



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA**

**ESCOLA POLITÉCNICA**

**MESTRADO PROFISSIONAL EM REDE NACIONAL EM GESTÃO  
E REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS**

**MATEUS YUKIO TAGATA**

**AVALIAÇÃO DE DISPONIBILIDADES HÍDRICAS SUPERFICIAIS  
PARA OUTORGA APLICANDO-SE CRITÉRIOS DE PRIORIDADE  
NO ATENDIMENTO DE DEMANDAS NA BACIA DO RIO  
PARAGUAÇU-BA**

Salvador  
2024

**MATEUS YUKIO TAGATA**

**AVALIAÇÃO DE DISPONIBILIDADES HÍDRICAS SUPERFICIAIS  
PARA OUTORGA APLICANDO-SE CRITÉRIOS DE PRIORIDADE  
NO ATENDIMENTO DE DEMANDAS NA BACIA DO RIO  
PARAGUAÇU-BA**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre, ao Programa de Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, da Universidade Federal da Bahia.

Orientador: Prof. Paulo Romero  
Guimarães Serrano de Andrade

Salvador  
2024

## FICHA CATALOGRÁFICA

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Bernadete  
Sinay Neves, Escola Politécnica - UFBA.

---

T125 Tagata, Mateus Yukio.

Avaliação de disponibilidades hídricas superficiais para outorga aplicando-se critérios de prioridade no atendimento de demandas na bacia do rio Paraguaçu-Ba/ Mateus Yukio Tagata. – Salvador, 2024.

123f.: il. color.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Romero Guimarães Serrano de Andrade.

Dissertação (mestrado) – Programa de Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, 2024.

1. Recursos hídricos - Paraguaçu-Ba, rio. 2. Outorga. 3. Sistema de suporte à decisão. I. Andrade, Paulo Romero Guimarães Serrano de. II. Universidade Federal da Bahia. III. Título.

---

CDD: 628



MESTRADO PROFISSIONAL EM REDE NACIONAL EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS  
UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
ESCOLA POLITÉCNICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

---

**MATEUS YUKIO TAGATA**

**“Avaliação de disponibilidades hídricas superficiais para outorga aplicando-se critérios de prioridade no atendimento de demandas na bacia do rio Paraguaçu-Ba”.**

Banca Examinadora:

Prof. Paulo Romero Guimarães Serrano de Andrade  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** JAILDO SANTOS PEREIRA  
Data: 06/03/2024 17:56:32-0300  
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Jaildo Santos Pereira  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** LAFAYETTE DANTAS DA LUZ  
Data: 06/03/2024 09:40:52-0300  
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Lafayette Dantas da Luz  
Universidade Federal da Bahia - UFBA

Salvador, Ba.  
05 de março de 2024.

## DEDICATÓRIA

Aos meus amados pais,

Sr. Márcio Kazuo Tagata e Sra. Mahra Carlota Pilger,

Neste momento de realização, não posso deixar de expressar minha mais profunda gratidão a vocês, que têm sido minha fonte de inspiração e apoio ao longo desta jornada chamada vida. O exemplo de excelência que vocês sempre demonstraram, priorizando a educação e dedicando-se incansavelmente ao meu desenvolvimento, foi a luz que me guiou até aqui.

Cada esforço, cada sacrifício que vocês fizeram para garantir minha educação não passou despercebido. Se hoje me torno mestre em gestão e regulação de recursos hídricos, é graças à base sólida que vocês me proporcionaram e ao amor incondicional que sempre demonstraram.

Vocês não são apenas mestres, são os verdadeiros arquitetos do meu sucesso, os pilares sobre os quais construí cada conquista. Cada vitória, cada passo dado, é uma homenagem ao exemplo extraordinário que vocês representam.

Com todo meu amor e gratidão, dedico esta obra e conquista a vocês.

## **AGRADECIMENTOS**

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE Nº 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

Gostaria de registrar meus sinceros agradecimentos aos companheiros e companheiras colegas da turma 2021 do Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua – IES UFBA. Seu notável conhecimento acadêmico e a exemplar excelência profissional são elementos admiráveis que nortearam minha maturação como pesquisador e futuro mestre na arte de gerir e regular nossos tão valiosos recursos hídricos.

Também admiro os profissionais doutores na arte de ensinar. Meus agradecimentos a todo o corpo docente do Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua – em especial ao Sr. Prof. Dr. Paulo Romero Guimarães Serrano de Andrade pela orientação e construção conjunta desta jornada. Também à Sra. Profa. Dra. Yvonilde Dantas Pinto Medeiros e à Sra. Profa. Dra. Andrea Sousa Fontes pela excelência na coordenação deste respeitável Programa.

Por fim e não menos importante, agradeço ao Sr. Prof. Dr. Jaildo Santos Pereira e ao Sr. Prof. PhD. Lafayette Dantas da Luz por aceitarem o convite para compor a banca avaliadora do meu projeto de pesquisa.

## RESUMO

Este projeto de pesquisa tem como objetivo principal aplicar e testar um modelo de suporte à decisão que considere os conceitos de probabilidade de atendimento às demandas e de prioridades de uso dos recursos hídricos na bacia do Rio Paraguaçu, visando a emissão de outorgas. Ao estabelecer funções regionais para a avaliação de vazões mínimas na bacia do rio Paraguaçu – aplicando o método tradicional de regionalização de vazões e a análise de cluster – a pesquisa conseguiu delimitar regiões hidrologicamente homogêneas e estimar as disponibilidades hídricas. Em cooperação com o Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Bahia (INEMA) foi possível identificar e quantificar as demandas outorgadas na Bacia Hidrográfica do Rio Paraguaçu. Ao integrar a estimativa de disponibilidade hídrica com as demandas outorgadas em um modelo de suporte à decisão, o estudo obteve sucesso na geração de cenários simulados para alocação de recursos hídricos. Estes, consideram a influência da sazonalidade e fornecem subsídios para o gestor identificar de forma interativa e imediata quais demandas devem ser temporariamente suspensas para garantir o atendimento às prioridades de uso estabelecidas pela Política Nacional de Recursos Hídricos. Além disso, a pesquisa se alinha com os objetivos de desenvolvimento sustentável da Organização das Nações Unidas (ONU), contribuindo para garantir o acesso à água, a preservação do meio ambiente e a promoção do desenvolvimento socioeconômico para a atual e as futuras gerações.

**Palavras-chave:** Planejamento e gestão de recursos hídricos. Outorga. Sistema de suporte à decisão.

## ABSTRACT

This research seeks to apply and assess a decision support model that incorporates the concepts of demand fulfillment probability and prioritization of water resource usage within the Paraguaçu River basin, designed to facilitate the allocation of water rights. By establishing regional functions to assess minimum flows in the Paraguaçu river basin – employing the traditional method of flow regionalization and cluster analysis – the research successfully delineated hydrologically homogeneous regions and estimated their water availability. Through collaboration with the Bahia Institute of Environment and Water Resources (INEMA), the study identified the demands of the Paraguaçu River Basin. By integrating estimated water availability with these demands into a decision support model, the study effectively generated simulated scenarios for allocating water resources. These scenarios take into account the influence of seasonality and provide guidance for managers to interactively and promptly identify which demands should be temporarily suspended to ensure compliance with the priorities of use established by the National Water Resources Policy. Furthermore, the research aligns with the sustainable development goals of the United Nations (UN), contributing to the assurance of water accessibility, environmental preservation, and the promotion of socio-economic development for both current and future generations.

**Keywords:** Water resources planning and management. Grant of right to use water resources. Decision support system



## **LISTA DE SIGLAS**

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

BHRP – Bacia Hidrográfica do Rio Paraguaçu

CERB - Companhia de Engenharia Hídrica e Saneamento da Bahia

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INEMA – Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos

PERH – Plano Estadual de Recursos Hídricos

PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos

RPGA – Regiões de Planejamento e Gestão das Águas

RRH – Regiões Hidrologicamente Homogêneas

UPGRH – Unidades de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos

WSS - Within-Cluster Sum Of Square - Soma Total dos Quadrados Dentro do Cluster

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> — Curvas de permanência para os rios Paraguaçu (Argoim) e Jacuípe (Ponte Rio Branco).....	<b>32</b>
<b>Figura 2</b> - Mapa dos limites da RPGA X – Rio Paraguaçu .....	<b>52</b>
<b>Figura 3</b> – Mapa Climático da Bacia Hidrográfica do Rio Paraguaçu .....	<b>55</b>
<b>Figura 4</b> – Mapa de Precipitação Anual Média na Bacia Hidrográfica do Rio Paraguaçu .....	<b>55</b>
<b>Figura 5</b> – Mapa das UPGRHs da Bacia Hidrográfica do Rio Paraguaçu .....	<b>56</b>
<b>Figura 6</b> – Demanda para Dessedentação Animal por Município na RPGA X	<b>58</b>
<b>Figura 7</b> – Demanda para Irrigação na RPGA X .....	<b>59</b>
<b>Figura 8</b> – Macrofuncionalidades do SisCorv .....	<b>66</b>
<b>Figura 9</b> – Representação de um sistema como uma rede de fluxo.....	<b>68</b>
<b>Figura 10</b> –Tela principal (Interface Usuário-Sistema) .....	<b>69</b>
<b>Figura 11</b> – Barra de botões para o desenho da topologia.....	<b>70</b>
<b>Figura 12</b> –Topologia de um sistema hídrico.....	<b>70</b>
<b>Figura 13</b> – Número Ótimo de Clusters pelo Método do Cotovelo .....	<b>72</b>
<b>Figura 14</b> – Agrupamento Resultante pelo Método K-Means.....	<b>74</b>
<b>Figura 15</b> – Mapa de Localização das Estações Fluviométricas .....	<b>75</b>
<b>Figura 16</b> – Localização das Estações Fluviométricas em Relação às UPGRHs .....	<b>76</b>
<b>Figura 17</b> – Curvas de Permanência da Estação ITAETÉ (51240000) – Períodos Seco e Chuvoso .....	<b>81</b>
<b>Figura 18</b> – Curvas de Permanência da Estação IAÇU (51280000) – Períodos Seco e Chuvoso .....	<b>82</b>

<b>Figura 19</b> – Curvas de Permanência da Estação ARGOIM (51350000) – Períodos Seco e Chuvoso.....	<b>82</b>
<b>Figura 20</b> – Painel de Resultados Estatísticos (Q90) – Período Chuvoso .....	<b>84</b>
<b>Figura 21</b> – Painel de Resultados Estatísticos (Q90) – Período Seco .....	<b>85</b>
<b>Figura 22</b> – Comparação entre a Q90 observada e estimadas em cada estação para a Região Hidrologicamente Homogênea em análise – Período chuvoso	<b>85</b>
<b>Figura 23</b> - Comparação entre a Q90 observada e estimadas em cada estação para a Região Hidrologicamente Homogênea em análise – Período seco .....	<b>86</b>
<b>Figura 24</b> – Distribuição das outorgas na Bacia Hidrográfica do Rio Paraguaçu .....	<b>88</b>
<b>Figura 25</b> - Mosaico de sub-bacias de contribuição por ponto de demanda ...	<b>89</b>
<b>Figura 26</b> – Resultado gerado pela simulação do OUTORGALS para a rede modelada no período chuvoso .....	<b>96</b>
<b>Figura 27</b> – Estatísticas da simulação em período chuvoso.....	<b>97</b>
<b>Figura 28</b> – Resultado gerado pela simulação do OUTORGALS para a rede modelada no período seco .....	<b>98</b>
<b>Figura 29</b> – Estatísticas da simulação em período seco .....	<b>98</b>
<b>Figura 30</b> – Resultado obtido para o trecho simulando um cenário de escassez hídrica atípica.....	<b>100</b>
<b>Figura 31</b> – Estatísticas da simulação em cenário de escassez atípica .....	<b>100</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Estações Fluviométricas Utilizadas.....	<b>63</b>
<b>Tabela 2</b> – Estações Agrupadas Por Clusters .....	<b>73</b>
<b>Tabela 3</b> – Resultado do Cluster 3 com a Estação 51330000 .....	<b>77</b>
<b>Tabela 4</b> – Resultado do Cluster 3 sem a Estação 51330000 .....	<b>77</b>
<b>Tabela 5</b> – Equações de Regionalização ( $Q_{90}$ em $m^3/s$ ; A em $km^2$ ) – Período Chuvoso .....	<b>86</b>
<b>Tabela 6</b> – Equações de Regionalização (Q em $m^3/s$ ; A em $km^2$ ) – Período Seco .....	<b>87</b>
<b>Tabela 7</b> – Resultados obtidos para a estimativa das vazões ( $m^3/s$ ) de disponibilidade pelas funções regionais .....	<b>90</b>
<b>Tabela 8</b> – Graduação numérica utilizada para determinação da prioridade de uso dos recursos hídricos .....	<b>95</b>
<b>Tabela 9</b> — Demandas não atendidas ou parcialmente não atendidas.....	<b>101</b>
<b>Tabela 10</b> - Resultados do teste de estacionariedade para a estação ITAETÉ (51240000).....	<b>117</b>
<b>Tabela 11</b> - Resultados do teste de estacionariedade para a estação IAÇU (51280000).....	<b>122</b>
<b>Tabela 12</b> - Resultados do teste de estacionariedade para a estação ARGOIM (51350000).....	<b>128</b>

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> — Vazão máxima outorgável definida por alguns estados brasileiros, critérios e legislação.....	<b>31</b>
<b>Quadro 2</b> – Critérios estaduais de outorga com base em vazões de referência .....	<b>33</b>
<b>Quadro 3</b> - Municípios que estão totalmente ou parcialmente inseridos na RPGA X – Rio Paraguaçu .....	<b>53</b>
<b>Quadro 4</b> – Distribuição da Demanda de Abastecimento Humano Total na RPGA X.....	<b>59</b>
<b>Quadro 5</b> – Relação de Outorgas Utilizadas no estudo.....	<b>133</b>

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>17</b>
<b>2. OBJETIVOS DE PESQUISA .....</b>	<b>20</b>
<b>2.1. OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>20</b>
<b>2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>20</b>
<b>3. JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>21</b>
<b>4. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>24</b>
<b>4.1. O PORQUÊ DA REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES .....</b>	<b>24</b>
4.1.1. Conceitos de Disponibilidade Hídrica .....	25
<b>4.2. OUTORGA DE DIREITO DE USO DOS RECURSOS HÍDRICOS E A     REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES.....</b>	<b>27</b>
<b>4.3. MÉTODOS DE REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES.....</b>	<b>35</b>
4.3.1. Método Tradicional .....	37
4.3.2. Método Baseado na Interpolação Linear .....	38
4.3.3. Método Proposto por CHAVES et. al. (2002) .....	39
4.3.4. Método da Interpolação Linear Modificado.....	41
4.3.5. Método Chaves Modificado .....	42
<b>4.4. O CONCEITO DE REGIÕES HIDROLOGICAMENTE     HOMOGÊNEAS .....</b>	<b>42</b>
4.4.1. Métodos de Identificação de Regiões Hidrologicamente Homogêneas.....	44
<b>5. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>49</b>

<b>5.1. ASPECTOS METODOLÓGICOS .....</b>	<b>49</b>
<b>5.2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>51</b>
5.2.1. . Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos .....	56
5.2.2. . Demandas Hídricas .....	57
5.2.3. . Caracterização de Conflitos entre os Usos na RPGA X .....	60
5.2.4. Coleta de Dados e Determinação das Regiões Hidrologicamente Homogêneas .....	61
<b>5.3. DADOS FLUVIOMÉTRICOS E CLUSTERIZAÇÃO .....</b>	<b>62</b>
<b>5.4. CONSTRUÇÃO DAS CURVAS REGIONAIS.....</b>	<b>63</b>
<b>5.5. O SISTEMA COMPUTACIONAL PARA REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES – SISCORV .....</b>	<b>65</b>
<b>5.6. O SSD OUTORGA LS.....</b>	<b>67</b>
<b>6. RESULTADOS e DISCUSSÃO .....</b>	<b>72</b>
<b>6.1. REGIÕES HIDROLOGICAMENTE HOMOGÊNEAS NA RPGA X.....</b>	<b>72</b>
6.1.1. Método do Cotovelo (Elbow Method).....	72
6.1.2. Coeficientes de Correlação .....	76
6.1.3. Análise de Estacionariedade .....	77
<b>6.2. FUNÇÕES REGIONAIS .....</b>	<b>80</b>
6.2.1. Função Regional $Q_{90}$ .....	84
<b>6.3. AS OUTORGAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAGUAÇU</b>	<b>87</b>
<b>6.4. DETERMINAÇÃO DAS ÁREAS DE CONTRIBUIÇÃO DAS SUB-BACIAS .....</b>	<b>88</b>

6.4.1. Estimativa das Disponibilidades Hídricas nos Pontos de Demanda e o Impacto da Sazonalidade.....	89
6.4.2. O Outorgals e o Desafio do Gerenciamento dos Recursos Hídricos .....	93
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>104</b>
<b>8. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>107</b>
 <u>APÊNDICE 1 - Resultados das Análises de Estacionariedade .....</u>	 <b>100</b>
<u>APÊNDICE 2 - Resultados das Análises de Estacionariedade .....</u>	<b>116</b>
<u>APÊNDICE 3 - Produto .....</u>	<b>123</b>



## 1. INTRODUÇÃO

A garantia do acesso à água, um recurso vital para a vida e desenvolvimento socioeconômico, é um compromisso delineado pela Lei Federal N° 9.433/1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e estabelece o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Brasil, 1997). No seu cerne, a legislação brasileira preconiza a gestão dos recursos hídricos fundamentada nos princípios da utilização múltipla das águas e na descentralização, incorporando a participação do Poder Público, usuários e comunidades.

Dentre os instrumentos previstos na legislação, destaca-se a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos, conforme estabelecido pelo Art. 5º, inciso III, da Lei N° 9.433/1997. A outorga desempenha um papel crucial ao assegurar o controle quantitativo e qualitativo para o exercício dos direitos de acesso à água. No entendimento de Granziera (2001), a outorga é o instrumento pelo qual o Poder Público atribui ao interessado, público ou privado, o direito de utilizar privativamente o recurso hídrico. Para Carolo (2007) trata-se de uma emissão, mediante a qual o Poder Público outorgante faculta ao outorgado o uso da água, por prazo determinado, nos termos e condições expressas no respectivo ato.

Neste contexto, emerge a dualidade na gestão dos recursos hídricos no Brasil: a gestão da oferta, incumbência do Estado, visa ampliar a disponibilidade quantitativa e qualitativa, enquanto a gestão da demanda busca racionalizar o uso e resolver potenciais conflitos.

Embora a Bahia possua uma rede fluvio-pluviométrica de monitoramento relativamente satisfatória para se avaliar disponibilidades hídricas, o monitoramento da demanda é quase inexistente. Segundo o relatório de auto avaliação das metas de gestão das águas no âmbito do sistema estadual de 2019, a Bahia conta com 580 estações pluviométricas e 350 estações fluviométricas para monitorar a disponibilidade hídrica, representando cerca de 68% do considerado ideal segundo a própria previsão do estado. Em contrapartida, o monitoramento das demandas hídricas se restringe a poucos inventários de cadastros e outorgas. Idealmente, a contabilização dos volumes retirados e consumidos deve estar baseada no inventário

e séries históricas medidas, todavia, em virtude da indisponibilidade e inconsistência de dados, usualmente se utilizam estimativas indiretas para a avaliação e projeção das demandas (ANA, 2019). Este cenário realça a importância de estratégias que contemplem não apenas a oferta, mas também a demanda, para uma gestão hídrica mais abrangente e eficaz.

Sobre contemplar a oferta, no contexto específico da bacia hidrográfica do Rio Paraguaçu, a análise dedicada à sazonalidade revelou uma significativa discrepância na oferta hídrica entre os períodos seco e chuvoso. A consideração dessa sazonalidade oferece a oportunidade de flexibilizar os valores de vazão outorgados, promovendo não apenas o desenvolvimento socioeconômico, mas também uma abordagem sustentável. Essa perspectiva dinâmica proporciona maior adaptabilidade às condições variáveis ao longo do ano, contribuindo para uma gestão mais eficaz e resiliente dos recursos hídricos na região.

Portanto, se faz oportuno estabelecer funções regionais para a avaliação das vazões mínimas na bacia do Rio Paraguaçu, tanto para o período seco quanto para o período chuvoso, utilizando o Método Tradicional de Regionalização de Vazões (ELETROBRÁS, 1985). O trabalho incorpora a clusterização por meio do método k-means, uma metodologia de agrupamento avançada, buscando aprimorar a separação dos dados e assegurando que se tenha uma representação mais precisa e refinada da sua complexidade fisiográfica, auxiliando na determinação de regiões que venham a ser consideradas como hidrologicamente homogêneas na bacia.

Adicionalmente, aplicou-se uma metodologia para emissão de outorgas, com introdução do conceito de probabilidade de atendimento às demandas e de prioridades de uso dos recursos hídricos na bacia do Rio Paraguaçu. Os valores estimados para disponibilidade hídrica, obtidos por meio das funções regionais, foram integrados ao sistema de suporte à decisão (SSD) denominado OutorgaLS. Essa escolha se baseou em sua praticidade e, sobretudo, por ser considerado o mais adequado para o estudo, proporcionando uma abordagem eficiente e eficaz.

O SSD OutorgaLS tem a capacidade única de simular o atendimento ou não das demandas por meio de uma representação em formato de rede, com uma

qualidade de integração que permite uma análise holística. Caso uma nova outorga seja concedida, o OutorgaLS analisará o sistema como um todo, considerando os impactos em toda a rede, e não apenas de maneira pontual.

O SSD OutorgaLS permite gerar cenários hipotéticos de escassez hídrica, proporcionando uma oportunidade valiosa para os gestores se anteciparem e realizarem atualizações em resposta a situações que possam demandar mudanças ou flexibilizações nas regras de restrição de uso estabelecidas na bacia. É crucial observar que a emissão de outorgas, além de envolver estratégias objetivas, deve considerar características locais específicas, como o aumento das demandas, a sazonalidade climática e possíveis alterações no regime hídrico do rio. Estes fatores podem resultar em variações nas disponibilidades hídricas locais, tornando-se determinantes para a definição da vazão que pode ser outorgada no sistema de recursos hídricos em um determinado momento.

Além disso, o SSD OutorgaLS permite identificar quais outorgas devem ser temporariamente suspensas, garantindo o atendimento às demandas prioritárias, alinhando-se com os princípios estabelecidos pela Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). Essa abordagem proativa pode auxiliar na antecipação de possíveis desafios e assegurar uma gestão eficiente e sustentável dos recursos hídricos na bacia do Rio Paraguaçu, que precisa ter, além da intervenção do INEMA no exercício de suas atividades de gerenciamento e fiscalização dos recursos hídricos, uma efetiva participação dos usuários da água no processo decisório.

## **2. OBJETIVOS DE PESQUISA**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

Aplicar e testar um modelo de suporte à decisão que considera o conceito de probabilidade de atendimento às demandas e de prioridades de uso dos recursos hídricos na bacia do Rio Paraguaçu, visando a emissão de outorgas.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar a bacia hidrográfica do rio Paraguaçu, identificando as estações pluvio-fluviométricas existentes, estudando o seu regime de vazões a partir de séries históricas consistidas.
- Delimitar regiões hidrologicamente homogêneas na bacia aplicando a análise de cluster como ferramenta para a identificação.
- Compreender diferentes métodos de regionalização de vazões e sua aplicação prática para suprir a carência de informações hidrológicas, em locais com pouca ou nenhuma disponibilidade de dados fluviométricos.
- Estabelecer funções regionais para os períodos seco e chuvoso para avaliação da disponibilidade hídrica na bacia do rio Paraguaçu – BA.
- Aplicar um modelo de alocação de água que permita incorporar a análise das disponibilidades envolvendo conceitos de probabilidade e prioridades de atendimento às demandas do uso múltiplo da água, com vistas na outorga.
- Testar se a metodologia adotada favorece ao gestor uma flexibilidade nas análises de outorga, visto que os valores outorgáveis são previamente fixos e não consideram as flutuações sazonais de disponibilidade hídrica, como no caso das vazões de referência que servem como limite máximo outorgável.

### 3. JUSTIFICATIVA

Como preconizado no artigo 225 da Constituição Federal de 1988, todos têm o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações. É em resposta a este direito que a Política Nacional dos Recursos Hídricos, Lei nº 9.433 de 1997, estabelece como diretriz em seu Art. 2º, inciso I, *“assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos”*. Além da similaridade entre os textos, nota-se que o meio ambiente ecologicamente equilibrado neste inciso é interpretado como segurança da disponibilidade de água em padrões de qualidade adequados, isto é, segurança hídrica.

Segundo a Organização das Nações Unidas, o conceito de segurança hídrica é definido como *“A capacidade da população ter acesso sustentável à água em quantidade e qualidade adequadas para a manutenção da vida e do bem-estar humano, garantindo o desenvolvimento das atividades econômicas, garantindo a proteção contra doenças de veiculação hídrica e desastres associadas à água, bem como a preservação dos ecossistemas”*. Apesar da escassez de dados hidrológicos na Bacia Hidrográfica do rio Paraguaçu, o que agrava a complexidade das emissões de outorgas para o uso da água, é crucial compreender que o propósito deste trabalho, ou seja, a tentativa de regionalizar vazões para viabilizar a outorga na referida bacia, não é apenas uma sofisticação frente à um problema, mas, uma solução em atendimento à um direito básico do cidadão.

Dessa forma, a disponibilidade hídrica se configura como a informação crucial para embasar as decisões relacionadas à outorga de direito de uso dos recursos hídricos, conforme previsto na Lei Federal Nº. 9.433/97, especialmente no Artigo 11 e seu complemento no Art. 7º, parágrafo III. Esses dispositivos estão alinhados com a Agenda 21 (capítulo 18, item 18.2) e o Objetivo 6 para o Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, mais precisamente, o ODS 6, que busca *“Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos”*. A Meta 6.5 do ODS 6 destaca a necessidade de implementar a gestão integrada dos recursos hídricos,

aprimorando a emissão de outorgas e considerando a classe de uso definida nos planos de recursos hídricos.

Iniciativas para o entendimento do comportamento pluviométrico e fluviométrico nas bacias hidrográficas do estado da Bahia, com reflexo na quantificação dos seus recursos hídricos superficiais, são traduzidas por um precário monitoramento e até a ausência de estações fluviométricas, não se dispondo, regra geral, de séries de vazões naturais dos rios, o que resulta em dificuldades para a caracterização das disponibilidades hídricas, induzindo à geração de informações, por vezes, com base em dados empíricos. Mas, em questão de custos, numa bacia hidrográfica a implantação e operação de postos hidrométricos são onerosos, principalmente em grandes bacias, como é o caso da bacia do rio Paraguaçu. Além disso, são necessários vários anos para que os dados históricos passem a ter uma boa representatividade estatística e progressiva confiabilidade, tornando-se maior à medida em que as séries históricas ficam mais extensas (AMORIM et al, 2005).

No Estado da Bahia, conforme o Art. 106 da Lei Nº 12.212/2011, atribui-se ao INEMA, entre outras competências, emitir a outorga de direito de uso de recursos hídricos e promover a divulgação de informações atualizadas referentes à disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos do Estado. Em consonância com a Lei Nº 6.855, de 12 de maio de 1995, o Decreto Estadual Nº 6.296, de 21 de março de 1997, no seu Art. 14, determina:

*Fica estabelecido, para o somatório das vazões a serem outorgadas, os seguintes limites:*

*I - 80% (oitenta por cento) da vazão de referência do manancial, estimada com base na vazão de até 90% (noventa por cento) de permanência a nível diário, quando não houver barramento;*

*II - 80% (oitenta por cento) das vazões regularizadas com 90% (noventa por cento) de garantia, dos lagos naturais ou de barramentos implantados em mananciais perenes;*

*III - 95% (noventa e cinco por cento) das vazões regularizadas com 90% (noventa por cento) de garantia, dos lagos naturais ou de barramentos implantados em mananciais intermitentes.*

Na bacia do Rio Paraguaçu, tem-se deficiência de registros fluviométricos para o cálculo de disponibilidades hídricas para a outorga. Assim, a presente pesquisa, encaixada na *Área de Concentração em Instrumentos da Política de Recursos Hídricos e Linha de pesquisa: Metodologias Para Implementação dos Instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos*, do ProfÁgua, espera oferecer um avanço metodológico para o aperfeiçoamento dos processos de outorga e de alocação de água em mananciais de domínio do Estado, adequando-se à Meta 6.5 do ODS 6 da Agenda 2030 da ONU para o Desenvolvimento Sustentável.

## **4. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **4.1. O PORQUÊ DA REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES**

A crescente demanda de água para satisfazer os usos múltiplos tem contribuído para o aumento do seu consumo e, conseqüentemente, dos conflitos entre usuários em diversas bacias hidrográficas do Brasil. Neste sentido, é crescente a discussão sobre a melhor forma de gerenciar e normatizar o uso da água para atender a suas diferentes demandas como abastecimento humano e industrial, geração de energia, dessedentação animal, irrigação, entre outros (AMORIN et al, 2005).

IBIAPINA et al. (1999) sinaliza que, para o aproveitamento adequado dos recursos hídricos disponíveis no Brasil, faz-se necessário conhecer o comportamento dos rios e seus regimes de variação de vazões, assim como os regimes pluviométricos das diversas bacias hidrográficas, no espaço e no tempo, o que exige um trabalho permanente de coleta e interpretação de dados, uma vez que a confiabilidade torna-se maior à medida em que as séries históricas ficam mais extensas (AMORIM et al, 2005). Como o Brasil é um país de grande superfície e o custo de uma rede densa é alto, é comum encontrar-se um reduzido número de postos numa região e com séries de diferentes extensões temporais (ELETROBRÁS, 1985).

De acordo com FILL (1987), em sentido amplo, entende-se por regionalização hidrológica qualquer processo de transferência de informações das estações pluviométricas e fluviométricas para outros locais. Essa transferência pode abranger diretamente as séries de vazões e, ou, precipitações, ou até mesmo determinados parâmetros estatísticos relevantes, tais como: média, variância, máximos e mínimos ou, ainda, equações e parâmetros relacionados com estas estatísticas.

O conhecimento da vazão que escoar ao longo da hidrografia é imprescindível para o planejamento e a gestão dos recursos hídricos, sendo que o desconhecimento da disponibilidade hídrica dificulta planejar, de maneira racional, a utilização dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica (MAMUM et al., 2010). A disponibilidade de informações desta variável ao longo de uma bacia hidrográfica é, em geral, deficiente ou, até mesmo, inexistente (EUCLYDES et al., 1999; PANDEY e NGUYEN, 1999; SIVAPALAN et al., 2003, apud CALEGARIO, 2014). Em casos como esses, faz-se necessário utilizar técnicas que possibilitem a transferência de informações de



outros locais cujo comportamento hidrológico seja semelhante ao do local de interesse, o que pode favorecer a determinação da disponibilidade hídrica.

Segundo Tucci (2002), nenhum modelo, técnica matemática ou estatística é capaz de criar informações; esses modelos ou técnicas podem, de fato, explorar e fazer inferências a partir das informações disponíveis. Desta forma, a inexistência ou precariedade de informações limitam o adequado entendimento do comportamento de um sistema hídrico. Tucci observa ainda que uma rede hidrométrica raramente possui uma densidade de estações que permita cobrir todos os locais de interesse de um plano de gerenciamento de recursos hídricos de uma região. Sempre existirão lacunas temporais e espaciais que precisarão ser preenchidas com a aplicação e metodologias robustas.

Não diferente do resto do Brasil, na bacia do rio Paraguaçu não se tem uma rede de estações de medição de vazões compatível com suas dimensões, o que prejudica, por vezes, certas estimativas que embasarão os tomadores de decisão sobre o desenvolvimento de ações de gestão dos seus recursos hídricos, visando atender aos múltiplos usos aos quais devem servir. Segundo VALENTIM JR. e ANDRADE (2012), a busca por soluções para este tipo de problema pode ser obtida, ou minimizada, pelo uso de técnicas estatísticas, no que diz respeito à quantidade e distribuição de dados, onde a partir de funções de regressão relacionando a vazão com uma ou mais variáveis independentes, tais como área de contribuição ou precipitação na bacia, pode-se obter estimativas para diversas variáveis hidrológicas – como as vazões médias, máximas e mínimas, em locais sem ou com poucos dados, sendo conhecida essa técnica o nome de *Regionalização de Vazões*.

#### **4.1.1. CONCEITOS DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA**

A disponibilidade dos recursos hídricos é representada pelas vazões médias e mínimas, sendo seu conhecimento imprescindível para um melhor planejamento e gestão dos recursos hídricos (Novaes et al., 2009). A vazão média permite caracterizar a disponibilidade hídrica potencial de uma bacia (Pruski & Pruski, 2011) e as vazões mínimas caracterizam a disponibilidade hídrica natural ao longo da hidrografia (Smakhtin, 2001, apud Pruski, 2012).

