitação entre os grupos encontrados. A espacialização ratificou os resultados de outros estudos que concluíram que a Amazônia legal apresenta alta variabilidade de chuva, sendo a regionalização uma ferramenta para auxiliar na gestão de áreas com falta de dados.

Palavras-chave: Regionalização de Chuvas; Amazônia; aproveitamento energético; Barragens hidrelétricas; monitoramento pluviométrico.



## **ABSTRACT**

The Brazilian Amazon is considered the largest primary forest in the world, having great importance in the planet's biodiversity, as well as in the national economy, having large enterprises that use dams for their production process, such as hydroelectric dams and dams for mining. Despite its environmental and economic importance, the Legal Amazon has low density and spatiality for in loco measurement of rainfall. Precipitation data are the basis of hydrological studies and for the entire cycle of implementation, operation and decommissioning of dams, where knowledge of hydrological behavior enables actions to prevent extreme weather events, as well as better management and decision-making of water resources . Groups of stations that have similar hydrological behavior and minimal differences are called hydrologically homogeneous areas, making it possible to transfer data from these areas with adequate monitoring to areas that have insufficient stations. Regionalization allows this data transfer and the extraction of information about the spatial behavior of precipitation, commonly using clustering algorithms. Given this scenario, Ward's hierarchical grouping method was used in this study to identify hydrologically homogeneous groups and later regionalization through the Ordinary Kriging method. The historical series from 1986 -2015 (30 years) of rainfall data from 268 stations was used. The results showed 6 homogeneous zones with high precipitation variability among the groups found. Spatialization ratified the results of other studies that concluded that the legal Amazon has high rainfall variability, with regionalization being a tool to assist in the management of areas with a lack of data.

Key words: Rainfall Regionalization; Amazon; energy use; hydroelectric dams; rainfall monitoring.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Observação das superfícies pelos métodos Euclidiano, Mahalanobis e Manhattan.....	19
Figura 2- Métodos de Agrupamento .....	21
Figura 3- Amazônia Brasileira.....	28
Figura 4 - Estações pluviométricas utilizadas no estudo .....	29
Figura 5- Histograma dos dados de precipitações anuais médias.....	34
Figura 6 -Dendograma para 268 Estações Pluviométricas de Estudo.....	35
Figura 7 - Agrupamento das Estações Pluviométricas .....	36
Figura 8 - Análise da Precipitação dos Grupos - Precipitação Anual.....	37
Figura 9 – Análise da Precipitação dos Grupos – Mínimas Anuais .....	38
Figura 10 - Análise da Precipitação dos Grupos – Máximas Anuais .....	38
Figura 11 - Grupo e sua similaridade com a Classificação de Koppen.....	39
Figura 12 - Grupo 2 .....	40
Figura 13 - Grupo 3 .....	41
Figura 14 - Grupo 4 .....	42
Figura 15 - Grupo 5 .....	43
Figura 16 - Variograma dos Dados Interpolados .....	45
Figura 17 - Espacialização dos Dados de Chuva Amazônia Legal.....	46

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1 Objetivo Geral.....</b>	<b>14</b>
<b>2.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>14</b>
<b>3. FUNDAMENTAÇÃO TEORICA.....</b>	<b>15</b>
<b>3.1 Regionalização climática.....</b>	<b>15</b>
<b>3.2 Análises de agrupamento aplicados a regionalização.....</b>	<b>16</b>
<b>3.3 Medidas de dissimilaridades.....</b>	<b>18</b>
<b>3.4 Atributos.....</b>	<b>19</b>
<b>3.5 Algoritmos de agrupamento .....</b>	<b>21</b>
<b>3.6 Monitoramento pluviométrico em regiões de barramentos.....</b>	<b>23</b>
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>27</b>
<b>4.1 Delimitação da área de estudo.....</b>	<b>27</b>
<b>4.2 Dados.....</b>	<b>28</b>
<b>4.5 Métodos.....</b>	<b>30</b>
4.5.1 Distância Euclidiana.....	31
4.5.2 Algoritmo de Ward .....	31
4.5.3 Análise Espacial.....	32
<b>5. RESULTADOS .....</b>	<b>34</b>
<b>6. CONCLUSÃO .....</b>	<b>47</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>48</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A precipitação é considerada a entrada de fluxo na bacia hidrográfica, possuindo características heterogêneas em espacialidade e temporariedade (DE MIRANDA *et al.*, 2010; PONTES *et al.*, 2015). O conhecimento dos dados históricos de chuva é a base para uma gestão hídrica confiável, bem como para tomada de decisões, projeto de engenharia, planejamento de usos da água como irrigação, abastecimento, e principalmente para realização estudos hidrológicos (ORSKASIK; SEIBERT, 2018; ROUSHANGAR; ALIZADEH, 2018).

Os estudos hidrológicos ganharam ênfase no cenário atual de mudanças climáticas, sendo os dados de chuva fundamentais para a realização desses estudos e suas consequências (CLARK *et al.*, 2016; HOUGHTON; JENKINS, 1991), que podem ocasionar intensos impactos, gerando secas extremas, enchentes, afetando diretamente o dinamismo ambiental, economia, segurança alimentar e principalmente o bem estar da vida no planeta (EVANS, 2019; TITO; FEELEY, 2018; NKHONJERA, 2017).

A eficácia dos estudos hidrológicos estão concatenados a robustez das séries da dados de chuva, sendo recomendado séries contínuas e históricas, demanda essa que geralmente supera a oferta de dados disponíveis, isso devido as baixas densidades de rede pluviométricas e sua heterogeneidade na espacialidade, além dos possíveis erros de medição de dados, como erros pontuais que geralmente não atendem a escala da bacia (BAYAT *et al.*, 2019; PELLICONE *et al.*, 2018).

Quando se trata de bacias hidrográficas que possuem interferências fluviais devido a barramentos de água, as observações locais de precipitação de longo período se tornam cruciais, isso porque, a compreensão dos comportamentos hidrológicos dessas áreas possibilita estabelecer uma melhor gestão de riscos, associados a segurança hidrológica do ponto de vista social, ambiental, operacional e estrutural das barragens (TORIDE, Kinya *et al.*, 2018; BERTINI, CLAUDIA *et al.*, 2020).

Guiamel *et al.* (2020) destacam a importância dos dados de precipitação, não apenas na identificação de bacias propícias ao aproveitamento hidro energético, mas especialmente ao monitoramento da sustentabilidade desse potencial de geração ao longo do tempo e suas variações naturais (sazonais).

Além de dificultar a identificação de áreas hidrográficas suscetíveis de aproveitamento energético e sua sustentabilidade, a escassez de dados de chuva pode ser um problema que interfere nas análises hidrográficas que permitiriam modelar cenários para busca de uma gestão de risco ambientais e de rupturas, frente as distintas variáveis que afetam os barramentos de água.

Pode-se citar como exemplo de estudos de modelação de cenários, os resultados encontrados por Hasan e Wyseure (2018) que utilizaram dados hidrometeorológicos de 13 anos e a ferramenta SWAT para avaliação dos impactos das mudanças climáticas na geração de energia hidrelétrica na Bacia do Rio Jubones – Equador, identificando um cenário que, embora a geração hidrelétrica aumente na estação chuvosa, a usina poderá enfrentar uma escassez de energia significativa durante a estação seca.

Conway et al. (2017) também desenvolveram importantes análises em seu estudo, definindo regiões de acordo com a variabilidade da precipitação usando análise de *cluster* para ilustrar a exposição ao risco de interrupção do fornecimento de energia hidrelétrica na África Oriental e Austral, apontando riscos intrarregional.

Nesse cenário, identificar as configurações espaço-temporais de zonas homogêneas permitem a regionalização, que segundo Gomes, Blanco e Pessoa (2018) é considerada uma metodologia bem estabelecida no campo científico para predição de dados hidrológicos em locais não aferidos, além de possibilitar a análise da distribuição das chuvas no tempo e espaço, sendo uma ferramenta útil no gerenciamento dos recursos hídricos, zoneamento ambiental, agricultura e principalmente na tomada de decisões.

A identificação dos padrões temporais e espaciais da precipitação é comumente realizada por meio do uso de métodos estatísticos renomados e com boa aplicabilidade em diferentes escalas, como a análise de agrupamento (MUTTI, 2020). Os algoritmos de agrupamentos são excelentes ferramentas para identificação de regiões homogêneas, que podem utilizar atributos estatísticos representativos para encontrar grupos ou regiões de estações pluviométricas, onde as estações em um grupo apresentam similaridades quanto as suas características físicas e/ou climáticas.

Tanto a espacialidade como a temporariedade da precipitação em locais escassos de medição, podem, segundo Ahuja e Dhanya (2012), serem analisados através do agrupamento de áreas que possuem características semelhantes (áreas homogêneas), em sua essência, a regionalização é definida como a transferência de informações de áreas homogêneas agrupadas que possuem comportamentos hidrológicos semelhantes.

Desta forma, entender os comportamentos hidrológicos de áreas de aproveitamento econômico e de relevância ambiental se torna importante para aproveitamento dos recursos naturais de forma a garantir uma sustentabilidade do mesmo, e proporcionar uma gestão ambiental compatível.

A amazônica abriga importantes motores econômicos brasileiro, como agricultura (ROMEIRO, 2019), mineração (MARTINS, *et al.*, 2022), pecuária (COSTA *et al.*, 2020) e se destaca pelo papel na matriz energética nacional, isso devido principalmente aos grandes projetos, frutos do desenvolvimento energético Nacional, chamados por Batista e Miranda (2020) de “hidronegócios”, com destaque para as Usinas Hidrelétricas de Tucuruí (Rio Tocantins), Santo Antônio e Jirau (Rio Madeira) e Belo Monte (Xingu), e futura construção no Tapajós (FEARNSIDE, 2019).

No Brasil A Lei 9.4333 de 1997, também conhecida como Lei das Águas, estabeleceu em seu Artigo 25º o Sistema de Informações Sobre os Recursos Hídricos, sendo um de seus princípios básicos o acesso aos dados e informações garantido à toda a sociedade, e um dos seus objetivos reunir, dar consistência e divulgar os dados e informações sobre a situação qualitativa e quantitativa dos recursos hídricos no Brasil.

Através da lei supracitada, os dados hidrometeorológicos nacionais são disponibilizados por bases federais como Hidroweb/Agência Nacional de Água - ANA, Banco de Dados Meteorológicos -BDMEP/INMET e TOPODATA/INPE, dentre outras bases dos governos estaduais.

No entanto, conforme estudo de Ishihara *et al.* (2014), a Região Amazônica apresenta baixa densidade de pluviômetros, 3.343,91 km<sup>2</sup> por estação, enquanto que a densidade mínima recomendada pela OMM para a região seria de 575 km<sup>2</sup>/estação, o que culmina em incertezas significativas no entendimento dos diferentes processos relativos aos mecanismos dinâmicos do clima e sua variabilidade e comportamento

espacial (NOBRE *et al.*, 2009; ALMEIDA *et al.*, 2015; LIRA, 2018; FERREIRA FILHO & PESSOA, 2022).

Apesar dessa disponibilidade de dados não ser favorável, o campo pesquisa hidrológica amazônica se mostra alvo de pesquisas clássicas e atuais que utilizam de demais ferramentas para consolidação das pesquisas, a exemplo estudos publicados como o de Schmidt (1947), que produziu segundo Neto (2004), uma das obras mais completas sobre o clima da região amazônica utilizando os dados históricos disponíveis e concluindo que a aparente homogeneidade paisagística da floresta equatorial, na verdade mascarava a diversidade climática que existia na região.

Fisch (1988) em seu estudo faz uma revisão geral sobre Clima na Amazônia, apresentando de uma maneira compacta os estudos mais relevantes, até aquele período, sobre a climatologia amazônica, complementando com o início dos estudos de simulação Climática da floresta Amazônica.

Já nos estudos mais recentes sobre a precipitação na Amazônia, verifica-se o uso de diversas ferramentas, destacando-se o uso da análise de agrupamentos para determinação de zonas homogêneas de chuvas.

Santos *et al.* (2015), utilizando o método de agrupamento hierárquico Ward, identificaram, na Amazônia legal, seis (6) regiões pluviometricamente homogêneas, nas quais duas sub-regiões estão distribuídas no sul da Amazônia e quatro sub-regiões na região norte, sendo duas na zona costeira e duas na região noroeste tendo por base o período 1983-2012.

Gonçalves (2016) restrito a Amazônia Oriental (estado do Pará), também utilizando método de Ward, verificou seis grupos homogêneos de precipitação identificados por médias anuais levando em consideração os anos de El Niño e La Niña e a série completa, confirmando uma tendência mais úmida e mais seca, respectivamente, para os anos de La Niña e El Niño, destacando a redução das chuvas no sudeste do Pará.

Lira (2018) através de agrupamento hierárquico e observação de tendências para toda Amazônia Brasileira, também identificou 6 grupos homogêneos que coincidiu com os principais sistemas atmosféricos atuantes na região.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Identificar zonas homogêneas de precipitação para regionalização de chuvas na Amazônia Legal para minimizar a problemática da escassez de dados em regiões de barramentos.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Agrupamento de zonas homogêneas de precipitação através de atributos não geográficos e análises dos grupos formados;
- Identificar a heterogeneidade dos comportamentos da precipitação nas bacias hidrográficas da Amazônia legal;
- Interpolação pluviométricas para transferência de dados de áreas medidas para não medidas.



### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEORICA

#### 3.1 Regionalização climática

A taxonomia climática é um dos assuntos mais relevantes dentro da climatologia, onde a regionalização possibilita um melhor entendimento das dinâmicas climáticas e suas ligações com os ciclos naturais terrestres, além de ser uma importante ferramenta para a tomada de decisões, concepções de projetos de engenharia (OLIVER, 1991).

De acordo com De Holanda Ferreira (1999), regionalização é entendida como divisão em regiões e territórios de espaços específicos. No que se refere a etimologia, regionalização deriva da palavra primitiva *regenerere*, posteriormente evoluindo para *regione*, e posteriormente (nos últimos dois séculos), para novos conceitos de região, como a região geográfica, região natural e região homogênea (GOMES, 2003).

Al-Qadami *et al.* (2019), descrevem regionalização como a transferência de informações hidrológicas de área monitoradas para áreas pouco monitoradas, que possua uma semelhança hidrológica lógica. Já para Abler *et al.* (1971) entendem regionalização como em agrupamento sistemático de objetos ou eventos em classes com base nas propriedades ou relações que eles têm em comum.

Contel (2015) atribui ao geógrafo François Lucien Gallois um dos primeiros estudos com abordagens sobre formação de regiões naturais intitulado como *Régions naturelles et noms de pays: étude sur la région parisienne* (1909), e seu colaborador o também francês De La Blache, que ao longo de suas obras abordou a homogeneidade de características, resultantes de elementos da natureza (ou meio natural) e da ação humana para regionalização.

No campo climático, a regionalização sempre esteve atrelada aos Sistemas de Classificação Climática – SCC que é a demonstração abreviadas de áreas similares hidrológicamente (homogêneas), transmitindo essas informações através de rótulos simples, ou seja, os SCC desenvolvem a classificação e a demonstram, enquanto na regionalização essa classificação é usada para transpor informações a zonas similares não monitoradas de forma suficiente (CLINE, 1949; CRITCHFIELD, 1966; SOKAL, 1974).

Ariff *et al.* (2016) destaca que além de superar a falta de dados e de espacialidade das estações, a regionalização hidrológica também auxilia a minimizar o tempo computacional usando áreas hidrologicamente representativas. Outra vantagem da regionalização é a melhor identificação dos padrões espaciais da precipitação, informação primordial para a gestão dos recursos hídricos (NAM *et al.*, 2015; MODARRES e SARHADI, 2011 ).

A aplicação da regionalização segue etapas que envolvem a combinações de atributos em regiões coerentes, sendo posteriormente necessário a realização da validação da homogeneidade dos dados e das demarcações das fronteiras dos grupos formados (IRWIN, 2017).

Ouarda *et al.* (2008) também citam a identificação dos grupos homogêneos e escolha e aplicação do método regional como as principais etapas, sendo a primeira a que necessita de maior atenção, devido a possíveis obstáculos que podem influenciar em todos os resultados finais.

A análise da dependência espacial sugere que os registros de precipitação de duas ou mais estações em um grupo homogêneo tenham características estatísticas semelhantes, possibilitando a análise e caracterização da dependência espacial (homogeneidade) da precipitação, reduzindo as incertezas de dados para uso como a modelagem hidrológica (YEO *et al.*, 2020).

Desta forma, a regionalização se destaca também como uma ferramenta para melhoria na precisão de uma estimativa de chuva confiável em locais de interesses utilizando indicadores de similaridades entre as estações (GONZALES; VALDES, 2008).

### **3. 2 Análise de agrupamentos aplicados à regionalização**

Com a evolução computacional e ampliação dos modelos estáticos para software de SIGs, os métodos de regionalização apresentaram evoluções significativas em sua aplicabilidade, principalmente pela possibilidade computacional de transferir dados hidrológicos de zonas monitoradas para zonas não monitoradas que possuem certa homogeneidade, essas características de similaridades podem ser atributos dos mais diversos (relevo, temperatura, vegetação, dentre outras). O uso de atributos representativos para a regionalização possibilita a análise de zonas que

podem ser homogêneos e não necessariamente contínuas geograficamente (SATYANARAYANA; SRINIVAS, 2011).

Para o efetivo uso da regionalização, se faz necessário a utilização de abordagens úteis que permitam a identificação e interpretação dos padrões inerente aos dados hidrológicos. Dos métodos de regionalização disponíveis, os algoritmos de agrupamento se destacam devido sua capacidade inata em reconhecer padrões subjacentes em conjuntos de dados complexos (RAO; SRINIVAS, 2006).

Dentro dos estudos climáticos, a técnica de agrupamento é comumente utilizada como método de regionalização (RAMOS, 2001), possibilitando a identificação de regiões hidrológicamente homogêneas (TERASSI; GALVANI, 2017), isso se dá através da formação de “clusters”, que são grupos ou regiões de estações pluviométricas com diferenças mínimas em termos de suas propriedades físicas e estatísticas, dando uma maior compreensão nas análises de frequência regionalizadas (BAKAR *et al.*, 2020).

As técnicas de regionalização por agrupamento são importantes devido terem uma abordagem que facilita a formação de grupos em áreas não necessariamente contínuas geograficamente (SRINIVAS, 2013), ou seja, a similaridade pode ser mensurada através de dados estatísticos temporais, tipologia vegetal, relevo, dentre outros atributos que permitem a análise de regiões homogêneas contínuas e não contínuas.

As Técnicas de agrupamento reconhecem a distribuição de padrões em conjuntos grandes e/ou pequenos de dados, sendo uma técnica já consolidada com diversos estudos na área hidrológica e em diferentes disciplinas (RAO; SRINIVAS, 2006).

Goyal e Gupta (2014), consideram a análise de agrupamento como uma análise multivariada não supervisionada que classifica os dados fornecidos em grupos semelhantes sobrepostos ou não sobrepostos.

Em um estudo mais detalhado sobre agrupamento de bacias hidrográficas, Rao e Srinivas (2006) definem cluster como a formação de grupos de um ou mais vetores de recursos (também conhecido como "vetor de dados" ou 'Objeto') que

podem possuir vários atributos ou variáveis, sendo esses vetores tão semelhantes quanto possíveis e os vetores diferentes são tão diferentes quanto possíveis.

Desta forma, os algoritmos de agrupamento pressupõem que cada site pertence exatamente a uma região, implicando que os locais climáticos atribuídos à mesma região se parecem totalmente (SATYANARAYANA; SRINIVAS, 2011).

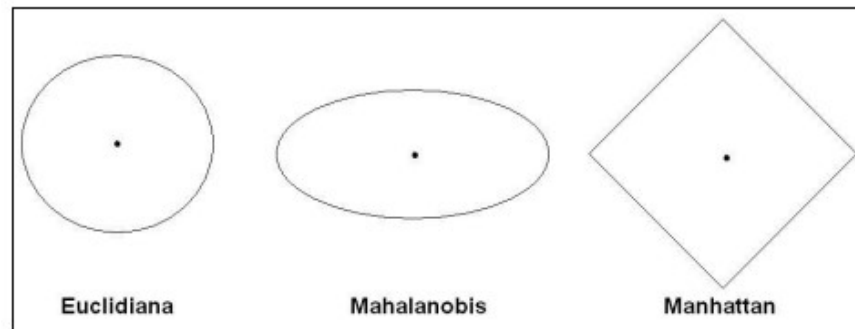
### **3.3 Medidas de dissimilaridades**

A Distância (dissimilaridade) e similaridade são fundamentais para a construção de algoritmos de agrupamento. É preferível a utilização da distância de dissimilaridade para reconhecer padrões entre os dados (análise quantitativa), já para análises qualitativas, a similaridade é preferível para análise qualitativa de recursos de dados (XU; TIAN, 2015).

A escolha do critério que meça a dissimilaridade deve ser em função do tipo de variável envolvida, Gower & Legendre (1986, p.31) citam que “*um coeficiente tem de ser considerado no contexto do estudo estatístico, incluindo a natureza dos dados e do tipo de análise pretendido*”. Deve-se levar em consideração a utilização de um tipo ou mais de medidas de similaridade, onde quanto maior o valor encontrado, mais dissimilares são os objetos e quanto menor o valor, mais similares (PRASS, 2004).

A divisão dos grupos (clusters) ocorre através da análise da similaridade dos atributos envolvidos (como média de precipitação, desvio padrão, dias com chuvas, dentre outros), ou a dissimilaridade, que pode ser dada através da distância métrica, sendo os métodos mais comuns a distância Euclidiana, Mahalanobis e manhattan (RÃO & SRINIVAS, 2006; IRWIN *et al.*, 2013). A Figura 1 ilustra a superfície observada de cada tipo citado anteriormente.

Figura 1- Observação das superfícies pelos métodos Euclidiano, Mahalanobis e Manhattan



Fonte: Do Vale, 2005.

### 3.4 Atributos

Quando se define que dadas regiões são hidrologicamente homogêneas, subentende-se que tais regiões possuem registros hidrológicos que podem ser descritos pelas mesmas distribuições probabilísticas, e que os atributos estatísticos destes registros podem apresentar informações de similaridade, de alterações de distribuições espaciais e temporais, dentre outras importantes informações.

Segundo Hosking e Wallis (1997), os indicadores de similaridades podem ser divididos de acordo com as categorias de diferentes características do site e estatísticas locais aplicada em um histórico de dados satisfatório para análise de chuva (no mínimo 30 anos de dados), podendo ser visualizado possíveis comportamentos similares nesses históricos, minerar os dados disponíveis e validar quais os atributos que representem os diversos dados encontrados.

Os atributos podem ser selecionados com base em sua disponibilidade, grau de importância e objetivos de pesquisa, tornando-se uma importante medida pertinente para a identificação de estações com semelhança extrema (BATES *et al.*, 1998).

Para Dehghan *et al.* (2019), a escolha dos atributos é um momento crucial para a aplicabilidade da regionalização, onde o sucesso das etapas posteriores depende da correta seleção, do tipo, número e combinações dos atributos escolhidos. Assim, os atributos devem representar de forma mais fidedigna possível os dados históricos estudados. Na literatura de regionalização é comumente feita a utilização de atributos climáticos, atributos estatísticos e atributos geográficos (altitude, latitude, longitude).

Os atributos geográficos obtiveram considerável utilização devido ao pressuposto de que a proximidade geográfica indica maior similaridade de precipitação (YANG; BURN, 2019).

No entanto, Haddad (2015) destaca que as estações não necessariamente devem ser agrupadas em regiões com proximidades geográficas, haja visto os inúmeros estudos que atribuem a outros fatores de relação e semelhança hidrológicas em termos de distintas propriedades do site, como a climatologia (PRAENE *et al.*, 2019), elevação (SUMESH, R. K. *et al.*, 2019), vegetação (BRAGATO; FEOLI, 2019).

Um exemplo dessa não dependência geográfica foi demonstrada por Chin (2020), que utilizou apenas a máxima anual de precipitação da Austrália, no período de 1910 a 2017, para regionalização, detectando grupos amplamente homogêneos e consistentes se comparado com o clima e topografia.

Já AL-quadami e Addulla (2018) utilizaram como atributo a média anual e variância da precipitação de 53 anos (1960-2013) da Jordânia. Através do método de agrupamento de Ward, os autores verificaram a existência de três grupos espacialmente homogêneos no país, dois localizados no norte e partes ocidentais da Jordânia, e o outro ao leste do país, sendo considerando como atributos eficientes em sua representatividade.

Gocic e Trajkovic (2014) utilizaram dados mensais de precipitação para analisar as características espaço-temporais da seca na Servia, aplicando o modo SPCA, identificando três diferentes sub-regiões de seca de 29 estações sinóticas para o período de 1948–2012.

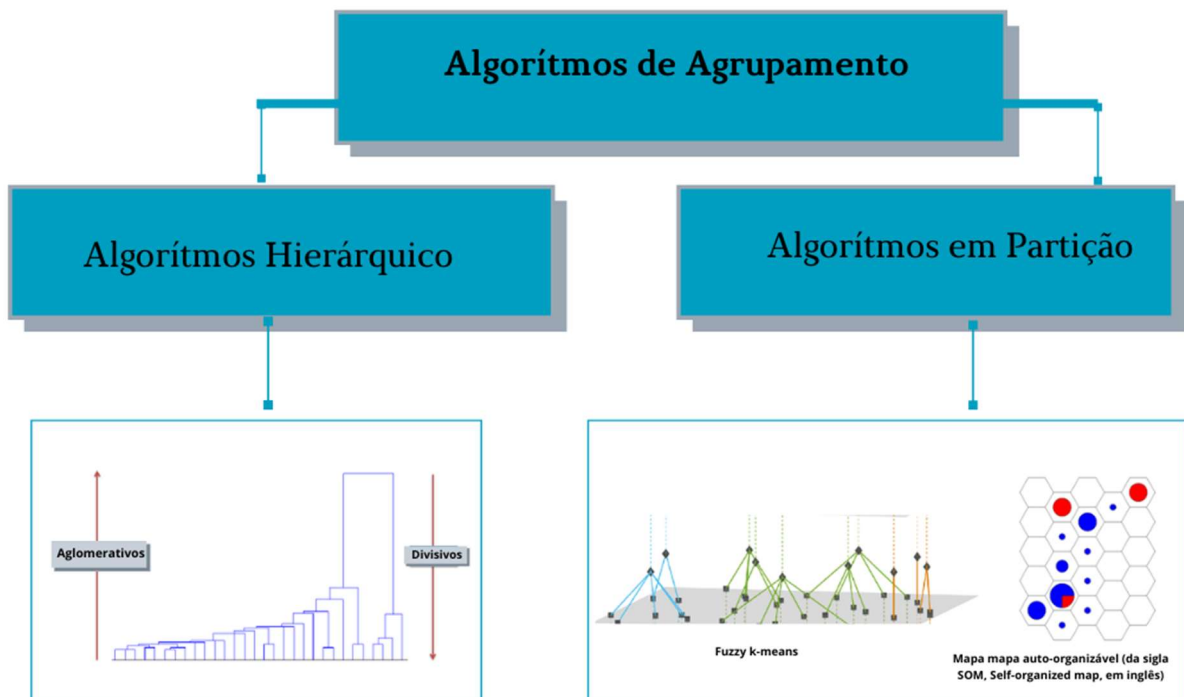
Desta forma, a não utilização de dados geográficos não necessariamente desconsidera a dependência espacial, mas pode demonstrar a mesma através de outros atributos, dando a possibilidades de visualização de regiões não transfronteiriças (contínuas geograficamente), que podem possuir similaridades hidrológicas extremas, possibilitando uma importante análise para grandes áreas, como a região amazônica brasileira.

### 3.5 Algoritmos de agrupamento

Para Prass *et al.* (2004), o conhecimento dos diferentes tipos de algoritmos é fundamental na escolha de qual deles é a melhor escolha para atingir os objetivos da pesquisa, além da diminuição do tempo e o custo de recuperação de dados.

Na literatura encontra-se grande diversidade de algoritmos de cluster que devem ser analisados de acordo com o estudo, dados, e resultados desejados (CARLSSON; MÉMOLI; 2010). Para Rao e Srinivas (2006) e Goyal e Gupta (2014), os algoritmos de agrupamento podem ser amplamente classificados em duas categorias, Cluster hierárquico e Cluster por partição, conforme Figura 2:

Figura 2- Métodos de Agrupamento



Fonte: Imagens de Sayad (2020) e Zhang *et al.* (2019).

Os algoritmos hierárquicos tratam o conjunto de dados como uma estrutura de partições, onde cada parte correspondendo a um determinado grupo, hierarquicamente organizadas segundo a similaridade entre seus objetos (JAIN; DUBES, 1988). Essa decomposição hierárquica é representada por uma árvore de decisão ou seja, uma árvore que iterativamente divide o conjunto de dados em subconjuntos menores (ALVAREZ, 2018).

Para Everitt (2001), os métodos hierárquicos são técnicas simples onde ocorre a separação de dados em sucessão, promovendo uma representação hierárquica dos grupos formados. Segundo Do Vale (2005), essa representação de dados facilita a visualização sobre a formação dos agrupamentos em cada estágio.

Cluster hierárquica parte do princípio que cada ponto de dado esteja em um cluster individual, e prossegue sucessivamente por ou mesclando grupos menores (os dois clusters mais próximo), e então mesclando em grupos maiores (aglomerativo) até que haja apenas um cluster restante. O processo inverso, dividindo grupos maiores para os menores, é chamado de método divisivo (RAO; SRINIVASa, 2006; XU; TIAN, 2015).

Dos algoritmos representativos do agrupamento hierárquico utilizados em estudos sobre regiões homogêneas de precipitação, destacam-se a ligação única ou vizinho mais próximo (KAKADE; KULKARNI, 2017), vizinho mais distante (RAHMAT; JAYASURIYA; BHUIYAN, 2019), ligação média (BESKOW, 2016), centroide (STEFFEN; GOMES), e algoritmo de Ward (BAKAR, 2020).

Para formação de grupos, o método hierárquico utiliza a distância entre os vetores de dados, Heckler (2005, p.374) demonstra que se dois objetos ou grupos, P e Q estão unidos, se calcula a distância entre este novo grupo (objeto) P + Q e o grupo R.

Já os Agrupamentos Particionados são influenciados por palpites iniciais (número de clusters, centros de cluster). Os procedimentos de armazenamento em cluster parcial tentam recuperar o agrupamento natural presente nos dados através de uma partição única (XU; TIAN, 2015).

Os métodos por partição são dinâmicos no sentido de que vetores de características podem se mover de um cluster para outro para minimizar o objetivo função. Por outro lado, os vetores de recursos comprometidos com um cluster nos estágios iniciais não pode passar para outro procedimentos de cluster hierárquico (RAO e SRINIVAS, 2006; DIKBAS *et al.*, 2012).



### 3.5.1 Algoritmo de Ward

O método de Ward é caracterizado como uma abordagem popular e conhecida de estudo de aglomerados devido a sua simplicidade de implementação e rápida execução (KAJEWSKA; SZKUDLAREK, 2020), o método consiste em um procedimento de agrupamento hierárquico que utiliza a medida de similaridade para determinar a menor variação entre os dados de cada grupo, identificando a menor variância entre clusters, aglomerando objetos cuja soma de quadrados entre eles é mínima (LIRA, 2019).

Desta forma, o método de Ward gera partições nos dados separando-os em grupos (clusters). Inicialmente cada objeto da série de dados recebe um determinado grupo (cluster), sendo assim, para cada N número de dados na série, há um número N de grupos (clusters), os grupos similares são mesclados sucessivamente até a existência de apenas um grupo com todos os N objetos (Al-QADAMI *et al.*, 2019).