Sendo o volume disponível nos rios uma variável aleatória, que assume diferentes valores em função da natural variabilidade hidrológica e do manejo de reservatórios, um grande complicador no processo de emissão de outorgas tem origem no fato de que o conceito de "vazão outorgável" (ou a disponibilidade hídrica) admite diferentes formulações (KELMAN, 1997). Para exemplificar a variabilidade de formulações, como refere Mendes (2007), tem-se como exemplo três formas distintas de se determinar a disponibilidade hídrica. A Organização das Nações Unidas (ONU) expressa a disponibilidade hídrica de uma região pelo volume diário de água per capita calculado pela vazão média de longo termo ( $Q_{MLT}$ ), que se expressa:

$$Disp\ Hídrica = (QM_{MLT} / n^{\circ}.de\ habitantes) . 86400 \quad (1)$$

Segundo esse critério, a disponibilidade hídrica mínima necessária ao exercício das atividades humanas é de 2.500 m<sup>3</sup>/hab/dia (BRASIL, 2006).

Por outro lado, a ANA adota como disponibilidade hídrica o conceito abordado no Plano Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 2006a): para rios sem regularização de vazões, é a vazão com 95% de permanência no tempo ( $Q_{95\%}$ ) e, no caso de rios regularizados, é a vazão regularizada somada à vazão incremental com 95% de permanência ( $\Delta Q_{95\%}$ ). Ou seja:

$$Disp\ Hídrica = \begin{cases} Q_{95\%} & \text{se não houver regularização} \\ Q_{Regularizada} + \Delta Q_{95\%}, & \text{se o rio é regularizado} \end{cases} \quad (2)$$

Considerando que a outorga não deve esgotar a quantidade de água dos mananciais e nem comprometer sua qualidade, a Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos - Resolução CNRH No.16, de 08/05/2201, conceituou disponibilidade hídrica como a diferença entre o volume aleatório disponível naturalmente no corpo hídrico e a soma das parcelas referentes à vazão outorgável, aos usos insignificantes, à quantidade mínima para a manutenção da biota aquática e, quando for o caso, à quantidade mínima de água para manutenção das características de navegabilidade. Ou seja:

$$Disp\ Hídrica = Q_{natural} - ( Q_{Outorgável} + Q_{Insignificante} + Q_{Ecológica} + Q_{Navegação} ) \quad (3)$$

A vazão de um rio, entendida como um valor associado a certo risco, pode ser estimada associando-se um ajuste de distribuição estatística, ou por regionalização de vazões ou com base na precipitação (MENDES, 2007). Se há disponibilidade de dados históricos de vazões nos locais de interesse e a bacia hidrográfica não sofreu antropização (ex.: aumento da urbanização, construção de reservatórios, supressão de vegetação) é possível recorrer à distribuição estatística, associada a um certo risco. Não se tendo dados históricos de vazões ou as séries são de curto período e/ou com muitas falhas em seus registros, pode-se utilizar tanto a regionalização de vazões como as precipitações. A regionalização, como já foi aqui comentado, permite estimar a vazão em locais sem dados com base em postos fluviométricos já existentes na região. Já as precipitações podem servir de base para serem transformadas em vazão pelo uso de modelos matemáticos, sendo útil quando a bacia sofreu modificações (TUCCI, 2002).

#### **4.2. OUTORGA DE DIREITO DE USO DOS RECURSOS HÍDRICOS E A REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES**

Conforme Kelman (1997), a outorga de direito de uso de água não deve ser confundida com concessão de serviço público, como é o caso de abastecimento de água, tratamento de esgoto urbano ou produção de energia elétrica. A emissão destes serviços segue regras próprias, não relacionadas com o uso coletivo do recurso hídrico. O poder outorgante de direito de uso de água é o Governo Federal ou os governos estaduais, conforme o caso. A outorga tem prazo de validade limitado (Lei N° 9.433, artigo 16) e não implica na alienação parcial das águas, que são inalienáveis, mas o simples direito de uso (Lei N° 9.433, artigo 18). Já o poder concedente de serviço público é o governo municipal, no caso de abastecimento de água e de coleta/tratamento de esgoto, ou o Governo Federal, no caso de produção de energia elétrica.

A regionalização hidrológica de vazões constitui um grande desafio para a Gestão de Recursos Hídricos. O conhecimento das vazões exclusivamente nas seções onde é feito o monitoramento fluviométrico é extremamente restritivo e impede um plano de gestão adequado e aplicável a toda a bacia hidrográfica. Neste sentido,

a regionalização se apresenta como uma vantajosa aliada para contornar este empecilho, o que pode auxiliar na gestão de recursos hídricos.

Vale observar que a vazão média de longa duração ( $Q_{mld}$ ) representa a disponibilidade potencial dos recursos hídricos (PRUSKI e PRUSKI, 2011), sendo esta, teoricamente, a máxima vazão possível de ser regularizada, abstraindo-se as perdas por evaporação e infiltração. Já a vazão mínima é caracterizada pela magnitude, duração e frequência, e representa a disponibilidade natural ao longo da hidrografia (SMAKHTIN, 2001).

A outorga é o instrumento da política de recursos hídricos que tem o objetivo de assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água. Garante ao usuário outorgado o direito de acesso à água, uma vez que regulariza o seu uso em uma bacia hidrográfica (ANA, 2011). Este instrumento regulariza o uso, no entanto, só é capaz de inferir sobre a vazão de referência.

#### **a) Vazões de Referência**

Segundo Kelman (1997), diante de dificuldades em se determinar a vazão máxima outorgável ( $Q_{outorgável}$ ), fez com que o Poder Público adotasse postura rigorosa ao estabelecer critérios de outorga, uma vez que essa vazão ( $Q_{outorgável}$ ), deve ser utilizada nos cálculos de balanço hídrico, o que é um valor desconhecido, *a priori*. Passou a ser comum então estabelecer um teto para as derivações consuntivas baseados em valores fixos denominados vazões de referência, adotados, regra geral, na legislação de recursos hídricos de vários dos estados brasileiros como critério para estabelecer vazões outorgáveis máximas.

Como destacado por Silva e Monteiro (2004, apud Lopes e Freitas, 2007) o procedimento de alocação de água para fins de outorga mais adotado no Brasil, a partir da década de noventa, baseia-se na definição de vazões mínimas de referência e no estabelecimento de limites de utilização dessas vazões por usos da água, objeto de autorizações pelo poder público. As vazões mínimas de referência caracterizam as disponibilidades hídricas dos corpos de água e são geralmente definidas por vazões com alta permanência no tempo (como a  $Q_{90}$ ) ou por vazões mínimas associadas a

probabilidades de ocorrência (como a  $Q_{7,10}$ ), ou frações de vazões de permanência ( $Q_{P\%}$ ) como limite para a vazão máxima outorgável. Dessa forma, a vazão mínima de referência é aquela que está disponível mesmo nos períodos de estiagem, com pequena probabilidade de falha.

Esse conceito elimina a necessidade de simulação do comportamento dos corpos de água e da sua variação ao longo do tempo, pois se refere à situação mais severa. Por outro lado, não favorece a alocação de água nos períodos de hidrologia favorável. Os limites de utilização são, regra geral, chamados de “critérios de outorga”, indicando as quantidades máximas de água cujo uso pode ser autorizado por meio de outorgas de direito de uso pelo poder público. O Quadro 1 apresenta os critérios de outorga utilizados por alguns órgãos gestores brasileiros.

Nas regiões do nordeste semi-árido brasileiro, a disponibilidade hídrica natural é insuficiente ao atendimento às demandas, sendo provida por reservatórios de regularização de vazões. Em razão disso, a vazão de referência é relacionada à vazão regularizada por reservatórios e os limites de utilização são mais dilatados. Entretanto, cabe destacar que, em muitos casos, os chamados “critérios de outorga” são fixados em Leis e Decretos, como mostra o Quadro 1, o que dificulta a introdução de aperfeiçoamentos técnicos e ajustes ao longo do tempo.

#### **b) Vazões de Permanência ( $Q_{P\%}$ )**

A curva de permanência ou de duração de vazões relaciona a vazão (geralmente no eixo das ordenadas) e a porcentagem do tempo em que ela é superada ou igualada sobre todo o período histórico utilizado para sua construção (geralmente no eixo das abscissas). Representa o complemento da função distribuição cumulativa de probabilidade de vazões ou a probabilidade de excedência das vazões (Quimpo e McNally, 1983; Voguel e Fennessey, 1994, apud Cruz, 2001).

Segundo Cruz (2001), não se pode dizer que a permanência se refere à probabilidade das vazões em qualquer ano, mas pode ser interpretada como uma “garantia” ou probabilidade de ocorrência das vazões num horizonte de planejamento, apesar de estatisticamente utilizar vazões dependentes entre si. As curvas de duração

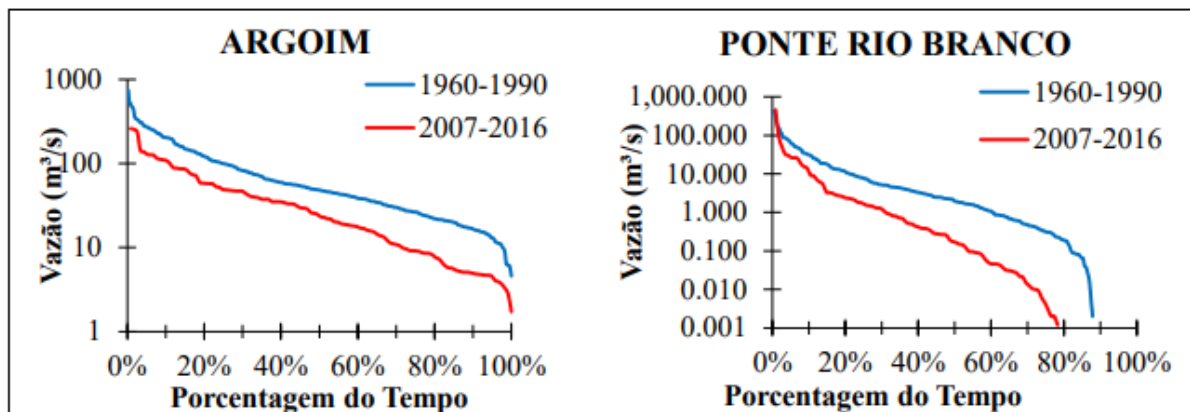
(ou permanência) podem ser elaboradas através de registros diários, mensais ou anuais de vazão, ao longo de um período histórico. A Figura 1 apresenta um exemplo de curva de permanência, observando-se que, durante 85% do tempo, a vazão assume valores iguais ou maiores que  $30 \text{ m}^3/\text{s}$  (ou seja,  $Q_{85\%} = 30 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

Quadro 1 — Vazão máxima outorgável definida por alguns estados brasileiros, critérios e legislação

Autoridade outorgante	Vazão máxima outorgável (o complemento para 100% corresponde à "vazão ecológica")	Legislação
ANA	70% de $Q_{d,i}$ , podendo variar de acordo com as peculiaridades de cada região.	Não existe devido às peculiaridades do País, podendo variar o critério.
	20% para cada usuário individual	
SHR-CE	90% da $Q_{d,reg}$	Decreto Estadual nº 23.067/94
SRH-BA	80% da $Q_{d,i}$	Decreto Estadual nº 6.298/97
	20% para cada usuário individual	
AACISA-PB	90% da $Q_{d,reg}$ . Em lagos territoriais, o limite outorgável é reduzido em 1/3	Decreto Estadual nº 19.260/97
SERHID-RN	90% da $Q_{d,reg}$	Decreto Estadual nº 13.283/97
SEMARH-GO	70% da $Q_{d,i}$	Não existe legislação específica
IGAM-MG	30% de $Q_{d,i}$ para captações a fio d'água	Portarias do IGAM nº 010/98 e 007/99
	Para captações em reservatórios, podem ser liberadas vazões superiores, mantendo o mínimo residual de 70% da $Q_{d,i}$ durante todo o tempo	
SUDERHSA-PR	50% da $Q_{d,i}$	Decreto Estadual nº 4646/2001
SEMATEC-DF	80 % de $Q_{d,i}$	Decreto Estadual nº 22.359/01
SEMAR-FI	80% de $Q_{d,i}$ (rios) e 80% de $Q_{d,reg}$ (açudes)	Não existe legislação específica
DAEE-SF	50% da $Q_{d,i}$ por Bacia. Individualmente nunca ultrapassar 20% da $Q_{d,i}$	Decreto nº 43.284/98
SEAMA-ES	A vazão a jusante da barragem deverá ser no mínimo igual ao menor valor comparativo entre o $Q_{d,i}$ e a vazão mínima medida em período de seca, calculada para aquela seção do curso da água	Decreto Estadual nº 4.489/99
SEPLANTEC-SE	100% da $Q_{d,i}$	Não existe legislação específica
	30% de $Q_{d,i}$ para cada usuário individual	
NATURATINS-TO	75% de $Q_{d,i}$ por Bacia. Individualmente o máximo é 25% da mesma $Q_{d,i}$ . Para barragens de regularização, 75% da vazão de referência adotada	Não existe legislação específica
CERH-AL	A vazão outorgável é de 0,9 da $Q_{d,i}$	Decreto Estadual nº 006/01
SERLA-RJ	Determina que para fins de vazão de referência será utilizada $Q_{d,i}$	Portaria SERLA n. 307/2002
SEMA-AP	<p>Lei 0686/02 – Política de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Estado do Amapá.</p> <p>Toda outorga estará condicionada às prioridades de uso estabelecidas nos planos diretores de recursos hídricos respeitando as classes em que o corpo se enquadra e a manutenção de condições adequadas ao transporte aquaviário quando for o caso</p>	<p>A outorga ainda não está regulamentada no Estado, em virtude de inexistência de instituição do objeto legal específico. Mesmo sem regulamentação as águas do estado do Amapá estão sendo derivadas para usos significativos, como a geração energética. E, como o estado não está no controle das vazões utilizadas, também não pode garantir a manutenção de vazões ecológicas que supram as necessidades sociais e ecológicas já estabelecidas nos cursos d'água. Os recursos hídricos podem estar sendo utilizados de forma indiscriminada ou sem o devido controle.</p>

Fonte: Adaptado de Santos e Cunha, 2013

Figura 1 — Curvas de permanência para os rios Paraguaçu (Argoim) e Jacuípe (Ponte Rio Branco)



Fonte: Valério et.al. (2017).

Como antes já considerado, a regionalização hidrológica pode ser aplicada para variáveis ou funções. A regionalização das variáveis ocorre quando uma variável de interesse (vazão mínima, vazão máxima, etc.) pode ser estimada numa determinada região a partir de dados pontuais existentes. A regionalização de uma função hidrológica (exemplo: curva de permanência de vazões, curva de regularização de vazões) é semelhante sendo a curva de permanência de um curso d'água uma função hidrológica pela qual relaciona-se a vazão ou nível do rio à probabilidade de que esses mesmos valores de vazão ou nível sejam superados (REIS et al, 2006).

A curva de permanência é utilizada quando se deseja conhecer a permanência no tempo de determinados valores de vazão. A curva permite, por exemplo, conhecer a parcela do tempo em que é possível, a fio d'água, abastecer cidades, indústrias ou empreendimentos agropecuários, navegar num rio, estabelecer a rentabilidade econômica de uma pequena central elétrica sem regularização e a sua potência ótima de dimensionamento ou quando se deseja avaliar a vazão de referência para processos de outorga de uso da água. As vazões de permanência têm sido amplamente adotadas como referência em diversos Estados do Brasil, como ilustrado no Quadro 2.



Quadro 2 – Critérios estaduais de outorga com base em vazões de referência

UF	Limite máximo outorgável	Legislação
Bahia	80% da $Q_{90\%}$ diário se não há barramento; 80% da $Q_{90\%}$ regularizada por barramentos em mananciais perenes; 95% da $Q_{90\%}$ regularizada por barramentos em mananciais intermitentes ou com fins ao abastecimento humano; Máximo de 20% da vazão referencial para cada usuário individual.	Decreto nº 6.296/97
Ceará	90% da $Q_{90\%}$ regularizada quando há barramento; 33% da $Q_{90\%}$ regularizada em lagos ou lagoas;	Decreto nº 23.067/94
Goiás	70% da $Q_{95\%}$	Resolução SEMARH nº 09/2004
Paraíba	90% da $Q_{90\%}$ regularizada anual	Decreto nº 19.260/97
Paraná	50% da $Q_{95\%}$	Decreto nº 4.646/2001
Sergipe	90% de $Q_{90\%}$ ; Máximo de 30% da $Q_{90}$ para cada usuário individual.	Resolução CONERH nº 01/2001

Fonte: ANA – Caderno de Recursos Hídricos (2005).

Mesmo considerando certa simplicidade em descrever o regime hidrológico, a curva de permanência traz alguns inconvenientes em sua utilização como critério de outorga. Cruz (2001) observa ainda que as vazões relacionadas a cada permanência são as mesmas para todo o ano, e não leva em conta a sazonalidade, um fator importante para a estimativa da efetiva disponibilidade em bacias, principalmente onde há conflitos pelo uso dos recursos hídricos. Recomenda então com alternativa o cálculo de curvas de permanência mensais, construídas com dados diários de cada mês. Resumindo, em termos quantitativos, na prática, as vazões mínimas e de referência são utilizadas na concessão do uso d'água, em projetos de navegação, e em projetos de irrigação, abastecimento urbano e transposição (TSAKIRIS et al., 2011).

Como já considerado nesse trabalho, para subsidiar a análise técnica de outorgas é fundamental conhecer as disponibilidades hídricas nas bacias hidrográficas, mas essas, quando disponíveis, ficam restritas aos locais onde existem estações fluviométricas. A carência de informações hidrológicas em locais com pouca ou nenhuma disponibilidade de dados, como no caso da bacia do rio Paraguaçu, no Estado da Bahia, pode ser superada pelo uso da técnica da regionalização hidrológica, um processo de transferência de informações para outros locais sem

dados, sejam vazões máximas, mínimas e médias de longo período, ou, ainda, equações e parâmetros relacionados com tais estatísticas.

A principal vantagem dos estudos regionais é a de extrapolar ou interpolar os parâmetros para locais sem dados ou com poucos dados, com base nos dados existentes na região, aproveitando ao máximo as informações disponíveis (ELETROBRÁS, 1985). É fundamental, no entanto, compreender que o estado da Bahia possui uma rede de monitoramento fluviométrica e pluviométrica relativamente satisfatória para se avaliar disponibilidades hídricas. Segundo o relatório de auto avaliação das metas de gestão das águas no âmbito do sistema estadual de 2019, a Bahia conta com 580 estações pluviométricas e 350 estações fluviométricas para monitorar a disponibilidade hídrica, cerca de 68% do considerado ideal segundo a própria previsão do estado. O que se questiona é a quase inexistência do monitoramento das demandas hídricas. Esta se restringe a poucos inventários de cadastros e outorgas, o que torna a avaliação do balanço hídrico um verdadeiro desafio.

Se por um lado o conhecimento das disponibilidades hídricas aparenta caminhar na direção certa, por outro a compreensão do consumo, isto é, das demandas por recursos hídricos, encontra-se em descompasso. No Estado da Bahia, como já considerado, o Decreto nº 6.296 de 21 de março de 1997 estabeleceu que a vazão mínima de referência adotada deve ser estimada com base na vazão de até 90% de permanência a nível diário ( $Q_{90}$ ). A quantidade passível de ser outorgada corresponde a 80% da vazão de referência (BAHIA, 1997), conforme estabelecido pela Instrução Normativa Nº 01 de 2007, datada de 23 de fevereiro de 2007, da SRH/BA.

Neste contexto, compreende-se que a regionalização de vazões tem impacto direto na determinação da quantidade de água passível de ser outorgada em locais onde dados hidrológicos são escassos ou inexistentes, de forma que possibilita a identificação de vazões de referência para a emissão de outorga. Neste espectro, nota-se a relação de dependência da outorga de direito de uso dos recursos hídricos com o conhecimento da disponibilidade hídrica, na máxima de que se não há

informação sobre o quantitativo passível de ser outorgado, não há emissão de outorga.

#### **4.3.MÉTODOS DE REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES**

Diversos métodos de regionalização são citados na literatura, sendo que os mais comumente utilizados envolvem a construção de modelos empíricos de regressão que relacionam a vazão de interesse e características fisiográficas e/ou climatológicas da bacia (RIGGS, 1990). Outros métodos são baseados, por exemplo, no uso de procedimentos de interpolação e calibração hídrica (VOGEL, 2005).

Na literatura são referidos três tipos de procedimentos de análise regional: métodos que regionalizam os *quantis* associados a um risco específico; métodos que regionalizam os parâmetros das distribuições de probabilidades e métodos que regionalizam uma curva de quantis adimensionais, geralmente denominados de métodos Index-Flood ou métodos da cheia-índice. Dos três métodos de regionalização comentados apenas o primeiro não carece da determinação de regiões homogêneas do ponto de vista estatístico, ou seja, mesma distribuição de probabilidades para cada região hidrológica (NAGHETTINI e PINTO, 2007).

A utilização dos modelos de regressão para além dos limites dos dados amostrais não é recomendada por dois motivos (NAGHETTINI e PINTO, 2007): (a) o intervalo de confiança sobre a linha de regressão expande à medida que a variável independente se afasta da média; (b) a relação da variável dependente e independente pode ser diferente da encontrada para o limite utilizado na construção do modelo. Na prática, essa recomendação limita a utilização da equação de regionalização e, conseqüentemente, o planejamento e a gestão dos recursos hídricos, a uma parte inexpressiva da hidrografia, visto que as estações fluviométricas brasileiras estão associadas a grandes áreas de drenagem (SILVA JÚNIOR et al., 2003; TUCCI, 2002). Contudo, salienta-se que a utilização da equação de regressão para além dos limites dos dados amostrais pode levar a valores de vazões de referências “fictícios”.

O aperfeiçoamento das técnicas de regionalização adquire caráter fundamental para o planejamento e a gestão dos recursos hídricos pois contribui para melhorar as estimativas das vazões nos cursos d'água e garantir maior confiabilidade e segurança na utilização dos modelos de regressão, principalmente nas zonas de extrapolação da equação de regionalização. Nesse sentido, o uso de variáveis mais explicativas do processo de formação de vazões tende a melhorar a regionalização e diminuir o risco associado à utilização dos modelos de regressão para além dos limites dos dados amostrais (PRUSKI et al., 2012). Dentre as variáveis explicativas utilizadas nos modelos de regressão, a área de drenagem é a característica física mais utilizada.

Segundo Dinpashoh et al. (2004), o uso da variável climática precipitação média de longa duração pode representar uma importante melhoria no modelo de regionalização, uma vez que a variação da precipitação reflete diretamente no comportamento das vazões específicas. Pruski et al. (2013) propuseram duas novas variáveis explicativas, a vazão equivalente ao volume precipitado ( $P_{eq}$ ) e a vazão equivalente ao volume precipitado menos um fator de abstração da precipitação correspondente a 750 mm ( $P_{eq750}$ ), que representa a porção da precipitação que não é convertida em vazão devido a outros processos, em especial à evapotranspiração, o qual foi estimado por Novaes (2005) para estações fluviométricas da bacia do Paracatu. Essas variáveis representam as características físicas e climáticas da bacia em uma só variável permitindo uma representação bidimensional da relação entre a variável dependente e independente. Pruski et al. (2013) e Pruski et al. (2012) evidenciaram melhor desempenho estatístico das vazões regionalizadas e maior segurança em regiões de extrapolação dos limites dos dados amostrais quando considerada a  $P_{eq750}$  como variável explicativa do modelo de regionalização.

A seguir se faz alguns comentários sobre os métodos mais tradicionalmente encontrados na literatura, que foram básicos para fins do presente estudo.

#### 4.3.1. Método Tradicional

Um dos métodos mais difundidos para a regionalização de vazões é o método tradicional, o qual é descrito pela ELETROBRÁS (1985) e que consiste nas seguintes etapas: identificação de regiões hidrologicamente homogêneas e no ajuste de equações de regressão entre as diferentes variáveis a serem regionalizadas e as características físicas e climáticas das bacias de drenagem para cada região homogênea.

As características físicas da bacia mais utilizadas em estudos de regionalização de vazões são a área de drenagem, o comprimento do rio, a densidade de drenagem e a declividade média do rio principal. Pilgrim, apud Catalunha (2004), salienta que dentre estas características, a área de drenagem é aquela que tem sido mais utilizada nestes estudos, sendo que esta variável geralmente possui boa correlação com as outras características físicas da bacia. Silva et al. (2003) aplicaram o método tradicional para a regionalização das vazões médias, máximas e mínimas, e da curva de permanência na bacia do rio Grande, situada no Estado do Paraná, tendo evidenciado que a área de drenagem foi a variável que melhor explicou o comportamento das vazões.

A variável climática mais utilizada em estudos de regionalização de vazões é a precipitação, sendo que para a estimativa das vazões máximas as precipitações de uso mais freqüente são: máxima diária anual, semestre mais chuvoso, trimestre mais chuvoso e mês mais chuvoso. Para a estimativa das vazões médias de longa duração as precipitações de uso mais freqüente são as precipitações médias anuais, enquanto para a estimativa das vazões mínimas as precipitações mais utilizadas são: total anual, semestre mais seco e trimestre mais seco.

Segundo Amorim et al (2005), em estudo de regionalização de vazões pelo método tradicional nas sub-bacias 46, 47, 48 e 49 do rio São Francisco. Rameh et al. (2003) propuseram, além das variáveis físicas e climáticas comumente utilizadas em estudos de regionalização de vazões, a inserção de uma variável que representa a permeabilidade do solo, sendo esta variável obtida de mapas temáticos elaborados pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), mostrando que

a inserção desta variável propiciou melhora expressiva no desempenho dos modelos. Assim, os autores concluíram que a inclusão de variáveis explicativas relacionadas com o processo de formação das vazões nos cursos d'água é de extrema importância para estudos de regionalização. Ainda pelos mesmos autores, consta que Baena et al. (2002) estudaram o efeito de diferentes escalas cartográficas na determinação de características físicas da bacia do rio Paraíba do Sul, constatando a existência de uma influência expressiva da escala na rede de drenagem e pequeno efeito na área de drenagem. Desta forma, constataram que o uso da densidade de drenagem em modelos de regionalização pode acarretar grandes incertezas na estimativa das vazões, motivo pelo qual recomendam que o uso desta variável em modelos de regionalização de vazões deva ser evitado.

#### **4.3.2. Método Baseado na Interpolação Linear**

Esse método é também descrito pela ELETROBRÁS (1985 a), o qual obtém as vazões relativas à seção de interesse utilizando as vazões correspondentes às seções fluviométricas mais próximas. Assim, quando a seção de interesse encontra-se entre dois postos fluviométricos a vazão na seção de interesse é igual à vazão na seção de montante mais um incremento da vazão proporcional ao aumento da área de drenagem entre a estação de montante e a de jusante. Quando isto não acontece, ou seja, a seção de interesse está a montante ou a jusante de apenas um posto fluviométrico considera-se que a vazão específica das duas seções é igual, porém o autor recomenda que a aplicação desta metodologia somente deve ser feita quando a diferença das áreas de drenagem das duas seções analisadas é inferior a três vezes uma em relação a outra (ELETROBRÁS, 1985b).

Tal método é baseado no princípio de que a vazão na seção de interesse é obtida por uma relação de proporcionalidade entre as vazões e áreas de drenagem dos postos fluviométricos mais próximos. O método não necessita de definição de regiões hidrologicamente homogêneas, sendo, portanto, utilizadas as mesmas equações ao longo de toda a bacia hidrográfica. O método apresenta quatro situações distintas, dependendo da posição da seção de interesse em relação aos postos fluviométricos. Assim, quando a seção de interesse está situada a montante (caso 1) ou a jusante (caso 2) de um posto com vazão conhecida, a vazão de interesse é

estimada pela equação 4. Já quando a seção de interesse está situada num trecho de rio entre duas estações fluviométricas (caso 3), a vazão desconhecida é estimada pela equação 5.

$$Q_z = \left(\frac{Q_{m,j}}{A_{m,j}}\right)A_z \quad (4)$$

$$Q_z = Q_m + \left(\frac{A_z - A_m}{A_j - A_m}\right)(Q_j - Q_m) \quad (5)$$

Em que:

$Q_z$  = Vazão na seção de interesse,  $m^3.s^{-1}$

$Q_{m,j}$  = Vazão no posto de montante ou de jusante,  $m^3.s^{-1}$

$Q_m$  = Vazão no posto de montante,  $m^3.s^{-1}$

$Q_j$  = Vazão no posto de jusante,  $m^3.s^{-1}$

$A_z$  = Área de drenagem na seção de interesse,  $km^2$

$A_{m,j}$  = Área de drenagem do posto de montante ou de jusante,  $km^2$

$A_m$  = Área de drenagem do posto de montante,  $km^2$

$A_j$  = Área de drenagem do posto de jusante,  $km^2$

A quarta situação (caso 4) é quando a seção de interesse está situada em um trecho de rio afluente cuja foz está entre dois postos fluviométricos situados em um rio de ordem superior. Neste caso, aplica-se uma combinação das outras duas situações descritas anteriormente, sendo primeiramente calculada a vazão pela (equação 5) na seção de confluência e posteriormente a estimativa da vazão na seção de interesse através da equação 4.

#### 4.3.3. Método Proposto por CHAVES et. al. (2002)

Conforme Amorim et al (2005), também com a finalidade de propor um método que seja condizente com a realidade da maioria das bacias hidrográficas brasileiras, Chaves et al. (2002) desenvolveram metodologia de interpolação e extrapolação de vazões mínimas a qual apresenta soluções que dependem da posição relativa da seção de interesse em relação aos postos fluviométricos mais próximos, sendo as variáveis utilizadas para a estimativa das vazões nas seções de interesse a área de

drenagem e as distâncias entre a seção de interesse e o posto fluviométrico considerado.

Tal método também apresenta quatro situações distintas, dependendo da localização da seção de interesse em relação às seções de vazão conhecida, sendo que as áreas de drenagem e as distâncias entre as seções analisadas foram as variáveis independentes para o cálculo da vazão desconhecida.

Assim, quando a seção de interesse está situada a montante (caso 1) ou a jusante (caso 2) de um posto fluviométrico a metodologia é a mesma da interpolação linear, sendo, portanto, a vazão na seção de interesse calculada pela equação 4. Já quando a seção de interesse está situada num trecho de um rio entre duas estações fluviométricas (caso 3) a vazão desconhecida é estimada pela equação:

$$Q_z = A_z \left[ \left( P_m \frac{Q_m}{A_m} \right) + \left( P_j \frac{Q_j}{A_j} \right) \right] \quad (6)$$

Sendo:

$$P_m = \left( \frac{d_j}{d_m + d_j} \right) \quad (7)$$

$$P_j = \left( \frac{d_m}{d_m + d_j} \right) \quad (8)$$

Em que:

$P_m$  = peso relativo à estação de montante, adimensional;

$P_j$  = peso relativo à estação de jusante, adimensional;

$d_m$  = distância entre o posto de montante e a seção de interesse, km;

$d_j$  = distância entre o posto de jusante e a seção de interesse, km.

A quarta situação (caso 4) é quando a seção de interesse está situada em um trecho de rio afluente cuja foz está entre dois postos fluviométricos situados em um rio de ordem superior. Neste caso, aplica-se uma combinação das outras duas situações descritas anteriormente, sendo primeiramente calculada a vazão (equação 6) na seção de confluência. Estimada a vazão na confluência dos rios aplica-se a equação 4 para estimar a vazão na seção de interesse.



#### 4.3.4. Método da Interpolação Linear Modificado

Conforme descrito, o método baseado na interpolação linear considera que a vazão na seção de interesse é uma proporcionalidade entre as áreas de drenagem da seção de interesse e os postos fluviométricos mais próximos. Considerando que pelo processo físico de formação das vazões estas são mais dependentes dos volumes precipitados do que das áreas de drenagem, propôs-se a modificação desta metodologia. Tal modificação consiste em inserir a variável precipitação média no método proposto, considerando assim que a vazão na seção de interesse é também proporcional à relação entre os volumes precipitados. Desta forma, as equações 4 e 5 utilizadas no método baseado na interpolação linear passam a ser expressas pelas equações 9 e 10, respectivamente.

$$Q_z = \left( \frac{Q_{m,j}}{P_{mj}A_{mj}} \right) (A_z P_z) \quad (9)$$

$$Q_z = Q_m + \left( \frac{A_z P_z - A_m P_m}{A_j P_j - A_m P_m} \right) (Q_j - Q_m) \quad (10)$$

Em que:

$P_{mj}$  = precipitação média anual na área de drenagem do posto de montante ou de jusante, mm;

$P_z$  = precipitação média anual na área de drenagem do posto da seção de interesse, mm;

$P_m$  = precipitação média anual na área de drenagem do posto de montante, mm;

$P_j$  = precipitação média anual na área de drenagem do posto de jusante, mm.

Para a situação em que a seção de interesse está situada em um trecho de rio afluente cuja foz está entre dois postos fluviométricos situados em um rio de ordem superior, aplica-se o mesmo procedimento do método original, porém usando as novas equações propostas neste método.