Dentre os estudos que utilizaram o método de Ward na literatura científica, destacam-se a de Ah e Thomas (2016) que utilizaram o Algoritmo de Ward para a regionalização das chuvas no estado de Kerala – Índia, enquanto Qadami e Abdulla (2018) para agrupar a precipitação temporal e espacial do Reino Hachemita da Jordânia, Satti (2017) para previsões sazonais na África Oriental. Souza et al. (2022), utilizou o método de Ward obtendo estimativas altamente precisas no sentido de identificar períodos sem chuva na bacia hidrográfica do Rio Madeira (afluente amazônico).

## 3.6 Monitoramento pluviométrico em regiões de barramentos

A indústria elétrica mudou seu foco para a construção de barragens em um mundo de economias em desenvolvimento, desde a década de 1970, onde começou-se a construir grandes barragens hidrelétricas ao longo da bacia do rio Mekong - Sudeste Asiático, da bacia do rio Amazonas - Brasil, e da bacia do rio Congo- África (MORAN, EMILIO F. *et al.*, 2018).

As usinas hidrelétricas são responsáveis pela maior parte da energia elétrica gerada no Brasil, representando 71% de toda a capacidade energética instalada (DE LIMA, 2017; DEA, 2022), onde a Região amazônica se destaca como detentora de um dos maiores potenciais hidroelétrico inexplorado do mundo, com mais e 351

propostas de aproveitamento energético (ALMEIDA, *et al.*, 2019), e 151 barragens para aproveitamento de potencial hidroelétrico e Centrais Geradoras de Capacidade Reduzida – CGHs existentes (ANEEL, 2022).

Os dados hidrológicos são a base em todo o ciclo da geração hidroelétrica. Desde os estudos de implantação de aproveitamento hidroelétrico, na estimativa do potencial hidroelétrico, inventário Hidroelétrico, viabilidade, elaboração do Projeto Básico e Projeto Executivo, sendo primordial no planejamento dos estudos de toda a concepção (ELETROBRAS, 2007).

A estimativa do pico de vazão de projeto é crucial para o projeto hidrológico de estruturas hidráulicas (CHEN,2021), desde a escolha da localização para instalação, do barramento de água à operação (ŞEN, ZEKAİ; AL-SUBA'I, 2002).

Devido ao Obstáculo de falta de dados ou de densidade dos mesmos, para realização dos estudos de potencial hidroelétrico se faz necessário o preenchimento de séries de precipitação, que costuma ser incômodo porque restrições físicas, como terrenos complexos e baixa densidade de estações meteorológicas, limitam o seu desempenho (KIM e RYU, 2016).

O Manual de Inventário Hidroelétrico de Bacias Hidrográficas publicado em 2007, pela ELETROBRÁS, dá como solução a problemática de dados de chuva para realização dos estudos preliminares, a regionalização de chuvas e vazões, apoiados nos dados fluviométricos e pluviométricos disponíveis na bacia em estudo, e em regiões contíguas com comportamento hidrológico e hidrogeológico semelhantes.

Os dados de chuva também são fundamentais para a operação das hidroelétricas, sendo citada na publicação das Diretrizes para a Elaboração do Plano de Operação, Manutenção e Instrumentação de Barragens (ANA, 2016), como dado fundamental para operação, onde se deve ter dados hidrológicos e que os mesmos sejam confiáveis para o controle de segurança de operação e planejamento de geração, sendo obrigatório a instalação de medidores (udômetros ou udógrafos) em locais tanto quanto possível representativos das condições ambientais do aproveitamento.

Outro fator predominante do uso desses dados, é quanto a prevenção de catástrofes naturais, onde pode-se simular cenários e em cima dessa modelagem e

instruir um protocolo de segurança e gestão de consequência, auxiliando na tomada de decisões.

Frente ao cenário do aquecimento global e das mudanças no uso e cobertura da terra, se torna importante quantificar a interesse dessas mudanças alteraram os padrões de precipitação de áreas relacionadas à barragem (ZHAO; PASTOR, 2012).

Pode-se citar como exemplo o estudo de Meema *et al.* (2021), que investigaram o impacto das mudanças climáticas sobre os recursos hidrelétricos de barragens em cascata da Bacia do Rio Nam Ngum na Tailândia, verificando chuvas extremas e como consequência, maiores perdas de água do reservatório devido à descarga de água do vertedouro, indicando que a operação da hidrelétrica deve ser adaptada aos efeitos das mudanças climáticas, onde os interessados podem se antecipar propondo estratégias de gestão de recursos hídricos.

Fan *et al.* (2020) entendem que a analisar o impacto das mudanças climáticas no sistema hidrelétrico, no estudo de caso à China, pode contribuir muito para a compreensão do mecanismo de feedback das mudanças climáticas no sistema energético. No mesmo estudo, Fan *et al.* (2020), obtiveram resultados que mostraram que as influências dos fatores climáticos na geração hidrelétrica da China são significativas, e os impactos dos fatores climáticos na geração hidrelétrica nas regiões norte e sul da China são diferentes.

Schaefli *et al.* (2019), analisou em seu estudo os impactos das mudanças climáticas no recuo das geleiras para a produção de energia hidrelétrica na Suíça ocasionando Redução esperada da produção hidrelétrica em escala de país até 2070–2090 de 1,0 TWh ano<sup>-1</sup>.

Silva *et al.* (2019), utilizando séries de precipitação e testes de significância para investigar possíveis mudanças no comportamento hidrometeorológico em importantes bacias hidrográficas brasileiras para fins de geração de energia. Constatando que a bacia de Belo Monte, no Norte do Brasil, apresenta uma redução estatisticamente significativa na precipitação anual bem como nas bacias de Xingó e Sobradinho, na região Nordeste. Em contraste, a bacia de Itaipu, localizada no Sul do Brasil, mostrou tendências crescentes estatisticamente significativas na precipitação anual.

A importância do monitoramento de dados de chuva não se restringe a barragens hidrelétricas, pelo contrário, barragens para outros aproveitamentos também devem ter sua gestão pautada no conhecimento dos eventos de chuvas decorrentes em sua região.

Em um cenário nacional atual de recorrência de desastres envolvendo barragens de mineração, os dados que possibilitam estudos e monitoramentos hidrológicos são ferramentas que somadas a outro conjunto podem evitar desastre como o ocorrido 08 de janeiro de 2022, onde em meio a fortes chuvas em Minas Gerais, o dique Lisa da Mina de Pau Branco situado entre os municípios de Nova Lima e Brumadinho, transbordou, ocasionando um dos maiores desastres na mineração, onde 270 pessoas perderam suas vidas (POLIGNANO; LEMOS, 2020; PASSONI, *et al.* 2022).

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Delimitação da área de estudo

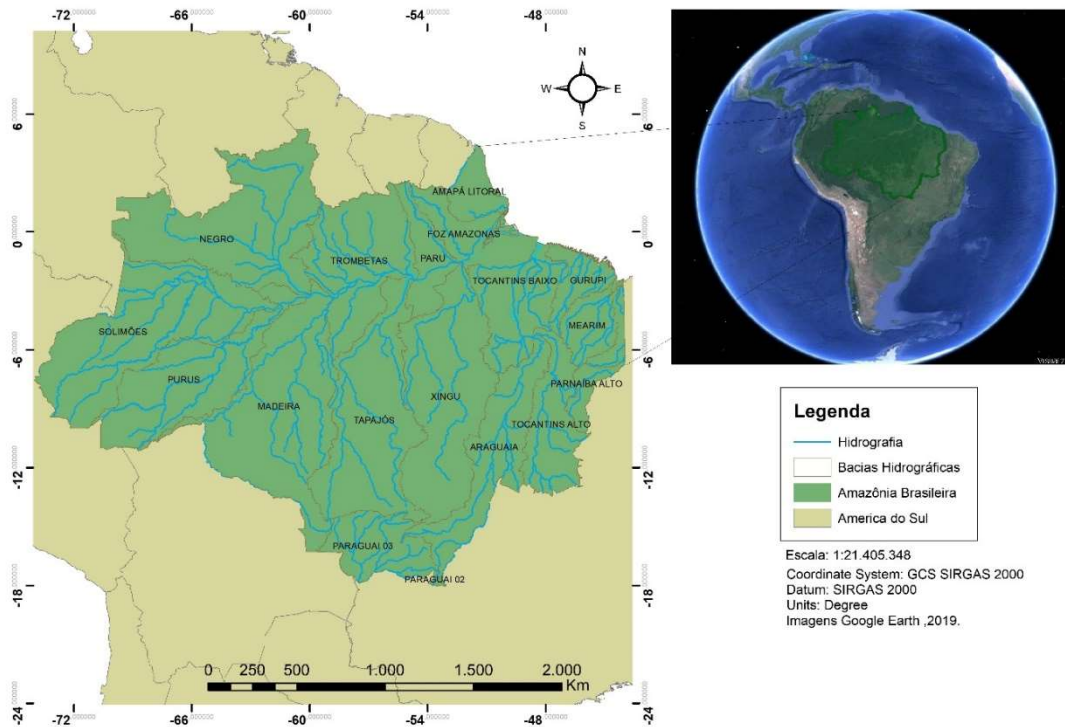
A área de Estudo compreende a Amazônia Brasileira (Figura 3), também chamada de Amazônia Legal, corresponde à área de atuação da Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia – SUDAM delimitada em consonância ao Art. 2º da Lei Complementar nº 124, de 03 Janeiro 2007 (IBGE, 2021), abrangendo um espaço territorial de 5 milhões de km<sup>2</sup>, que corresponde segundo Lira (2018) a cerca de 60% do território brasileiro, tendo importância nacional e mundial no quesito ambiental.

A Amazônia Legal é o território compreendido pelos Estados do Acre, Pará, Amazonas, Roraima, Rondônia, Amapá e Mato Grosso e pelas regiões situadas ao norte do paralelo 13° S do Estado de Tocantins, e a oeste do meridiano 44° W do Estado do Maranhão (LEMOS, 2012), essa delimitação teve como objetivo definir a delimitação geográfica da região política de atuação da SUDAM como finalidade promover o desenvolvimento incluyente e sustentável de sua área de atuação e a integração competitiva da base produtiva regional na economia nacional e internacional (IBGE, 2021).

A Amazônia Legal se caracteriza como uma área de relevância mundial e nacional, é nela que se encontra a maior área de floresta primária do mundo, 35% de todo o planeta (FAO, 2010), tendo em seu bioma a maior diversidade biológica (PERES *et al.*, 2010), e possuindo as maiores bacias hidrográficas contínuas do mundo, Amazônia, Xingu, Tocantins e Madeira (ISHIHARA, *et al.*, 2014) e maiores reservas.

A região também se destaca pelo papel na matriz energética nacional, isso devido principalmente aos grandes projetos, frutos do desenvolvimento energético Nacional, chamados por Batista e Miranda (2020) de “hidronegócios”, com destaque para as Usinas Hidrelétricas de Tucuruí (Rio Tocantins), Santo Antônio e Jirau (Rio Madeira) e Belo Monte (Xingu), e futura construção no Tapajós (FEARNSIDE, 2019).

Figura 3- Amazônia Brasileira



Fonte: Aurtoria, 2020.

Os sistemas Atmosféricos atuantes na região Amazônica possuem grande relação com as moções e estiagens, sendo os principais atuantes, os mecanismos como o da Alta da Bolívia (baixa térmica na superfície), El Niño, Linhas de Instabilidades, Linhas de Instabilidades Brisa Fluvial (MOLION, 1987; FISCH, 1998; CUTRIM, et al., 2000; ESPINOZA, 2019).

#### 4.2 Dados

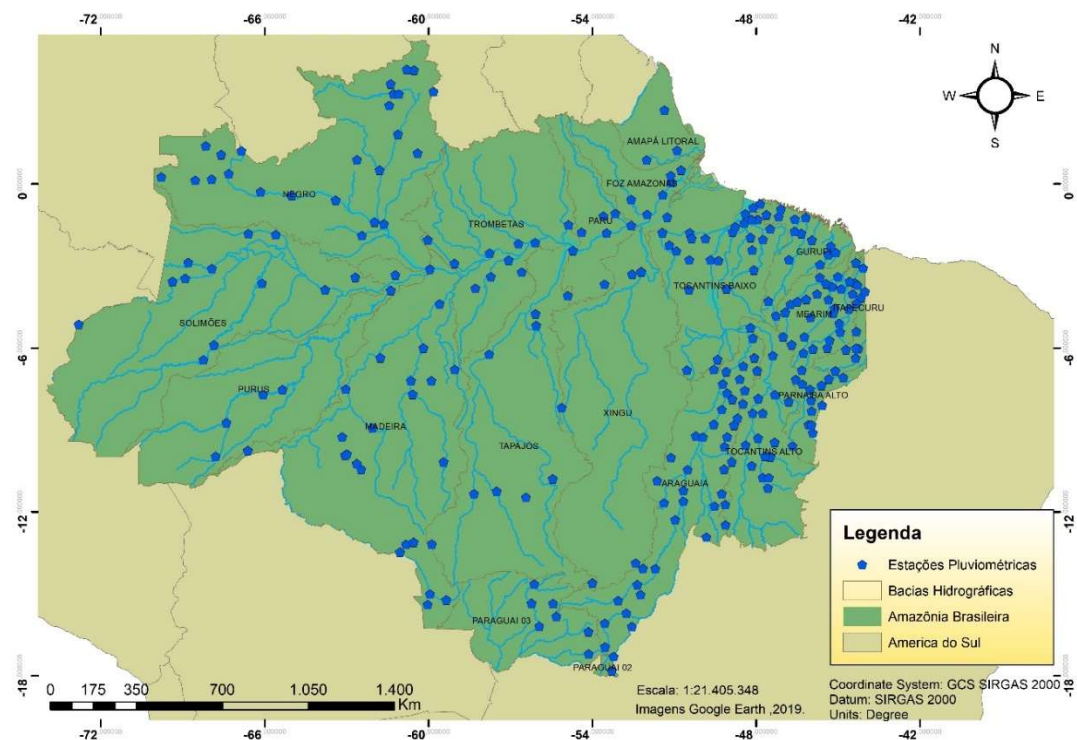
A série história de precipitação foi coletada no Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb), dados disponibilizados pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), cuja plataforma digital é integrante do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH). Para se ter uma maior confiabilidade dos atributos extraídos, deve-se seguir os critérios da Organização Mundial de Meteorologia (OMM, 1984), em que se determina um período de abrangência mínima de 30 anos para estudos com foco na análise de tendências de precipitação. No entanto, conforme diagnosticado por Lira (2018) grande parte das estações na Amazônia apresentam limitações referentes a quantidade de dados no período, apresentando falhas (*gaps*) e distribuição espacial irregular das estações.

Desta forma, optou-se por utilizar as séries históricas que tivessem maior ou igual a 20 anos, com dados dentro do período de estudo de 30 anos (1986-2015), sendo as falhas de dados faltantes preenchidos conforme metodologia da ponderação regional.

Os dados utilizados nesta pesquisa, foram dados tratados por Lira (2018), onde para viabilizar a análise da pesquisa foi realizado as correções de falhas através do Método da Ponderação Regional, considerando apenas as séries históricas que tivessem maior ou igual 20 anos, com dados dentro do período de estudo de 30 anos (1986-2015) e em estações que tivessem até seis meses de falhas, mais que isso, as falhas não foram corrigidas e as estações foram descartadas.

Assim, das 1319 estações localizadas na Amazônia Legal que possuem dados, apenas 268 estações (Figura 4), se enquadram nos critérios para utilização no estudo hidrológico.

Figura 4 - Estações pluviométricas utilizadas no estudo



Fonte: Aatoria, 2021.

#### 4.5 Métodos

A aplicação da regionalização segue etapas que envolvem a combinações de atributos em regiões coerentes, sendo posteriormente necessário a realização da validação da homogeneidade dos dados e das demarcações das fronteiras dos grupos formados (IRWIN, 2017).

A pesquisa segue etapas conforme descrito a seguir:

- 1) etapas iniciais que são o nascimento da pesquisa, verificação da problemática, o que a literatura já demonstra sobre o tema e em quais as áreas aplicadas e o levantamento das hipóteses. No caso do atual estudo, a problemática se relaciona com a baixa disponibilidade de dados e a não espacialidades dos mesmos na Amazônia legal, área com importantes barragens hidrelétricas instalados e com projetos de instalação futuro, tendo a hipótese de que regiões homogêneas podem representar de forma suficiente para estimativa de dados.
- 2) Etapa de início da ação da pesquisa, com a coleta de dados e definição da metodologia a ser aplicada. No caso da atual pesquisa, a Regionalização por agrupamento foi a escolhida devido já estar consolidada na literatura climática (RAO; SRINIVAS, 2006; GOMES; BLANC PESSOA, 2018; MUTTI, 2020; BAKAR *et al.*, 2020; SATYANARAYANA; SRINIVAS, 2011).
- 3) Coleta dos dados de pesquisa foi realizado conforme citado no capítulo anterior. Os mesmos foram disponibilizados pela Agência Nacional de Águas e tratados por Lira (2018) através da ponderação regional.
- 4) Foram utilizados como os atributos da média da precipitação anual, média da mínima anual e média na Máxima anual.
- 5) Aplicação dos métodos de agrupamento os dados foram agrupados pelo método de Ward, especializados pelo Método de Thiessen e posteriormente a Krinagem Ordinária.
- 6) Interpretação e Conclusão dos Resultados.



#### 4.5.1 Distância Euclidiana

A metodologia de medição da distância euclidiana é a mais comumente utilizada para variáveis quantitativas (SEIDEL, 2008), é considerada uma das melhores medidas possíveis (LI *et al.* 2007 ; SINGH, 2017; SINGH,2019) sendo excelente medida de distância métrica, é definida como a distância geométrica entre dois objetos  $i$  e  $j$  retirados de espaço com dimensões (GONÇALVES *et al.*, 2016). A distância Euclidiana é definida na Equação 1 (LIRA, 2019).

$$D_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^n (X_{ki} - X_{kj})^2} \quad (1)$$

Onde :  $D_{ij}$  = Distância entre os dados observados de  $i$  e  $j$  ;  $X_{ki}$  é o valor assumido pela variável  $k$  para observação de  $i$ ;  $X_{kj}$  é o valor de  $k$  para observação de  $j$ . Quanto mais próximo de zero for o valor da distância euclidiana, mais similares são os dados comparados (SEIDEL, 2008).

#### 4.5.2 Algoritmo de Ward

Segundo Seidel *et al.* (2011), o método de Ward fundamenta-se que cada elemento é considerado um conglomerado único, sendo calculado a soma dos quadrados dentro de cada conglomerado, esta soma é o quadrado da distância euclidiana de cada objeto pertencente ao conglomerado em relação ao correspondente vetor de médias do conglomerado, sendo matematicamente definido como :

$$SS_i = \sum_{k=1}^{n_i} (X_{ij} - \mu_i)' (X_{ij} - \mu_i) \quad (2)$$

Sendo  $n_i$  o número de elementos no conglomerado  $C_i$ , quando se está no passo  $k$  do processo de agrupamento;  $X_{ij}$  é o vetor de observações do  $j$ -ésimo elemento amostral que pertence ao  $i$ -ésimo conglomerado;  $\mu_i$  é o centroide do conglomerado  $C_i$  e  $SS_i$  representa a soma de quadrados correspondente ao conglomerado  $C_i$ . No passo  $k$ , a soma de quadrados total dentro dos grupos é definida como:

$$SSR = \sum_{i=1}^{g_k} SS_i \quad (3)$$

Que  $g_k$  é o número de grupos existentes quando se está no passo  $K$ .

A distância entre os conglomerados  $C_i$  e  $C_i$  é definida na Equação 4

$$d(C_i, C_i) = \left[ \frac{n_i n_i}{n_i + n_i} \right] (\mu_i - \mu_i)' (\mu_i - \mu_i)' \quad (4)$$

Em cada passo do algoritmo de agrupamento, os dois conglomerados que minimizam a distância são combinados. As comparações de conglomerados, que tem tamanhos diferentes, sofrem uma penalização representada pelo fator de ponderação  $\left[ \frac{n_i n_i}{n_i + n_i} \right]$ . Quanto maiores forem os valores de  $n_i$  e  $n_i$  é a discrepância entre eles, maior foi o valor do fator de penalização, aumentando a distância entre os centroides dos conglomerados comparados (PESSOA, 2011).

#### 4.5.3 Análise Espacial

A análise temporal dos dados de precipitação, anteriormente citada, geralmente esbarram da debilidade da baixa oferta de dados de medições de chuva, em pouco espaçamento, e grandes lacunas ou até mesmo dados escassos (BARRIOS *et al.*, 2018; NORZAIDA *et al.*, 2017). Várias metodologias são citadas na literatura para estimar os dados de chuva, onde a maioria são baseados em algoritmos de interpolação espacial (DI PIAZZA *et al.*, 2011).

Os diferentes métodos de interpolação espacial visam estimar valores de uma variável ambiental de locais não medidos, através de dados observados pontuais de uma localidade conhecida (KARUNARATHNE; RAJAPAKSE, 2019). As chuvas distribuídas espacialmente podem ser interpoladas por uma variedade de métodos diferentes, mas a complexidade reside na escolha do que melhor reproduz o melhor dados precisos (WAGNER *et al.*, 2012).

Li e Heap (2014) em Comparação de métodos de interpolação espacial comumente usados em ciências ambientais (25 métodos), destacam a Krigagem como método que melhor representa graficamente, já que o mesmo assume que as médias locais não são necessariamente próximas da média da população usando-se os pontos vizinhos para a estimativa.

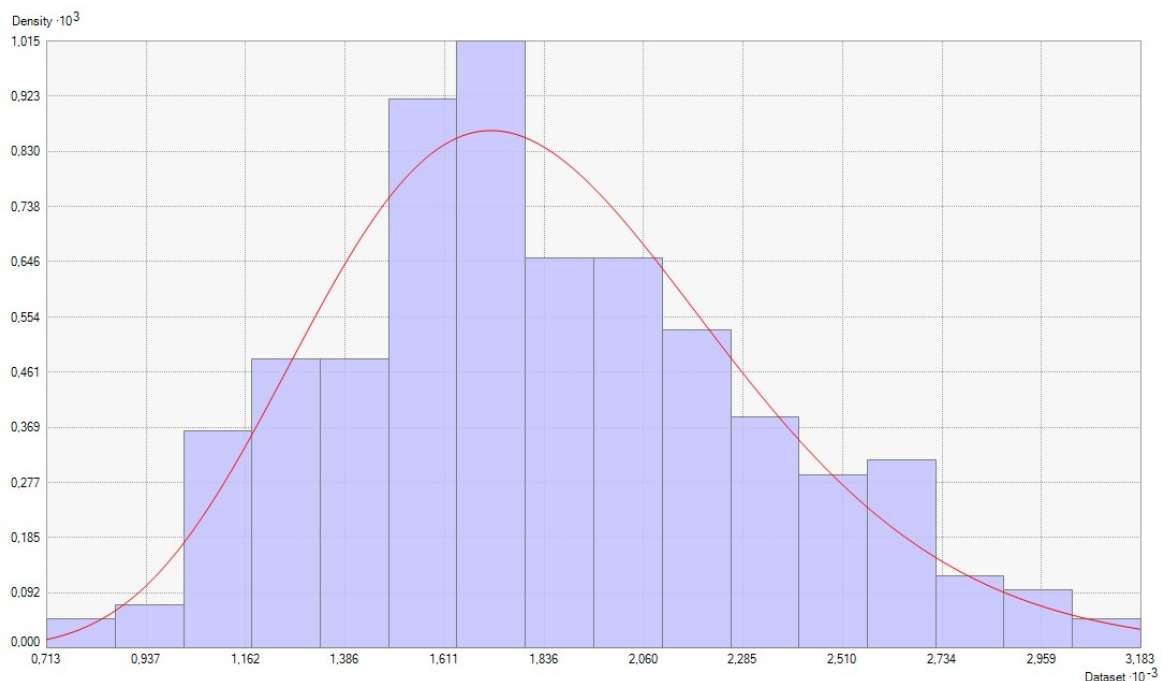
Outros estudos comparam a Krigagem com outras metodologias para espacialização. Shahbeik, *et al* (2014) que comparou a Krigagem com o IDW para estimativa de depósitos de minério, onde os resultados apresentados demonstraram

que o método Krigagem tem maior precisão do que os resultados obtidos através da técnica IDW.

## 5. RESULTADOS

Com a realização nas análises de dados foi gerado histograma (Figura 5), com médias anuais. O modelo foi escolhido para a representação dos resultados devido ser um gráfico comumente utilizado pois segundo Batista (2019), possibilita uma boa representação das distribuições das frequências simples de uma variável quantitativa contínua, os quais facilitam a visualização das informações. Cabe destacar que todas as fases do trabalho foram executadas utilizando o software de SIG.

Figura 5- Histograma dos dados de precipitações anuais médias



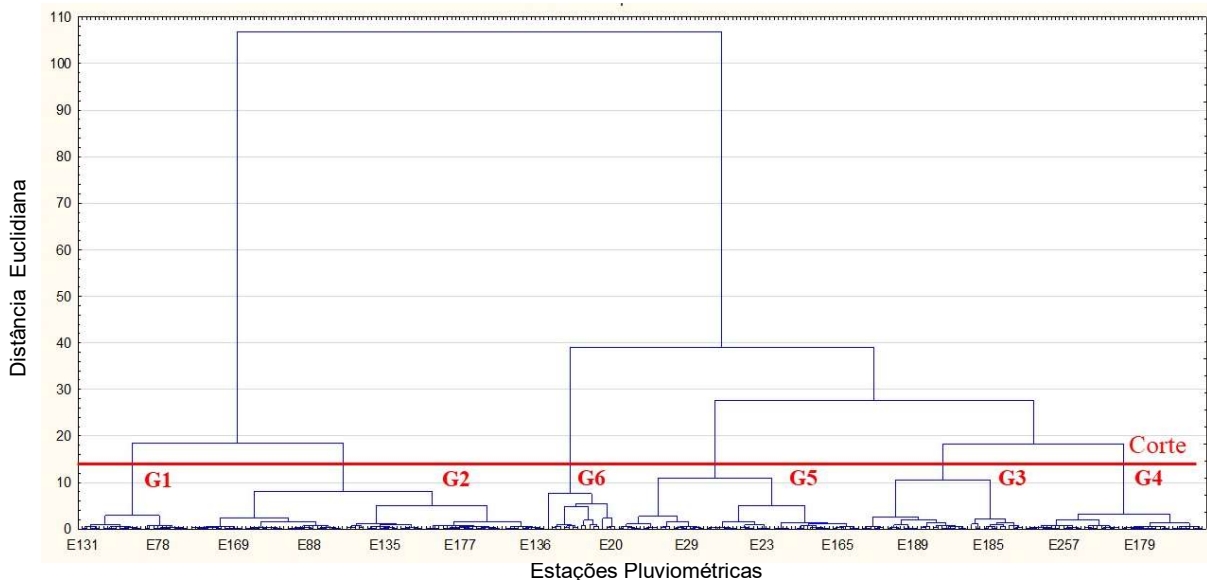
Fonte: Aatoria, 2022

Através da análise do histograma (Figura 5), verifica-se que, o valor médio dos dados (1838,3 mm/ano) é encontrado no meio da faixa, onde a frequência é mais alta e vai diminuindo ao se aproximar dos extremos, caracterizando uma distribuição com tendência simétrica, algo fundamental para pesquisa, já que dados assimétricos, dados multimodais, ou dados isolados indicam que os dados podem ser anormais como outliers (HAN, *et al.*, 2016). No entanto, por análise visual, o histograma possui uma leve assimetria à direita, após o ponto máximo com igualdade de duas colunas, porém não tendenciado a distribuição.

Foi realizado o agrupamento das 268 estações pluviométrica da Amazônia Legal, através do método hierárquico de Ward, utilizando como atributos a precipitação média, mínima e máxima de uma série histórica de dados de 30 anos (1986-2015).

Através da análise do dendrograma (gráfico em árvore), que é formado através da matriz de similaridade dos dados, plotando uma linha de corte em seu eixo y (valor dado partir da distância euclidiana), determinou-se à distância de corte formando seis grupos, conforme Figura 6.

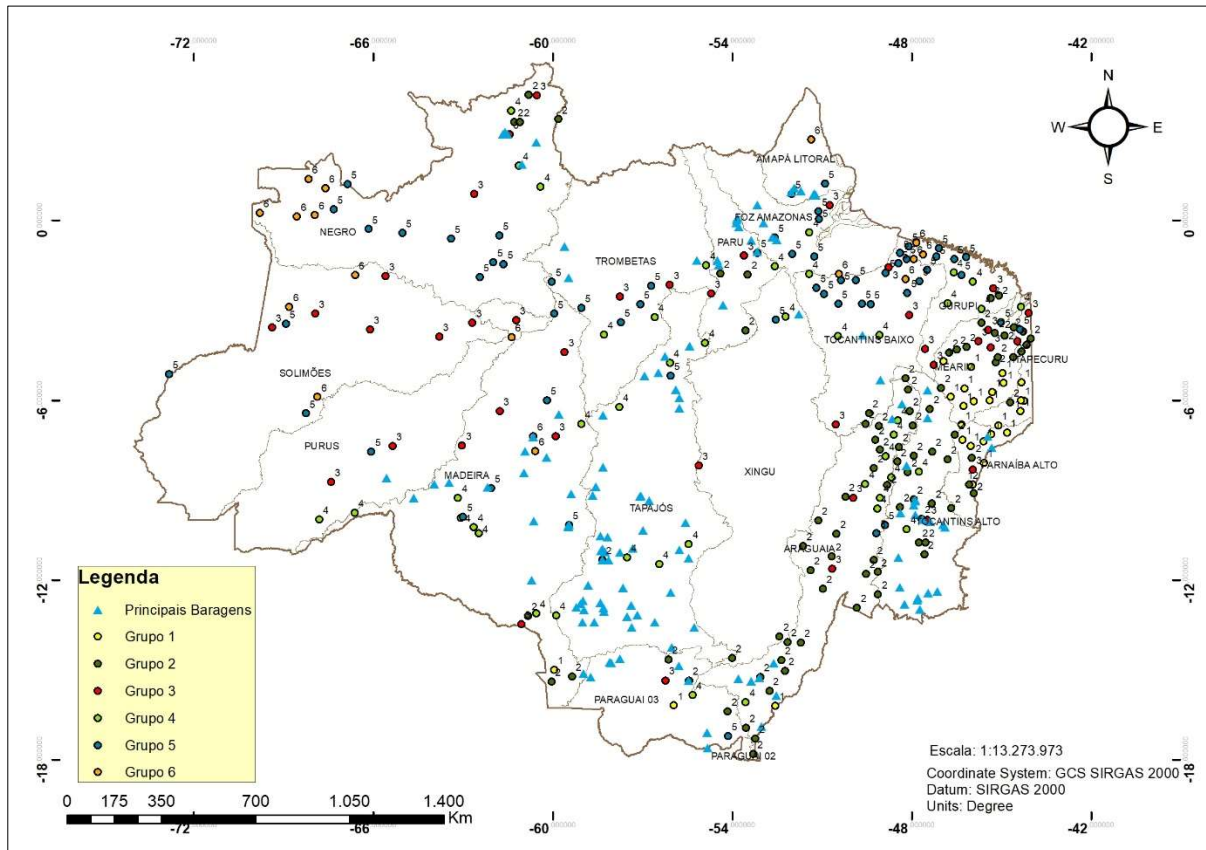
Figura 6 -Dendrograma para 268 Estações Pluviométricas de Estudo.



Fonte: (Auria, 2022).