#### 4.3.5. Método Chaves Modificado

Este método é baseado no mesmo princípio utilizado pela proposição do método da interpolação linear modificado, ou seja, considera o processo físico de formação das vazões é mais dependente dos volumes precipitados do que das áreas de drenagem. Assim, o método *Chaves modificado* consiste em inserir a variável precipitação média no método proposto por Chaves et al. (2002), sendo a vazão obtida na seção de interesse proporcional ao volume precipitado nas áreas analisadas. Desta forma, as equações 4 e 6 utilizadas no método de Chaves et al. (2002) passam a ser expressas pelas equações 9 e 11, respectivamente.

$$Q_z = (A_z P_z) \left[ \left( P_m \frac{Q_m}{A_m P_m} \right) + \left( P_j \frac{Q_j}{A_j P_j} \right) \right] \quad (11)$$

Para a situação em que a seção de interesse está situada em um trecho de rio afluente cuja foz está entre dois postos fluviométricos situados em um rio de ordem superior, aplica-se o mesmo procedimento do método original, porém usando as novas equações propostas neste método.

De tudo que até aqui foi abordado sobre regionalização de vazões, é importante destacar que a regionalização dos índices fluviométricos é baseada na premissa de que bacias com clima, geologia, topografia, vegetação e solos similares terão respostas hidrológicas semelhantes, o que se traduz no conceito de região homogênea. Contudo bacias hidrográficas com grandes áreas de drenagem podem apresentar comportamentos hidrológicos distintos ao longo da hidrografia (ELESBON, 2012).

#### 4.4.O CONCEITO DE REGIÕES HIDROLOGICAMENTE HOMOGÊNEAS

De acordo com TUCCI (2009), a regionalização hidrológica é um método utilizado para transferir informações das estações hidrométricas para outros locais sem informações dentro de uma região considerada hidrológicamente homogênea. O termo regiões homogêneas está associado a regiões que possuem similaridade hidrológica, incluindo fatores físicos, climáticos, biológicos, geológicos e efeitos

antrópicos, embora havendo grande complexidade na consideração de todos esses fatores.

LANNA (2004) conceituou região homogênea como uma região na qual diversas características climáticas e fisiográficas teriam variabilidade mínima. A similaridade, nesse caso, seria observada com respeito aos fenômenos de maior interesse no processo hidrológico em estudo. Muitos autores consideram a identificação de regiões homogêneas como a etapa da regionalização que possui maior grau de dificuldade, por requerer muitas vezes julgamento subjetivo (HOSKING; WALLIS, 1997). A delimitação de regiões homogêneas é construída com base em premissas difíceis de serem tratadas com rigor matemático, como reconhecem BOBÉE e RASMUSSEN, 1995 apud PESSOA, 2015.

Regiões geograficamente contíguas com base em fronteiras geográficas, políticas, administrativas ou fisiográficas foram usadas por um longo tempo em hidrologia para análise de frequência regional. Foram desenvolvidos para a regionalização diversos métodos que consideram a semelhança entre locais, em um espaço multidimensional dos atributos relacionados às bacias hidrográficas, tais como características fisiográficas, localização geográfica e estatísticas locais da variável hidrológica (RAO; SRINIVAS, 2006, apud PESSOA, 2015.).

Considerada uma das etapas iniciais no desenvolvimento da regionalização, a identificação de regiões homogêneas pode ser realizada por diversas formas, por exemplo, através de funções de probabilidade, análise de agrupamento, entre outros. A identificação de regiões homogêneas, quanto às suas características físicas e climáticas, pode ser realizada de acordo com duas finalidades: a primeira, descritiva, cujo objetivo é a caracterização hidrológica, e a segunda, como subsídio essencial na regionalização (GOMES et al., 2018).

Vale observar que diversos outros trabalhos de identificação de regiões homogêneas têm sido realizados, no mundo, objetivando a aplicação da regionalização, como nos trabalhos de Srinivas et al., 2008 e Rao e Srinivas, 2006 apud Almeida et al. (2020). Esses autores obtiveram as regiões homogêneas de

vazões de Indiana, Estados Unidos, através de dados anuais máximos de fluxo das bacias hidrográficas.

#### **4.4.1. Métodos de Identificação de Regiões Hidrologicamente Homogêneas**

Os diversos métodos e técnicas de agrupamento de locais similares em regiões homogêneas podem ser categorizados como se segue, segundo Naghettini e Pinto (2007):

##### **4.4.1.1. Conveniência geográfica**

Dentro dessa categoria, encontram-se todas as experiências de identificação de regiões homogêneas que se baseiam no agrupamento subjetivo e/ou conveniente dos postos de observação, geralmente contíguos, em áreas administrativas ou em zonas previamente definidas segundo limites arbitrários. Regiões geograficamente contíguas com base em fronteiras geográficas, políticas, administrativas ou fisiográficas foram usadas por um longo tempo em hidrologia para análise de frequência regional. No entanto, esta prática não garante a homogeneidade hidrológica (PESSOA, 2015).

##### **4.4.1.2. Agrupamento Subjetivo**

O agrupamento consiste na delimitação de limites geograficamente contínuos e posterior análise estatística dos modelos de regressão, além da análise do comportamento das vazões regionalizadas. Nessa categoria, a delimitação subjetiva das regiões homogêneas é feita por agrupamento dos postos de observação em conformidade à similaridade de algumas características locais, tais como classificação climática, relevo ou conformação das isoietas anuais. Schaefer (1990), por exemplo, utilizou alturas similares de precipitação anual para delimitar regiões homogêneas de chuvas máximas anuais no estado americano de Washington. Da mesma forma, Pinto e Naghettini (1999) combinaram as conformações de relevo, clima e isoietas anuais, para a delimitação preliminar de regiões homogêneas de alturas diárias de chuva máximas anuais na bacia do Alto Rio São Francisco.

#### 4.4.1.3. Agrupamento Objetivo

Nesse caso, as regiões são formadas pelo agrupamento dos postos de observação em um ou mais conjuntos de modo que uma dada estatística não exceda um valor limiar previamente selecionado. Esse valor limiar é arbitrado de forma a minimizar critérios variados de heterogeneidade. Por exemplo, Wiltshire (1985) utilizou como critério a razão de verossimilhança e, posteriormente, Wiltshire (1986) e Pearson (1991) empregaram as variabilidades intra-grupos de estatísticas locais, tais como os coeficientes de variação e assimetria. Uma desvantagem dessa técnica é fato de que as iterações sucessivas de reagrupamento dos postos de observação nem sempre conduzem a uma solução final otimizada.

#### 4.4.1.4. Análise de Aglomerados ou Análise de Clusters

Trata-se de um método usual de análise estatística multivariada, no qual associa-se a cada posto um vetor de dados contendo as características e/ou estatísticas locais. Em seguida, os postos são agrupados e reagrupados de forma que seja possível identificar a maior ou menor similaridade entre os seus vetores de dados. Os agrupamentos resultantes de objetos devem então exibir elevada homogeneidade interna (dentro dos agrupamentos) e elevada heterogeneidade externa (entre agrupamentos). Assim, se a classificação for bem sucedida, os elementos de um determinado conjunto deverão ser mutuamente similares e, preferencialmente, muito diferentes dos elementos de outros conjuntos (HAIR et al., 2005, apud Pessoa, 2015).

Sobre clusterização, Naghettini e Pinto (2007) mencionam que o termo *análise de clusters* foi empregado pela primeira vez por Tryon (1939) e engloba um grande número de diferentes algoritmos de classificação em grupos, ou taxonomias, estruturalmente similares. Essencialmente, a análise de clusters é a aglomeração seqüencial de indivíduos a grupos cada vez maiores, de acordo com algum critério, distância ou medida de dissimilaridade.

Um indivíduo pode ter diversos atributos ou características, as quais são quantificadas e representadas pelo vetor de dados locais  $\{Z_1, Z_2, \dots, Z_p\}$ . As medidas ou distâncias de dissimilaridade entre dois indivíduos devem ser representativas da variação mútua das características locais em um espaço  $p$ -dimensional. A medida

mais usada é a distância Euclidiana generalizada, a qual é simplesmente a distância geométrica tomada em um espaço de  $p$  dimensões. Por exemplo, a distância Euclidiana entre dois indivíduos  $i$  e  $j$  é dada por:

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^p (Z_{ik} - Z_{jk})^2} \quad (12)$$

Para efeito de entendimento da lógica inerente à análise de clusters, tomemos um de seus métodos de aglomeração mais simples que é conhecido como o do vizinho mais próximo. A aglomeração em clusters inicia-se pelo cálculo das distâncias entre um certo indivíduo e todos os outros do grupo, para cada um deles. Inicialmente, existem tantos grupos quanto numerosos forem os indivíduos. O primeiro cluster se forma com o par de indivíduos mais próximos (ou de menor distância Euclidiana); se a distância para outros indivíduos for a mesma da anterior, estes também farão parte do cluster. Em seguida, forma-se o cluster seguinte com o par (ou grupo, ou cluster) de menor distância Euclidiana e assim sucessivamente até que, ao final, todos os indivíduos estejam todos aglomerados.

#### 4.4.1.4.1 Clusterização, K-means e a Linguagem R de programação

Um método muito empregado é o devido a Hartigan (1975) e conhecido como o das *K-médias* (*K-means clustering*). Naghettini e Pinto (2007) entendem que o princípio desse método é o de que o analista a priori pode ter indícios ou hipóteses relativas ao número correto de clusters a ser considerado. Dessa forma, o método das K-médias irá produzir  $K$  clusters, os quais deverão ser os mais distintos entre si. Para fazê-lo, o método começa com a formação de  $K$  clusters iniciais, cujos membros são escolhidos aleatoriamente entre os indivíduos a serem agrupados. Em seguida, os indivíduos são movidos iterativamente de um cluster para outro de forma a (1) minimizar a variabilidade intra-cluster e (2) maximizar a variabilidade entre os clusters.

Essa lógica é análoga a se proceder a uma análise de variância ao revés, no sentido que, ao testar a hipótese nula de que as médias grupais são diferentes entre si, a análise de variância confronta a variabilidade entre-grupos com a variabilidade intra-grupos. Em geral, os resultados do método das K-médias devem ser examinados de forma a se avaliar quão distintas são as médias dos  $K$  clusters obtidos.

Dois desafios se apresentam nesta etapa sendo (1) o desconhecimento sobre a quantidade de clusters a ser atribuído na análise e (2) a análise do distanciamento entre dados não ser a condição mais apropriada para os objetivos deste trabalho. Sobre (2), um indivíduo pode ter diversos atributos ou características, as quais são quantificadas e representadas pelo vetor de dados locais  $\{Z_1, Z_2, \dots, Z_p\}$ . Naghettini & Pinto (2007) explica que as medidas ou distâncias de dissimilaridade entre dois indivíduos devem ser representativas da variação mútua das características locais em um espaço  $p$ -dimensional e complementa alegando que a medida mais usada é a distância Euclidiana generalizada, a qual é simplesmente a distância geométrica tomada em um espaço de  $p$  dimensões.

Ao realizar a análise dos dados fluviométricos com o intuito de identificar as regiões hidrologicamente homogêneas, também conhecidas como clusters, considera-se a aplicação da distância Euclidiana como abordagem principal. Entretanto, para aprimorar a precisão dessa análise e promover uma caracterização mais robusta dos clusters, torna-se imperativo incorporar informações complementares. Nesse sentido, a inclusão de variáveis como a Área de drenagem associada a cada estação, a elevação em metros de cada estação e a vazão de permanência de cada estação ( $Q_{90}$ ) emerge como uma estratégia essencial. Essas variáveis adicionais não apenas enriquecem o conjunto de dados, mas também contribuem significativamente para a definição mais apurada dos clusters, proporcionando uma compreensão mais abrangente e detalhada do comportamento hidrológico nas diferentes regiões consideradas.

Referente à (1), Alboukadel Kassambara é referência ao se tratar de questões relacionadas a métodos estatísticos e computacionais. Fundador da plataforma de treinamento em ciência de dados chamada STHDA (Statistical Tools for High-throughput Data Analysis), e com mais de dez anos de experiência em análise e visualização de dados genômicos, Kassambara (2023) sugere a utilização dos softwares e pacotes na linguagem R de programação para realizar a análise de clusters e ensina, através de tutoriais, sobre análise e visualização de dados usando *software e pacotes R*.

Kassambara (2023) comenta que não há uma resposta definitiva para determinar o número ótimo de clusters e complementa salientando que sua determinação é algo subjetivo e que depende do método usado para medir similaridades e dos parâmetros usados para particionamento. Apesar disso, há métodos que se destacam para estimar a quantidade ideal de clusters a ser considerado ao analisar um conjunto de dados, sendo um deles o método do cotovelo (Elbow Method). Para ensinar o método do cotovelo, Kassambara (2023) relembra que a ideia básica por trás dos métodos de particionamento, como *clustering k-means*, é definir clusters de forma que a variação total intracluster - ou soma total dos quadrados dentro do cluster (WSS) - seja minimizada. O WSS total mede a compacidade do agrupamento sendo ideal que seja o menor possível.

O método Elbow analisa o WSS total como uma função do número de clusters: deve-se escolher um número de clusters para que a adição de outro cluster não melhore muito o WSS total. Kassambara (2023) ensina que o número ideal de clusters pode ser definido da seguinte forma:

1. Calcula-se o algoritmo de agrupamento (por exemplo, agrupamento k-means) para diferentes valores de k. Por exemplo, variando k de 1 a 10 clusters;
2. Para cada k, calcula-se a soma total dos quadrados dentro do cluster (wss);
3. Plota-se a curva de wss de acordo com o número de clusters k;
4. A localização de uma curva (cotovelo) na plotagem é geralmente considerada como um indicador do número apropriado de grupos (clusters).



## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1. ASPECTOS METODOLÓGICOS

Esta pesquisa tem natureza aplicada, conforme a classificação definida por Andrade (2001), onde os conhecimentos adquiridos são empregados para solucionar problemas específicos na prática. Além disso, possui um caráter exploratório, buscando proporcionar uma maior compreensão do problema em estudo, tornando-o mais claro e compreensível por meio da análise e interpretação de dados e informações relevantes.

O estudo envolve sete etapas distintas. A primeira etapa constou de uma revisão bibliográfica (pesquisas em bases de busca, como Periódicos CAPES, Scopus e artigos e revistas científicas) envolvendo conceitos hidrológicos, de gestão de recursos hídricos no Brasil e na Bahia, e um diagnóstico da RPGA X - Região de Planejamento e Gestão das Águas do Rio Paraguaçu

A segunda etapa tratou da aquisição e análise de dados da bacia para favorecer a aplicação de métodos adequados para os estudos de análise regional. As informações hidrológicas foram obtidas através do domínio virtual HIDROWEB (<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>) utilizando do recurso “*Séries Históricas*” para identificação e compilação dos dados apropriados para a análise. Foi efetuado o download dos dados em formato .MDB e importado em um banco de dados no software HIDRO, versão 1.4. Neste ambiente, as informações sobre pluviosidade média e máxima, bem como da vazão mínima, média e máxima, foram organizadas e importadas no software EXCEL 2019.

A terceira etapa é referente à determinação das regiões hidrologicamente homogêneas. Para isso, foram utilizados dois *softwares* para auxílio da determinação da quantidade de agrupamentos (clusters) e para aplicação do método k-means no conjunto de dados hidrológicos. Os *softwares* utilizados foram o RStudio (versão 2022.07.2) e o Orange Data Mining (versão 3.33.0).

A quarta etapa do estudo resumiu-se a sintetizar as relações extraídas dessas regiões homogêneas em funções, que podem ser equações de regressão e/ou curvas de probabilidade obtidas a partir de ajustes de distribuições estatísticas a variáveis, parâmetros ou funções hidrológicas. Pelo Método Tradicional serão definidos ajustes de diferentes equações de regressão (simples ou múltiplas) que permitem associar a vazão mínima com variáveis topológicas e climáticas. O melhor ajuste estatístico será selecionado com base no maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ), e/ou menores valores dos resíduos. Para a aplicação do método tradicional será usado o software Sistema Computacional para a Regionalização (SISCORV), também pela rede de pesquisa do SNIRH, disponível em [www.ufv.br/dea/gprh](http://www.ufv.br/dea/gprh).

A quinta fase deste estudo consistiu em requisitar ao INEMA/BA os dados pertinentes às outorgas na extensão da Bacia Hidrográfica do Rio Paraguaçu e, subsequentemente, realizar o georreferenciamento dessas informações por meio do software de Sistema de Informações Geográficas - QGIS, na sua versão 3.28.12. Essa etapa se revela crucial para obter uma compreensão abrangente do panorama atual das outorgas na Região de Planejamento e Gestão de Águas X (RPGA – X), permitindo identificar com precisão as principais concentrações de demanda hídrica. Além disso, conhecendo a exata posição das outorgas se torna possível a determinação da área de contribuição da bacia até o ponto de interesse, que, neste contexto, são as próprias outorgas. Ou seja, ao final desta etapa será possível a estimativa da disponibilidade hídrica bem como o conhecimento da demanda de cada outorga, o que permite efetuar um balanço hídrico em cada sessão de interesse.

A sexta etapa é referente à construção da rede de fluxo para a implementação de um modelo de alocação de água em rede, que possibilita a inclusão de informações georreferenciadas, estimativas de disponibilidade hídrica e o volume (vazão) demandado por cada outorga. Para o estudo, foi selecionado o Sistema de Suporte à Decisão (SSD) conhecido como OUTORGALS/AcquaNet (2012), uma plataforma em rede de fluxo generalizada para análise de emissão de outorga. O OUTORGALS, mediante a introdução do conceito de probabilidade de atendimento às demandas e o estabelecimento de prioridades de uso dos recursos hídricos na bacia do Rio Paraguaçu, permite analisar possíveis flexibilizações de valores máximos outorgáveis

ao considerar as variações de disponibilidade hídrica decorrentes dos efeitos da sazonalidade.

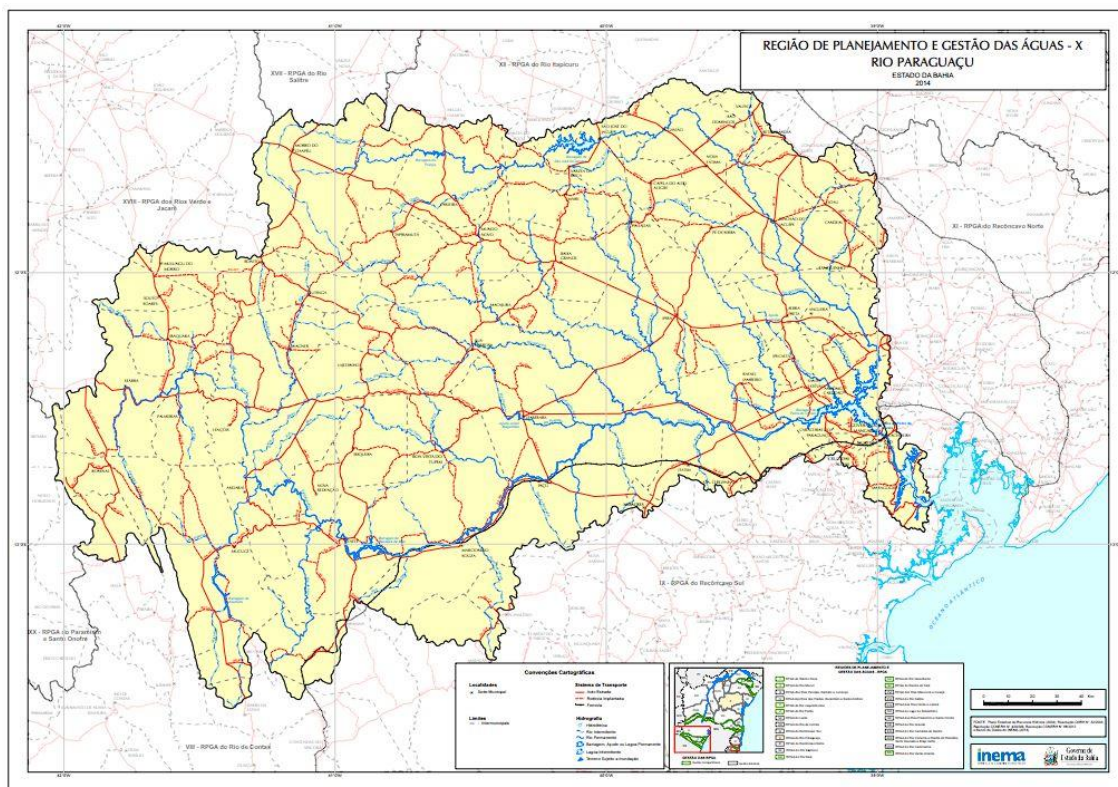
Este SSD tem a capacidade única de simular o atendimento ou não das demandas por meio de uma representação em formato de rede de fluxo, com uma qualidade de integração que permite a análise em nível macro. O princípio básico que norteia o funcionamento deste modelo em rede é a constante averiguação do balanço hídrico na região. Através da determinação de pontos de saída, isto é, demandas, o OUTORGALS irá identificar se as disponibilidades hídricas são suficientes para seu atendimento. Caso não sejam e o operador deseje atribuir prioridades de atendimento, um novo cenário pode ser simulado considerando quais outorgas devem ser temporariamente suspensas, garantindo o atendimento às demandas prioritárias, conforme preconiza a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). Acredita-se que esta metodologia permita antecipar possíveis desafios e assegurar uma gestão eficiente e sustentável dos recursos hídricos na bacia do Rio Paraguaçu.

Finalmente, a sétima etapa envolve a simulação e interpretação dos resultados gerados pelo SSD. Além disso, foi realizada uma simulação em condições críticas de disponibilidade hídrica para verificar e comparar a resposta da rede de fluxo integrada.

## **5.2.. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

Segundo o Plano de Ações Estratégicas para Gerenciamento dos Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas do Rio Paraguaçu e do Recôncavo Norte e Inhambupe, elaborado pelo INEMA em 2019, a Região de Planejamento e Gestão das Águas X – Rio Paraguaçu é formada pela bacia do rio Paraguaçu, tendo sua foz na baía de Iguaçu, baía de Todos-os-Santos (Figura 2).

Figura 2 - Mapa dos limites da RPGA X – Rio Paraguaçu



Fonte: INEMA, 2019.

A RPGA X-Rio Paraguaçu, cobre uma extensão territorial de aproximadamente 54.877 km<sup>2</sup>, compreendendo territórios de 86 municípios (Quadro 3), dos quais 40 estão integralmente ali inseridos. De acordo com Gonçalves (2014), o Comitê de Bacia do Rio Paraguaçu reconhece a extensão da foz (administrativa) até a baía de Todos-os-Santos, o que incluiria os municípios de Jaguaripe, Nazaré e Salinas das Margaridas.

Quadro 3 - Municípios que estão totalmente ou parcialmente inseridos na RPGA X – Rio Paraguaçu

<b>100% do território municipal na RPGA</b>
Andaraí, Anguera, Antônio Cardoso, Baixa Grande, Boa Vista do Tupim, Cabaceiras do Paraguaçu, Candeal, Capela do Alto Alegre, Gavião, Governador Mangabeira, Ibiquera, Ichu, Ipecaetá, Ipirá, Iraquara, Itaberaba, Itaetê, Lençóis, Macajuba, Mairi, Mundo Novo, Muritiba, Nova Fátima, Nova Redenção, Palmeiras, Pé de Serra, Pintadas, Piritiba, Rafael Jambeiro, Riachão do Jacuípe, Ruy Barbosa, Santo Estevão, São Domingos, São Félix, Serra Preta, Tanquinho, Tapiramutá, Utinga, Várzea da Roça, Wagner.
<b>Mais de 60% do território municipal na RPGA</b>
Boninal, Bonito, Cruz das Almas, Feira de Santana, Iaçú, Ibicoara, Itatim, Maragogipe, Marcionílio Souza, Mucugê, Mulungu do Morro, Piatã, Santa Terezinha, São José do Jacuípe.
<b>Entre 40 e 60% do território municipal na RPGA</b>
Castro Alves, Barrocas, Cachoeira, Conceição da Feira, Conceição do Coité, Miguel Calmon, Morro do Chapéu, Piatã, Retirolândia, São Gonçalo dos Campos, Seabra, Souto Soares, Valente, Várzea do Poço.
<b>Menos de 40% do território municipal na RPGA</b>
Barra da Estiva, Barro Alto, Iramaia, Jaguaripe, Lamarão, Maracás, Milagres, Nazaré, Nova Itarana, Planaltino, Quixabeira, Salinas das Margaridas, Santa Bárbara, Santa Luz, Sapeaçu, Saubara, Serrinha, Serrolândia.

Fonte: INEMA, 2023

O rio Paraguaçu é um dos rios mais importantes do estado da Bahia, tendo suas nascentes principais situadas no município de Barra da Estiva, na Chapada Diamantina, próximas à localidade de Farinha Molhada, em altitude acima de 1.000 metros. Percorre cerca de 550 quilômetros até a sua foz, passando por regiões com diversas configurações físicas e econômicas (INEMA, 2019).

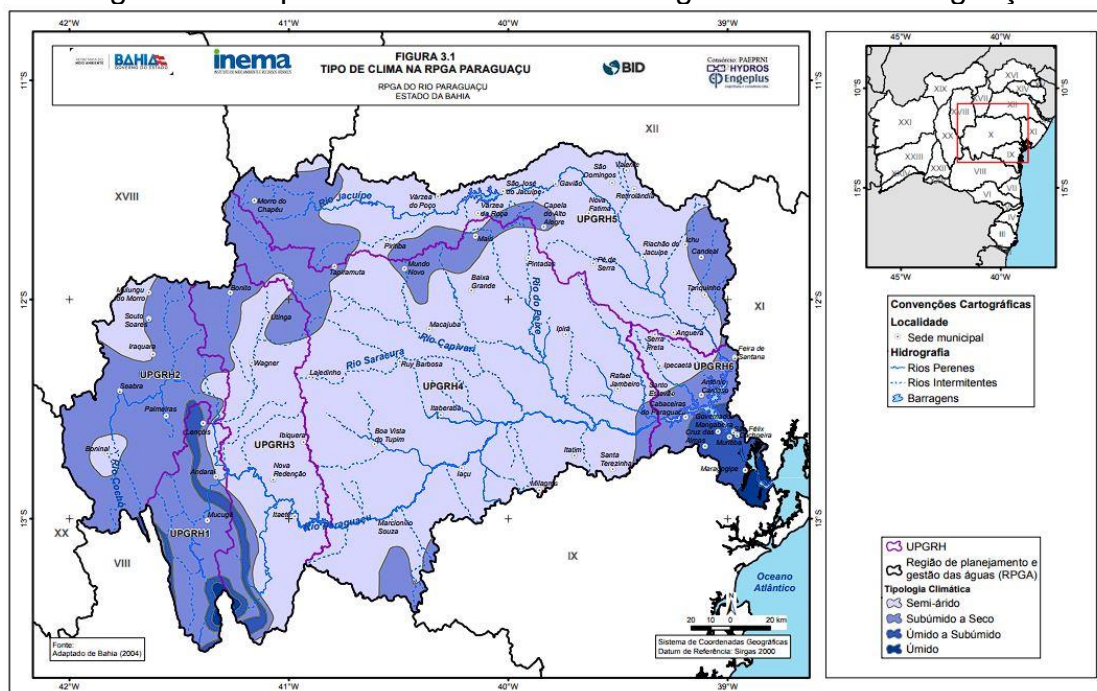
Em função de sua grande extensão, regiões com diversas características geoambientais e de ocupação são englobadas na RPGA X. Os dois extremos da área se destacam: no extremo oeste situa-se a formação associada aos metassedimentos do Grupo Chapada Diamantina, que, associados a maiores índices pluviométricos, propiciam uma malha hídrica significativa e uma maior disponibilidade, garantindo, além da maior preservação ambiental, uma economia agrícola mais produtiva e atividades associadas ao ecoturismo. Já o extremo leste, associado ao reservatório de Pedra do Cavalo e à Região Metropolitana de Feira de Santana, reflete um maior desenvolvimento econômico, em função da proximidade com a capital do estado e sua Região Metropolitana, com elevado PIB e forte infraestrutura logística. Toda a porção central da RPGA está representada por região de clima semiárido, principalmente sobre a Unidade Geomorfológica do Pediplano Sertanejo, com menores índices de pluviosidade e maiores restrições na disponibilidade de água, predominando nesta área atividades agropecuárias de subsistência e extensivas (INEMA, 2019).

Na Bacia do Rio Paraguaçu, o clima Semi-Árido predomina em 67% da área, ocupando a parte central da Região de Planejamento e Gestão das Águas (RPGA X), com chuvas anuais inferiores a 700 milímetros. Na parte superior da região, já na Chapada da Diamantina, o clima torna-se mais ameno mudando para o tipo Subúmido a Seco, com algumas pequenas áreas na nascente do Rio Paraguaçu apresentando um clima Úmido a Subúmido. Os totais pluviométricos aumentam, atingindo até 1200 milímetros. No terço inferior da bacia do Rio Paraguaçu as precipitações variam de 1000 até 1400 milímetros e o clima predominante é o Úmido a Subúmido (INEMA, 2023).

A visualização da distribuição climática na RPGA X é possível através da Figura 3, enquanto que a distribuição da precipitação média anual é ilustrada na Figura 4.

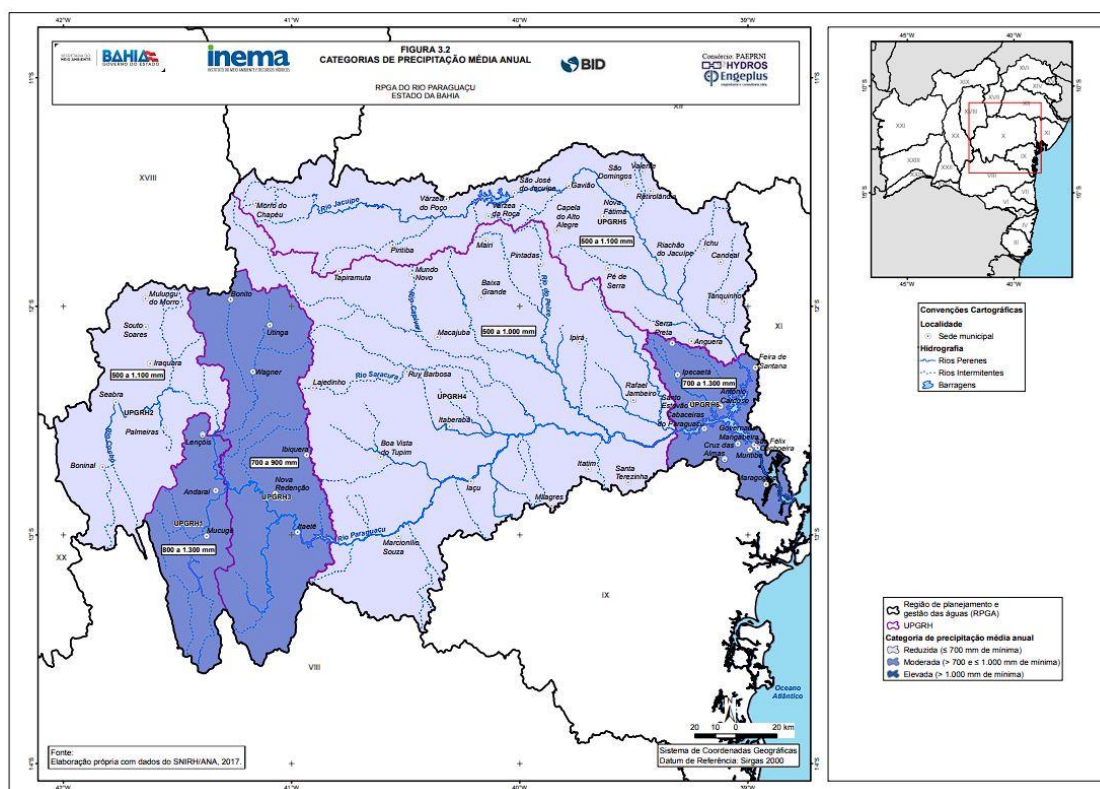


Figura 3 – Mapa Climático da Bacia Hidrográfica do Rio Paraguaçu



Fonte: Plano de ações estratégicas para gerenciamento dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Paraguaçu, 2019.