Foram identificadas 06 (seis) regiões homogêneas (Figura 7), condizendo com os resultados encontrados por Delahaye *et al.* (2015), Santos *et al.* (2015), e Lira (2018) que analisaram sistemas atmosféricos que afetam as chuvas na região Amazônia através da análise de agrupamentos, observando que para caracterizar a variabilidade geral das chuvas na bacia amazônica são necessárias no mínimo de seis sub-regiões.

Figura 7 - Agrupamento das Estações Pluviométricas



Fonte: Fonte: Aatoria, 2022

Já Miranda (2016) em seu estudo encontra 7 grupos representativos hidrologicamente homogêneos para a área da Amazônia Legal. O autor cita que a definição da quantidade de grupos, envolveu certa subjetividade. Na Tabela II se encontra de quatro estudos de agrupamento realizados na Amazônia Legal.

**Tabela II** – Resultados de Agrupamentos de Precipitação na Amazônia Legal

### Grupos Homogêneos Representativos na Amazônia Legal

Autor	Método de Agrupamento	Número de Grupo Representativos
Delahaye <i>et al.</i> ,(2015)	Métodos de Geoprocessamento	6
Santos <i>et al.</i> , (2015)	Método Hierárquico de Ward	6
Miranda (2016)	Método Hierárquico de Ward	7
Lira (2018)	Método Hierárquico de Ward	6

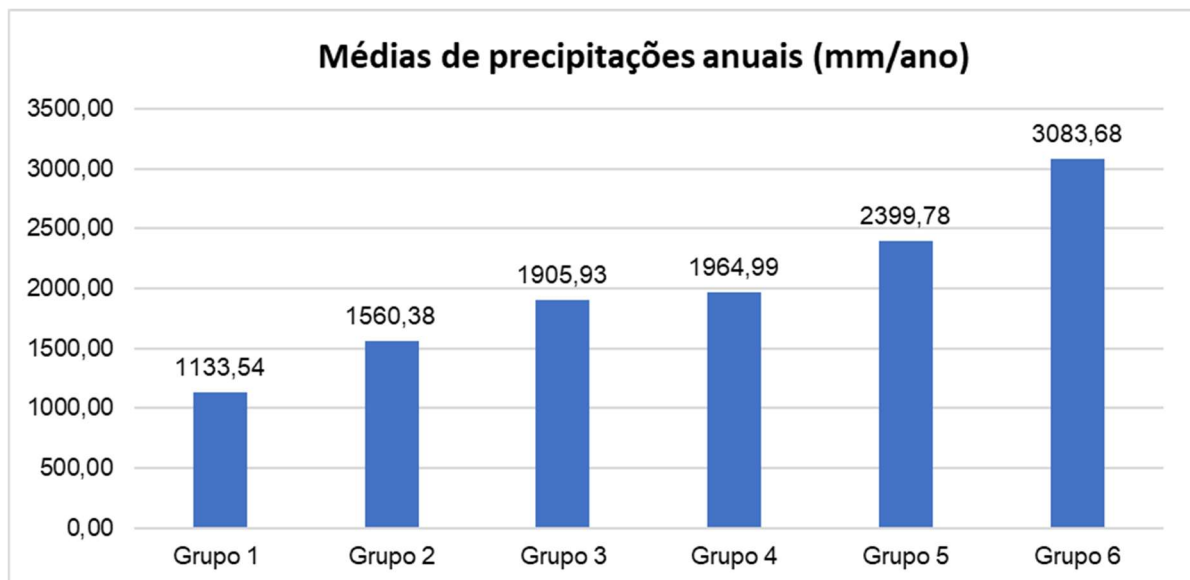
Fonte: Aatoria, 2022

Os resultados de Lira (2018), também contribui para validação da utilização de 6 (seis) grupos, destacando em seu estudo que devido à grande extensão territorial

e precipitações anuais médias variando entre 509 até mais de 5.000 mm/ano, sendo necessário a representatividades de 6 zonas homogêneas na Amazônia.

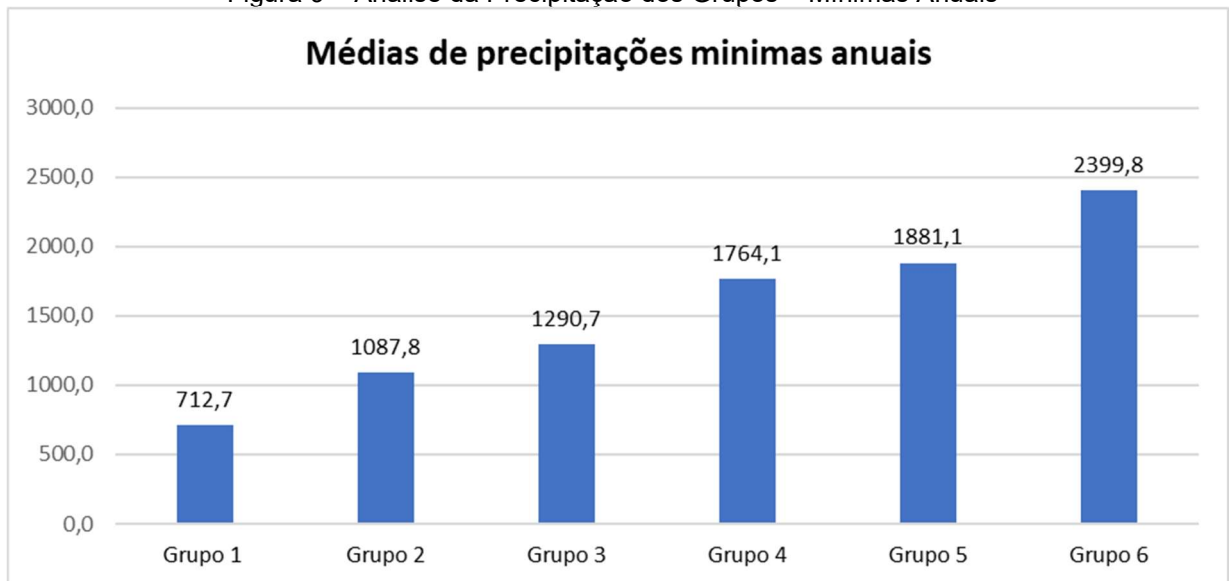
Analisando as média de precipitações anuais (Figura 8), mínima (Figura 9) e máxima (Figura 10) dos grupos, o Grupo 1 é o que apresenta a menor média pluviométrica anual (1133,54 mm/ano), o mesmo se encontra de forma homogênea no Maranhão (região de transição de biomas cerrado), e algumas estações de forma espaçadas no Mato Grosso (bioma cerrado), estando inserido nas bacias do Rio Mearim, Bacia Rio Itapecuru e bacia do Alto Parnaíba .

Figura 8 - Análise da Precipitação dos Grupos - Precipitação Anual



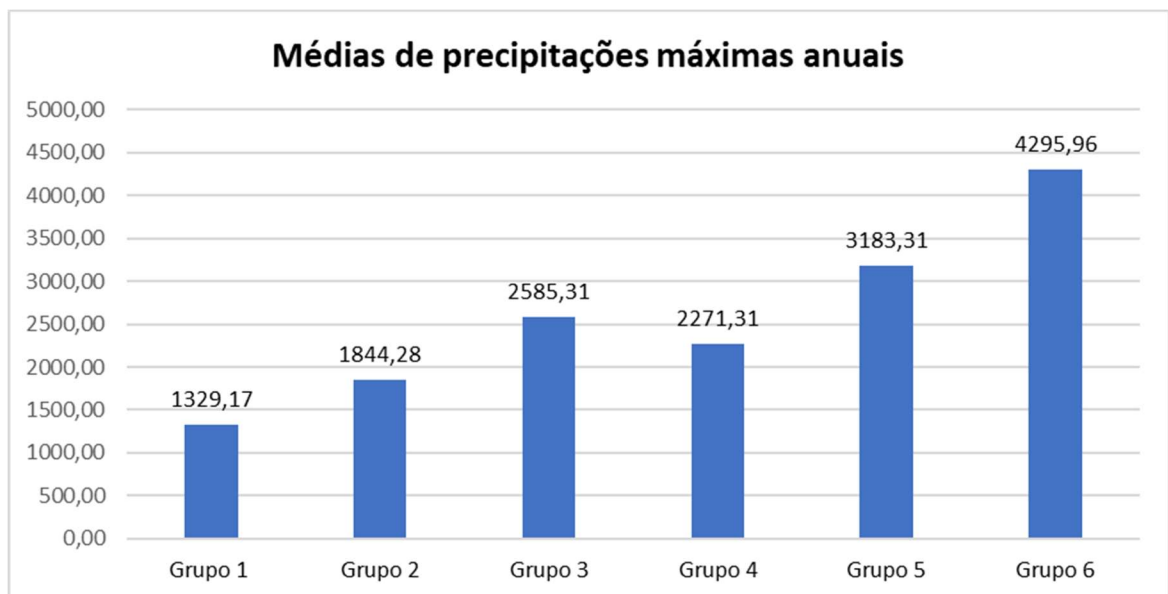
Fonte: Autoria, 2022.

Figura 9 – Análise da Precipitação dos Grupos – Mínimas Anuais



Fonte: Autoria, 2022.

Figura 10 - Análise da Precipitação dos Grupos – Máximas Anuais

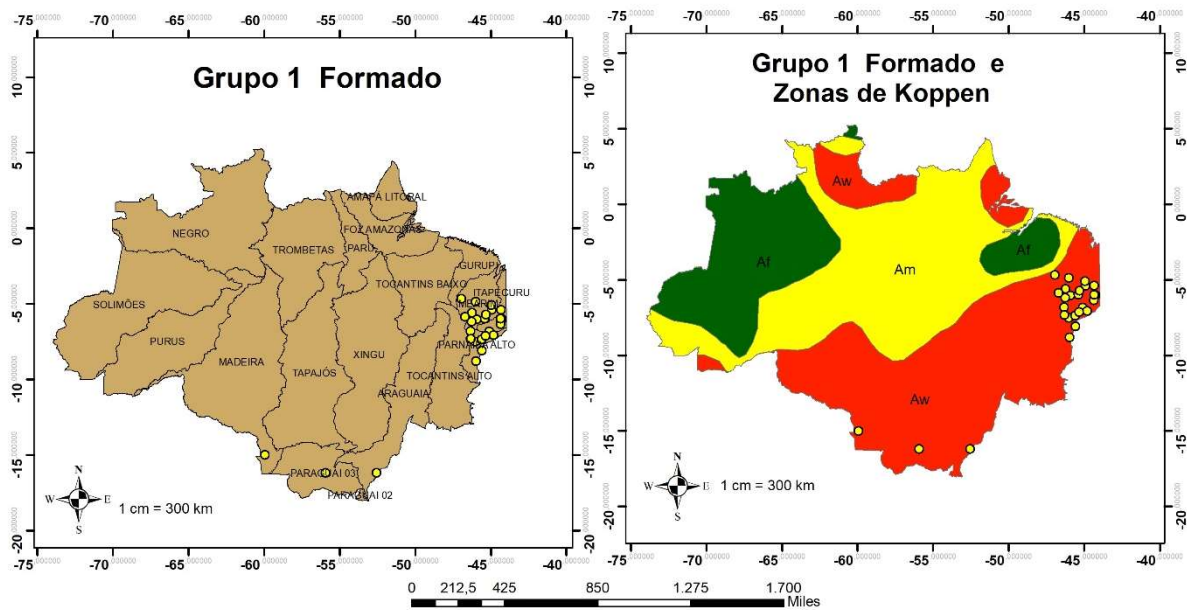


Fonte: Autoria, 2022.

Verifica-se que o grupo 1 se caracteriza inteiramente em clima de Savana, sendo que todas as estações pluviométricas do grupo se encontram na zona de AW de Köppen refinada por Alvares *et al.* (2013), conforme demonstrado na Figura 11.



Figura 11 - Grupo e sua similaridade com a Classificação de Koppen

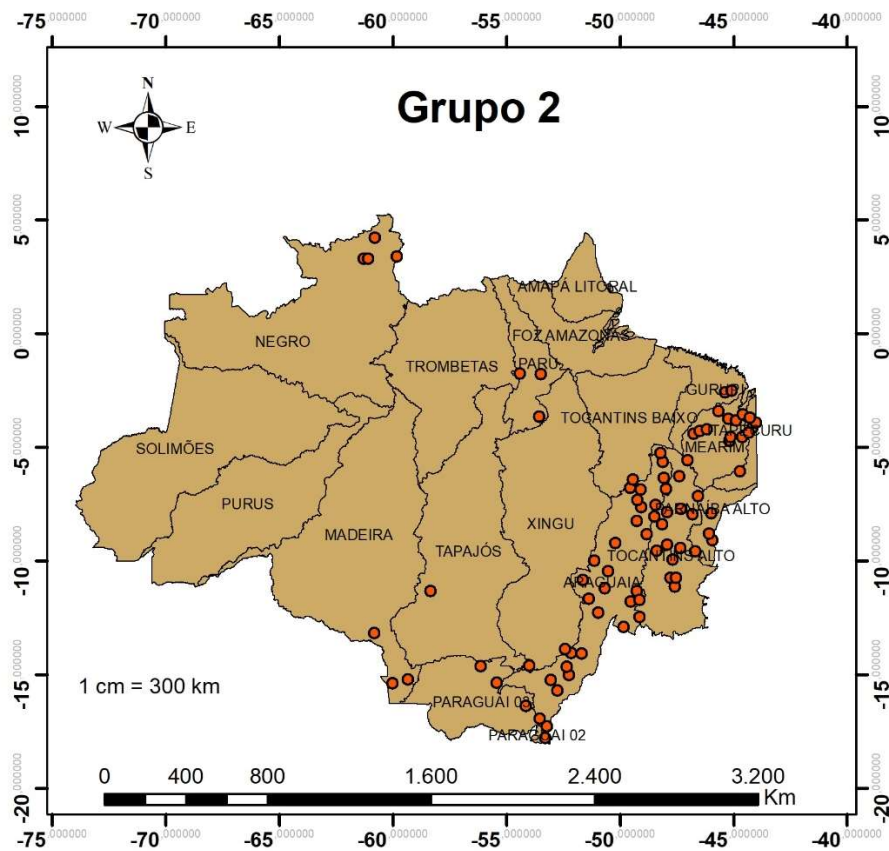


Fonte: Aatoria, 2022 e Alvares *et al.*, 2013.

O grupo 2 apresenta a média de precipitação anual de 1560,38 mm/ano, mínima de 1087,8 e máxima de 1844,28 mm, demonstrando padrões semelhantes ao Grupo 1, porém, mais especializado, também estando presente em áreas de savanas, no entanto, observa-se alta espacialidade, estando presente desde a região sul, norte e central amazônica. Esse comportamento induz a percepção de áreas hidrologicamente similares que não necessariamente estão contínuas geograficamente. A percepção dessas áreas pode ter sido favorecida devido ao uso de atributos no agrupamento, de dados que não possuem dependência espacial (coordenadas geográficas).

Outro fator a ser destacado do grupo 2 é a presença deste grupo nas cabeceiras das bacias hidrográficas de alto potencial hídrico da Amazônia, como das cabeceiras das Bacias hidrográficas do Rio Araguaia, Bacia do Rio Xingu, Bacia do Rio Madeira, Bacia do Rio Negro e Bacia do Rio Paru, conforme Figura 12.

Figura 12 - Grupo 2



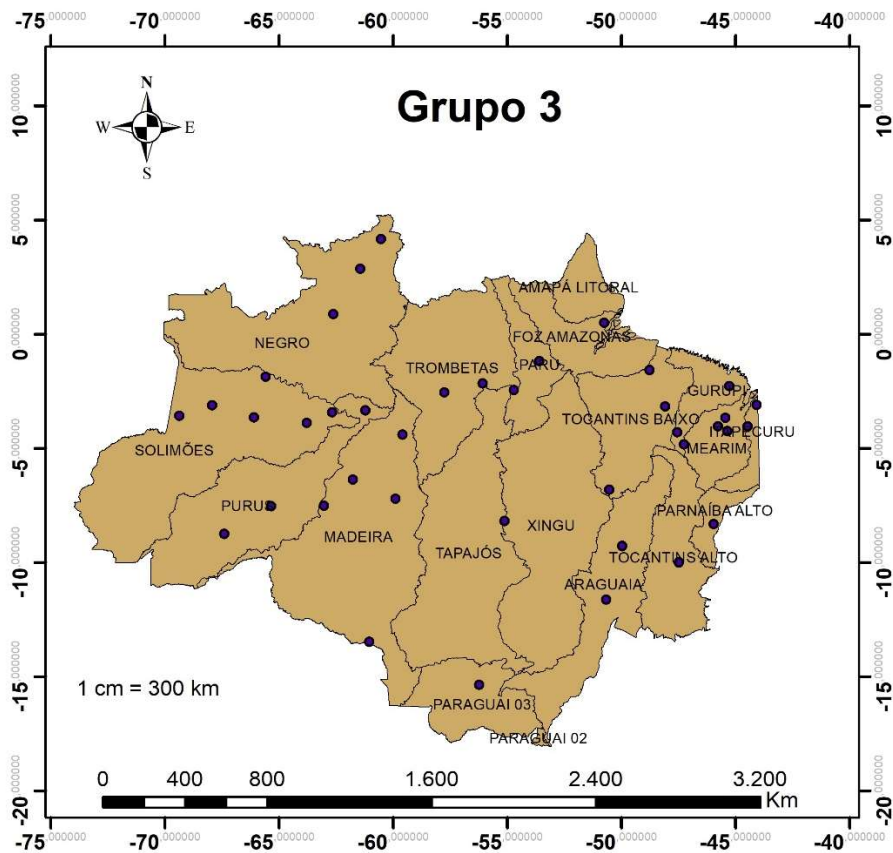
Fonte: Aatoria, 2022.

Durieux *et al.* (2003), destaca que na análise de agrupamentos deve-se levar em consideração a influência da vegetação sobre a precipitação, principalmente quanto ao uso e ocupação do solo em áreas desmatadas, cenário atual da Amazônia.

Desta forma, a espacialidade do Grupo 2 pode, de acordo com a análise de Santos (2014) que encontrou resultado semelhante, estar assimilando ao arco do desmatamento faixa que se estende do Maranhão a Rondônia, passando pelo leste do Pará e pelos estados de Tocantins e Mato Grosso. Assim a espacialidade do Grupo 2 pode não ocorrer centrada, assim como o desmatamento da Amazônia não ocorre de forma homogênea.

O Grupo 3 possui média anual de precipitação de 1905,93 mm, mínima de 1290,70 mm e máxima de 2585,31, abrangendo todas as bacias hidrográficas da região amazônica, exceto a Bacia do Amapá Litoral. A espacialidade do grupo 3 converge com os ventos alísios do Norte sobre o nordeste da Amazônia, conforme explicitado por Espinoza *et al.* (2011). O grupo é explicitado na Figura 13.

Figura 13 - Grupo 3

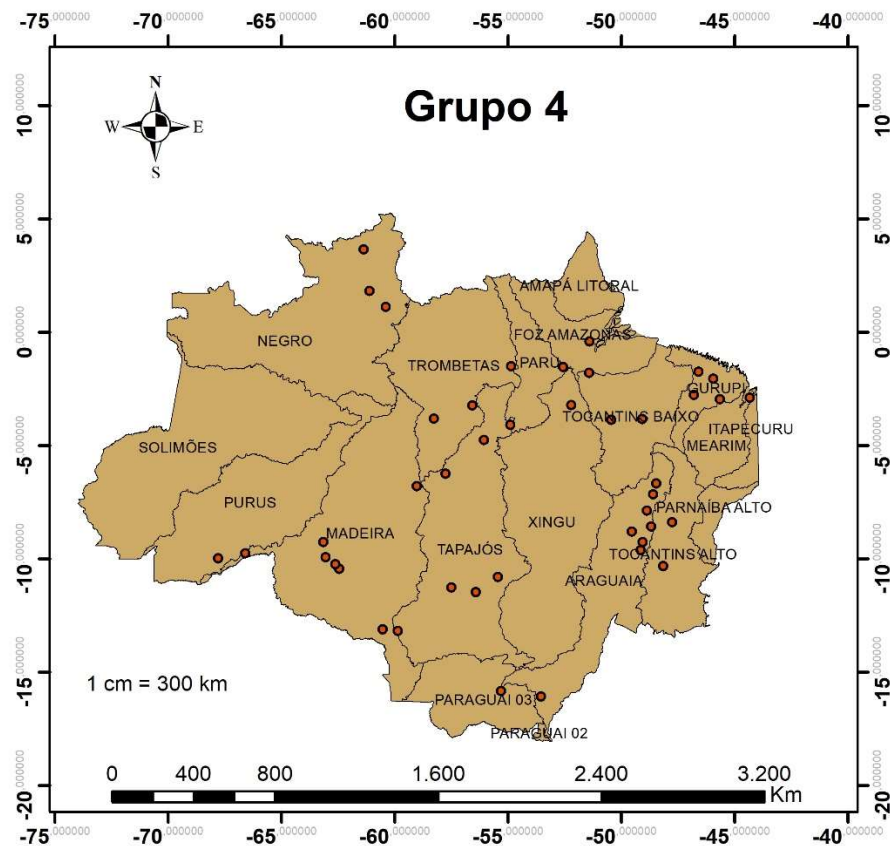


Fonte: Aatoria, 2022.

Nota-se que apesar de possuir média anual e mínima anual de precipitação menor que a do Grupo 4, quando se trata de precipitação máxima o grupo 3 possui maior volumetria de precipitação que a do grupo 4. Sugerindo probabilidade de eventos de chuvas intensas (extremas) em um curto período.

O Grupo 4 se assimila ao grupo 3 em sua espacialidade, tendo uma precipitação média um tanto maior, sendo 1964,99 mm/ano. A precipitação mínima de 1764,10. No entanto o grupo 4 possui uma precipitação máxima (2271,31 mm) menor que a do Grupo 3. O grupo se concentra nas partes médias e baixas topograficamente das bacias do Rio Madeira, Bacia do Rio Tapajós, Bacia do Rio Xingu, Bacia do rio Araguaia, Bacia do rio Tocantins, bacia do Rio Gurupi e Foz do Rio Amazonas, conforme demonstrando na Figura 14.

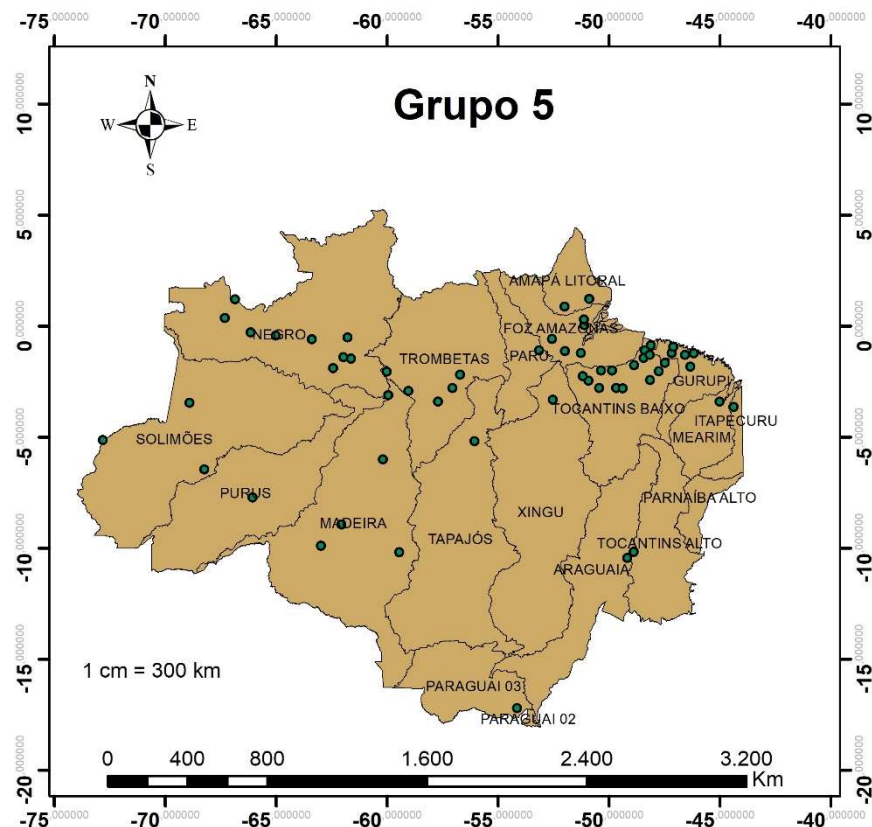
Figura 14 - Grupo 4



Fonte: Aatoria, 2022.

Percebe-se que a maioria das estações do grupo 5 se localizam na zona costeira, onde chuvas propícias a maresias são recorrentes. O grupo possui precipitação média de 3183,31 mm, precipitação mínima 1881,1 e máxima de 2399,8 mm. A distribuição das estações se encontra nos limites do Grupo Af de Köppen (2013), grupo que apresenta precipitações e temperaturas significativas ao longo do ano. A Figura 15 demonstra a distribuição das estações do grupo 5.

Figura 15 - Grupo 5



Fonte: Autoria, 2022

O Grupo 5 também pode ser influenciado devido a A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), áreas que ventos do sul em direção ao norte, convergem gerando convecção e chuvas extremas na Bacia Amazônica (VIEIRA, 2013).

Por fim Grupo 6 se constitui como o mais chuvoso (3083,68 mm/ano), possuindo a precipitação mínima de 2399,8 mm maior que as máximas anuais dos grupos 1, grupo 2 e grupo 4. A precipitação anual máxima do grupo 6 gira em torno de 4295,96mm, um índice de precipitação alto. Tal fator pode ser explicado pela localização parte em áreas costeiras e parte no noroeste do Amazonas (local denominado Cabeça do Cachorro).

Através de análise de agrupamento e dos dados levantados na pesquisa, foi identificado que apesar de grandes projetos de aproveitamento hídrico para geração de energia, se tem baixa densidade e espacialidades de pluviômetros. A Tabela II, mostra as Bacias nível 1 (de acordo com a Agência Nacional de Águas), os projetos de aproveitamento hídricos para geração de energia (UHE, PCH e UGH), e em

contraste o número de estações com séries históricas possíveis de serem ter uma análise de tendência de precipitação.

Tabela II – Bacias da Amazônia Legal, projetos de aproveitamento hídrico instalados e rede de monitoramento de chuvas (pluviômetros)

Bacia	UHE /PCH /CGH	Número de Estações
Solimões	0	11
Purus	6	6
Madeira	91	24
Tapajós	187	9
Xingu	20	4
Araguaia	60	42
Alto Tocantins	87	20
Baixo Tocantins	3	26
Merim	6	27
Gurupi	0	15
Foz Amazonas	4	9
Amapá Litoral	20	3
Paru	6	6
Trombetas	8	10
Negro	6	24
Alto Paranaíba	14	11
Itapecuru	4	14
Paraguai	130	7
<b>Total</b>	<b>652</b>	<b>268</b>

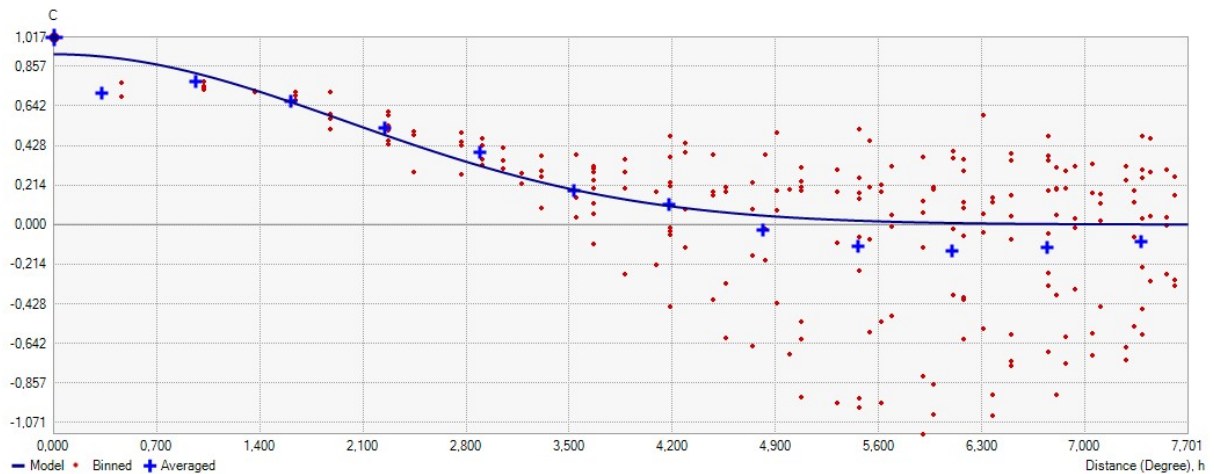
Fonte: Agência Nacional de Água, 2022

O resultado mostra visivelmente a lacuna de dados em importantes bacias. Pode-se citar a Bacia do Rio Xingu, que possui apenas 4 estações com séries históricas consideráveis e encontra partida possui mais de 20 projetos de aproveitamento Hídrico, dentre eles a Usina Hidrelétrica de Belo Monte, que apresente sérios problemas socioambientais (FLEUR, 2013) e mesmo operacionais (BERMANN, 2012).

Neste cenário, os dados de precipitação são fundamentais para a gestão de consequência dos problemas já gerados, mitigação dos problemas inevitáveis e gestão para escoamento de energia, visto que o conhecimento pluviométrico é essencial para os critérios de projeto e planejamento de obra (ROSA, 2009; PEREIRA, 2014).

Para a espacialização dos dados, utilizou-se do método de Krigagem Ordinária, este método é considerando um dos mais eficientes de estimativa linear, utilizando à média ponderada (ADHIKARY, *et al.*, 2016; GUPTA; MACHIWAL, 2017). Gerou-se o variograma dos dados, conforme Figura 16.

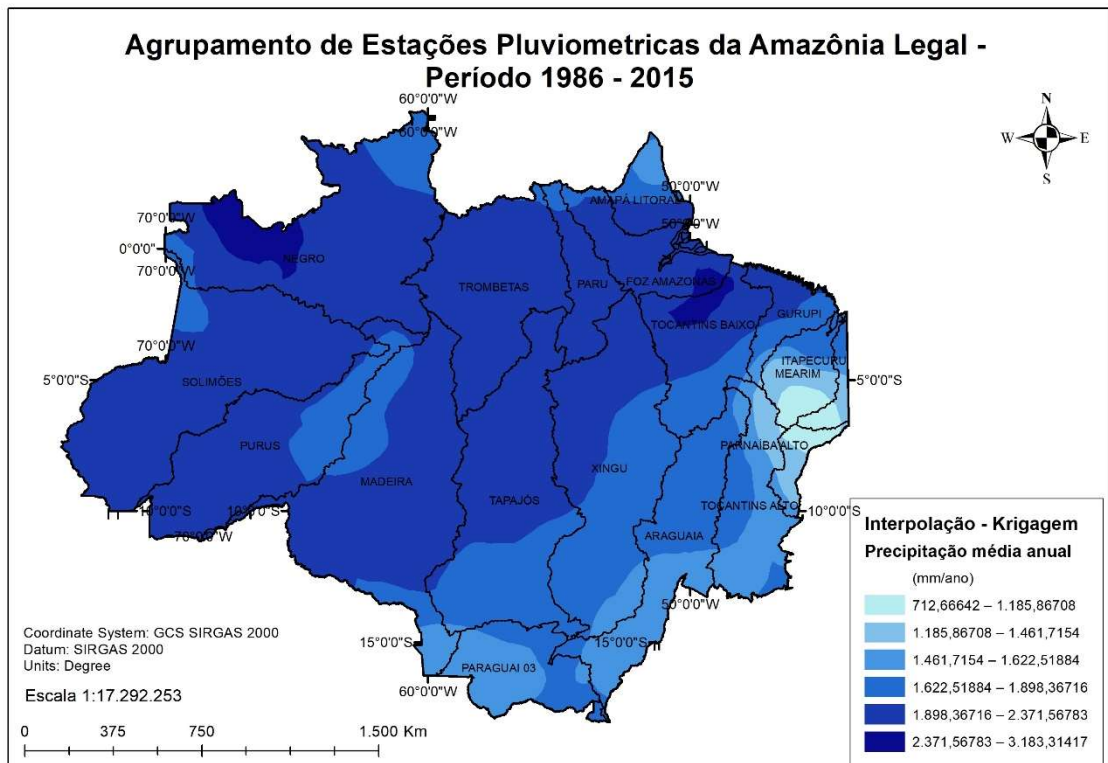
Figura 16 - Variograma dos Dados Interpolados



Fonte: Aatoria, 2022

Através da espacialização (Figura 17), pode-se observar zonas homogêneas que outrora não se tinha conhecimento dos dados. A Bacia do Rio Xingu, por exemplo, possui em seu montante no grupo de média anual entre 1622,51 a 1898,36 mm/ano, enquanto sua jusante possui precipitações superiores.