Figura 4 – Mapa de Precipitação Anual Média na Bacia Hidrográfica do Rio Paraguaçu

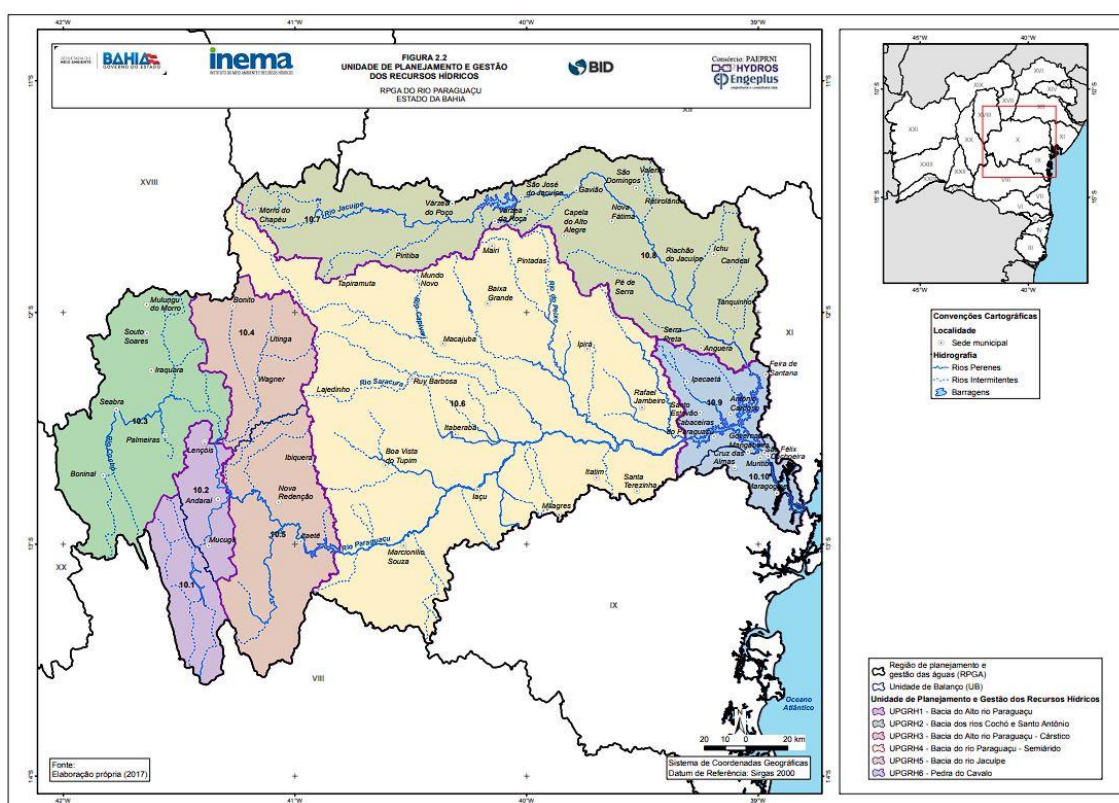


Fonte: Plano de ações estratégicas para gerenciamento dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Paraguaçu, 2019.

### 5.2.1. . UNIDADES DE PLANEJAMENTO E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

As Unidades de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos - UPGRHs, são unidades territoriais, identificadas dentro das bacias hidrográficas do Estado, que apresentam uma identidade regional caracterizada por aspectos físicos, socioculturais, econômicos e políticos, diretamente relacionadas aos recursos hídricos (IGAM, 2022). A seguir, na figura 5, são apresentadas as seis UPGRHs da Bacia Hidrográfica do Rio Paraguaçu (RPGA X).

Figura 5 – Mapa das UPGRHs da Bacia Hidrográfica do Rio Paraguaçu



Fonte: Plano de ações estratégicas para gerenciamento dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Paraguaçu, 2019.

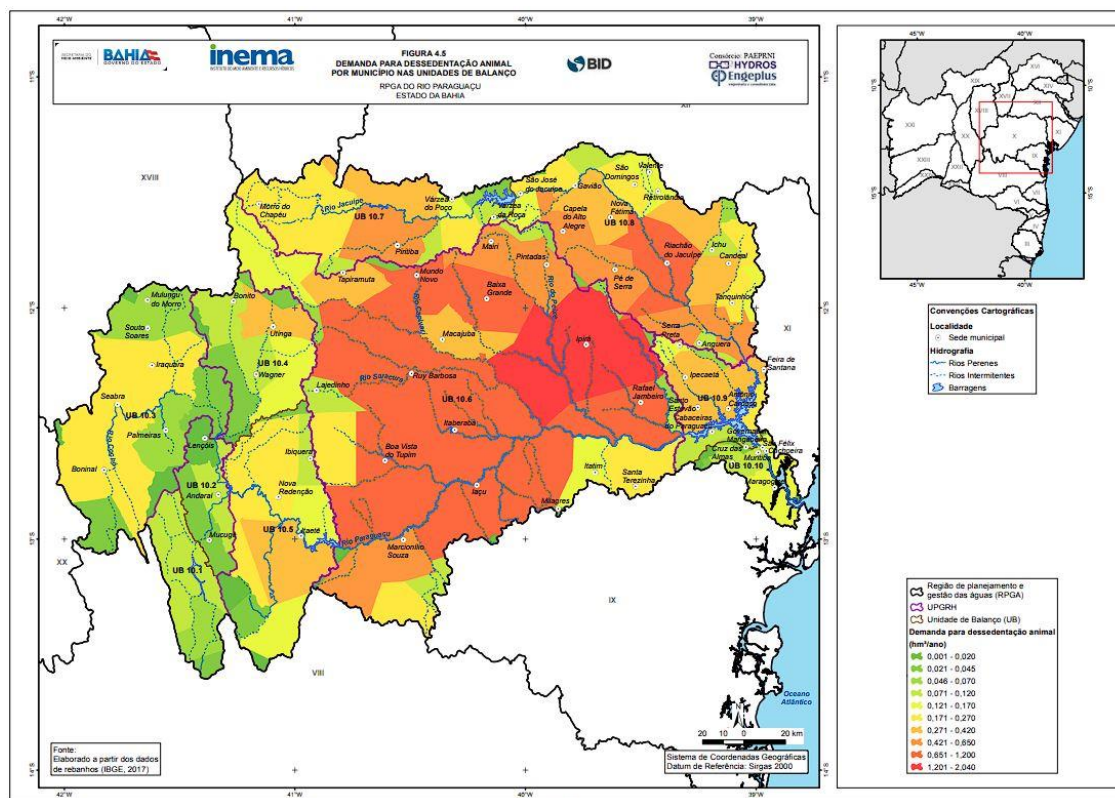


### 5.2.2. . DEMANDAS HÍDRICAS

Segundo o Plano de Ações Estratégicas para Gerenciamento dos Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraguaçu (2019), analisando as demandas hídricas superficiais, a irrigação predomina na BHRP com 71,3% da demanda total, seguida pelo abastecimento para consumo humano (20,1%) e dessedentação animal (7,4). Ou seja, conflitos pelo uso da água são protagonizados pela tripartição do atendimento às demandas, a se considerar o abastecimento público, a dessedentação animal e a irrigação. Juntos, estes três usos representam 98,8% da demanda total da RPGA X. A nível global, a demanda para fins industriais e aquicultura é muito pouco expressiva

A pecuária extensiva predomina como atividade produtiva em áreas com menor aptidão agrícola e/ou disponibilidade hídrica reduzida. Essas características predominam nas unidades de balanço (UB) 10.6 e 10.8 (Bacia incremental do Rio Paraguaçu no Semiárido e Bacia do Médio e Baixo Rio Jacuípe, respectivamente). Nessas unidades de balanço, destacam-se dois modelos de produção, a engorda de bovinos de corte durante a estação chuvosa e a criação continuada de ovinos e caprinos por apresentarem melhor adaptação à estação seca (INEMA, 2019), conforme ilustra a Figura 6.

Figura 6 – Demanda para Dessedentação Animal por Município na RPGA X



Fonte: Plano de ações estratégicas para gerenciamento dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Paraguaçu, 2019.

As demandas de abastecimento são bastante reduzidas, a metade das demandas municipais são inferiores a 0,50 hm³/ano e em 93% dos municípios não superam 1,50 hm³/ano. Os cinco municípios com as maiores demandas de abastecimento (7% do total da RPGA) são: Ipirá, Cruz das Almas, Santo Estevão, Itaberaba e Feira de Santana.

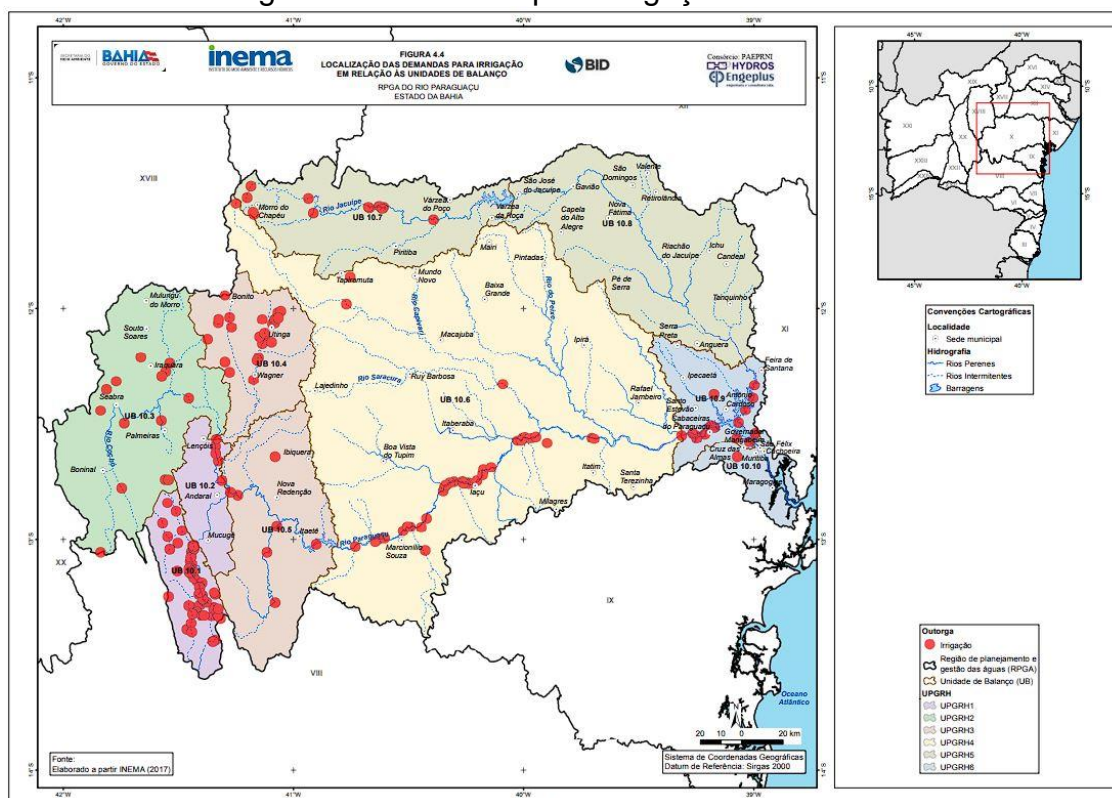
Quadro 4 – Distribuição da Demanda de Abastecimento Humano Total na RPGA X

NÚMERO DE MUNICÍPIOS		DEMANDA (HM <sup>3</sup> /ANO)
QUANTIDADE	(%)	
42	50	< 0,50
66	79	< 1,00
78	93	< 1,50
83	99	< 3,12
84	100	≤ 15,86

Fonte: Plano de ações estratégicas para gerenciamento dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Paraguaçu, 2019.

Já com relação às demandas para irrigação, a maior concentração (56,5%) está localizada na Bacia do Alto Paraguaçu (UB 10.1), seguido da Bacia Incremental do rio Paraguaçu no Semiárido (15,5%) e a Bacia do Rio Utinga (11,8%), conforme ilustra a Figura 7.

Figura 7 – Demanda para Irrigação na RPGA X



Fonte: Plano de ações estratégicas para gerenciamento dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Paraguaçu, 2019.

### 5.2.3. . CARACTERIZAÇÃO DE CONFLITOS ENTRE OS USOS NA RPGA X

De acordo com a ANA (2017), a principal causa de conflitos e grande dificuldade da alocação de água é o déficit hídrico atrelado à definição de prioridades de uso, como prevista na Política Nacional de Recursos Hídricos, sem avaliar a disponibilidade dos mananciais.

A redução da disponibilidade de água em períodos de escassez gera conflito pela água, principalmente, entre produtores irrigantes. Segundo o INEMA (2019), a problemática se manifesta na redução de oferta de água para usos a jusante, ao longo do mesmo curso d'água, devido às atividades a montante. Isso pode também ocasionar conflitos na regulação do uso da água em infraestruturas hídricas de reservação, muitas delas pertencentes a proprietários privados.

Ao relacionar os conflitos pela água com os instrumentos de gestão da Política Nacional de Recursos Hídricos, o Plano de Ações Estratégicas para Gerenciamento dos Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraguaçu (RPGA X) afirma que, do ponto de vista da gestão, “a outorga não é eficaz para contribuir na regulação destes conflitos, pois além da ameaça de suspensão das outorgas, ela não prevê critérios de alocação ou revisão de valores outorgados quando não há disponibilidade para captação de todo o volume outorgado” (grifo nosso). A condição irregular de muitos ou da grande maioria dos irrigantes (dependendo do local) torna os instrumentos de gestão de recursos hídricos inadequados e insuficientes para evitar ou regular os conflitos

Ou seja, em períodos de escassez, quando cresce a demanda por intervenção, fiscalização e controle do órgão gestor, é também quando os instrumentos, no formato em que estão, se apresentam limitados ou insuficientes para atender de forma adequada estas demandas.

No estado da Bahia, segundo Silva et al. (2021), são utilizados dois SSDs para realizar os cálculos e armazenar as informações de outorgas concedidas para corpos hídricos superficiais, o *Sistema de Gerenciamento de Controle de Outorga (SIGO) Captação* e o *SIGO Efluentes*. No entanto, os mesmos apresentam problemas como

a falta de integração entre eles para análises superficiais de captação e lançamento, o atraso tecnológico, a fragilidade na segurança da informação, a falta de transparência e a inexistência de conexão com o Sistema Estadual de Informações Ambientais e de Recursos Hídricos (SEIA). Os SIGOS foram desenvolvidos desde a extinta Superintendência de Recursos Hídricos da Bahia (SRH), em planilha eletrônica Excel, onde cada rio principal das RPGAs é representado por uma planilha que realiza os cálculos de balanço hídrico para o rio principal e seus afluentes, com contribuições computadas de montante para jusante (Silva et al. 2003, apud Silva et al., 2021). Não consideram, entretanto, as alterações sazonais na disponibilidade hídrica e nas retiradas de água.

#### **5.2.4. COLETA DE DADOS E DETERMINAÇÃO DAS REGIÕES HIDROLOGICAMENTE HOMOGÊNEAS**

Segundo Naghettini e Pinto (2007), entre as etapas que compõem a análise regional de frequência de variáveis aleatórias, a identificação e a delimitação de regiões homogêneas é considerada a mais difícil e mais sujeita a subjetividades. Assim, entende-se que uma boa seleção de dados é fundamental e que esta deve estar associada à uma boa interpretação de dados e análise da informação por estes fornecida.

Sobre a seleção de dados, conforme já mencionado, esta foi conduzida utilizando o domínio virtual HIDROWEB (<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>). O Portal HIDROWEB é uma ferramenta integrante do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) e oferece o acesso ao banco de dados que contém todas as informações coletadas pela Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), reunindo dados de níveis fluviais, vazões, chuvas, climatologia, qualidade da água e sedimentos.

Desta forma, julgou-se apropriada a utilização desta ferramenta para a obtenção dos dados hidrológicos, visando à sua adequação e subsequente utilização. No Portal HIDROWEB, foi utilizado o recurso “mapa” para identificação das estações fluviométricas na Bacia Hidrográfica do rio Paraguaçu. Ao todo, vinte e oito estações foram selecionadas.

Considerando ao menos quinze anos de dados hidrológicos, este quantitativo foi reduzido para dezesseis e seus dados importados em um banco de dados no software HIDRO, versão 1.4. Neste ambiente, as informações sobre vazão média foram organizadas e importadas no software EXCEL 2019.

A partir daí, foi conduzida uma análise estatística utilizando o coeficiente de variação em conjunto com a vazão de longo termo de cada estação na tentativa de determinação de grupos, isto é, vazões ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) com valores próximos e coeficientes de variação parecidos. Acreditava-se que assim as estações estariam agrupadas com certo nível de compatibilidade, possibilitando a determinação das regiões hidrologicamente homogêneas, o que não foi o caso.

O solo, relevo, topografia, clima, e o índice de pluviosidade, dentre outros, são bons indicadores sobre a homogeneidade de uma região (VALENTIM JR., 2012). Considerando que um dado hidrológico de vazão, por exemplo, é influenciado por estes aspectos, entende-se que a informação ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) já considera o impacto destes no comportamento do rio. Ou seja, ao analisar um dado hidrológico, analisa-se também os aspectos físicos e climáticos da região, assim, uma outra forma de fazer a verificação da homogeneidade de uma região é através da estatística. Tendo em vista que se os dados fluviométricos podem ser ajustados a uma mesma distribuição de probabilidade, a região será homogênea (NAGHETTINI, 2007).

Considerando a credibilidade da informação e dos objetivos do presente trabalho, optou-se por adotar a metodologia da análise de cluster, com base em dados fluviométricos da bacia do rio Paraguaçu. Acredita-se que esta iniciativa permitiu determinar, com mais robustez, o agrupamento de dados e assim, determinar as regiões hidrologicamente homogêneas com maior fidedignidade na RPGA X.

### **5.3. DADOS FLUVIOMÉTRICOS E CLUSTERIZAÇÃO**

Ao todo, vinte e oito estações fluviométricas foram identificadas na RPGA X. Este quantitativo foi reduzido para dezesseis ao considerar séries históricas com pelo menos quinze anos de dados. A seguir, a identificação das estações utilizadas:

**Tabela 1 - Estações Fluviométricas Utilizadas**

<b>Código</b>	<b>Estação</b>	<b>LAT</b>	<b>LONG</b>	<b>Anos</b>
51060000	SUBAE	-12:31:00	-038:44:00	22
51060100	SUBAE II	-12:31:46	-038:44:02	26
51120000	ANDARAÍ	-12:50:26	-041:19:20	89
51140000	PORTO	-12:29:28	-041:19:44	88
51166000	BONITO	-13:50:29	-040:22:16	44
51170000	UTINGA	-12:30:03	-041:12:21	74
51230000	FAZENDA IGUAÇU	-12:56:10	-041:03:52	71
51240000	ITAETÉ	-12:59:10	-040:57:29	88
51280000	IAÇU	-12:45:44	-040:12:49	93
51330000	FAZENDA SANTA FÉ	-12:30:56	-039:50:53	57
51350000	ARGOIM	-12:35:08	-039:31:20	77
51685000	JQUIRICA	-13:10:25	-039:19:06	68
51795000	VALENÇA	-13:51:00	-040:40:00	76
51820000	WENCESLAU GUIMARÃES	-13:41:07	-039:28:38	58
51870000	SANTA LUZIA	-13:38:00	-041:20:00	67
51890000	NILO PEÇANHA	-13:35:48	-039:07:13	74

Fonte: Elaboração do próprio autor (2022)

Em uma planilha de EXCEL, os dados referentes às vazões médias foram compiladas e alimentaram o software *RStudios*, versão 2022.07.2, para realizar o processamento do “método do cotovelo” no conjunto de dados supracitado.

No intuito de dar credibilidade aos resultados obtidos na análise de clusters, foi utilizado também o software Orange Data Mining, versão 3.33.0. Este aplicativo também utiliza a linguagem R e os mesmos procedimentos realizados no software *RStudios* foi implementado no Orange Data Mining.

Cabe salientar que este último possibilita ao operador replicar tantas quantas análises desejar utilizando o método K-means, inclusive de forma bastante intuitiva e simplificada, enquanto que o *Rstudios* exige maiores conhecimentos de programação e necessita de pacotes exclusivos para possibilitar esta manobra. Os resultados obtidos foram muito parecidos. Para evitar a geração de resultados por apenas um único canal de informação, o Orange Data Mining foi utilizado em complemento.

#### **5.4. CONSTRUÇÃO DAS CURVAS REGIONAIS**

A curva de permanência de vazões de um curso d'água é uma função que relaciona a vazão do rio com a probabilidade de que essa vazão seja igualada ou

superada. Os procedimentos necessários à determinação da curva de permanência de vazões podem ser encontrados em textos introdutórios de Hidrologia como Vilella e Mattos (1975) ou Pinto et al (1976). Para a regionalização das curvas de permanência, será adotado o procedimento apresentado por Tucci (2002), o que pode ser descrito pelas seguintes fases:

- a) Determinação da curva de permanência de cada estação fluviométrica selecionada em cada região homogênea definida para a bacia do rio Paraguaçu. Para o traçado das curvas de permanência, pode ser utilizado o programa computacional SISCORV.
- b) Determinação das vazões para trechos intermediários da curva de permanência, escolhidas as vazões de 50% e 90% de permanência (respectivamente representadas por  $Q_{50}$  e  $Q_{90}$ );
- c) Determinação para um conjunto de estações fluviométricas, a partir de análise de regressão, da relação entre as vazões  $Q_{50}$  e  $Q_{90}$  e os valores de precipitação média anual e área da bacia.

Quando a área figurar como única variável independente, podem ser testados os modelos Linear ( $Q = a_0 + a_1 \cdot A$ ), Potencial ( $Q = a_0 A a^1$ ), Quadrático ( $Q = a_0 + a_1 \cdot A^2$ ) e Exponencial ( $Q = e^{(a_0 + a_1 \cdot A)}$ ).

Naquelas regressões em que a área e a precipitação funcionam como variáveis independentes, serão testados os modelos linear ( $Q = a_0 + a_1 \cdot A + a_2 \cdot P$ ), Potencial ( $Q = a_0 \cdot A^{a_1} \cdot P^{a_2}$ ), Exponencial ( $Q = e^{(a_0 + a_1 \cdot A + a_2 \cdot P)}$ ).

Nas expressões acima referidas,  $Q$  representa as diferentes vazões da curva de permanência ( $Q_{50}$  e  $Q_{90}$ );  $A$  = área da bacia;  $P$  = precipitação média anual;  $e$ ,  $a_0$ ,  $a_1$  e  $a_2$ , são coeficientes a serem obtidos pela análise de regressão. A avaliação da adequação das equações de regionalização das vazões  $Q_{50}$  e  $Q_{90}$  pode ser feita a partir do coeficiente de determinação ( $r^2$ ), que pode variar  $0 \leq r^2 \leq 1$ , sendo considerados fortes os ajustes cujos coeficiente de correlação forem superiores a 0,70 (BAENA, 2002).

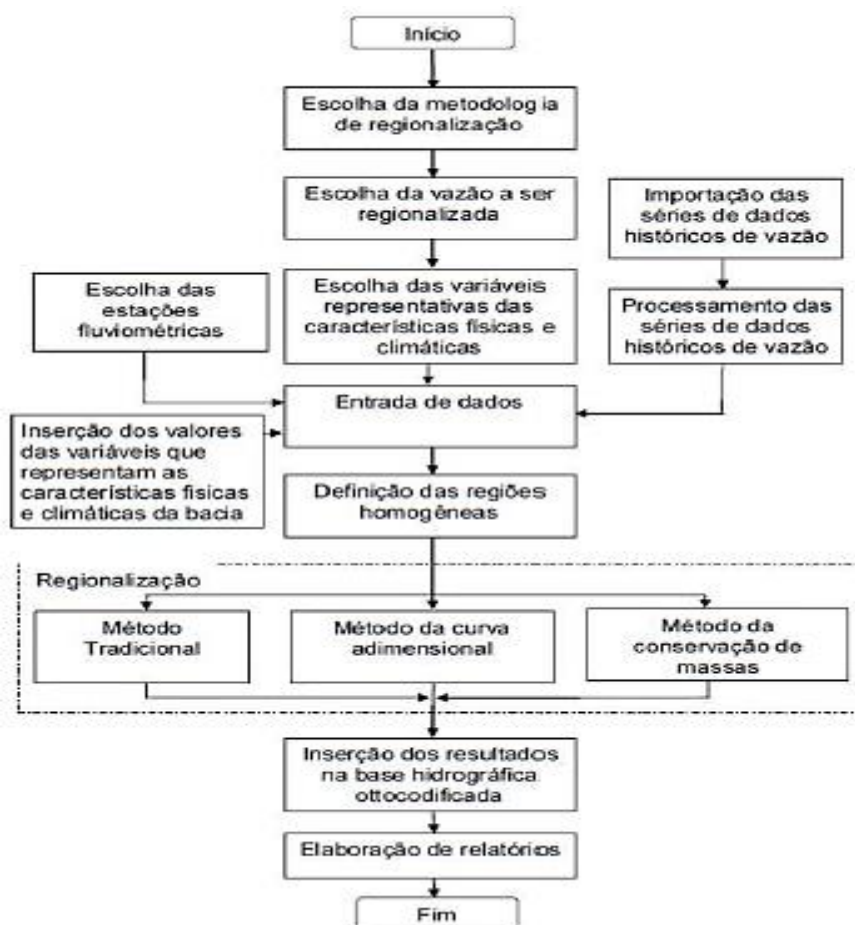


### **5.5. O SISTEMA COMPUTACIONAL PARA REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES – SISCORV**

O software SisCORV foi desenvolvido por Sousa (2009), com parceria de pesquisadores da Rede 2, da Universidade Federal de Viçosa (UFV) e da Agência Nacional de Águas (ANA). Este sistema é capaz de auxiliar na definição de regiões homogêneas e regionalizar vazões, bem como para fazer consultas à base hidroreferenciada, com a extração automática de informações métricas, topológicas e de equação de vazões, disponibilizadas em seções específicas, a partir de rede hidrográfica na escala do milionésimo.

Segundo Sousa (2009), o modelo computacional para a regionalização de vazões médias, mínimas e máximas, e de curvas de regularizações e de permanência foi desenvolvido buscando a sua integração à base hidrográfica Ottocodificada da ANA, disponibilizando para análise três métodos de regionalização, como sejam: o Método Tradicional (Tucci, 2007), o Método da Curva Adimensional (Tucci, 2002) e da conservação de massas (Pereira, 2004; Novaes 2005). Na figura 8 é demonstrado o fluxograma das macro-funcionalidades do SisCORV 1.0.

Figura 8 – Macrofuncionalidades do SisCorv



Fonte: Sousa, 2009.

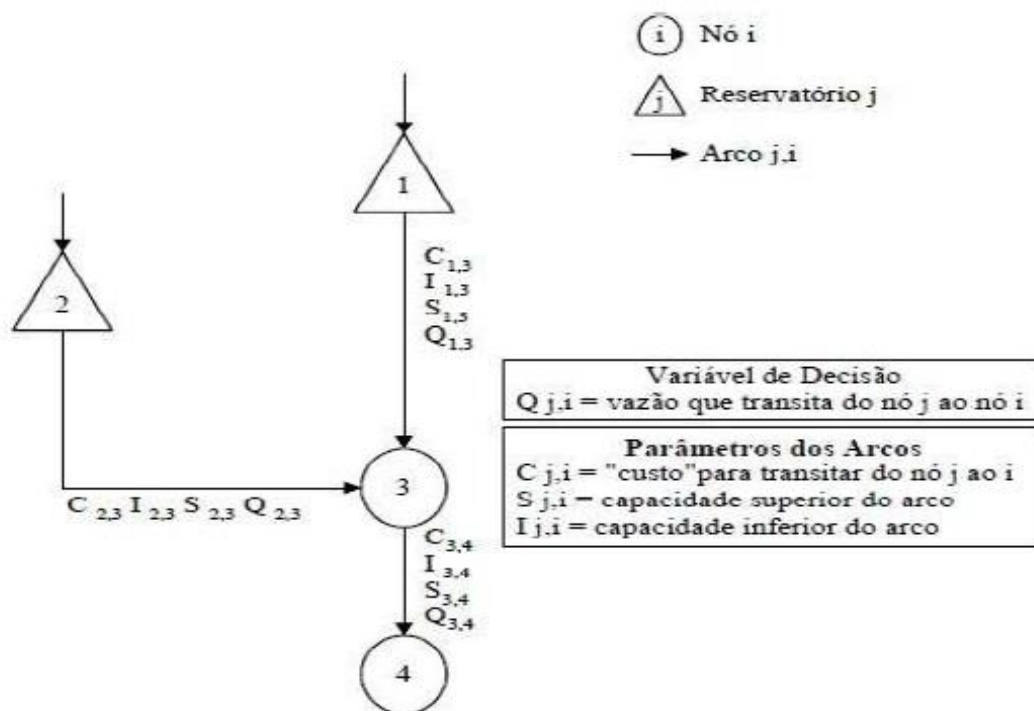
## 5.6. O SSD OUTORGA LS

Um dos objetivos específicos do presente trabalho é exercitar uma metodologia, a ser melhor explorada, para auxiliar a emissão de outorgas. Para isso, foi buscado trabalhar o modelo de alocação de água em rede de fluxo OutorgaLS/AcquaNet (2012), uma plataforma generalizada para análise de emissão de outorga, que permite analisar a flexibilização dos valores máximos outorgáveis, realizando uma análise das disponibilidades e outorgas existentes e requeridas na bacia hidrográfica, introduzindo conceitos como risco ou probabilidade de atendimento às demandas e prioridades de uso dos recursos hídricos.

O Sistema de Suporte à Decisão (SSD) OutorgaLS é uma adaptação do SSD AquaNet, desenvolvido pelo *Laboratório de Sistemas de Suporte à Decisões – LabSid*, do Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Trata-se de um modelo de rede de fluxo para simulação de bacias hidrográficas, possuindo interface Windows “usuário – sistema” que utiliza tecnologia SIG para consulta e manipulação de dados gerais, dados para simulação e simulação/resultados dos modelos.

Conforme (DORATIOTO, 2004), os modelos de rede de fluxo geralmente formam um conjunto de nós (nodes) e arcos (link), onde, para os sistemas de recursos hídricos, os nós representam reservatórios, demandas de cidades, irrigação e indústria, entre outros, e os arcos são as conexões entre os nós por adutoras, canais, túneis e trechos naturais ou artificiais de rios. De maneira geral, cada link tem um limite inferior, um superior (ex.: vazões mínimas e máximas de transferência) e um custo de passagem, onde podem ser estabelecidos fatores hierárquicos ou de ponderação, que sirvam para colocar as alternativas operacionais em ordem de prioridade, fixados pelo usuário. Os nós têm um limite superior e um inferior (níveis mínimos e máximos de represas, por exemplo). A Figura 9 representa um sistema hídrico como uma rede de fluxo.

Figura 9 – Representação de um sistema como uma rede de fluxo



Fonte: Labadie et al., 1999

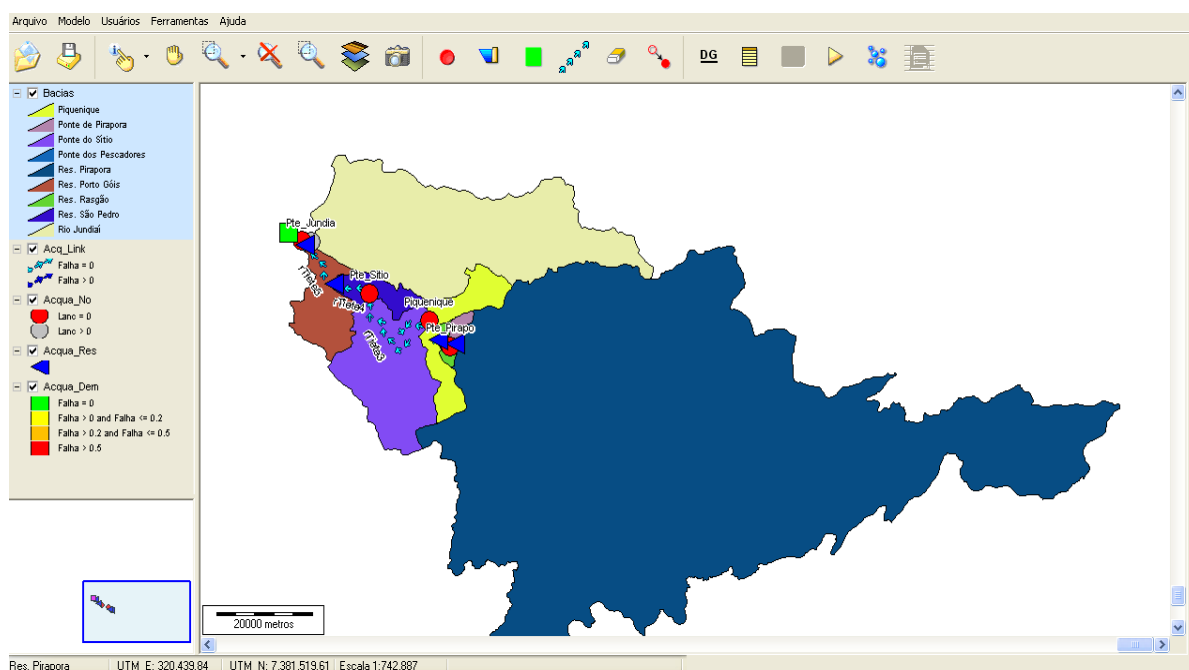
O AcquaNet/AlocaLS faz uso combinado das técnicas de simulação e de otimização para determinar a alocação da água em sistemas de recursos hídricos complexos sujeitos a restrições operacionais e prioridades de atendimento às demandas (PORTO et al., 2005). Na aparência, o OutorgaLS é bastante semelhante ao AcquaNet, e os dois modelos armazenam todos os dados e resultados em Bancos de Dados no formato do Microsoft Access, aproveitando a estrutura e a funcionalidade possibilitada pela utilização de arquivos neste formato.

O SSD utiliza o algoritmo de otimização de rede de fluxo eficiente, chamado *Out-of-Kilter*, e permite que sistemas grandes e complexos sejam tratados em microcomputadores. Algoritmos desse tipo otimizam apenas sistemas lineares, onde a otimização é executada em intervalo de tempo mensal, de forma sequencial, não garantindo o ótimo global, mas permite solucionar problemas relacionados à outorga por meio do cálculo do balanço hídrico, com simulação de cenários.

O OutorgaLS possui uma interface gráfica composta por um sistema de informações geográficas (SIG), onde é possível inserir *layers* elaborados previamente

em outros softwares, e por uma topologia, que deve ser elaborada pelo usuário no próprio programa. A Figura 10 mostra a tela principal na sua configuração padrão: o quadro maior contém o mapa principal e a escala gráfica, o quadro no canto superior esquerdo contém a relação dos layers carregados (Legenda), e o quadro no canto inferior esquerdo mostra um Mini-Mapa, que é referência do mostrado no mapa principal.

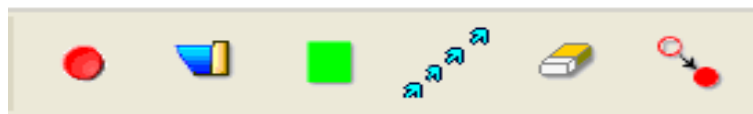
Figura 10 –Tela principal (Interface Usuário-Sistema)



Fonte: Manual de Utilização do SSD OutorgaLS (LabSid, 2012)

A criação e edição de elementos que compõem uma rede de fluxo, composta de reservatórios, demandas, nós e links, pode ser desenhada/editada pelo uso da barra de botões, com as opções indicadas na Figura 11, permitindo gerar a topologia (representação) do sistema em estudo, como se ilustra na Figura 12. Construída a topologia, é necessário determinar as informações sobre seus componentes e simular o seu comportamento e obter resultados.

Figura 11 – Barra de botões para o desenho da topologia



Fonte: Manual de Utilização do SSD OutorgaLS (LabSid, 2012)







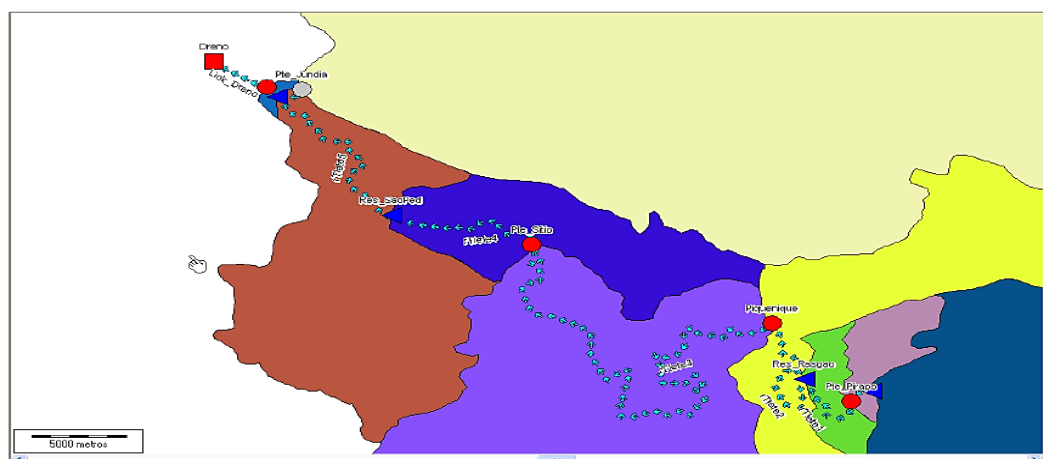
-  **cria um nó de passagem** – deve ser colocado no início e nas confluências de rios;
-  **cria um reservatório** – pelo menos um deve ser colocado (obrigatoriamente) no início da rede, com sua respectiva vazão de regularização;
-  **cria um nó de demanda** – deve partir de um nó de passagem
-  **cria um link** – liga um nó a outro (de passagem, de demanda ou de reservatório), necessariamente;
-  **apaga elementos** – apaga qualquer elemento. Caso seja um nó ou uma demanda, o link correspondente também é removido
-  **move elementos** – desloca nós (de passagem, de demanda, de reservatório), juntamente com o link correspondente.

Figura 12 –Topologia de um sistema hídrico



Fonte: Manual de Utilização do SSD OutorgaLS (LabSid, 2012)

O SSD OutorgaLS pode auxiliar no estudo de emissão de outorga em uma bacia, onde valores de referência seriam utilizados como indicativos para a condição crítica da sua disponibilidade hídrica, em trechos de rio não interferidos por

reservatórios de regularização, permitindo verificar se o somatório das vazões outorgadas até determinada seção não extrapola os valores das vazões de referência (ex.:  $0,8.Q_{90}$ ), e se as outorgas concedidas à jusante não foram comprometidas. Para o estudo, foi conduzida uma consulta junto ao INEMA/BA para obtenção de dados cadastrais de outorgas já concedidas na bacia do rio Paraguaçu (RPGA X), por finalidades de uso, para, adequadamente, agrupá-las por RHHs.

Com base nos balanços hídricos contidos no Balanço Hídrico para a Revisão do Plano Estadual de Recursos Hídricos da Bahia (2012), serão selecionados indicadores capazes de quantificar se existem condições críticas, ou não, de disponibilidade nas sub-bacias. Essa avaliação será realizada não apenas com base em um valor fixo de vazão máxima outorgável, mas possivelmente considerando definições de intensidades, durações e frequências de déficits observados no atendimento das demandas. Isso será feito em consonância com as prioridades de usos estabelecidas neste estudo, o que pode proporcionar maior flexibilidade e promover o uso racional das disponibilidades hídricas para outorga.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

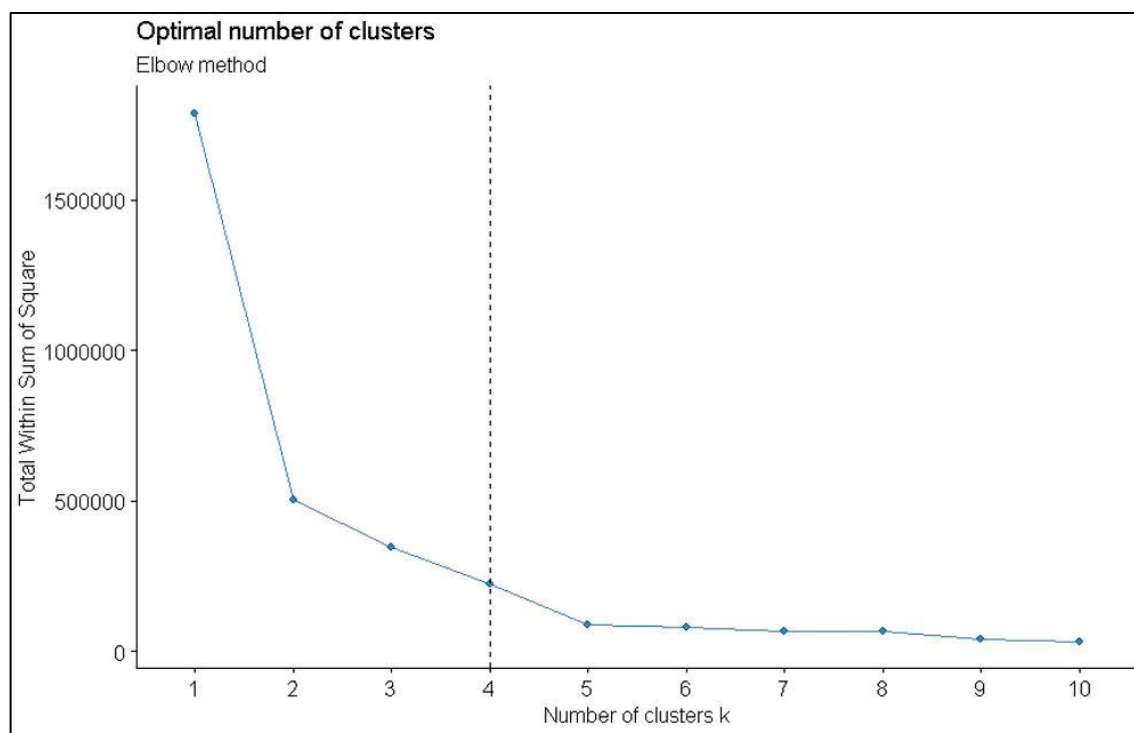
### 6.1. REGIÕES HIDROLOGICAMENTE HOMOGÊNEAS NA RPGA X

#### 6.1.1. MÉTODO DO COTOVELO (ELBOW METHOD)

Em virtude da divisão da Bacia Hidrográfica do Rio Paraguaçu (RPGA X) em seis UPGRHs, acreditava-se inicialmente que o número de clusters deveriam ser seis, seguindo esta lógica.

No entanto, essa premissa foi corrigida pelo Método do Cotovelo, que, ao se analisar a vazão mínima de até 90% de permanência ao nível diário (Q90), a altitude e a área de drenagem de contribuição das dezesseis estações fluviométricas selecionadas, constatou que quatro clusters seria o ideal para a bacia, conforme ilustra a Figura 13 a seguir.

Figura 13 – Número Ótimo de Clusters pelo Método do Cotovelo



Fonte: Elaboração do próprio autor



Finalmente, confirmada a quantidade ótima de clusters foi possível realizar o agrupamento das estações fluviométricas. Assim, utilizando ambos os *softwares* RStudio e Orange Data Mining, a Tabela 2 ilustra o agrupamento resultante.

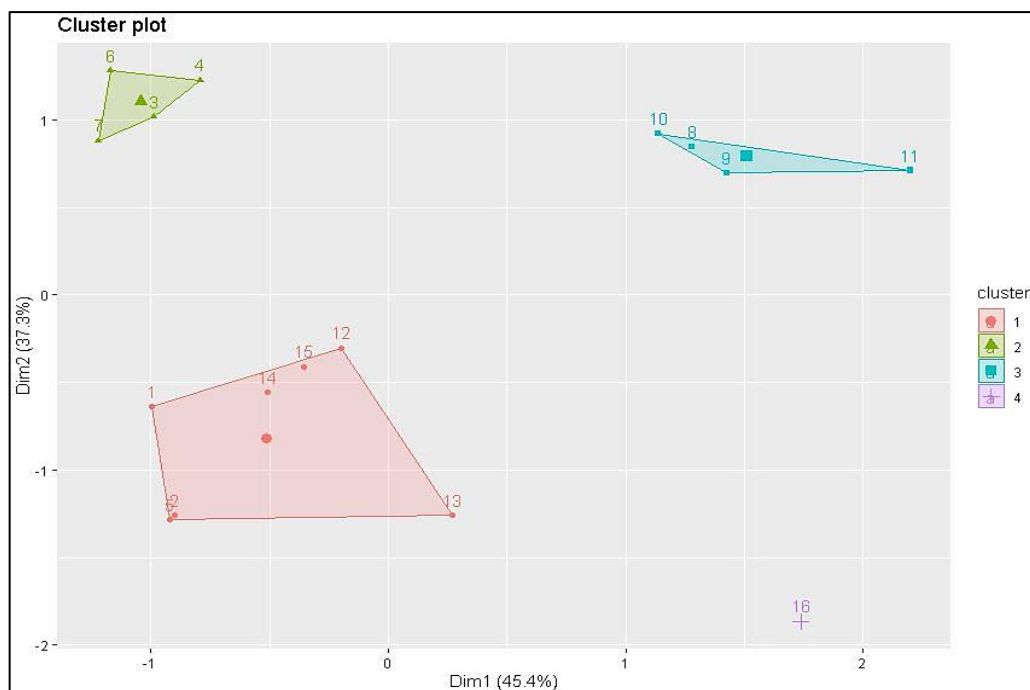
Tabela 2 – Estações Agrupadas Por Clusters

Código	Número de Identificação	Estação	Q90 (m³/s)	Altitude (m)	Área (km²)	Cluster
51060000	1	SUBAE	0,79	98	175	1
51060100	2	SUBAE II	0,621	8	390	1
51166000	5	BONITO	0,4021	1	731	1
51685000	12	JQUIRICA	3,2111	132	6520	1
51795000	13	VALENÇA	6,369	50	1110	1
51820000	14	WENCESLAU GUI-MARÃES	3,084	123	1110	1
51870000	15	SANTA LUZIA	4,0878	153	836	1
51120000	3	ANDARAÍ	1,7615	328	2350	2
51140000	4	PORTO	1,7665	338	6180	2
51170000	6	UTINGA	0,9623	357	2710	2
51230000	7	FAZENDA IGU-AÇU	0,497	300	2130	2
51240000	8	ITAETÉ	8,766	286	16500	3
51280000	9	IACU	7,401	222	22800	3
51330000	10	FAZENDA SANTA FÉ	3,274	173	32000	3
51350000	11	ARGOIM	6,652	140	37900	3
51890000	16	NILO PEÇANHA	12,756	6	2860	4

Fonte: Elaboração do próprio autor

A Figura 14 ilustra o agrupamento resultante da clusterização pelo método K-Means.

Figura 14 – Agrupamento Resultante pelo Método K-Means



Fonte: Elaboração do próprio autor

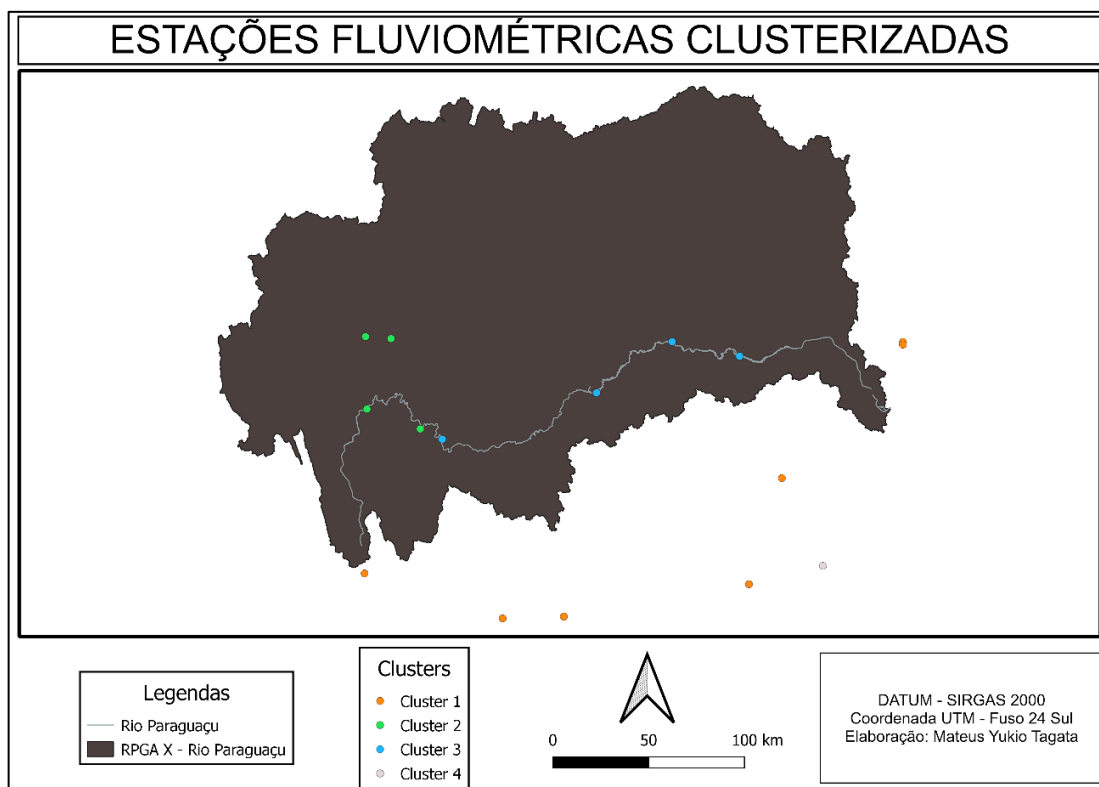
Na análise acima, Dim1 e Dim2 não representam variáveis únicas como área, altitude ou vazão. Em vez disso, eles são novas variáveis criadas pela combinação linear das variáveis originais. Segundo Rencher (1934) e Jolliffe (2002), os eixos Dim1 e Dim2 são chamados de componentes principais e representam direções nos dados que explicam a maior quantidade de variabilidade possível. Cada componente principal é uma combinação das variáveis originais, construídos para capturar a maior quantidade de variação nos dados com o menor número possível de componentes, mas não são equivalentes a nenhuma variável específica original.

Estabelecidos os agrupamentos (Clusters), subentende-se que as estações pertencentes à um mesmo cluster compartilham de condições hidrológicas semelhantes e, portanto, são consideradas hidrológicamente homogêneas.

Para produção da informação visual e determinação da posição geográfica das estações fluviométricas agrupadas conforme cada cluster, foi utilizado o *software* QGIS Desktop, versão 3.28.1. Neste, foram criadas camadas de informações que sobrepostas geram um sistema de informações geográficas, de modo a apresentar as estações, a delimitação da Bacia Hidrográfica do Rio Paraguaçu e demais dados,

georreferenciados. A Figura 15 exibe a localização das estações fluviométricas e os limites da Bacia Hidrográfica do Rio Paraguaçu.

Figura 15 – Mapa de Localização das Estações Fluviométricas



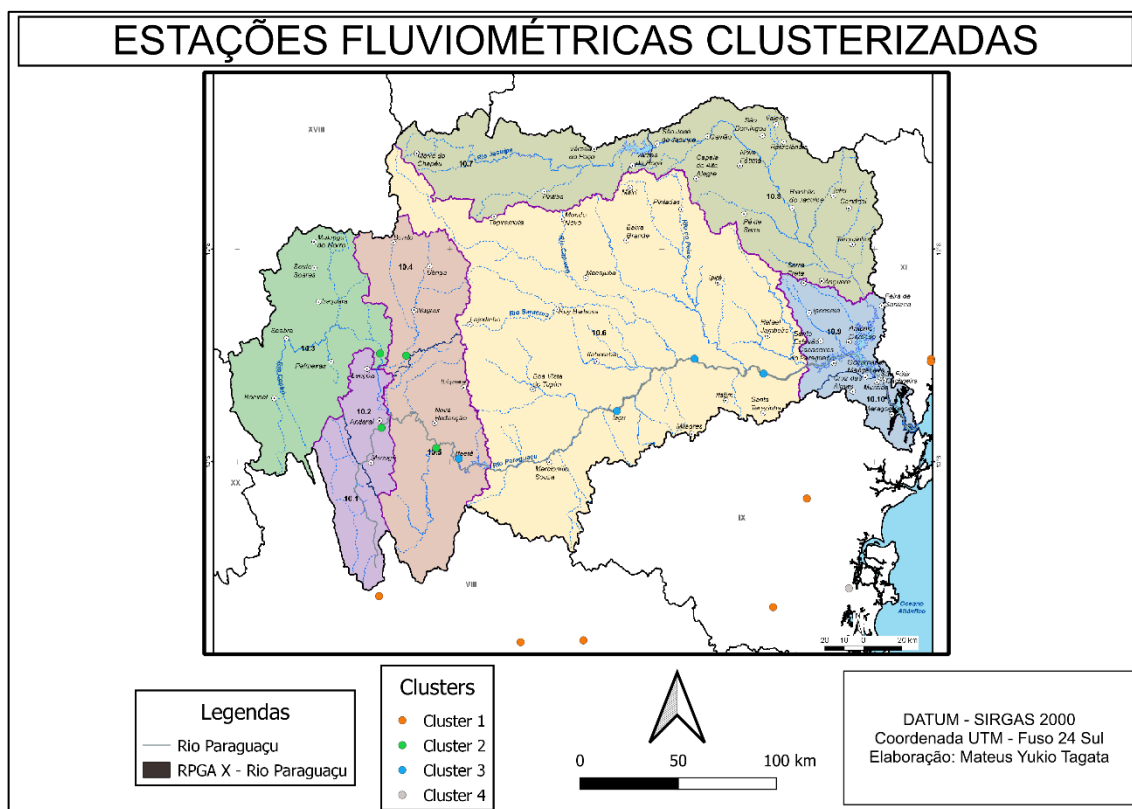
Fonte: Elaboração do próprio autor

Nota-se que algumas estações não estão inseridas na bacia hidrográfica do rio Paraguaçu. Isso se deve ao fato de o HIDROWEB organizar seus conjuntos de dados considerando a Bacia Hidrográfica do rio Jiquiriçá, ao sul, de forma conjunta. Além disso, algumas estações são filtradas por estar inseridas em municípios parcialmente inseridos na Bacia Hidrográfica do Rio Paraguaçu. Em última análise, evidencia-se a efetividade da clusterização ao apontar corretamente que as estações fora dos limites da bacia deveriam estar agrupadas.

Diante desta situação, os clusters número 1 e 4 foram desconsiderados. Ao se analisar o coeficiente de correlação entre as quatro estações de cada cluster (2 e 3), foi observado que o conjunto de dados das estações do cluster 2 (verde) possui um valor mais baixo, ou seja, essas estações são menos homogêneas do ponto de vista

hidrológico, raciocínio que é corroborado ao observarmos na Figura 16 as múltiplas UPGRHs abrangidas pelo cluster em questão.

Figura 16 – Localização das Estações Fluviométricas em Relação às UPGRHs



Fonte: Elaboração do próprio autor

O fato de todas as estações do **cluster 3** (azul) estarem localizadas ao longo do Rio Paraguaçu não é necessariamente fator exclusivo ou dominante para o agrupamento destas estações. Na UPGRH 10.5, a presença de uma estação próxima à de ITAETÉ porém em outro cluster, mesmo ambas na calha do Rio Paraguaçu, evidencia novamente a efetividade da clusterização.

Diante do exposto, as demais análises foram realizadas utilizando apenas as estações do **Cluster 3** (azul).

### 6.1.2. COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO

Os coeficientes de correlação são métodos estatísticos para se medir as relações entre variáveis sendo utilizados para identificar através de uma quantificação o nível de homogeneidade de um conjunto de dados. Ele evita classificações

rotulativas como “ruim”, “bom” e “ótimo”, possibilitando graduar esta informação a depender do valor numérico obtido para o coeficiente de correlação ( $R^2$ ): Este varia de 0 a 1 de modo que valores superiores à 0,7 são geralmente considerados como bons.

Ao considerar o conjunto de dados do Cluster 3, foi possível validar que a supressão da estação FAZENDA SANTA FÉ (51330000) eleva o coeficiente de correlação do conjunto consideravelmente, conforme ilustra a Tabela 4.

Tabela 3 – Resultado do Cluster 3 com a Estação 51330000

Variável	Linear	Potencial	Exponencial	Logarítmico	Recíproco
$R^2$	0,41471	0,35766	0,30797	0,47425	0,22994
$R^2$ ajustado	0,12207	0,03649	-0,03804	0,21137	-0,15509
Erro Padrão	2,6607	0,48346	0,50181	2,52174	0,10174

Fonte: Elaboração do próprio autor

Tabela 4 – Resultado do Cluster 3 sem a Estação 51330000

Variável	Linear	Potencial	Exponencial	Logarítmico	Recíproco
$R^2$	0,89422	<b>0,97554</b>	0,91698	0,96206	0,93763
$R^2$ ajustado	0,78844	0,95108	0,83396	0,92412	0,87526
Erro Padrão	0,56626	0,03145	0,05794	0,33913	0,00585

Fonte: Elaboração do próprio autor

Portanto, evidencia-se que um número maior de estações não necessariamente resulta em melhorias nos resultados. Desta forma, para a obtenção das funções regionais, a estação FAZENDA SANTA FÉ (51330000) foi retirada do conjunto de estações fluviométricas.

### 6.1.3. ANÁLISE DE ESTACIONARIEDADE

Os dados hidrometeorológicos apresentam, regra geral, inconsistências e não-homogeneidades em seus registros históricos (KOCH & RÊGO, 1984 apud TROGER & PANTE, 2009). As inconsistências, influenciados por erros de medição, na maioria dos casos são verificadas e corrigidas pelas entidades responsáveis pelas redes de monitoramento. Já as não-homogeneidades podem ser causadas por influências naturais (catástrofes, inundações, desabamento de encostas, rupturas de barragens)

ou artificiais (implantação de obras de derivação de grandes vazões, para irrigação ou abastecimento, à montante de estações fluviométricas, desmatamento, reflorestamentos, regularização do rio mediante construção de reservatórios, urbanização

O planejamento e a outorga de direitos de uso se apoiam em estimativas de disponibilidade hídrica, com base no comportamento do regime hidrológico obtidos a partir das séries de vazões nas estações fluviométricas. Uma premissa básica para os estudos e ações de gestão de recursos hídricos, é que as principais características estatísticas (médias, permanências de vazões, etc.) da série histórica de vazões serão reproduzidas no futuro, o que só pode ser considerada válida se as séries não apresentarem tendências crescentes ou decrescentes, ou seja, que a hipótese de estacionariedade das séries não seja rejeitada, a um determinado nível de significância (TROGER & PANTE, 2009).

O termo “estacionariedade” refere-se ao fato de que, excluídas as flutuações aleatórias, as observações amostrais são invariantes, com relação à cronologia de suas ocorrências. No sentido da estatística uma não-homogeneidade faz os parâmetros de uma distribuição de frequência serem não estacionários. Os tipos de não-estacionariedades incluem tendências, saltos e ciclos, ao longo do tempo. Em um contexto hidrológico, os “saltos” estão relacionados a alterações bruscas em uma bacia ou trecho fluvial, tais como, por exemplo, a construção de barragens (NAGHETTINI & PINTO, 2007).

Uma análise minuciosa revelou que a estação fluviométrica ITAETÉ (51240000) está localizada à jusante da Barragem do Apertado, construída pela CERB em 1998. As demais estações estão localizadas à jusante da barragem Bandeira de Melo, também construída pela CERB, porém em 2006. Em virtude disso, fez-se necessário averiguar se os dados registrados retratariam ou não uma possível influência destes barramentos no regime de vazões do rio Paraguaçu. Para isso, aproveitando a grande quantidade de anos registrados nessas estações fluviométricas, foi conduzido uma análise para determinar se houve ou não significativa alteração no regime de vazões antes e depois da construção dessas barragens, o que é conhecida como análise de estacionariedade

Para conduzir as verificações da estacionariedade das séries de vazão selecionadas para o estudo, foi utilizada a ferramenta SisCAH 1.0, um *Sistema Computacional para Análises Hidrológicas* (2009), elaborado pela Universidade Federal de Viçosa – UFV, que proporciona uma análise simplificada da estabilidade de séries temporais de vazões médias com relativa facilidade. A análise de estacionariedade verifica a identidade da média e da variância de dois subperíodos distintos de uma série hidrológica por meio dos testes de Fisher (identidade de variâncias) e o de Student (homogeneidade das médias), sendo que a série deve se ajustar à distribuição normal para aplicação dos testes (TUCCI, 2002). O módulo de estacionariedade do SisCAH1.0, permite trabalhar com vazões mínimas, médias e máximas, e verificar a estacionariedade de forma contínua, com amostra mínima de cinco dados, comparando a homogeneidade entre períodos adjacentes.

Nesse contexto, as séries históricas de vazões médias registradas nas estações ITAETÉ (51240000), IAÇU (51280000) e ARGOIM (51350000) foram integradas ao SisCAH, onde a Análise de Estacionariedade foi realizada com um nível de significância estabelecido em 5%. Para a análise, os testes de hipótese ( $H_0$ ) foram relacionados à suposição de que as séries de vazões médias mensais trabalhadas não tenham sofrido alterações significativas ao longo do tempo, ou seja os valores das amostras possuem com certeza todas as características que são atribuídas à população (a hipótese se refere ao sistema estocástico que é definido pelos valores de uma amostra).

Os resultados obtidos, como apresentados nas tabelas de 10 a 12 do Apêndice 1, trazem a indicação "ACEITA" na segunda coluna, implicando que a hipótese inicial não deve ser rejeitada; em outras palavras, deve ser aceita a hipótese (Hipótese nula  $H_0$ ) de que a série de vazões médias mensais das três estações permaneceram estacionárias, ao longo dos anos das medições, permitindo uma inferência sobre o sistema estocástico (a reação do sistema após a entrada dos “reservatórios” não mudou).

Desta forma, julgou-se apropriado utilizar estes dados de vazão na construção das funções regionais, visto que as medições registradas nas estações ITAETÉ

(51240000), IAÇU (51280000) e ARGOIM (51350000) não são reflexo de vazões regularizadas, estando assim em conformidade com o propósito desta pesquisa.

## 6.2. FUNÇÕES REGIONAIS

Para determinação da função regional, foi utilizado o *software* SISCORV, versão 1.0 e sua extensão SISCAH, versão 1.0. O SisCORV (um Sistema Computacional para Regionalização de Vazões) utiliza como base de dados valores de vazões associados disponíveis na base hidrorreferenciada da ANA. Esses dados são importados diretamente do site da Hidroweb da ANA, o que garante que os dados utilizados para os planos de regionalização são confiáveis e atuais (VALENTIM; ANDRADE, 2012). O aplicativo SisCORV dispõe dos métodos de regionalização tradicional, da curva adimensional e da conservação de massas, sendo o Método de Regionalização Tradicional a opção escolhida para o estudo de regionalização, em virtude da sua praticidade e ser amplamente difundido.

Após escolhido o Método Tradicional, foram importadas as vazões das estações ITAETÉ (51240000), IAÇU (51280000) e ARGOIM (51350000) e determinada a variável a ser regionalizada, a qual para este estudo foi a vazão de permanência  $Q_{90}$ . A variável independente relacionada foi a área de drenagem de cada estação fluviométrica, medida em  $\text{km}^2$  — sendo esta automaticamente identificada e importada pelo aplicativo SISCORV.

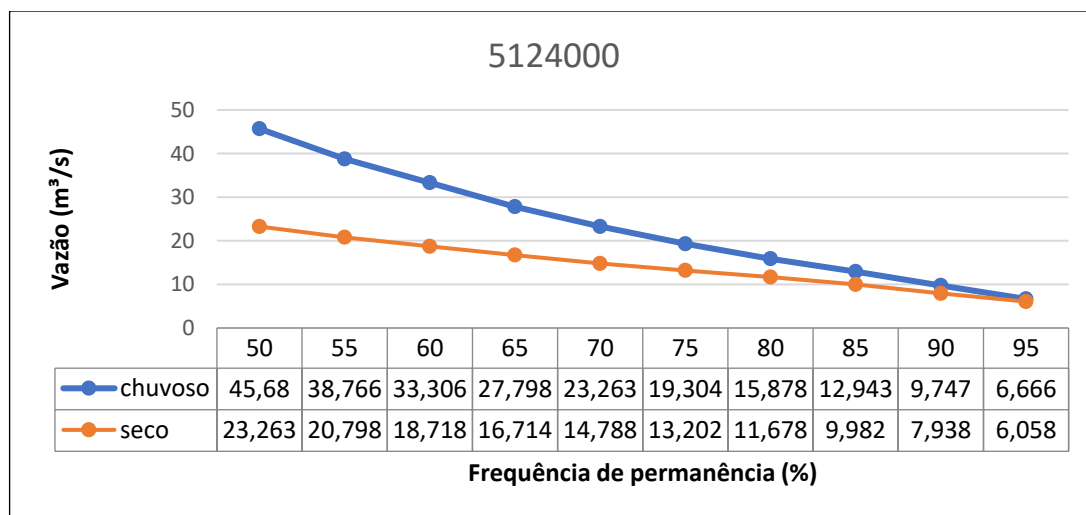
O processamento das séries de dados foi realizado através do Sistema Computacional para Análises Hidrológicas (SisCAH), extensão do *software* SISCORV. Nele, foi possível obter a vazão de permanência  $Q_{90}$  de todas as estações. Um pré-processamento foi realizado filtrando os dados de vazão de acordo com sua disponibilidade de forma que os meses com falhas superiores à 5% fossem retirados da análise. Durante o processamento dos dados, ficou evidente que o período entre os anos 1946 e 2021 apresentou a maior concentração de dados comuns a todas as estações. No entanto, em virtude da pouca diversidade de estações não foi adotado nenhuma restrição temporal para a análise.



Adicionalmente, é relevante ressaltar que, no âmbito da avaliação da disponibilidade hídrica, a consideração dos impactos sazonais torna-se imperativa. Nesse contexto, foram realizadas análises detalhadas e criteriosas com o intuito de verificar a presença de diferenças notáveis entre as vazões de permanência ( $Q_{90}$ ) durante o período chuvoso e o período seco, para uma mesma estação fluviométrica.