Figura 17 - Espacialização dos Dados de Chuva Amazônia Legal



Fonte: Aatoria, 2022

As bacias localizadas em bioma de Savana, apresentam índices pluviométricos menores, enquanto as regiões costeiras apresentaram maiores índices conforme já discutido.

A espacialização de bacias com extremos de baixo monitoramento (como a Bacia do Rio Xingu), apresentou três comportamentos hidrológicos, sendo sua jusante com maior índice de precipitação. A heterogeneidade da bacia, demonstra a necessidade de ajustes da gestão hídrica de acordo com suas características de precipitação, etapa de entrada de fluxo na bacia que influencia diretamente a vazão utilizando a jusante para geração de energia nas Barragens de Belo Monte e Pimental.



## 6. CONCLUSÃO

Foram identificadas através do método de Ward, 6 zonas hidrologicamente na homogêneas na Amazônia Legal. Os resultados comprovam a variabilidade climática amazônica, validado pela heterogeneidade dos comportamentos hidrológicos nas bacias hidrográficas amazônicas, onde locais como a jusante da Bacia Alto Tocantins possui precipitações médias de 1185,66 mm/ano enquanto que em regiões como noroeste Amazônico possui precipitações médias de 3183,31 mm/ano.

Verifica-se que o uso de metodologia de regionalização de chuvas se demonstrou como ferramenta capaz de extrair informações hidrológicas representativas para gestão de Barragens, PCH's e CGH, podendo suprir lacunas de dados e realizar estimativas pluviométricas.

Desta forma, o estudo possibilita subsidiar a gestão hídrica em regiões de barramento e com escassez de monitoramento pluviométrico, uma vez que a região de bacias estratégicas como Amazônica e Tocantins-Araguaia são as principais para a expansão da produção de hidrelétricas, assim como para exploração mineral do país.

Recomenda-se como continuidade do estudo, a análise das precipitações extremas, principalmente em áreas que não apresentam maiores médias de precipitação anuais (como o Grupo 3), mas apresentam máximas anuais, sugerido eventos de chuvas extremas.

## REFERÊNCIAS

ADELEKAN, Ibadun Nigeria. International Journal of Climatology: **A Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 18, n. 11, p. 1273-1284, 1998.

ADHIKARY, Sajal Kumar; *et al.* Genetic programming-based ordinary kriging for spatial interpolation of rainfall. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 21, n. 2, p. 04015062, 2016.

AFFONSO, Gustavo Sousa. Mapas Auto-organizáveis de Kohonen (SOM) aplicados na avaliação dos parâmetros da qualidade da água. **IPEN**, São Paulo, 2011.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, Brasil. **Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens: Diretrizes para a Elaboração do Plano de Operação, Manutenção e Instrumentação de Barragens**. Volume VII. Brasília, 2016.

AH, Shahana Shirin; THOMAS, Reeba. Regionalização das chuvas no estado de Kerala. **Procedia Technology**, v. 24, p. 15-22, 2016.

AHUJA, Sangeeta; DHANYA, C. T. Regionalization of Rainfall Using RCDA Cluster Ensemble Algorithm in India. **Journal of Software Engineering and Applications**, Vol. 5 No. 8, 2012, pp. 568-573..

ALAM, Mohammad Samsul; PAUL, Sangita. A comparative analysis of clustering algorithms to identify the homogeneous rainfall gauge stations of Bangladesh. **Journal of Applied Statistics**, v. 47, n. 8, p. 1460-1481, 2020.

ALMEIDA, Rafael M. et al. Reducing greenhouse gas emissions of Amazon hydropower with strategic dam planning. **Nature Communications**, v. 10, n. 1, p. 1-9, 2019.

AL-QADAMI, Abdulelah; ABDULLA, Fayez A. Regionalização da Precipitação na Jordânia. In: **Conferência do Arabian Journal of Geosciences**. Springer, Cham, 2018. p. 115-118.

Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ALVAREZ, Guilherme Martins *et al.* Análise de agrupamentos e mineração de opinião como suporte à gestão de idéias. Dissertação de Mestrado (Engenharia e Gestão do Conhecimento) - **Universidade Federal de Santa Catarina** 2018.

ARIFF, Noratiqah Mohd; JEMAIN, Abdul Aziz; BAKAR, Mohd Aftar Abu. Regionalization of IDF curves with L-moments for storm events. **Int. J. Math. Comput. Sci**, v. 10, n. 5, p. 217-223, 2016.

ASCE, Task . Committee on application of Artificial Neural Networks in Hydrology, 2000. Artificial neural networks in hydrology. I: preliminary concepts. **Journal of Hydrologic Engineering** , 115e123.

BAKAR, Mohd Aftar Abu *et al.* Cluster Analysis of Hourly Rainfalls Using Storm Indices in Peninsular Malaysia. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 25, n. 7, p. 05020011, 2020.

BASTOS, Therezinha Xavier *et al.* O estado atual dos conhecimentos de clima da Amazônia brasileira com finalidade agrícola. In: **Embrapa Amazônia Oriental- Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: SIMPÓSIO DO TRÓPICO ÚMIDO, 1., 1984, Belém, PA. Anais. Belém, PA: EMBRAPA-CPATU, 1986., 1986.

BATISTA, Iane Maria da Silva; MIRANDA, Leila Mourão. Os “Hidronegócios” nos rios da Amazônia. **Revista Brasileira de História**, v. 39, n. 81, p. 117-139, 2019.

BATISTA, Priscila da Silva. **Validação dos dados de precipitação pluvial do produto Merge para a Amazônia Central**. 2019. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Oeste do Pará.

BEA -Balanço Energético Nacional 2021: Ano base 2020 / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro : EPE, 2021. Brazilian Energy Balance 2021 Year 2020 / Empresa de Pesquisa Energética – Rio de Janeiro: EPE, 2021.

BERMANN, Célio. O projeto da Usina Hidrelétrica Belo Monte: a autocracia energética como paradigma. **Novos Cadernos NAEA**, v. 15, n. 1, 2012.

BESKOW, Samuel *et al.* Artificial intelligence techniques coupled with seasonality measures for hydrological regionalization of Q90 under Brazilian conditions. **Journal of Hydrology**, v. 541, p. 1406-1419, 2016.

BEZDEK, J. Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms. Norwell, MA, USA: **Kluwer Academic Publishers**, 1981.

BRAGATO, Gilberto; GANIS, Paola; FEOLI, Enrico. Aplicação dos índices de similaridade de Burnaby e Goodall para classificação local do solo. **Catena** , v. 180, p. 169-182, 2019.

CANCHALA, Teresita *et al.* Teleconexões entre a variabilidade mensal da precipitação e os índices climáticos de larga escala no sudoeste da Colômbia. **Água** , v. 12, n. 7, pág. 1863, 2020.

CARLSSON, Gunnar; MÉMOLI, Facundo. Characterization, stability and convergence of hierarchical clustering methods. **The Journal of Machine Learning Research**, v. 11, p. 1425-1470, 2010.

CASSANO, E.N., Lynch, A.H., Cassano, J.J., Koslow, M.R.: Classification of synoptic patterns in the western Arctic associated with extreme events at Barrow, Alaska, USA. **Clim. Res.** 30(2), 83–97 (2006)

CHEN, Hao et al. Estimating the impacts of climate change on electricity supply infrastructure: A case study of China. *Energy Policy*, v. 150, p. 112119, 2021.

CLARK, Stephanie; SISSON, Scott A.; SHARMA, Ashish. Tools for enhancing the application of self-organizing maps in water resources research and engineering. *Advances in Water Resources*, p. 103676, 2020.

CLINE, Marlin G. Basic principles of soil classification. **Soil Science**, v. 67, n. 2, p. 81-92, 1949.

CONTEL, Fabio Betioli. Os conceitos de região e regionalização: aspectos de sua evolução e possíveis usos para a regionalização da saúde. **Saúde e Sociedade**, v. 24, p. 447-460, 2015.

COSTA, Josinara Silva *et al.* Transformação da Paisagem e uso dos recursos naturais na atividade Pecuária: Um estudo de caso na Fazenda Santa Helena, Bonito, Pará- BRASIL. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**. [S.l.], v. 9, n. 1, p. 682-697, abr. 2020

CRITCHFIELD, William Burke; LITTLE, Elbert Luther. Geographic distribution of the pines of the world. **US Department of Agriculture, Forest Service**, 1966.

CUTRIM, E. M. C.; *et al.* Chuvas na Amazônia durante o século XX. In: **XI Congresso Brasileiro De Meteorologia, Rio de Janeiro**. Anais do XI CBMET. Rio de Janeiro, RJ: SBMET. 2000. p. 1327-1333.

DAI, Lun; CHENG, Tat Fan; LU, Mengqian. Padrões de precipitação das monções de verão e previsibilidade no sudeste da China. **Water Resources Research**, v. 56, n. 2, pág. e2019WR025515, 2020.

DAWSON, C.W., WIBY, R.L., 2001. Hydrological modelling using artificial neural networks. **Progress in Physical Geography** 25 (1), 80e108.

DE HOLANDA FERREIRA, Aurélio Buarque; DOS ANJOS, Margarida; FERREIRA, Marina Baird. Aurélio século XXI: o dicionário da língua portuguesa. Editora Nova Fronteira, 1999.

DE LA BLACHE, Paul Vidal. **Tableau de la géographie de la France**. Hachette, 1908.

Delahaye, F.; Kirstetter, P.E.; Dubreuil, V.; Machado, L.A.T.; Vila, D.A.; Clark, R. **A consistent gauge database for daily rainfall analysis over the Legal Brazilian Amazon**. *Journal of Hydrology*, 527:292–304. 2015.

DE LIMA, Andreina Del Carmen Camero et al. Implantação de Usinas Hidrelétricas e Teoria dos Stakeholders: Analisando o processo de negociação a partir de um estudo de caso. *Desenvolvimento em Questão*, v. 15, n. 41, p. 457-497, 2017.

DEHGHANIAN, Naser *et al.* Avaliação de desempenho de uma técnica de agrupamento híbrido difuso para identificar áreas de origem de inundação. **Gestão de Recursos Hídricos**, v. 33, n. 13, pág. 4621-4636, 2019.

DO VALE, Marcos Neves. Agrupamentos de dados: Avaliação de Métodos e Desenvolvimento de Aplicativo para Análise de Grupos. 2005. **Tese de Doutorado**. PUC-Rio.

DOMROES, Manfred; RANATUNGE, Edmound. Análise da correlação diária de chuva entre estações durante a monção do sudoeste na zona úmida do Sri Lanka. **Geografiska Annaler: Série A, Geografia Física**, v. 75, n. 3, p. 137-148, 1993.

ELETROBRAS. Manual de Inventário Hidroelétrico de Bacias Hidrográficas. Eletrobras Centrais Elétricas, Rio de Janeiro, 2007.

ESPINOZA, Jhan Carlo et al. (1981–2017). **Climate Dynamics**, v. 52, n. 9-10, p. 5413-5430, 2019.

ESPINOZA, Jhan Carlo et al. Padrões de circulação em larga escala e chuvas relacionadas na Bacia Amazônica: uma abordagem de redes neuronais. **Dinâmica climática**, v. 38, n. 1, pág. 121-140, 2012.  
EVERITT, Brian S.; LANDAU, Sabine; Leese, Morven. Cluster Analysis. **A Hodder Arnold Oublicarion**. Ath edition, 2001.

FAN, Jing-Li et al. Impacts of climate change on hydropower generation in China. *Mathematics and Computers in Simulation*, v. 167, p. 4-18, 2020.

FEARNSIDE, Philip M. Justiça ambiental e represas amazônicas do Brasil. **HIDRELÉTRICAS NA AMAZÔNIA**, p. 103, 2019.

FISCH, Gilberto; MARENGO, José A.; NOBRE, Carlos A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Acta amazônica**, v. 28, n. 2, p. 101-101, 1998.

FLEURY, Lorena Cândido. Conflito ambiental e cosmopolíticas na Amazônia brasileira: a construção da Usina Hidrelétrica de Belo Monte em perspectiva. 2013.

GALLOIS, Lucien; DE LA BLACHE, Paul Vidal. Régions naturelles et noms de pays: étude sur la région parisienne. **Comité des travaux historiques et scientifiques-CTHS**, 1909.

GOMES, Evanice Pinheiro; BLANCO, Claudio José Cavalcante; PESSOA, Francisco Carlos Lira. Regionalization of precipitation with determination of homogeneous regions via fuzzy c-means. **RBRH**, v. 23, 2018.

GOMES, Evanice Pinheiro; BLANCO, Claudio José Cavalcante; PESSOA, Francisco Carlos Lira. Identification of homogeneous precipitation regions via Fuzzy c-means in the hydrographic region of Tocantins–Araguaia of Brazilian Amazonia. **Applied Water Science**, v. 9, n. 1, p. 6, 2019.

GONCALVES, Mariane Furtado *et al.* Identificação de Regiões Homogêneas de Precipitação levando em consideração El Niño e La Niña e Diminuição de Precipitação no estado do Pará, Amazônia Brasileira. **Acta Scientiarum**. Tecnologia , v. 38, n. 2, pág. 209-216, 2016.

GONZÁLEZ, Javier; VALDÉS, Juan B. A regional monthly precipitation simulation model based on an L-moment smoothed statistical regionalization approach. **Journal of Hydrology**, v. 348, n. 1-2, p. 27-39, 2008.

Gower, J. C., Legendre, P. (1986). Metric and euclidean properties of dissimilarity coefficients. **Journal of Classification**, 3, 5–48.

GOYAL, Manish Kumar; GUPTA, Vivek. Identification of homogeneous rainfall regimes in Northeast Region of India using fuzzy cluster analysis. **Water resources management**, v. 28, n. 13, p. 4491-4511, 2014.

GOYAL, Manish Kumar; SHIVAM, Gupta; SARMA, Arup K. Spatial homogeneity of extreme precipitation indices using fuzzy clustering over northeast India. **Natural Hazards**, v. 98, n. 2, p. 559-574, 2019.

GUPTA, Ankit; KAMBLE, Trupti; MACHIWAL, Deepesh. Comparison of ordinary and Bayesian kriging techniques in depicting rainfall variability in arid and semi-arid regions of north-west India. **Environmental Earth Sciences**, v. 76, n. 15, p. 1-16, 2017.

GUTIERREZ, M. Callañaupa *et al.* Características das chuvas nos Andes centrais do Peru 2 a partir de um radar de chuva de perfil verticalmente apontado e campanha de campo. **in-situ** 4. 2019.

HADDAD, Khaled *et al.* Comparing three methods to form regions for design rainfall statistics: two case studies in Australia. **Journal of Hydrology**, v. 527, p. 62-76, 2015.

HAN, Qilong *et al.* Publishing histograms with outliers under data differential privacy. **Security and Communication Networks**, v. 9, n. 14, p. 2313-2322, 2016.