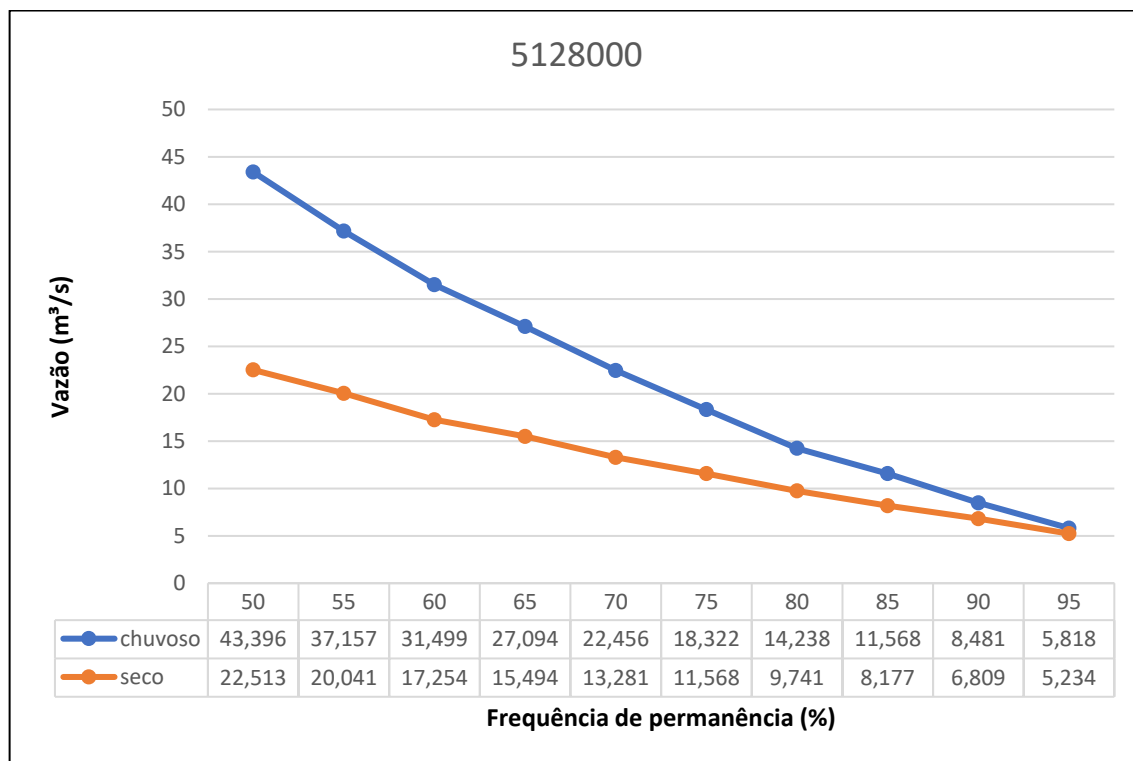
Explorando mais a fundo a dinâmica hidrológica da região em questão, observa-se que o período classificado como seco engloba os meses de maio a outubro, caracterizados por uma menor incidência de precipitação. Contrapondo-se a isso, o período de maior pluviosidade estende-se de novembro a abril, revelando uma clara distinção sazonal. Os resultados obtidos estão apresentados nas Figuras 17, 18 e 19, correspondendo às Estações Itaeté, Iaçú e Argoim, respectivamente.

Figura 17 – Curvas de Permanência da Estação ITAETÉ (51240000) – Períodos Seco e Chuvoso



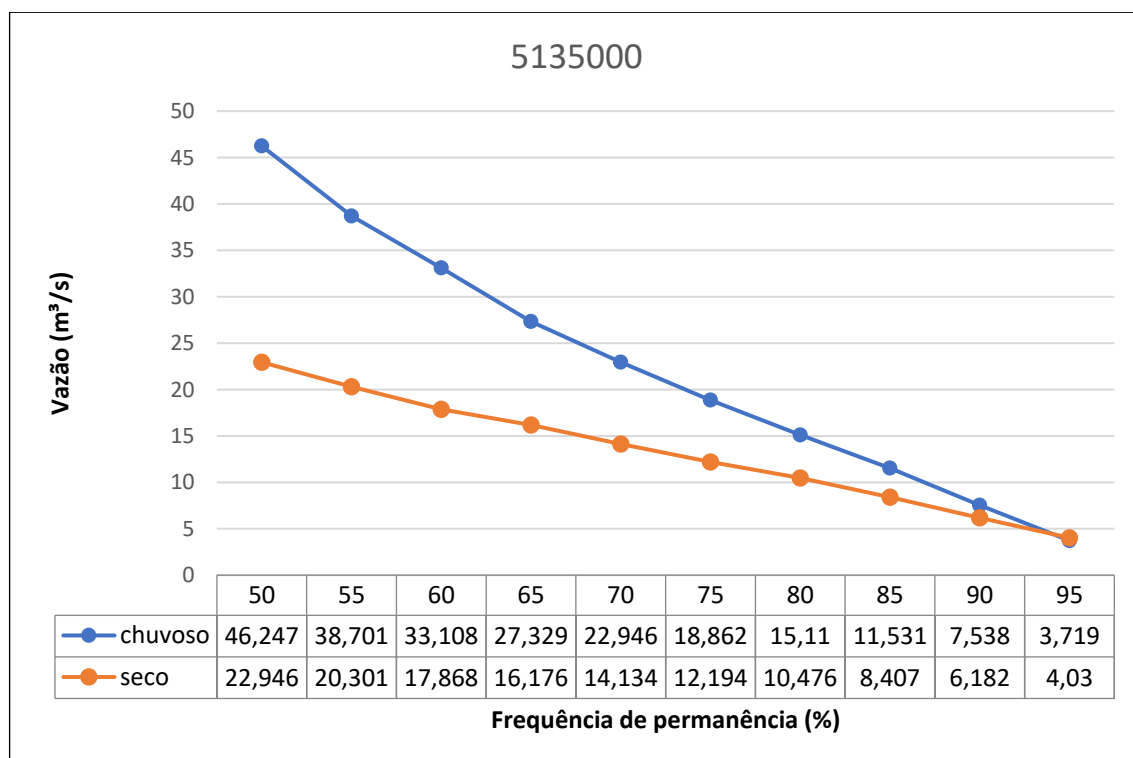
Fonte: Elaboração do próprio autor

Figura 18 – Curvas de Permanência da Estação IAÇU (51280000) – Períodos Seco e Chuvoso



Fonte: Elaboração do próprio autor

Figura 19 – Curvas de Permanência da Estação ARGOIM (51350000) – Períodos Seco e Chuvoso



Fonte: Elaboração do próprio autor

Diante disso, torna-se evidente que há diferenças consideráveis entre os valores de vazão de permanência (Q90) em todas as estações fluviométricas. No contexto da gestão de recursos hídricos, tais variações devem ser consideradas, a fim de possibilitar a flexibilização da emissão de outorga em períodos de grande oferta (chuvoso) e, em caso de escassez (período seco), determinar com base nas prerrogativas da Política Nacional de Recursos Hídricos quais outorgas deveriam ser temporariamente suspensas.

Durante o período chuvoso, a abundância do recurso hídrico contrasta com as vazões mais restritivas nos cursos d'água no período seco. A análise da sazonalidade das vazões em cada seção de interesse é crucial para determinar se existe uma condição crítica de disponibilidade hídrica para outorga. Essa avaliação é essencial, pois a soma dos usos consuntivos pode atingir o limite máximo outorgável (correspondente a 80% da Q90, no contexto do Estado da Bahia) em seções específicas de rios.

Seguindo essa lógica, as vazões previstas no período seco não deveriam impor limitações às outorgas durante o período chuvoso. A habilidade do órgão gestor em flexibilizar e ajustar as outorgas representa o primeiro passo em direção a uma abordagem mais refinada, dissociando-se de critérios globais, como as vazões de referência, que comumente desconsideram as características específicas de cada bacia ou trecho de rio.

A manutenção dos critérios atuais, estabelecendo limites máximos outorgáveis, desconsidera a possibilidade de flexibilização desses valores, especialmente durante os períodos chuvosos. Essa abordagem pode ser interpretada como um "engessamento", resultando inevitavelmente em prejuízos ao desenvolvimento socioeconômico ou em danos ambientais na região. É relevante observar que a Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA), por meio do Parecer Técnico Nº 3/2022/SER (Documento nº 02500.047031/2022-32), já propôs reflexões críticas sobre alguns procedimentos adotados em outorgas. O documento destaca a necessidade de afastamento de conceitos consolidados, como o de disponibilidade hídrica, vazão de referência ou vazão outorgável. Ressalta ainda que as simplificações do procedimento atual dependem do conhecimento detalhado da

dinâmica da disponibilidade e demanda hídricas, conhecimento nem sempre disponível. Na prática, as limitações desse procedimento geralmente resultam na subutilização da água, indicando a necessidade de revisão para garantir uma gestão mais eficaz dos recursos hídricos.

### 6.2.1. FUNÇÃO REGIONAL $Q_{90}$

Concluída a pré-análise de dados, o SisCORV executou os cálculos de regionalização utilizando a  $Q_{90}$  como vazão de referência, sendo gerados resultados para os modelos Linear, Potencial, Exponencial, Logarítmico e Recíproco. Então, baseado nas informações fornecidas pelo programa SisCORV, dentro do método de regionalização escolhido, são mostrados os resultados nas “abas”: Ajuste, Vazões, Resíduos e Coeficientes; os quais, a partir da análise destes parâmetros, fornecem subsídios estatísticos para a escolha do melhor modelo de equação para gerar a equação de regionalização. A seguir, as Figuras 20 e 21 apresentam o painel de resultados estatísticos da análise.

Figura 20 – Painel de Resultados Estatísticos ( $Q_{90}$ ) – Período Chuvoso

SisCORV 1.0.3 - Método Tradicional							
Arquivo Dados Operações Atualização Ajuda							
Curva de Permanência (90%)							
Entrada de dados Resultados							
Ajuste Vazões Resíduos Coeficientes							
<input type="checkbox"/> Ver informações adicionais							
Região	Variável	Linear	Potencial	Exponencial	Logarítmico	Recíproco	
3	R <sup>2</sup>	0,89422	0,97554	0,91698	0,96206	0,93763	
3	R <sup>2</sup> ajustado	0,78844	0,95108	0,83396	0,92412	0,87526	
3	Erro padrão	0,56626	0,03145	0,05794	0,33913	0,00585	
3	Teste F(Valor-P)	0,21089	0,09998	0,18607	0,1248	0,16069	
3	Teste T(Valor-P): Intercepto	0,05024	0,05686	0,02325	0,09248	0,06562	
3	Teste T(Valor-P): Área (km <sup>2</sup> )	0,21089	0,09998	0,18607	0,1248	0,16069	
3	Erro padrão: Intercepto	0,86241	0,4413	0,08824	4,75845	0,00891	
3	Erro padrão: Área (km <sup>2</sup> )	3,31991716614373E-5	0,0440807737974333	3,39699790988824E-6	0,475310485930829	3,42859335445982E-7	

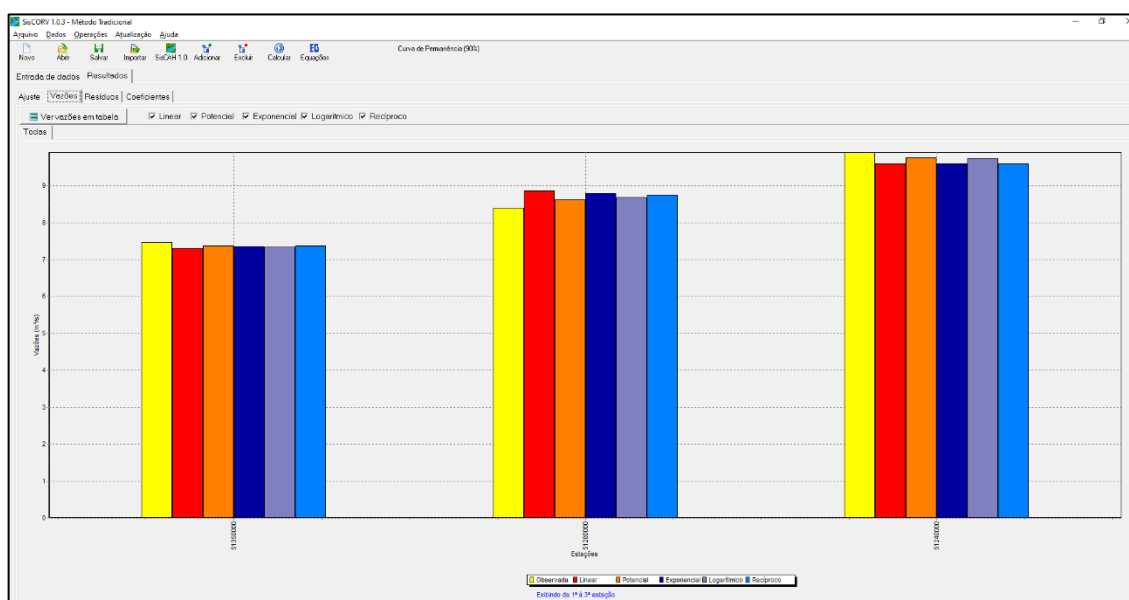
Fonte: Elaboração do próprio autor

Figura 21 – Painel de Resultados Estatísticos ( $Q_{90}$ ) – Período Seco

SisCORV 1.0.3 - Método Tradicional						
Arquivo Dados Operações Atualização Ajuda						
<div> </div>						
Curva de Permanência (90%)						
Entrada de dados Resultados						
Ajuste Vazões Resíduos Coeficientes						
<input type="checkbox"/> Ver informações adicionais						
Região	Variável	Linear	Potencial	Exponencial	Logarítmico	Recíproco
3	R <sup>2</sup>	0,87304	0,96209	0,89426	0,94843	0,91428
3	R <sup>2</sup> ajustado	0,74607	0,92417	0,89852	0,89685	0,82855
3	Erro padrão	0,44842	0,03472	0,05798	0,2858	0,00744
3	Teste F(Valor-F)	0,23194	0,12476	0,21085	0,14585	0,18916
3	Teste T(Valor-F): Intercepto	0,05025	0,07037	0,02583	0,10472	0,06501
3	Teste T(Valor-F): Área (km <sup>2</sup> )	0,23194	0,12476	0,21085	0,14585	0,18916
3	Erro padrão: Intercepto	0,68294	0,48716	0,0883	4,01015	0,01134
3	Erro padrão: Área (km <sup>2</sup> )	2,62904375293338E-5	0,048660926740053	3,39934241925259E-6	0,40056441737967	4,36365624271661E-7

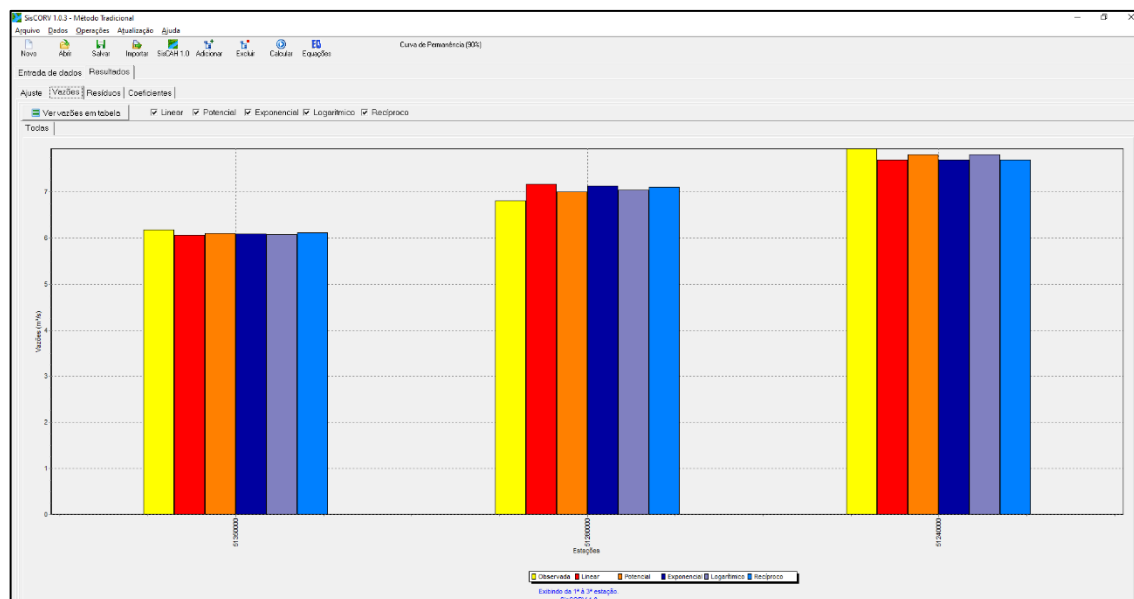
Fonte: Elaboração do próprio autor

Conforme demonstrado nas figuras 22 e 23, nota-se que os modelos **potencial** e logarítmico se sobressaem ao apresentar os melhores coeficientes de determinação ( $R^2$ ), registrando valores de **0,97554** e 0,96206 para o período chuvoso além de, **0,96209** e 0,94843 para o período seco, respectivamente. Em adição, estes são os modelos que apresentam os menores erros padrão. Informações visuais comparativas entre todos os modelos são apresentados nas Figuras 22 e 23, a seguir.

Figura 22 – Comparação entre a  $Q_{90}$  observada e estimadas em cada estação para a Região Hidrológicamente Homogênea em análise – Período chuvoso

Fonte: Elaboração do próprio autor

Figura 23 - Comparação entre a  $Q_{90}$  observada e estimadas em cada estação para a Região Hidrologicamente Homogênea em análise – Período seco



Fonte: Elaboração do próprio autor

É possível perceber que o modelo potencial (barra alaranjada) e o modelo logarítmico (barra acinzentada) acompanham de forma mais aproximada os dados observados (barra amarelada), corroborando para a escolha desses modelos para a determinação das funções regionais.

Finalmente, nas Tabelas 5 e 6 estão apresentadas as equações de regionalização para estimativa da  $Q_{90}$  (vazão de outorga), conforme se estabeleceu como um dos objetivos deste trabalho.

Tabela 5 – Equações de Regionalização ( $Q_{90}$  em  $m^3/s$ ; A em  $km^2$ ) – Período Chuvoso

<i>Modelo</i>	<i>Vazão <math>Q_{90}</math> (<math>m^3/s</math>)</i>
<i>Potencial</i>	$Q_{90} = 138,0721 * A^{-0,2784}$
<i>Logarítmico</i>	$Q_{90} = 32,5266 - 2,3934 * \ln(A)$

Fonte: Elaboração do próprio autor

Tabela 6 – Equações de Regionalização (Q em m³/s; A em km²) – Período Seco

<i>Modelo</i>	<i>Vazão <math>Q_{90}</math> (m³/s)</i>
<i>Potencial</i>	$Q_{90} = 80,5674 * A^{-0,245}$
<i>Logarítmico</i>	$Q_{90} = 24,1586 - 1,7178 * \ln(A)$

Fonte: Elaboração do próprio autor

O SISCORV permite em seu módulo de equações a inserção dos resultados na bacia hidrográfica Ottocodificada da ANA. Este procedimento se resume a fornecer a equação regionalizada num trecho selecionado, de modo que seja estimado a vazão  $Q_{90}$  em qualquer porção menor deste.

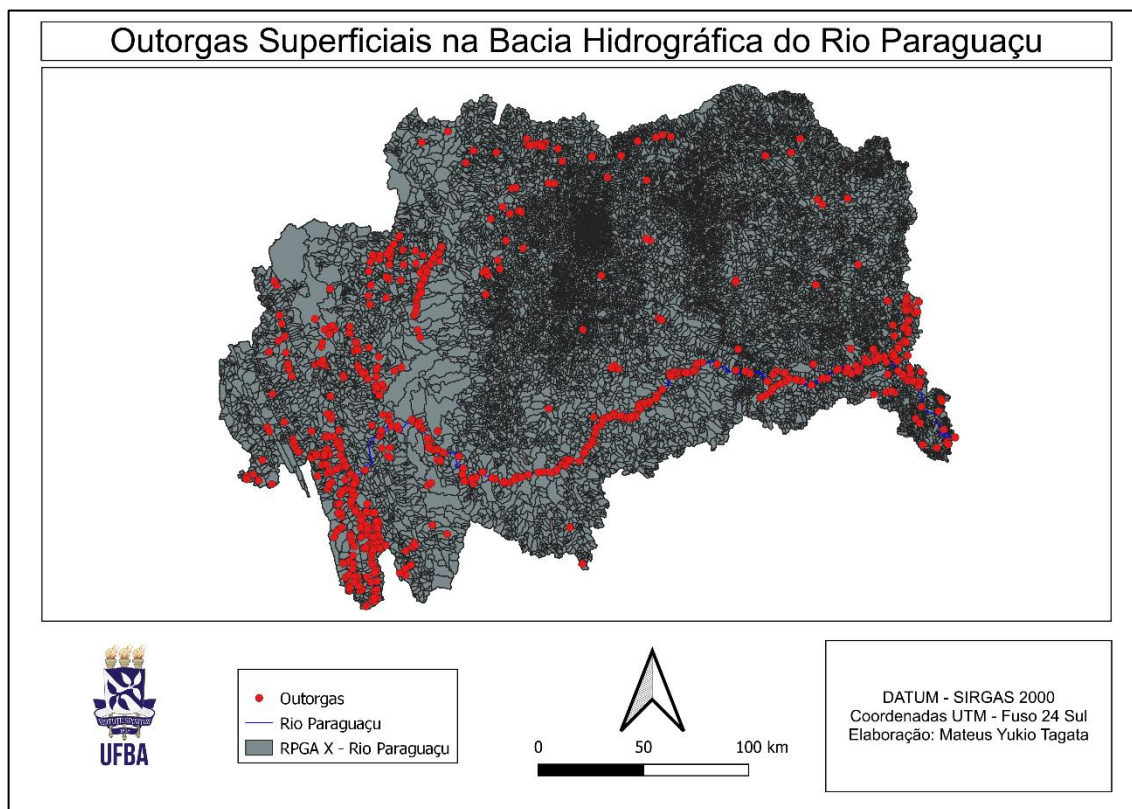
### 6.3. AS OUTORGAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAGUAÇU

Através do Ofício N° 02/2023 -UFBA/ProfÁgua, de 08 de maio de 2023, foi solicitado à Direção do INEMA/BA o compilado de cadastro de dados de outorga concedidas na bacia do rio Paraguaçu. Em resposta, pelo Ofício N° 00068150856/2023-INEMA/DG/DIRRE/NOUT, de 05 de junho de 2023, foi disponibilizada uma planilha com os dados de outorgas de água de superfície, retirados do CNARH - Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos em 30 de maio de 2023, constando informações como: tipo de interferência (captação, barragem, lançamento, etc.), descrição do tipo de corpo hídrico da interferência (rio ou curso d'água, espelho d'água), coordenadas geográficas, tipo de outorga (uso de pouca expressão, direito de uso), vazão demandada, dias captados no mês, finalidade da outorga (abastecimento público, irrigação, criação animal, indústria), dentre outros detalhes.

Para os objetivos do presente estudo, as outorgas classificadas como “lançamento superficial” foram excluídas, uma vez que a avaliação da qualidade da água não constitui um dos propósitos deste estudo.

Dessa forma, a Figura 24 apresenta a distribuição geográfica de outorgas na Bacia Hidrográfica do Rio Paraguaçu até 30 de maio de 2023.

Figura 24 – Distribuição das outorgas na Bacia Hidrográfica do Rio Paraguaçu



Fonte: Elaboração do próprio autor

Com base nos dados fornecidos pelo INEMA, o Quadro 5 do Apêndice 2 apresenta a relação de outorgas utilizadas para a Região Hidrológicamente Homogênea, identificada como Cluster 3 (conforme apresenta na Figura 14 do item 6.1.1).

#### 6.4.DETERMINAÇÃO DAS ÁREAS DE CONTRIBUIÇÃO DAS SUB-BACIAS

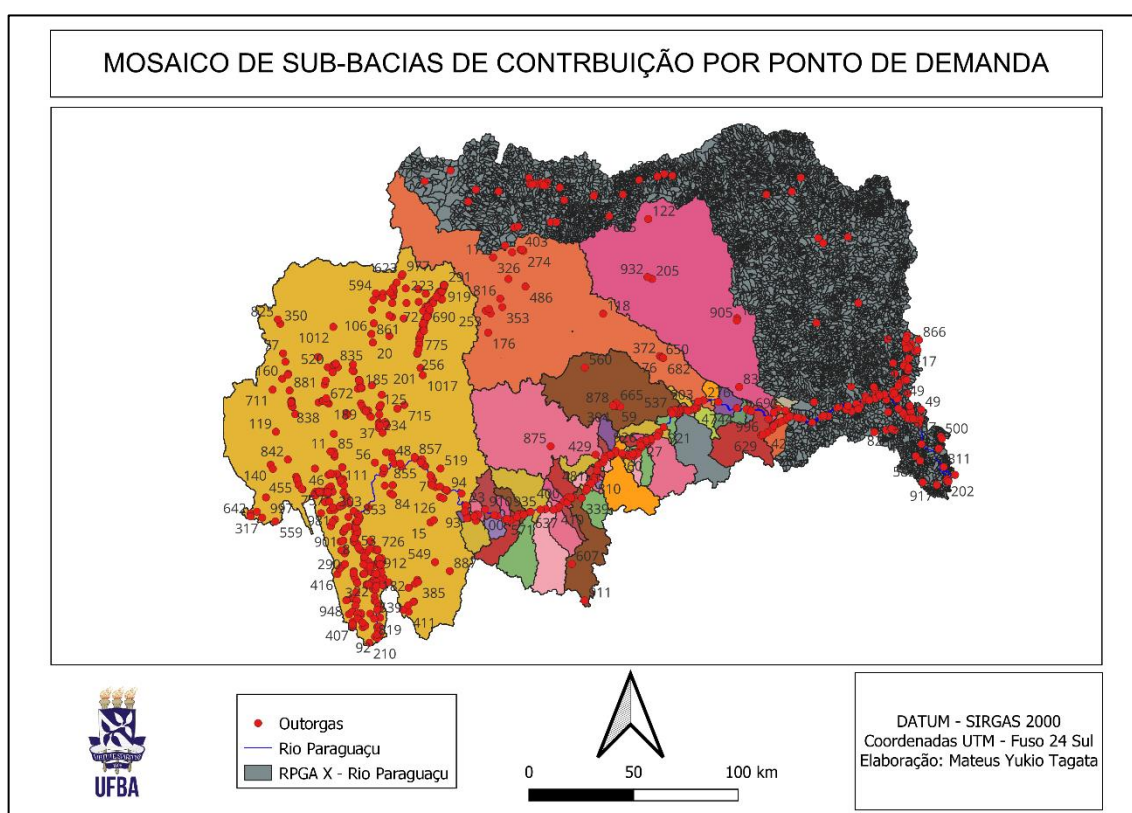
A falta de informações acerca das áreas de drenagem em cada ponto de outorga tornava inviável a progressão das análises idealizadas. A ausência de conhecimento acerca dessas áreas impedia a estimativa da disponibilidade hídrica, dificultando assim a gestão eficaz das demandas hídricas e um balanço hídrico em cada ponto de demanda outorgada. Para superar esse obstáculo, adotou-se uma abordagem que envolveu a utilização da base de dados de bacias hidrográficas otocodificadas. Essa base foi importada para o software QGIS, no qual foram



calculadas as áreas de contribuição de cada sub-bacia prévia aos pontos de demanda. Esse processo foi crucial para fornecer dados fundamentais, permitindo uma análise mais abrangente e embasada acerca da disponibilidade hídrica na região em questão.

A seguir, na Figura 25 é apresentado o resultado de associação de cada sub-bacia de contribuição.

Figura 25 - Mosaico de sub-bacias de contribuição por ponto de demanda



Fonte: Elaboração do próprio autor

Finalmente, conhecendo a área de contribuição para cada ponto de demanda, é possível estimar a disponibilidade hídrica através das funções de regionalização.

#### 6.4.1. ESTIMATIVA DAS DISPONIBILIDADES HÍDRICAS NOS PONTOS DE DEMANDA E O IMPACTO DA SAZONALIDADE

Munido da localização geográfica de cada outorga, da rede de drenagem até cada ponto de demanda (e área de contribuição respectiva) e das funções regionais, torna-se possível calcular a disponibilidade hídrica (Q90) para cada demanda ao longo

dos trechos entre as estações fluviométricas consideradas. Dessa maneira, a Tabela 7 destaca os resultados alcançados na estimativa da vazão disponível para cada outorga, tanto durante o período chuvoso quanto no período seco.