HECKLER, Charles E. Applied multivariate statistical analysis. 2005.P.374.

HU, Chen *et al.* Um método de momento L regional modificado para análise de frequência de precipitação extrema regional na Bacia do Rio Songliao, na China. **Atmospheric Research** , v. 230, p. 104629, 2019.

IRWIN, Sarah *et al.* Delineation of precipitation regions using location and atmospheric variables in two Canadian climate regions: the role of attribute selection. **Hydrological Sciences Journal**, v. 62, n. 2, p. 191-204, 2017.

ISHIRA, Júnior Hiroyuki *et al.* Avaliação do monitoramento pluviométrico da Amazônia Legal. **Revista Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia, Espírito Santo do Pinhal-SP**, v. 10, n. 3, 2013.

ISHIRA, Júnior Hiroyuki *et al.* Avaliação quantitativa e espacial da precipitação na Amazônia Legal (1978 a 2007). *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 19, n. 1, pág. 29-39, 2014.

JACKSON, IJ A correlação espacial das flutuações das chuvas na Tanzânia: uma análise preliminar. *Arquivo para Meteorologia, Geophysik und Bioklimatologie, Serie B*, v. 20, n. 2, p. 167-178, 1972.

Jain, A.K. e Dubes, R.C. (1988). *Algorithms for Clustering Data*, Prentice Hall, New Jersey.

JO, Enoch *et al.* Classification of localized heavy rainfall events in South Korea. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, v. 56, n. 1, p. 77-88, 2020.

KAKADE, SB; KULKARNI, Ashwini. Previsão sazonal de chuvas de monções de verão nas regiões de aglomerados da Índia. **Journal of Earth System Science**, v. 126, n. 3, pág. 34 de 2017.

KALTEH, Aman Mohammad; HJORTH, Peder; BERNDTSSON, Ronny. Review of the self-organizing map (SOM) approach in water resources: Analysis, modelling and application. **Environmental Modelling & Software**, v. 23, n. 7, p. 835-845, 2008.

KIM, J.; RYU, J.H. A Heuristic Gap Filling Method for Daily Precipitation Series. *Water Resources Management*, v. 30, n. 7, p. 2275-2294, 2016.

KUMAR, Pankaj *et al.* Comparison of Different Interpolation Techniques for Mean Areal Rainfall Estimation of Uttarakhand using Geographical Information System. **Journal of the New England Water Works Association**, v. 135, n. 3, p. 43-50, 2021.

LANKFORD, Philip M. Regionalization: theory and alternative algorithms. **Geographical Analysis**, v. 1, n. 2, p. 196-212, 1969.

LEMOS, André Luiz F.; SILVA, José de Arimatéia. Desmatamento na Amazônia Legal: evolução, causas, monitoramento e possibilidades de mitigação através do Fundo Amazônia. *Floresta e Ambiente*, v. 18, n. 1, p. 98-108, 2012.

LIEBMANN, Brant; MECHOSO, Carlos R. The south American monsoon system. **In: The Global Monsoon System: Research and Forecast**. 2011. p. 137-157.

- LINDEN, Ricardo. Técnicas de agrupamento. *Revista de Sistemas de Informação da FSMA*, v. 4, n. 4, p. 18-36, 2009.
- LIMBERGER, Leila et al. Streamflow and precipitation trends in the Brazilian Amazon basin and their association with Pacific decadal oscillation and deforestation. ***Theoretical and Applied Climatology***, v. 146, n. 1, p. 511-526, 2021.
- LIRA, Bruna Roberta Pereira *et al.* Avaliação do comportamento e da tendência pluviométrica na Amazônia Legal no Período de 1986 a 2015. 2019.
- LONGLEY, Richmond W. Spatial variation of precipitation over the Canadian Prairies. ***Monthly Weather Review***, v. 102, n. 4, p. 307-312, 1974..
- MARTINS, Walmer Bruno Rocha et al. Mineração na Amazônia: Importância, impactos e desafios para restaurar ecossistemas degradados. Estamos no caminho certo?. *Engenharia Ecológica*, v. 174, p. 106468, 2022.
- MEEMA, Thatkiat et al. Uncertainty assessment of water resources and long-term hydropower generation using a large ensemble of future climate projections for the Nam Ngum River in the Mekong Basin. ***Journal of Hydrology: Regional Studies***, v. 36, p. 100856, 2021.
- MIRANDA, Antônio Calazans Reis. Regiões hidrologicamente homogêneas na Amazônia com base nas precipitações mensais. 2016. 147f. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola) - **Universidade Federal de Viçosa, Viçosa**. 2016.
- MOHAMMADREZAPOUR, Omolbani; KISI, Ozgur; POURAHMAD, Fariba. Fuzzy c-means and K-means clustering with genetic algorithm for identification of homogeneous regions of groundwater quality. ***Neural Computing and Applications***, v. 32, n. 8, p. 3763-3775, 2020.
- MOLION, L.C.B., *et al.*. Influência da circulação atmosférica do Hemisfério Norte na precipitação pluviométrica da Amazônia: um estudo de caso. ***Anais do VII Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos***, Salvador, BA, 1987.
- MORAN, Emilio F. et al. Sustainable hydropower in the 21st century. ***Proceedings of the National Academy of Sciences***, v. 115, n. 47, p. 11891-11898, 2018.
- MUTTI, Pedro R. *et al.* A detailed framework for the characterization of rainfall climatology in semiarid watersheds. ***Theoretical and Applied Climatology***, v. 139, n. 1, p. 109-125, 2020.
- NETO, João Lima Sant'Anna. ***História da Climatologia no Brasil***.2004



ODOULAMI, Romaric C, *et al.* Uma análise baseada no SOM das causas da seca do Cabo Ocidental de 2015-2017 na África do Sul. **International Journal of Climatology** , 2020.

OLIVEIRA, Leroi Floriano de. Proposta de métodos de clusterização de dados com validação por testes de heterogeneidade e discordância aplicados à regionalização de bacias hidrográficas. 2018. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal de Pelotas.

OLIVIER, J .; RENSBURG, PAJ Van. A delimitação de regiões homogêneas de chuva no Transvaal do sudeste. **Revista Geográfica da África do Sul** , v. 69, n. 1, p. 47-59, 1987.

OTIENO, Hesbon *et al.* Influência da densidade do pluviômetro na seleção do método de interpolação. **Jornal de Engenharia Hidrológica** , v. 19, n. 11, p. 04014024, 2014.

OUARDA, T. B. M. J. et al. Intercomparison of regional flood frequency estimation methods at ungauged sites for a Mexican case study. **Journal of Hydrology**, v. 348, n. 1-2, p. 40-58, 2008.

PASSONI, Chiara Mori et al. **Enchentes, barragens e desastres: quem é responsável por um desastre tecnológico?**. 2022.

PEREIRA, A. L. A. B. Análise crítica dos impactos ambientais ocasionados pela linha de transmissão 500 kV Miracema, Sapeaçu e subestações associadas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental). Rio de Janeiro: **UFRJ**. 112p, 2014.

PERERA, ATD et al. Quantificar os impactos das mudanças climáticas e eventos climáticos extremos nos sistemas de energia. **Nature Energy** , v. 5, n. 2, pág. 150-159, 2020.

PERES, C.A. et al. Biodiversity conservation in human-modified Amazonian forest landscapes. **Biological Conservation** n. 143, p. 2314-2327, 2010.

PESSOA, Francisco Carlos Lira; BLANCO, Claudio José Cavalcante; GOMES, Evanice Pinheiro. Delineamento de regiões homogêneas para escoamento via fuzzy c-means na Amazônia. **Water Practice & Technology** , v. 13, n. 1, pág. 210-218, 2018.

POLIGNANO, Marcus Vinicius; LEMOS, Rodrigo Silva. Rompimento da barragem da Vale em Brumadinho: impactos socioambientais na Bacia do Rio Paraopeba. **Ciência e Cultura**, v. 72, n. 2, p. 37-43, 2020.

PRAENE, Jean Philippe *et al.* Abordagem baseada em GIS para identificar o zoneamento climático: um agrupamento hierárquico na análise de componentes principais. **Construção e Meio Ambiente** , v. 164, p. 106330, 2019.

PRASS, Fernando Sarturi *et al.* Estudo comparativo entre algoritmos de análise de agrupamentos em data mining. 2004.

RAHMAT, Siti Nazahiyah; JAYASURIYA, Niranjali; BHUIYAN, Muhammed. Identificação de áreas homogêneas para análise de frequência de secas. **International Journal of Integrated Engineering** , v. 9, n. 2, 2017.

RAMOS, M. C. 2001. "Divisive and hierarchical clustering techniques to analyse variability of rainfall distribution patterns in a Mediterranean region." **J. Hydrol.** 57 (2): 123–138. [https://doi.org/10.1016/S0169-8095\(01\)00065-5](https://doi.org/10.1016/S0169-8095(01)00065-5)

RAO, A. Ramachandra; SRINIVAS, V. V. Regionalization of watersheds by fuzzy cluster analysis. **Journal of Hydrology**, v. 318, n. 1-4, p. 57-79, 2006.

RAU, Pedro *et al.* Regionalization of rainfall over the Peruvian Pacific slope and coast. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 1, p. 143-158, 2017.

ROMEIRO, Adernar Ribeiro. Meio ambiente e produção agropecuária na Amazônia. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 37, n. 1, p. 9-34, 2019.

ROMERO, R. *et al.* Áreas de afinidade diária de chuvas no Mediterrâneo Espanha. Revista Internacional de Climatologia: **Revista da Sociedade Meteorológica Real** , v. 19, n. 5, p. 557-578, 1999.

ROSA, Marcelino. Linha de transmissão: critérios de projetos e definição do tipo de fundação. Trabalho de Conclusão de Engenharia Civil. **Universidade Anhembi Morumbi**, São Paulo, SP, 2009.

Rousi, E., *et al.*: Representing teleconnection patterns over Europe: a comparison of SOM and PCA **methods. Atmos. Res.** 152, 123– 137 (2015)

SANTOS, Eliane Barbosa; *et al.* Regionalização da precipitação da Amazônia brasileira. **Atmospheric Science Letters** , v. 16, n. 3, pág. 185-192, 2015.

SANTOS, Eliane Barbosa; LUCIO, Paulo Sérgio; SILVA, Cláudio Moisés Santos e. Regionalização da precipitação na Amazônia brasileira. **Atmospheric Science Letters** , v. 16, n. 3, pág. 185-192, 2015.

SATTI, Saleh *et al.* Aprimorando previsões sazonais dinâmicas por meio da regionalização objetiva. **Journal of Applied Meteorology and Climatology** , v. 56, n. 5, pág. 1431-1442, 2017.

SATYANARAYANA, P.; SRINIVAS, V. V. Regionalization of precipitation in data sparse areas using large scale atmospheric variables–A fuzzy clustering approach. **Journal of Hydrology**, v. 405, n. 3-4, p. 462-473, 2011.

SCHAEFLI, Bettina *et al.* The role of glacier retreat for Swiss hydropower production. **Renewable energy**, v. 132, p. 615-627, 2019.

SCHMIDT, José Carlos Junqueira. O clima da Amazônia. **Instituto brasileiro de geografia e estatística**, 1947.

SEIDEL, Enio Júnior et al. Comparação entre o método Ward e o método K-médias no agrupamento de produtores de leite. **Ciência e Natura**, p. 07-15, 2008.

ŞEN, ZEKAI; AL-SUBA'I, Khalid. Hydrological considerations for dam siting in arid regions: a Saudi Arabian study. **Hydrological sciences journal**, v. 47, n. 2, p. 173-186, 2002.

SHAHBEIK, Shahab et al. Comparison between ordinary kriging (OK) and inverse distance weighted (IDW) based on estimation error. Case study: Dardevey iron ore deposit, NE Iran. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 7, n. 9, p. 3693-3704, 2014.

SHARON, David. Correlation analysis of the Jordan Valey rainfall field. **Monthly Weather Review**, v. 107, n. 8, p. 1042-1047, 1979.

SOUZA, Vinicius Alexandre Sikora de et al. Spatio-temporal analysis of remotely sensed rainfall datasets retrieved for the transboundary basin of the Madeira River in Amazonia. **Atmósfera**, v. 35, n. 1, p. 39-66, 2022.

SILVA, Luiz Wanderson et al. Climatological and hydrological patterns and verified trends in precipitation and streamflow in the basins of Brazilian hydroelectric plants. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 137, n. 1, p. 353-371, 2019.

SOKAL, Robert R. Classification: purposes, principles, progress, prospects. **Science**, v. 185, n. 4157, p. 1115-1123, 1974.

SRINIVAS, V. V. Regionalization of precipitation in India—a review. **Journal of the Indian Institute of Science**, v. 93, n. 2, p. 153-162, 2013.

STEFFEN, Patrícia Cristina; GOMES, Júlio. Clustering of historical floods observed on Iguaçu River, in União da Vitória, Paraná. **RBRH**, v. 23, 2018.

SUMESH, R. K. *et al.* Microphysical aspects of tropical rainfall during Bright Band events at mid and high-altitude regions over Southern Western Ghats, India. **Atmospheric Research**, v. 227, p. 178-197, 2019.

SUMILA, Telmo Cosme António *et al.* Fontes e destinos de vapor de água na Amazônia e os efeitos do desmatamento. **Dissertação mestrado (Metereologia Aplicada) – Faculdade Federal de Viçosa** 2016.

SUMMER, Graham; BONELL, Mike. A organização espacial da chuva em Gales durante o inverno. **inTempo**, v. 45, n. 5, p. 174-183, 1990.

TERASSI, Paulo Miguel de Bodas; GALVANI, Emerson. Identification of homogeneous rainfall regions in the eastern watersheds of the state of Paraná, Brazil. **Climate**, v. 5, n. 3, p. 53, 2017.

TORIDE, Kinya et al. Long-term trend analysis on total and extreme precipitation over Shasta Dam watershed. **Science of the Total Environment**, v. 626, p. 244-254, 2018.

ULLAH, Hamd; AKBAR, Muhammad; KHAN, Firdos. Construção de regiões climáticas homogêneas combinando análise de agrupamento e abordagem de momento L com base no Índice de Reconnaissance Seca para o Paquistão. **International Journal of Climatology**, v. 40, n. 1, pág. 324-341, 2020.

VARGAS, Rogerio Rodrigues de. Uma nova forma de calcular os centros dos clusters em algoritmos de agrupamento tipo Fuzzy C-Means. 2012.

VESANTO, J., *et al.*: SOM Toolbox for Matlab 5. Helsinki **University of Technology**, Finland (2000): 109

VIEIRA, Samuel de Oliveira. Efeitos da zona de convergência do atlântico sul (zcas) sobre as chuvas na região sul da Amazônia brasileira. 2013.

WANGSOH, Natita; PERMPOONSINSUP, Wachirapond. Agrupando as estações de chuva na Tailândia usando um mapa auto-organizado. In: **Journal of Physics: Conference Series**. Publicação IOP, 2020. p. 012021.

XU, Dongkuan; TIAN, Yingjie. A comprehensive survey of clustering algorithms. **Annals of Data Science**, v. 2, n. 2, p. 165-193, 2015.

YANG, Zhe; BURN, Donald H. Automatic feature selection and weighting for the formation of homogeneous groups for regional IDF estimation. **Journal of Hydrology**, v. 575, p. 292-307, 2019.

YEO, Myeong-Ho et al. A stochastic weather model for generating daily precipitation series at ungauged locations in the Catskill Mountain region of New York state. **International Journal of Climatology**, v. 40, n. 2, p. 687-705, 2020.

ZHANG, Yunwei et al. An efficient space division–based width optimization method for RBF network using fuzzy clustering algorithms. **Structural and Multidisciplinary Optimization**, v. 60, n. 2, p. 461-480, 2019.

ZHAO, Fang; PASTOR, Marshall. Mudanças de precipitação perto da Barragem de Três Gargantas, China. Parte I: uma análise de validação espaço-temporal. **Journal of Hydrometeorology**, v. 13, n. 2, pág. 735-745, 2012.