Tabela 7 – Resultados obtidos para a estimativa das vazões (m<sup>3</sup>/s) de disponibilidade pelas funções regionais

Nº Outorga	Área (km²)	Regionalização Modelo Potencial	Regionalização Modelo Logarítmico	Regionalização Modelo Potencial	Regionalização Modelo Logarítmico
		Período Seco		Período Chuvoso	
51240000	16503,508	Q90 = 7,938 (Medição Empírica)		Q90 = 9,747 (Medição Empírica)	
644	16511,518	7,452157	7,476128	9,246963	9,281926
93	16511,713	7,452135	7,476108	9,246932	9,281898
308	16537,488	7,449287	7,473429	9,242918	9,278165
10	16542,516	7,448732	7,472907	9,242136	9,277437
984	16717,411	7,429554	7,454841	9,215118	9,252266
14	16684,689	7,433123	7,458207	9,220146	9,256955
225	16722,452	7,429005	7,454323	9,214345	9,251544
100	16723,732	7,428865	7,454192	9,214149	9,251361
974	16724,700	7,428760	7,454092	9,214000	9,251222
910	16775,336	7,423257	7,448899	9,206250	9,243987
531	17055,112	7,393221	7,420487	9,163958	9,204399
571	17058,130	7,392901	7,420183	9,163507	9,203975
533	17105,248	7,387904	7,415445	9,156474	9,197373
514	17288,924	7,368587	7,397098	9,129290	9,171809
684	17319,731	7,365372	7,394040	9,124767	9,167548
263	17322,399	7,365094	7,393775	9,124375	9,167180
98	17322,399	7,365094	7,393775	9,124375	9,167180
62	17395,780	7,357466	7,386514	9,113645	9,157062
691	17413,006	7,355681	7,384814	9,111134	9,154693
610	17413,006	7,355681	7,384814	9,111134	9,154693
273	17794,050	7,316755	7,347630	9,056397	9,102883
637	17796,057	7,316552	7,347436	9,056113	9,102613
935	18114,558	7,284807	7,316965	9,011504	9,060156
266	18177,784	7,278588	7,310980	9,002768	9,051816
780	18661,201	7,231911	7,265895	8,937231	8,988997
410	18664,261	7,231620	7,265614	8,936824	8,988605
280	18834,857	7,215509	7,249984	8,914217	8,966828
521	18872,983	7,211934	7,246511	8,909200	8,961988
400	18938,913	7,205771	7,240520	8,900556	8,953641
862	18998,456	7,200229	7,235128	8,892782	8,946128
432	19006,056	7,199523	7,234441	8,891792	8,945171
415	19007,050	7,199431	7,234352	8,891662	8,945046
804	19007,411	7,199397	7,234319	8,891615	8,945000

Nº Outorga	Área (km²)	Regionalização Modelo Potencial	Regionalização Modelo Logarítmico	Regionalização Modelo Potencial	Regionalização Modelo Logarítmico
622	19010,560	7,199105	7,234034	8,891205	8,944604
137	19009,876	7,199169	7,234096	8,891294	8,944690
929	19010,560	7,199105	7,234034	8,891205	8,944604
588	19148,186	7,186387	7,221644	8,873370	8,927339
339	19710,220	7,135607	7,171950	8,802199	8,858098
334	19869,668	7,121528	7,158110	8,782479	8,838814
396	19887,916	7,119926	7,156533	8,780235	8,836617
660	19887,916	7,119926	7,156533	8,780235	8,836617
262	19897,808	7,119058	7,155679	8,779020	8,835427
481	19937,411	7,115589	7,152264	8,774162	8,830668
696	19939,365	7,115418	7,152095	8,773923	8,830434
847	19939,365	7,115418	7,152095	8,773923	8,830434
384	19955,533	7,114005	7,150703	8,771943	8,828494
261	19960,105	7,113605	7,150309	8,771384	8,827945
828	19960,447	7,113575	7,150280	8,771342	8,827904
544	19960,447	7,113575	7,150280	8,771342	8,827904
374	19960,749	7,113549	7,150254	8,771305	8,827868
245	19974,537	7,112345	7,149068	8,769619	8,826215
810	19972,597	7,112515	7,149235	8,769856	8,826448
64	19984,548	7,111472	7,148207	8,768396	8,825016
709	20018,222	7,108537	7,145315	8,764288	8,820986
215	20023,551	7,108074	7,144858	8,763638	8,820349
452	20028,726	7,107623	7,144414	8,763008	8,819731
427	20029,722	7,107537	7,144329	8,762887	8,819612
360	20152,820	7,096870	7,133804	8,747954	8,804947
934	20165,092	7,095811	7,132758	8,746472	8,803490
867	20161,277	7,096140	7,133083	8,746932	8,803943
516	20172,706	7,095155	7,132110	8,745552	8,802587
965	20176,794	7,094802	7,131762	8,745059	8,802102
740	22127,770	6,936085	6,973213	8,523229	8,581187
332	22129,914	6,935920	6,973046	8,522999	8,580955
510	22130,889	6,935846	6,972971	8,522894	8,580849
586	22133,881	6,935616	6,972738	8,522573	8,580526
722	22162,945	6,933385	6,970484	8,519461	8,577385
220	22164,591	6,933259	6,970357	8,519285	8,577207
898	22166,133	6,933141	6,970237	8,519120	8,577041
208	22173,652	6,932564	6,969655	8,518315	8,576229
393	22269,866	6,925211	6,962217	8,508055	8,565866
583	22734,171	6,890271	6,926772	8,459324	8,516478
60	22740,373	6,889810	6,926303	8,458682	8,515826
358	22744,515	6,889503	6,925991	8,458253	8,515390
464	22745,251	6,889448	6,925935	8,458177	8,515312
473	22752,556	6,888906	6,925383	8,457421	8,514544

Nº Outorga	Área (km²)	Regionalização Modelo Potencial	Regionalização Modelo Logarítmico	Regionalização Modelo Potencial	Regionalização Modelo Logarítmico
625	22756,852	6,888587	6,925059	8,456976	8,514092
164	22776,765	6,887110	6,923557	8,454917	8,511998
916	22786,814	6,886366	6,922799	8,453879	8,510943
264	22795,790	6,885701	6,922122	8,452952	8,510000
51280000	22796,603	Q90 = 6,809 (Medição Empírica)		Q90 = 8,481 (Medição Empírica)	
1020	22798,879	6,885472	6,921890	8,452634	8,509676
503	22851,622	6,881573	6,917921	8,447198	8,504145
170	22856,097	6,881243	6,917584	8,446738	8,503676
428	22955,822	6,873903	6,910106	8,436507	8,493256
926	22957,983	6,873745	6,909944	8,436286	8,493031
382	22959,114	6,873662	6,909859	8,436170	8,492913
895	22968,576	6,872968	6,909152	8,435203	8,491927
292	22959,718	6,873617	6,909814	8,436109	8,492850
368	22960,911	6,873530	6,909725	8,435987	8,492726
605	22996,167	6,870945	6,907089	8,432384	8,489053
116	23008,100	6,870072	6,906198	8,431167	8,487812
27	23012,480	6,869751	6,905871	8,430720	8,487356
545	22962,766	6,873394	6,909586	8,435797	8,492532
66	23019,608	6,869230	6,905339	8,429993	8,486615
890	23019,904	6,869208	6,905317	8,429963	8,486584
409	23022,611	6,869010	6,905115	8,429687	8,486303
404	23034,784	6,868120	6,904207	8,428447	8,485037
367	23033,888	6,868185	6,904274	8,428538	8,485131
542	23037,556	6,867917	6,904000	8,428165	8,484750
555	23474,906	6,836330	6,871696	8,384157	8,439738
127	23482,018	6,835823	6,871176	8,383451	8,439013
103	23481,127	6,835886	6,871241	8,383539	8,439104
921	23610,046	6,826718	6,861836	8,370771	8,425999
686	23687,845	6,821215	6,856185	8,363109	8,418125
537	23690,847	6,821003	6,855967	8,362814	8,417822
942	23685,823	6,821358	6,856331	8,363307	8,418329
669	25309,590	6,711384	6,742433	8,210355	8,259628
383	25314,674	6,711054	6,742088	8,209896	8,259147
33	25317,843	6,710848	6,741873	8,209610	8,258848
515	25321,786	6,710592	6,741605	8,209254	8,258475
250	25322,547	6,710542	6,741553	8,209185	8,258403
246	25323,975	6,710449	6,741457	8,209056	8,258268
728	25333,929	6,709803	6,740782	8,208158	8,257328
371	25333,929	6,709803	6,740782	8,208158	8,257328
877	25338,348	6,709516	6,740482	8,207760	8,256910
888	25344,131	6,709141	6,740090	8,207239	8,256364
1004	25862,135	6,675949	6,705335	8,161144	8,207938
998	25347,009	6,708954	6,739895	8,206979	8,256092

Nº Outorga	Área (km²)	Regionalização Modelo Potencial	Regionalização Modelo Logarítmico	Regionalização Modelo Potencial	Regionalização Modelo Logarítmico
12	25865,934	6,675709	6,705083	8,160810	8,207587
854	25872,004	6,675325	6,704680	8,160277	8,207025
217	25915,912	6,672551	6,701767	8,156426	8,202967
827	25918,942	6,672360	6,701566	8,156161	8,202687
285	25918,942	6,672360	6,701566	8,156161	8,202687
47	25980,687	6,668469	6,697479	8,150760	8,196992
345	25989,891	6,667890	6,696870	8,149956	8,196144
903	26023,083	6,665804	6,694678	8,147061	8,193089
1000	26025,668	6,665642	6,694507	8,146836	8,192852
276	31958,809	6,338402	6,341742	7,694165	7,701324
806	31971,446	6,337788	6,341063	7,693318	7,700378
1001	31971,446	6,337788	6,341063	7,693318	7,700378
44	32041,752	6,334376	6,337289	7,688615	7,695120
737	32098,797	6,331615	6,334234	7,684809	7,690863
471	32104,320	6,331348	6,333938	7,684441	7,690451
28	32106,332	6,331251	6,333831	7,684307	7,690301
860	32131,665	6,330027	6,332476	7,682620	7,688413
692	32131,665	6,330027	6,332476	7,682620	7,688413
570	32227,911	6,325388	6,327338	7,676227	7,681255
211	32228,288	6,325369	6,327318	7,676202	7,681227
1003	32281,501	6,322812	6,324484	7,672677	7,677278
548	32298,460	6,321998	6,323582	7,671555	7,676021
344	32351,155	6,319472	6,320782	7,668075	7,672119
319	32355,154	6,319281	6,320570	7,667811	7,671824
146	32361,159	6,318993	6,320251	7,667415	7,671379
340	32379,098	6,318135	6,319299	7,666232	7,670053
590	32379,810	6,318101	6,319261	7,666185	7,670000
51350000	32382,458	Q90 = 6,182 (Medição Empírica)		Q90 = 7,538 (Medição Empírica)	

Fonte: Elaboração do próprio autor

#### 6.4.2. O OUTORGALS E O DESAFIO DO GERENCIAMENTO DOS RECÚRSOS HÍDRICOS

Os resultados apresentados no item 6.4.1 permitem apoiar os gestores responsáveis pela emissão de outorgas. A sazonalidade é prontamente evidente em uma primeira análise. No entanto, ao integrar essas informações em um sistema de suporte à decisão, exemplificado pelo SSD OutorgaLS, emerge uma nova perspectiva para o gerenciamento. Neste novo horizonte, não apenas é reconhecida a sazonalidade, a disponibilidade hídrica e as demandas preestabelecidas, mas se torna

possível incorporar conceitos de probabilidade de atendimento às demandas e prioridades de uso dos recursos hídricos. Em situações de escassez, por exemplo, o sistema poderia identificar de forma precisa qual outorga deve ser temporariamente suspensa, seguindo as prioridades estabelecidas pela Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH).

Para que o SSD OutorgaLS possa simular eficazmente o atendimento às demandas outorgadas, é essencial incluir, em sua composição de rede de fluxo integrada, a definição de reservatórios, pontos de outorga e nós de ligação. No contexto específico, o termo "reservatório" é empregado no próprio SSD OutorgaLS para denotar as fontes de abastecimento de água para o sistema, ou seja, a disponibilidade hídrica. Dessa forma, mesmo que não se refira a reservatórios físicos de acumulação, os dados de vazão registrados pelas estações fluviométricas são tratados como tais, uma vez que representam a disponibilidade hídrica em segmentos específicos do rio Paraguaçu.

Assim, foram estabelecidos um total de três “reservatórios fictícios” (estações fluviométricas 51240000, 51280000 e 51350000), cento e quarenta e quatro pontos de demanda (vazões outorgadas) e cento e quarenta e oito ligações para compor o modelo de simulação.

Quanto à definição das prioridades para a realização da simulação, o SSD oferece ao usuário recursos para definir o atendimento das demandas. Segundo os fundamentos da Lei N° 9.433/97 (Lei das Águas do Brasil), em situação de escassez hídrica, o abastecimento humano e a dessedentação de animais são consideradas demandas prioritárias e as outras demandas recebem prioridades decrescentes. Neste estudo, os propósitos de utilização na bacia abrangem o abastecimento público, o uso animal, as atividades industriais e a irrigação, aos quais foram associadas prioridades numericamente graduadas. É essencial destacar que no modelo de rede de fluxo OutorgaLS, a prioridade de atendimento aumenta conforme o valor atribuído diminui e melhor se adequa se os valores de prioridades forem potenciais entre si ou múltiplos.



Desta forma, o abastecimento público e a dessedentação animal receberam a importância mais alta, traduzida pelo valor numérico 15. Já as destinações para atividades industriais e para a irrigação foram graduadas com o valor 60, refletindo uma menor prioridade para esses usos em relação aos anteriores.

Tabela 8 – Graduação numérica utilizada para determinação da prioridade de uso dos recursos hídricos

<b>Demandas de Atendimento</b>	<b>Graduação Numérica das Prioridades</b>
Abastecimento público	15
Dessedentação animal	15
Atividades industriais	60
Irrigação	60

Fonte: Elaboração do próprio autor

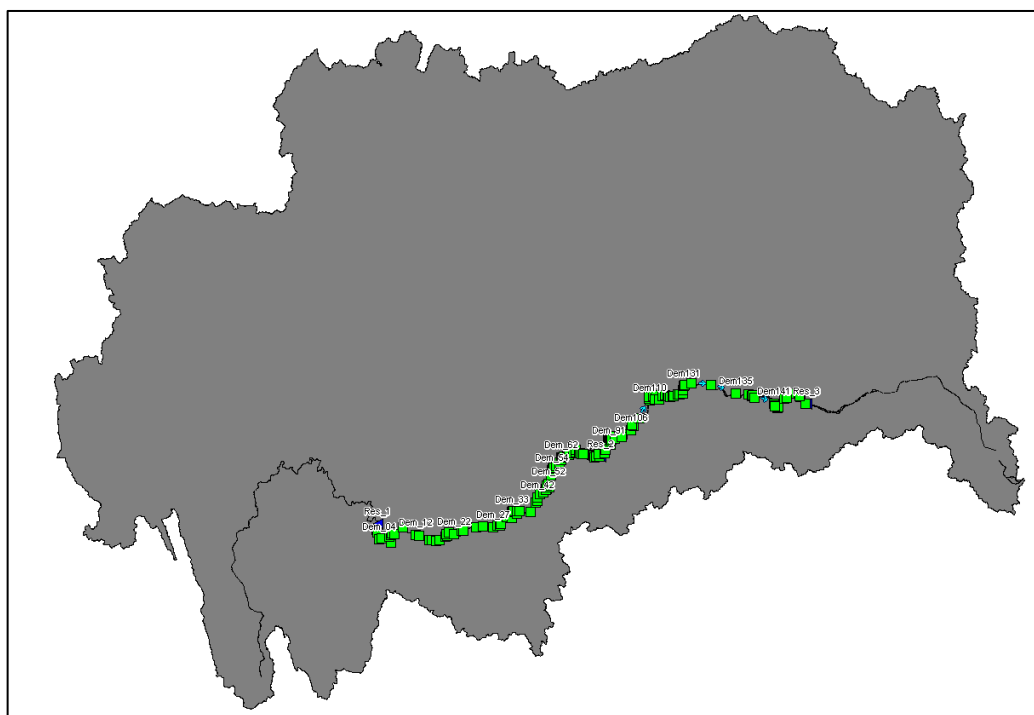
Algumas observações são oportunas. Consta no manual de utilização do OutorgaLS a observância da necessidade de inclusão de uma demanda ao final da rede com graduação numérica de ordem de grandeza bem acima das demais, com prioridade 99 (pior). Esta manobra é norteada pela tentativa de evitar que as demandas anteriores recebam mais do que precisam. No entanto, conforme é possível identificar na Tabela 8, esta ordem de grandeza não foi aplicada. As orientações do manual são atribuídas considerando a determinação de uma topologia cuja a configuração seja uma sequência definida por reservatório e suas demandas à jusante. No caso específico da rede construída para este trabalho, a configuração destoa pois a última demanda não configura o final da rede sendo esta representada pelo reservatório número 3. Conforme já comentado no segundo parágrafo deste capítulo, o reservatório mencionado é a estação ARGOIM (51350000) e portanto, o final da rede de simulação. Desta forma, não convém a inserção de uma demanda após cuja prioridade seja 99.

Segundo o mesmo manual, a vazão de restrição (vazão mínima) não entra no cálculo. No resultado do modelo é exibido se ela foi ou não atendida. Isso acontece porque o algoritmo utilizado (Out-Of-Kilter) não roda se a vazão de restrição for definida como obrigatória e a vazão de referência for menor que a vazão de restrição. No entanto a vazão ecológica não deve ser ignorada. Para contornar esta situação,

os valores de 20% da vazão de referência (Q90) foram previamente calculados e subtraídos. Desta forma, os valores processados pelo SSD OutorgaLS já consideram em toda sua configuração a garantia da vazão de restrição mesmo que não seja possível sua inserção no cálculo, ao considerar 80% da vazão de referência.

A Figura 26 apresenta o resultado da simulação e de atendimento às demandas no período chuvoso, com base no modelo elaborado. Neste contexto, os elementos quadriláteros ali ilustrados devem ser compreendidos como representações das demandas, sendo que a coloração esverdeada indica o atendimento satisfatório à demanda. Por outro lado, se apresentarem uma tonalidade avermelhada, a interpretação é que a disponibilidade hídrica foi insuficiente para atender aquela demanda específica. Já pela Figura 27, são apresentadas as estatísticas dos resultados obtidos pelo modelo OutorgaLS durante o cenário chuvoso.

Figura 26 – Resultado gerado pela simulação do OUTORGALS para a rede modelada no período chuvoso



Fonte: Elaboração do próprio autor



Figura 27 – Estatísticas da simulação em período chuvoso.

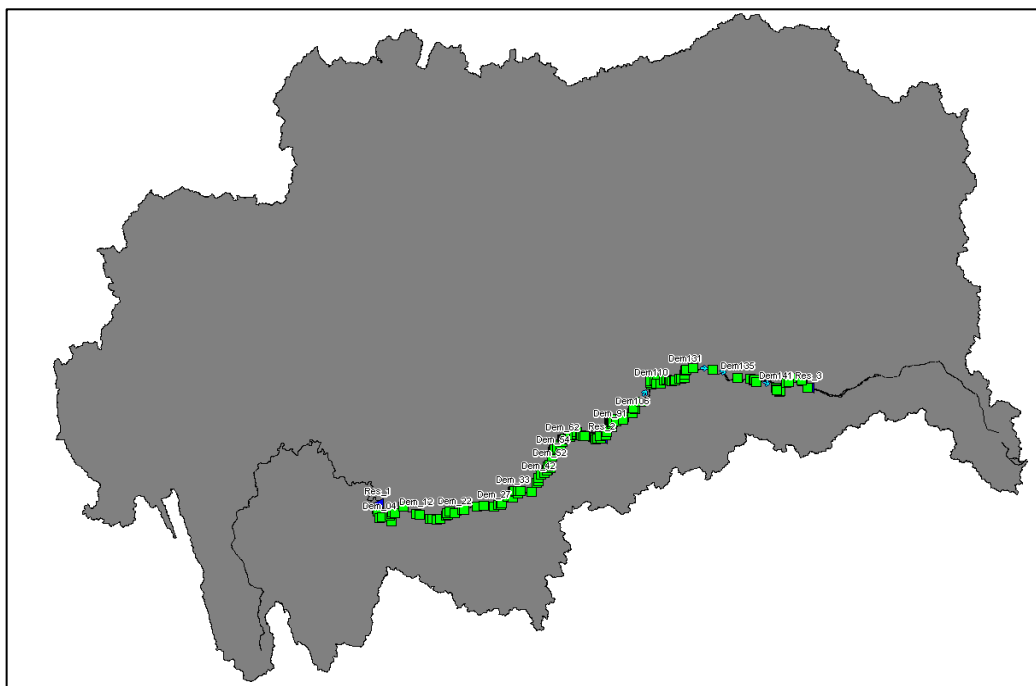
Resultados		
Outorga		
Qualidade		
Demandas		
Links		
Reservatórios		
Nós de passagem		
Resumo		
Nome	Valor	
Número total de demandas:	144	
Número de demandas não atendidas:	0	
Número de demandas com 50% ou mais de déficit:	0	
Número de demandas com 20% ou mais de déficit:	0	
Vazão total solicitada (m³/s):	7,840	
Vazão total outorgada (m³/s):	7,840	
Número total de trechos:	148	

Fonte: Elaboração do próprio autor

Em resumo, no cenário chuvoso, ao considerar os dados de vazão disponível para o período, a simulação sugere que todas as demandas foram atendidas de forma suficiente. A representação visual fornece uma visão do cenário, facilitando a identificação das áreas em que a disponibilidade hídrica não foi adequadamente suprida.

Persiste a necessidade de avaliar se esse padrão se manterá durante o período de estiagem. A Figura 28 apresenta o resultado para o período seco. Já pela Figura 29, são apresentadas as estatísticas dos resultados obtidos pelo modelo OutorgaLS durante o cenário seco.

Figura 28 – Resultado gerado pela simulação do OUTORGALS para a rede modelada no período seco



Fonte: Elaboração do próprio autor

Figura 29 – Estatísticas da simulação em período seco

Resultados		
Outorga		
Qualidade		
Demandas Links Reservatórios Nós de passagem Resumo		
Nome	Valor	
Número total de demandas:	144	
Número de demandas não atendidas:	0	
Número de demandas com 50% ou mais de déficit:	0	
Número de demandas com 20% ou mais de déficit:	0	
Vazão total solicitada (m³/s):	7,840	
Vazão total outorgada (m³/s):	7,840	
Número total de trechos:	148	

Fonte: Elaboração do próprio autor

Conforme se observa, tanto durante o período de estiagem quanto nas épocas chuvosas, a região submetida à análise não apresenta sinais de escassez hídrica capaz de comprometer o atendimento das demandas até então outorgadas.

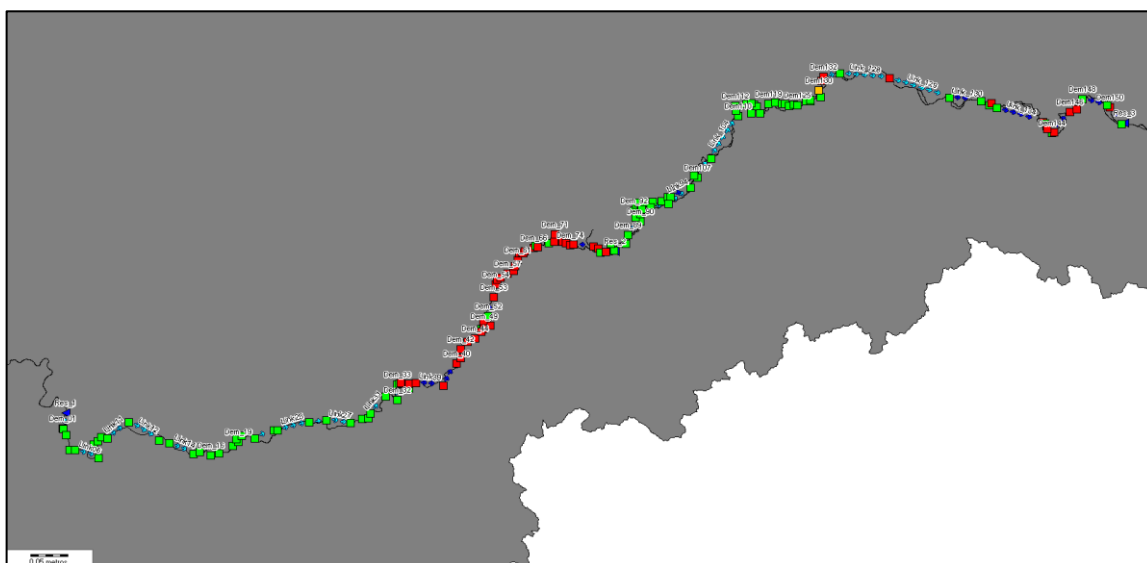
Não obstante, é fundamental ressaltar que o Sistema de Suporte à Decisão não se limita apenas à análise do status atual da região, mas também oferece a capacidade de simular uma variedade de situações hipotéticas.

Com efeito, essa conveniência conferida pela simulação em diferentes cenários proporciona ao gestor de recursos hídricos a valiosa oportunidade de antecipar-se a potenciais desafios, seja para lidar com uma possível situação crítica no futuro ou para enfrentar condições atípicas que possam surgir.

Dessa forma, essa ferramenta se torna um instrumento estratégico no arsenal do gestor, permitindo-lhe conduzir análises prospectivas e desenvolver planos preventivos de forma mais robusta. Em cenários de escassez hídrica, o gestor pode facilmente identificar quais as outorgas, diante das circunstâncias específicas, devem ser temporariamente suspensas, visando garantir o atendimento das demandas prioritárias, conforme determina a legislação.

Nesse contexto, um novo cenário de simulação foi idealizado e testado, considerando uma situação atípica de escassez hídrica, para propositalmente evidenciar quais outorgas devem ser suspensas. Para este cenário de simulação, foi atribuído o valor de 3 m<sup>3</sup>/s de disponibilidade hídrica para todo o conjunto integrado. Esta simulação foi conduzida seguindo a todos os preceitos estabelecidos nas simulações anteriores, incluindo a classificação relativa às prioridades de uso da água. A Figura 30, a seguir, apresenta o resultado obtido.

Figura 30 – Resultado obtido para o trecho simulando um cenário de escassez hídrica atípica



Fonte: Elaboração do próprio autor

A Figura 31 apresenta as estatísticas dos resultados obtidos pelo OutorgaLS para um cenário atípico, onde a disponibilidade hídrica é de 3 m³/s.

Figura 31 – Estatísticas da simulação em cenário de escassez atípica

Resultados

Outorga		Qualidade
Demandas		Links
Reservatórios		Nós de passagem
Resumo		
Nome	Valor	
Número total de demandas:	144	
Número de demandas não atendidas:	50	
Número de demandas com 50% ou mais de déficit:	49	
Número de demandas com 20% ou mais de déficit:	49	
Vazão total solicitada (m³/s):	7,840	
Vazão total outorgada (m³/s):	5,990	
Número total de trechos:	148	
Número de trechos que não atendem a vazão de restrição:	74	

Fonte: Elaboração do próprio autor

Na tabela 9 estão listadas as cinquenta demandas não atendidas ou parcialmente não atendidas.

Tabela 9 — Demandas não atendidas ou parcialmente não atendidas

<b>Nome</b>	<b>Identificação Inema</b>	<b>Demanda (m³/s)</b>	<b>Prioridade</b>	<b>Déficit (m³/s)</b>	<b>Finalidade</b>
<b>Dem_35</b>	<b>137</b>	0,22	60	0,1600	Irrigação
<b>Dem_37</b>	<b>588</b>	0,04	60	0,0400	Irrigação
<b>Dem_38</b>	<b>339</b>	0,01	60	0,0100	Irrigação
<b>Dem_39</b>	<b>334</b>	0,02	60	0,0200	Irrigação
<b>Dem_40</b>	<b>396</b>	0,04	60	0,0400	Irrigação
<b>Dem_41</b>	<b>660</b>	0,13	60	0,1300	Irrigação
<b>Dem_42</b>	<b>262</b>	0,03	60	0,0300	Irrigação
<b>Dem_43</b>	<b>481</b>	0,04	60	0,0400	Irrigação
<b>Dem_44</b>	<b>696</b>	0,1	60	0,1000	Irrigação
<b>Dem_45</b>	<b>847</b>	0,1	60	0,1000	Irrigação
<b>Dem_47</b>	<b>261</b>	0,01	60	0,0100	Irrigação
<b>Dem_48</b>	<b>828</b>	0,01	60	0,0100	Irrigação
<b>Dem_49</b>	<b>544</b>	0,03	60	0,0300	Irrigação
<b>Dem_50</b>	<b>374</b>	0,01	60	0,0100	Irrigação
<b>Dem_51</b>	<b>245</b>	0,01	60	0,0100	Irrigação
<b>Dem_53</b>	<b>64</b>	0,01	60	0,0100	Irrigação
<b>Dem_54</b>	<b>709</b>	0,02	60	0,0200	Irrigação
<b>Dem_55</b>	<b>215</b>	0,01	60	0,0100	Irrigação
<b>Dem_56</b>	<b>452</b>	0,01	60	0,0100	Irrigação
<b>Dem_57</b>	<b>427</b>	0,01	60	0,0100	Irrigação
<b>Dem_59</b>	<b>934</b>	0,03	60	0,0300	Irrigação
<b>Dem_60</b>	<b>867</b>	0,06	60	0,0600	Irrigação
<b>Dem_61</b>	<b>516</b>	0,01	60	0,0100	Irrigação
<b>Dem_62</b>	<b>965</b>	0,01	60	0,0100	Irrigação
<b>Dem_63</b>	<b>740</b>	0,03	60	0,0300	Irrigação
<b>Dem_64</b>	<b>332</b>	0,01	60	0,0100	Irrigação
<b>Dem_65</b>	<b>510</b>	0,01	60	0,0100	Irrigação
<b>Dem_66</b>	<b>586</b>	0,01	60	0,0100	Irrigação
<b>Dem_68</b>	<b>220</b>	0,1	60	0,1000	Irrigação

<b>Nome</b>	<b>Identificação Inema</b>	<b>Demanda (m³/s)</b>	<b>Prioridade</b>	<b>Déficit (m³/s)</b>	<b>Finalidade</b>
<b>Dem_70</b>	<b>208</b>	0,01	60	0,0100	Irrigação
<b>Dem_71</b>	<b>393</b>	0,02	60	0,0200	Irrigação
<b>Dem_72</b>	<b>583</b>	0,1	60	0,1000	Irrigação
<b>Dem_73</b>	<b>60</b>	0,02	60	0,0200	Irrigação
<b>Dem_74</b>	<b>358</b>	0,02	60	0,0200	Irrigação
<b>Dem_75</b>	<b>464</b>	0,01	60	0,0100	Irrigação
<b>Dem_80</b>	<b>473</b>	0,04	60	0,0400	Irrigação
<b>Dem_81</b>	<b>625</b>	0,12	60	0,1200	Irrigação
<b>Dem_83</b>	<b>916</b>	0,01	60	0,0100	Irrigação
<b>Dem130</b>	<b>47</b>	0,05	60	0,0100	Irrigação
<b>Dem131</b>	<b>345</b>	0,04	60	0,0400	Irrigação
<b>Dem132</b>	<b>903</b>	0,04	60	0,0400	Irrigação
<b>Dem134</b>	<b>276</b>	0,03	60	0,0300	Irrigação
<b>Dem138</b>	<b>737</b>	0,02	60	0,0200	Irrigação
<b>Dem140</b>	<b>28</b>	0,06	60	0,0600	Irrigação
<b>Dem142</b>	<b>692</b>	0,15	60	0,1500	Irrigação
<b>Dem143</b>	<b>570</b>	0,01	60	0,0100	Irrigação
<b>Dem145</b>	<b>1003</b>	0,03	60	0,0300	Irrigação
<b>Dem146</b>	<b>548</b>	0,02	60	0,0200	Irrigação
<b>Dem147</b>	<b>344</b>	0,01	60	0,0100	Irrigação
<b>Dem150</b>	<b>340</b>	0,01	60	0,0100	Indústria

Fonte: Elaboração do próprio autor

É de suma importância destacar que as identificações das demandas no OUTORGALS seguem uma sequência específica, sendo que a demanda referente à "Dem35" representa a trigésima quinta outorga inserida, não necessariamente correspondendo à outorga de número 35 atribuída pelo INEMA. Esse sistema sequencial visa simplificar o gerenciamento e a análise, facilitando a identificação das demandas no contexto do modelo.

É relevante observar que, apesar da sequencialidade numérica, ao clicar na demanda específica, como por exemplo "Dem35", é possível acessar informações detalhadas e identificar prontamente a correspondência com a outorga designada pelo INEMA, conforme indicado na Tabela 9.

Em síntese, em uma situação em que a vazão de disponibilidade é igual a 3 m<sup>3</sup>/s, as outorgas mencionadas na Tabela 9 deverão ser temporariamente suspensas para assegurar a oferta às demandas prioritárias. É notável que tal medida resultará em impactos significativos na irrigação nas áreas próximas à jusante da estação laçu (51280000). No entanto, é importante ressaltar que nenhuma outorga destinada ao abastecimento público ou à dessedentação animal será prejudicada, destacando a priorização desses setores críticos no contexto da gestão dos recursos hídricos.

Em situações em que novas outorgas venham a ser concedidas pelo INEMA, ocorrerá uma redistribuição da disponibilidade hídrica, resultando na geração de novos resultados. Isso se deve ao fato de que as novas demandas, dependendo de suas prioridades, terão um impacto direto no modelo. Dado que o modelo é integrado, a simulação levará em consideração o conjunto como um todo, em vez de avaliar isoladamente os impactos de disponibilidade nas proximidades.

É fundamental compreender que qualquer acréscimo de novas outorgas impulsionará o sistema de suporte à decisão a adotar uma abordagem macro do modelo. Isso significa que a simulação será projetada para considerar o panorama geral, contribuindo para a análise abrangente do balanço hídrico da região em análise. Essa abordagem integrada permite ao sistema adaptar-se continuamente, garantindo que o modelo esteja sempre atualizado e represente com precisão as condições atuais da região hidrologicamente homogênea em questão.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Inventários reduzidos e dados escassos se provaram fatores extremamente limitantes para o desenvolvimento dos estudos de regionalização propostos neste trabalho. Apesar da dedicação e consequente capacitação obtidas ao longo do desenvolvimento desta pesquisa, fica evidente que esforços devem ser destinados para contornar esta deficiência.

Em adição, sobre considerar a sazonalidade nas análises de regionalização e como desdobramento dessas análises minuciosas, os resultados obtidos fornecem *insights* valiosos sobre as variações das vazões ao longo de diferentes períodos climáticos. Essa compreensão mais aprofundada da influência da sazonalidade na disponibilidade hídrica, a qual nunca é fixa, contribui significativamente para fundamentar conclusões mais robustas e informadas sobre a gestão dos recursos hídricos na região em estudo.

Ao relacionar os conflitos pela água com os instrumentos de gestão da Política Nacional de Recursos Hídricos, o Plano de Ações Estratégicas para o Gerenciamento dos Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraguaçu destaca a ineficácia da outorga como um instrumento isolado para lidar com os conflitos relacionados à gestão dos recursos hídricos. Além da ameaça de suspensão das outorgas, o plano ressalta a ausência de critérios claros para alocação ou revisão dos valores outorgados em situações em que não há disponibilidade para captação de todo o volume outorgado.

A condição irregular de muitos, ou mesmo da grande maioria dos irrigantes em determinadas localidades, torna os instrumentos de gestão de recursos hídricos inadequados e insuficientes para prevenir ou regular os conflitos. Em outras palavras, os mecanismos existentes se mostram limitados para lidar eficazmente com as demandas da gestão hídrica, especialmente em períodos de escassez, nos quais a procura por intervenção, fiscalização e controle por parte do órgão gestor aumenta.



Ou seja, em períodos de escassez, quando cresce a demanda por intervenção, fiscalização e controle do órgão gestor, é também quando os instrumentos, no formato em que estão, se apresentam limitados ou insuficientes para atender de forma adequada estas demandas. Isso destaca a necessidade de revisão e aprimoramento dos instrumentos de gestão de recursos hídricos, considerando a dinâmica complexa e desafiadora da região em questão.

Estas constatações são também fundamentadas pela abordagem proposta pela ANA através do PARECER TÉCNICO Nº 3/2022/SER - Documento nº 02500.047031/2022-32, que reflete uma preocupação crescente com a eficiência e a adaptabilidade dos procedimentos de outorga, especialmente diante das crescentes pressões sobre os recursos hídricos. Ao reconhecer as limitações dos métodos convencionais de análise de disponibilidade hídrica, a ANA busca promover uma gestão mais dinâmica e proativa, capaz de lidar com a variabilidade natural e as demandas em constante evolução.

Nesse contexto, o presente projeto de pesquisa surge como uma resposta direta a esses desafios, ao propor a aplicação de um sistema de suporte à decisão para outorga que integra os princípios e as recomendações da ANA. A outorga de direito de uso dos recursos hídricos, quando associada a um Sistema de Suporte à Decisão, pode facilitar a introdução de conceitos importantes como a probabilidade de atendimento e a alocação de água.

A probabilidade de atendimento refere-se à avaliação da probabilidade de que uma determinada demanda por água seja atendida em condições específicas. Isso é crucial para o planejamento e tomada de decisões, especialmente em contextos em que a disponibilidade hídrica pode variar.

A alocação de água diz respeito à distribuição eficiente dos recursos hídricos entre diferentes usuários e setores, garantindo uma utilização equitativa e sustentável. A integração desses conceitos em um Sistema de Suporte à Decisão, como o OutorgaLS, permite uma abordagem mais sofisticada e adaptativa na gestão dos recursos hídricos, contribuindo para a otimização do uso da água e a prevenção de conflitos.

A utilização do SSD OutorgaLS possibilitou visualizações imediatas da situação de cada segmento de trecho do Rio Paraguaçu na área estudada, considerando cada sub-bacia previamente definida. Essa ferramenta pode contribuir para antecipar decisões no contexto da outorga. Ao gerar cenários simulados de escassez hídrica e oferecer ferramentas interativas para identificar e priorizar usos em conformidade com a política nacional de recursos hídricos, o projeto demonstra um compromisso em promover uma gestão mais eficiente e transparente, alinhada às diretrizes estabelecidas pela ANA.

Dessa forma, o presente estudo não apenas contribui para a validação e aperfeiçoamento das práticas de outorga, mas também sinaliza um avanço significativo na direção de uma gestão mais sustentável e resiliente dos recursos hídricos na bacia do Rio Paraguaçu, em consonância com as tendências e preocupações expressas pela ANA.

Acima de tudo, esta proposta de sofisticação e aprimoramento não deve ser percebida apenas como um refinamento técnico, mas sim como uma medida que visa assegurar o direito à dignidade, conforme garantido pela Constituição Brasileira, tanto para a presente geração quanto para as futuras.

Ao buscar aprimorar os processos de gestão e regulamentação dos recursos hídricos, não somente incorporam-se melhorias técnicas, mas também há o fortalecimento dos alicerces fundamentais para o bem-estar e qualidade de vida, alinhados aos princípios constitucionais que afirmam o direito de todos ao acesso à água e à preservação do meio ambiente para as presentes e futuras gerações. Essa perspectiva ampliada destaca a importância de considerar não apenas aspectos técnicos, mas também o impacto social e ambiental de nossas decisões na busca por uma gestão sustentável dos recursos hídricos.

## 8. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas de Irrigação. Uso da Água na Agricultura Irrigada**. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos, Brasília, Brasil, 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Caderno de Recursos Hídricos**. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos, Brasília, Brasil, 2005.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, **Formulário de Autoavaliação. Avaliação das Metas de Gestão de Água no Âmbito do Sistema Estadual**. Programa de Consolidação do Pacto Nacional pela Gestão das Águas - PROGESTÃO. 2º Ciclo. Brasília, Brasil, 2019. Disponível em: <[https://progestao.ana.gov.br/portal/progestao/progestao-1/certificacao/certificacoes-2013-a-2018/certificacao-2019/certificacao-das-metas-estaduais-2019/formularios-de-autoavaliacao-2019/formulario-de-autoavaliacao-2019\\_ba.pdf](https://progestao.ana.gov.br/portal/progestao/progestao-1/certificacao/certificacoes-2013-a-2018/certificacao-2019/certificacao-das-metas-estaduais-2019/formularios-de-autoavaliacao-2019/formulario-de-autoavaliacao-2019_ba.pdf)>, acesso em fevereiro de 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **PARECER TÉCNICO Nº 3/2022/SER - Documento nº 02500.047031/2022-32. Outorga com Gestão de Garantia e Prioridade (OGP) – uma proposta para maximização do uso da água**. 2022. Disponível em [https://participacao-social.ana.gov.br/api/files/Parecer\\_Tecnico\\_3\\_2022\\_SRE-1675339471836.pdf](https://participacao-social.ana.gov.br/api/files/Parecer_Tecnico_3_2022_SRE-1675339471836.pdf), acesso em março 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **MANUAL DE USOS CONSUNTIVOS DA ÁGUA NO BRASIL**. Ministério do Desenvolvimento Regional, Superintendência de Planejamento De Recursos Hídricos. Brasília - DF, 2019.

ALBUQUERQUE, Y. T.; ALMEIDA, A. Q.; ARCIERI, M. S.; M. L. A. **Definição de regiões hidrologicamente homogêneas a partir de técnicas de estatística multivariada na bacia hidrográfica do rio Itapicuru - BA com base em dados físico-climáticos e de sensoriamento remoto.** Caminhos de Geografia Uberlândia-MG v. 21, n. 78 Dez/2020 p. 290–302.

AMORIM, E. L. C.; NETTO, A. P. O.; MEDIONDO, E. M. **Estudo de métodos para regionalização de vazão.** In Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos 2005.

ANDRADE, M.M. **Introdução à metodologia do trabalho científico.** 5 ed. São Paulo: Atlas, 2001.

BAHIA. Lei Nº 6.855 de 12 de maio de 1995. **Dispõe sobre a Política, o Gerenciamento e o Plano Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências.** Disponível em: <<http://www.seia.ba.gov.br/sites/default/files/legislation/LEI6855.pdf>>, acesso em dezembro de 2022.

BAHIA. Decreto Nº 6.296 de 21 de março de 1997. **Dispõe sobre a outorga de direito de uso de recursos hídricos, infração e penalidades e dá outras providências.** Disponível em: <<http://www.seia.ba.gov.br/sites/default/files/legislation/Dec6296.pdf>>, acesso em dezembro de 2022.

BAHIA. Lei Nº 12.212 DE 04 DE MAIO DE 2011. **Art.106. Das Competências do INEMA.** Salvador, BA. Disponível em: <<http://www.seia.ba.gov.br/sites/default/files/legislation/LEI%20Nº%2012.212%20DE%2004%20DE%20MAIO%20DE%202011.pdf>>, acesso em dezembro de 2022.

BAHIA. Instituto de Gestão das Águas e Clima. **Instrução Normativa nº 01, de 27 de fevereiro de 2007**. Dispõe sobre a concessão de outorga de direito de uso dos recursos hídricos de domínio do Estado da Bahia, assim como a sua renovação, ampliação, alteração, transferência, revisão, suspensão e extinção. Salvador: INGÁ, 2007.

BRASIL. Conselho Nacional de Recurso Hídricos. **Resolução CNRH No.16, de 08 de maio de 2001**. Regulamenta a Lei Federal No. 9433, de 08/01/1997, no que diz respeito à outorga de direito de uso dos recursos hídricos. Disponível em <[https://www.gov.br/mdr/ CNRH](https://www.gov.br/mdr/CNRH)>, acesso em: jun.2022.

BRASIL. **Constituição (1988). Título VIII, Capítulo VI - Do Meio Ambiente, Art.225**. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico,1988. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm)>. Acesso fevereiro de 2021.

BRASIL, **Lei Federal Nº 9.433, 08.01.97. Política Nacional de Recursos Hídricos**, 2a edição, Ministério do Meio Ambiente, Secretaria Nacional de Recursos Hídricos, Brasília, D. F., 1999

CALEGARIO, A. T. **Identificação de regiões hidrologicamente homogêneas e comportamento das vazões mínima e média regionalizadas**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa / Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. Viçosa, MG, 2014. [<https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/8210/1/texto%20completo.pdf>]

CARDOSO SILVA, L. M.; MONTEIRO, R. A. **Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos: uma das possíveis abordagens**. In: MACHADO, C. J. S. (Org.). Gestão de Águas Doces. Rio de Janeiro: Interciência, 2004. . cap. 5, p. 135-178.

CAROLO, F. **Outorga de direito de uso de recursos hídricos: instrumento para o desenvolvimento sustentável? Estudo das bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí.** Dissertação de mestrado. Brasília: Universidade de Brasília, 2007, p. 54.

CHAVES, H. M. L., ROSA, J. W. C., VADAS, R. G., OLIVEIRA, R. V. T. **Regionalização de Vazões Mínimas em Bacias Através de Interpolação em Sistemas de Informações Geográfica.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.7, n. 3, 2002. p. 43-51.

COMPANHIA DE ENGENHARIA HÍDRICA E SANEAMENTO DA BAHIA – CERB. **Barragens - construção, operação e manutenção.** Disponível em: <<http://www.cerb.ba.gov.br/atividades/barragens-construção-operação-e-manutenção>>, acesso em 21 de março de 2024.

CRUZ, J. C.; TUCCI, C. E. M. **Estimativa da disponibilidade hídrica através da curva de permanência.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v.13, n.1, p. 111-124, 2008.

DORATIOTO, G. A. **Integração de um Modelo Matemático de Quantidade de Água em Rede de Fluxo (Acquanet) com um Modelo Matemático de Qualidade de Água em Represas (CE-QUAL-R1).** 2004. Dissertação de Mestrado – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

DINIZ, R. B. N.; SOARES, V. G.; CABRAL, L. A. **Identificação de áreas hidrologicamente homogêneas no Estado da Paraíba utilizando algoritmos de clusterização e índices de validação.** In.: Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009.

DINPASHOH, Y.; FAKHERI-FARD, A.; MOGHADDAM, M.; JAHANBAKHSH, S.; MIRNIA, M. **Selection of variables for the purpose of regionalization of Iran's precipitation climate using multivariate methods**. Journal of Hydrology, v.297, p.109-123, 2004. Disponível em: <<https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.elsevier-72c7fa73-fc00-3f80-8410-2c5bdda44414>>.

ELETROBRÁS - Centrais Elétricas Brasileiras S.A. **Metodologia para regionalização de vazões**. Rio de Janeiro, 1985. 2 v.

ELETROBRÁS. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. **Manual de minicentrals hidrelétricas**. Rio de Janeiro, 1985a.

FILL, H. H. Informações hidrológicas. In: **Modelos para gerenciamento de recursos hídricos**. São Paulo: Nobel/ABRH, 1987. (Coleção ABRH de Recursos hídricos).

FLAVIO HADLER TROGER, ANDRE RAYMUNDO PANTETUCCI, C. E. M. **Regionalização de vazões**. Porto Alegre: UFRGS. 2002. 256p.

GONÇALVES, M. J. de S. **Avaliação quantitativa das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Paraguaçu no Estado da Bahia** – Brasil. 2014. 168 f. Tese (Doutoramento) - Programa de PósGraduação em Geologia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.

IAHS **Publ. n° 191**. Disponível em: <https://docplayer.net/amp/42924346-Regionalization-in-hydrology-proceedings-of-the-ljubljana-symposium-april-1990-iahs-publ-no-191-1990.html>

IBIAPINA, A. V. et al. Evolução da hidrometria no Brasil. In: FREITAS, M.A.V. (Org). **O estado das águas no Brasil**. Brasília, DF: ANEEL, SIH; MMA, SRH; MME, 1999.

INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS – INEMA. **Plano de Ações Estratégicas para Gerenciamento dos Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas do Rio Paraguaçu e do Recôncavo Norte e Inhambupe.** Bacia Hidrográfica do Rio Paraguaçu. Todos os volumes. Governo do Estado da Bahia. Salvador, Bahia. 2018. Disponível em < <http://www.inema.ba.gov.br/plano-de-acao-paraguacu/>>, acesso em 25 de novembro de 2023

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM. **Comitês e Unidades de Planejamento.** Disponível em: < <http://www.igam.mg.gov.br/component/content/83?task=view>>, acesso em dezembro de 2022.

GRANZIERA, M. L. M. **Direito das águas: disciplina jurídica das águas doces.** São Paulo: Atlas, 2001, p. 180.

GOMES, E. P.; BLANCO, C. J. C.; PESSOA, F. C. L. **Regionalization of precipitation with determination of homogeneous regions via fuzzy c-means.** Brazilian Journal of Water Resources-RBRH, Porto Alegre, v. 23, e51, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/2318-0331.231820180079>>.

JOLLIFFE, I.T. **Principal component analysis.** 2nd ed. Publicado pela editora Springer, 487p, New York, United States of America, 2002.

LABSID - LABORATÓRIO DE SISTEMAS DE SUPORTE A DECISÕES DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E SANITÁRIA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Manual de Utilização do SSD OutorgaLS - Plataforma Generalizada para Análise de Concessão de Outorga.** 45p. São Paulo –SP. 2012

LOPES, A. V; FREITAS, M. A. S. **A alocação de água como instrumento de gestão de recursos hídricos: experiências brasileiras.** In.: REGA/Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Vol. 4, no. 1 (jan./jun. 2007) – Porto Alegre - ABRH/Brasil, 2007. Pg. 5 -27.



KASSAMBARA. A. **K-Means Clustering in R: Algorithm and Practical Examples**. DATANOVIA, disponível em: <<https://www.datanovia.com/en/lessons/k-means-clustering-in-r-algorith-and-practical-examples/>>, acesso em março de 2023.

KELMAN J. **Outorga e Cobrança de Recursos Hídricos**. Trabalho apresentado no XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Vitória, 1997 (Publicado como capítulo no livro editado por Antonio Carlos de Mendes Thame, A Cobrança pelo uso da água. São Paulo, 2000, p. 93-113).

LANNA, A. E. **Elementos de Hidrologia Estatística**. In: Hidrologia: Ciência e Aplicação. 3ª Ed., Porto alegre, Editora da UFRGS / ABRH, 2004.

LABSID. Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões. **LabSid AcquaNet** (versão antiga). Disponível em: <http://www.labsid.eng.br/software.aspx?id=16>. Acesso em 12 jul. 2021.

KOCH, U, RÊGO, J.C. **Aplicação de Testes Não paramétricos para Verificar a Homogeneidade de Séries Hidrometeorológicas**. In: Revista Brasileira de Engenharia. V.3, n.1. 1984.

MAMUM, A. A.; HASHIM, A.; DAOUD, J. I. **Regionalisation of low flow frequency curves for the Peninsular Malaysia**. Journal of Hydrology 381(1-2): 174-180. 2010.

MENDES, L. A. **Análise dos critérios de outorga de direito de usos consuntivos dos recursos hídricos baseados em vazões mínimas e em vazões de permanência**. São Paulo, 2007.187 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Recursos Hídricos**. Panorama e estado dos recursos hídricos do Brasil, v. 1. Brasília: MMA, 2006.

NAGHETTINI; Mauro, PINTO; É.J.A. **Hidrologia Estatística**. Ministério de Minas e Energia, Secretaria De Geologia, Mineração E Transformação Mineral. Serviço Geológico do Brasil – CPRM. Belo Horizonte – MG, 2007

NETO, J. C. dos S.; GAMA, D. C.; SILVA, L. F. da; JESUS, J. B. de. **Characterization of precipitation and flow in the southwest stretch of the Paraguaçu Hydrographic Basin in Bahia, Brazil**. Research, Society and Development, [S. l.], v. 11, n. 9, p. e32911931659, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i9.31659. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/31659>. Acesso em: 15 mar. 2024.

NOVAES, L. F. **Modelo para a quantificação da disponibilidade hídrica na Bacia Hidrográfica do Rio Paracatu**. Viçosa: UFV. 2005. 104p. Dissertação de Mestrado. Disponível em: <<https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/9726>>. Acesso em 13 fevereiro de 2023

PESSOA, F. C. L. **Desenvolvimento de metodologia para regionalização de curvas de permanência de vazões na Amazônia legal**. Tese de Doutorado/Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, ITEC, Universidade Federal do Pará. 2015. Disponível em: <https://proderna.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/teses/Francisco.pdf>.

PRUSKI, F. F.; NUNES, A. A.; REGO, F. S.; SOUZA, M. F. **Extrapolação de equações de regionalização de vazões mínimas: Alternativas para atenuar os riscos**. Water Resources and Irrigation Management. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, BA. Instituto Nacional do Semiárido, Campina Grande, PB v.1, n.1, p.51-59, Sept-Dec, 2012. Disponível em: <<https://www3.ufrb.edu.br/seer/index.php/wrim/article/view/1587/822>>.

PRUSKI, F. F.; PRUSKI, P. L. **Tecnologia e inovação frente a gestão de recurso hídricos**. In: Medeiros, S. de S.; Gheyi, H. R.; Galvão, C. de O.; Paz, V. P. da S. (ed.), Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas. Campina Grande: INSA, 2011. p.27-58.

RENCHE, A. C. **Methods of multivariate analysis**. 2nd ed. Publicado pela Wiley-Interscience, 708p, New York, United States of America, 2002.

RIGGS, H. C. (1990). **Estimating flow characteristics at ungauged sites**. In: Regionalization in Hydrology (Proceedings of the Ljubljama symposium, April 1990)

SANTOS, P. C. J.; CUNHA, A. C. **Outorga de Recursos Hídricos e Vazão Ambiental no Brasil: Perspectivas Metodológicas Frente ao Desenvolvimento do Setor Hidrelétrico na Amazônia**. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 18 n.3 –Jul/Set 2013,81-95.

SEMAD - Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais / IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas. **Glossário de Termos Relacionados à Gestão de Recursos Hídricos**. Junho/2008. Disponível em: < <http://www.conhecer.org.br/download/GESTAO%20HIDRICA/leitura%20anexa%20.pdf>>.

SILVA, G. O. M.; MEDEIROS, Y. D. P. 1; FONTES, A. S. Atualização do sistema de suporte à decisão para outorga de uso de recursos hídricos do estado da Bahia. In. Rev. Gest. Água Am. Lat., Porto Alegre, 2021. <https://dx.doi.org/10.21168/rega.v18e8>.

SOUZA FILHO, F. A.; GOUVEIA, S. X. (2003). **Sistemas de Suporte às Decisões**. In: Campos, N & Studart, T. Gestão das águas – princípios e práticas. 2. ed. Porto Alegre:

SUDENE. Plano Regional de Desenvolvimento do Nordeste. **Segurança Hídrica e Conservação Ambiental**. Disponível em: < <https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/pr-consolidado-seghidrica-pdf-pdf>>, acesso em dezembro de 2022.

SRH (Bahia) – SUPERINTENDÊNCIA DE RECURSOS HÍDRICOS - **Instrução Normativa Nº 01/2007** - Dispõe sobre a concessão de outorga de direito de uso dos recursos hídricos de domínio do Estado da Bahia, assim como a sua renovação, ampliação, alteração, transferência, revisão, suspensão e extinção, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.seia.ba.gov.br/legislacao-ambiental/instrucoes-normativas/>, acesso em dezembro de 2022.

TROGER, F. H., PANTE, A. R. **Análise de estacionariedade em séries de vazões naturais médias anuais de estações da bacia do rio Tapajós**. In.: Anais do XVIII SBRH - Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Campo Grande/MS, 2009. [<https://eventos.abrhidro.org.br/xviiiisbrh>].

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3ª ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH. 2004. 943 p.

VALENTIM JR. F.; ANDRADE, P. R. G. SERRANO. **Uma análise regional de vazões na bacia do rio Paraguaçu – BA**. In.: Anais do XI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. João Pessoa-PB. 2012. Disponível em: <<https://eventos.abrh.org.br/xisrhn/>>.

VALERIO, E. L. S.; MONTE, B. E. O.; MAMÉDIO, F. M. P.; GOLDENFUM, J. A. **Panorama da seca na bacia do rio Paraguaçu-BA**. XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH. Florianópolis, SC. 2017.

## APÊNDICE 1

### Resultados das Análises de Estacionariedade

**Tabela 10 - Resultados do teste de estacionariedade para a estação ITAETÉ  
(51240000)**

<b>Período</b>	<b>H0 (Média)</b>	<b>s<sup>2</sup> (Série A)</b>	<b>s<sup>2</sup> (Série B)</b>	<b>Xm (Série A)</b>	<b>Xm (Série B)</b>
De 1935 a 1939 com 1940 a 2014	Aceita	5042,52	4996,10	74,02	64,64
De 1935 a 1940 com 1941 a 2014	Aceita	5711,76	4949,63	77,53	64,27
De 1935 a 1941 com 1942 a 2014	Aceita	5473,53	4958,89	75,52	64,25
De 1935 a 1942 com 1943 a 2014	Aceita	5827,50	4916,75	77,47	63,90
De 1935 a 1943 com 1944 a 2014	Aceita	5740,95	4913,63	76,74	63,79
De 1935 a 1944 com 1945 a 2014	Aceita	5432,49	4941,87	74,27	63,93
De 1935 a 1945 com 1946 a 2014	Aceita	5590,15	4911,47	75,21	63,64
De 1935 a 1946 com 1947 a 2014	Aceita	5262,38	4955,16	72,42	63,92
De 1935 a 1947 com 1948 a 2014	Aceita	5653,52	4879,38	74,70	63,38
De 1935 a 1948 com 1949 a 2014	Aceita	5824,25	4833,33	75,78	62,99
De 1935 a 1949 com 1950 a 2014	Aceita	5670,37	4851,51	74,70	63,02
De 1935 a 1950 com 1951 a 2014	Aceita	5460,35	4888,51	73,06	63,23

<b>Período</b>	<b>H0 (Média)</b>	<b>s<sup>2</sup> (Série A)</b>	<b>s<sup>2</sup> (Série B)</b>	<b>Xm (Série A)</b>	<b>Xm (Série B)</b>
<b>De 1935 a 1951 com 1952 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5209,42</b>	<b>4944,05</b>	<b>70,87</b>	<b>63,63</b>
<b>De 1935 a 1952 com 1953 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5047,47</b>	<b>4984,83</b>	<b>69,62</b>	<b>63,87</b>
<b>De 1935 a 1953 com 1954 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>4818,09</b>	<b>5052,60</b>	<b>67,44</b>	<b>64,42</b>
<b>De 1935 a 1954 com 1955 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>4938,18</b>	<b>5017,90</b>	<b>68,32</b>	<b>64,09</b>
<b>De 1935 a 1955 com 1956 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>4867,81</b>	<b>5043,54</b>	<b>67,88</b>	<b>64,17</b>
<b>De 1935 a 1956 com 1957 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>4875,44</b>	<b>5043,81</b>	<b>68,02</b>	<b>64,05</b>
<b>De 1935 a 1957 com 1958 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5285,03</b>	<b>4885,91</b>	<b>70,29</b>	<b>63,09</b>
<b>De 1935 a 1958 com 1959 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5254,40</b>	<b>4891,46</b>	<b>70,17</b>	<b>63,01</b>
<b>De 1935 a 1959 com 1960 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5069,00</b>	<b>4967,14</b>	<b>68,43</b>	<b>63,65</b>
<b>De 1935 a 1960 com 1961 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5471,80</b>	<b>4775,22</b>	<b>70,61</b>	<b>62,53</b>
<b>De 1935 a 1961 com 1962 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5299,70</b>	<b>4847,87</b>	<b>69,11</b>	<b>63,12</b>
<b>De 1935 a 1962 com 1963 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5146,91</b>	<b>4919,90</b>	<b>67,82</b>	<b>63,69</b>
<b>De 1935 a 1963 com 1964 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5013,91</b>	<b>4989,84</b>	<b>66,75</b>	<b>64,21</b>
<b>De 1935 a 1964 com 1965 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5326,13</b>	<b>4804,57</b>	<b>68,54</b>	<b>63,10</b>
<b>De 1935 a 1965 com 1966 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5246,58</b>	<b>4843,42</b>	<b>68,06</b>	<b>63,28</b>

<b>Período</b>	<b>H0 (Média)</b>	<b>s<sup>2</sup> (Série A)</b>	<b>s<sup>2</sup> (Série B)</b>	<b>Xm (Série A)</b>	<b>Xm (Série B)</b>
<b>De 1935 a 1966 com 1967 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5305,77</b>	<b>4795,80</b>	<b>68,58</b>	<b>62,84</b>
<b>De 1935 a 1967 com 1968 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5277,24</b>	<b>4804,56</b>	<b>68,51</b>	<b>62,76</b>
<b>De 1935 a 1968 com 1969 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5392,48</b>	<b>4709,55</b>	<b>69,32</b>	<b>62,04</b>
<b>De 1935 a 1969 com 1970 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5515,83</b>	<b>4598,71</b>	<b>70,16</b>	<b>61,23</b>
<b>De 1935 a 1970 com 1971 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5736,29</b>	<b>4397,94</b>	<b>71,44</b>	<b>59,97</b>
<b>De 1935 a 1971 com 1972 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5627,05</b>	<b>4459,71</b>	<b>70,64</b>	<b>60,39</b>
<b>De 1935 a 1972 com 1973 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5549,83</b>	<b>4500,92</b>	<b>70,15</b>	<b>60,58</b>
<b>De 1935 a 1973 com 1974 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5489,95</b>	<b>4531,59</b>	<b>69,81</b>	<b>60,66</b>
<b>De 1935 a 1974 com 1975 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5630,31</b>	<b>4366,65</b>	<b>70,70</b>	<b>59,54</b>
<b>De 1935 a 1975 com 1976 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5613,53</b>	<b>4351,06</b>	<b>70,70</b>	<b>59,25</b>
<b>De 1935 a 1976 com 1977 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5577,49</b>	<b>4356,88</b>	<b>70,54</b>	<b>59,11</b>
<b>De 1935 a 1977 com 1978 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5583,77</b>	<b>4315,64</b>	<b>70,68</b>	<b>58,63</b>
<b>De 1935 a 1978 com 1979 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>6100,79</b>	<b>3644,22</b>	<b>72,92</b>	<b>55,54</b>
<b>De 1935 a 1979 com 1980 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>6167,51</b>	<b>3485,62</b>	<b>73,42</b>	<b>54,38</b>
<b>De 1935 a 1980 com 1981 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>6277,98</b>	<b>3253,71</b>	<b>74,13</b>	<b>52,83</b>

<b>Período</b>	<b>H0 (Média)</b>	<b>s<sup>2</sup> (Série A)</b>	<b>s<sup>2</sup> (Série B)</b>	<b>Xm (Série A)</b>	<b>Xm (Série B)</b>
<b>De 1935 a 1981 com 1982 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>6317,79</b>	<b>3101,98</b>	<b>74,48</b>	<b>51,67</b>
<b>De 1935 a 1982 com 1983 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>6223,44</b>	<b>3141,29</b>	<b>73,82</b>	<b>51,93</b>
<b>De 1935 a 1983 com 1984 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>6167,32</b>	<b>3128,34</b>	<b>73,52</b>	<b>51,68</b>
<b>De 1935 a 1984 com 1985 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>6089,74</b>	<b>3154,64</b>	<b>73,01</b>	<b>51,79</b>
<b>De 1935 a 1985 com 1986 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>6161,63</b>	<b>2921,43</b>	<b>73,52</b>	<b>50,12</b>
<b>De 1935 a 1986 com 1987 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>6069,32</b>	<b>2975,78</b>	<b>72,82</b>	<b>50,57</b>
<b>De 1935 a 1987 com 1988 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5976,02</b>	<b>3043,41</b>	<b>72,09</b>	<b>51,17</b>
<b>De 1935 a 1988 com 1989 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5913,83</b>	<b>3057,94</b>	<b>71,71</b>	<b>51,15</b>
<b>De 1935 a 1989 com 1990 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5877,65</b>	<b>3020,35</b>	<b>71,55</b>	<b>50,65</b>
<b>De 1935 a 1990 com 1991 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5801,53</b>	<b>3078,16</b>	<b>71,00</b>	<b>51,07</b>
<b>De 1935 a 1991 com 1992 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5748,00</b>	<b>3090,63</b>	<b>70,67</b>	<b>50,98</b>
<b>De 1935 a 1992 com 1993 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5859,13</b>	<b>2662,45</b>	<b>71,36</b>	<b>48,18</b>
<b>De 1935 a 1993 com 1994 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5763,39</b>	<b>2780,26</b>	<b>70,43</b>	<b>49,71</b>
<b>De 1935 a 1994 com 1995 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5698,35</b>	<b>2825,20</b>	<b>69,98</b>	<b>50,02</b>
<b>De 1935 a 1995 com 1996 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5620,72</b>	<b>2924,34</b>	<b>69,35</b>	<b>51,00</b>



<b>Período</b>	<b>H0 (Média)</b>	<b>s<sup>2</sup> (Série A)</b>	<b>s<sup>2</sup> (Série B)</b>	<b>Xm (Série A)</b>	<b>Xm (Série B)</b>
<b>De 1935 a 1996 com 1997 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5538,36</b>	<b>3061,26</b>	<b>68,62</b>	<b>52,57</b>
<b>De 1935 a 1997 com 1998 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5579,62</b>	<b>2746,56</b>	<b>68,96</b>	<b>50,23</b>
<b>De 1935 a 1998 com 1999 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5499,21</b>	<b>2895,43</b>	<b>68,23</b>	<b>52,07</b>
<b>De 1935 a 1999 com 2000 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5468,69</b>	<b>2848,95</b>	<b>68,09</b>	<b>51,53</b>
<b>De 1935 a 2000 com 2001 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5480,33</b>	<b>2589,24</b>	<b>68,26</b>	<b>49,43</b>
<b>De 1935 a 2001 com 2002 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5415,70</b>	<b>2703,80</b>	<b>67,75</b>	<b>50,64</b>
<b>De 1935 a 2002 com 2003 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5388,99</b>	<b>2619,92</b>	<b>67,64</b>	<b>49,77</b>
<b>De 1935 a 2003 com 2004 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5328,76</b>	<b>2752,60</b>	<b>67,17</b>	<b>51,15</b>
<b>De 1935 a 2004 com 2005 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5322,65</b>	<b>2513,22</b>	<b>67,22</b>	<b>49,05</b>
<b>De 1935 a 2005 com 2006 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5304,67</b>	<b>2319,36</b>	<b>67,17</b>	<b>47,22</b>
<b>De 1935 a 2006 com 2007 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5322,61</b>	<b>1710,87</b>	<b>67,36</b>	<b>42,37</b>
<b>De 1935 a 2007 com 2008 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5286,08</b>	<b>1547,25</b>	<b>67,15</b>	<b>40,79</b>
<b>De 1935 a 2008 com 2009 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5235,90</b>	<b>1532,21</b>	<b>66,78</b>	<b>40,89</b>
<b>De 1935 a 2009 com 2010 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5191,85</b>	<b>1421,08</b>	<b>66,48</b>	<b>40,00</b>

Fonte: Elaboração do próprio autor

**Tabela 11 - Resultados do teste de estacionariedade para a estação IAÇU  
(51280000)**

<b>Período</b>	<b>H0 (Média)</b>	<b>s<sup>2</sup> (Série A)</b>	<b>s<sup>2</sup> (Série B)</b>	<b>Xm (Série A)</b>	<b>Xm (Série B)</b>
<b>De 1930 a 1934 com 1935 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>1947,66</b>	<b>5496,64</b>	<b>45,87</b>	<b>67,05</b>
<b>De 1930 a 1935 com 1936 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>2937,59</b>	<b>5478,68</b>	<b>53,31</b>	<b>66,84</b>
<b>De 1930 a 1936 com 1937 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>3766,67</b>	<b>5447,08</b>	<b>59,25</b>	<b>66,56</b>
<b>De 1930 a 1937 com 1938 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>3829,37</b>	<b>5463,42</b>	<b>60,05</b>	<b>66,58</b>
<b>De 1930 a 1938 com 1939 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>3457,50</b>	<b>5524,87</b>	<b>56,20</b>	<b>67,08</b>
<b>De 1930 a 1939 com 1940 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>3181,00</b>	<b>5586,44</b>	<b>53,41</b>	<b>67,56</b>
<b>De 1930 a 1940 com 1941 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>3845,38</b>	<b>5528,38</b>	<b>57,98</b>	<b>67,13</b>
<b>De 1930 a 1941 com 1942 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>3875,41</b>	<b>5547,16</b>	<b>58,59</b>	<b>67,17</b>
<b>De 1930 a 1942 com 1943 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>4295,71</b>	<b>5499,67</b>	<b>61,57</b>	<b>66,78</b>
<b>De 1930 a 1943 com 1944 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>4380,15</b>	<b>5501,19</b>	<b>62,49</b>	<b>66,69</b>
<b>De 1930 a 1944 com 1945 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>4317,86</b>	<b>5530,08</b>	<b>62,25</b>	<b>66,79</b>
<b>De 1930 a 1945 com 1946 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>4528,59</b>	<b>5501,42</b>	<b>63,87</b>	<b>66,51</b>
<b>De 1930 a 1946 com 1947 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>4370,44</b>	<b>5553,71</b>	<b>62,67</b>	<b>66,83</b>
<b>De 1930 a 1947 com 1948 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>4817,24</b>	<b>5456,55</b>	<b>65,42</b>	<b>66,19</b>

<b>Período</b>	<b>H0 (Média)</b>	<b>s<sup>2</sup> (Série A)</b>	<b>s<sup>2</sup> (Série B)</b>	<b>Xm (Série A)</b>	<b>Xm (Série B)</b>
<b>De 1930 a 1948 com 1949 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5021,89</b>	<b>5409,71</b>	<b>66,91</b>	<b>65,79</b>
<b>De 1930 a 1949 com 1950 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>4941,72</b>	<b>5439,57</b>	<b>66,50</b>	<b>65,89</b>
<b>De 1930 a 1950 com 1951 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>4813,56</b>	<b>5488,16</b>	<b>65,61</b>	<b>66,16</b>
<b>De 1930 a 1951 com 1952 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>4649,68</b>	<b>5554,55</b>	<b>64,25</b>	<b>66,63</b>
<b>De 1930 a 1952 com 1953 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>4550,24</b>	<b>5605,25</b>	<b>63,59</b>	<b>66,91</b>
<b>De 1930 a 1953 com 1954 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>4394,70</b>	<b>5682,45</b>	<b>62,18</b>	<b>67,50</b>
<b>De 1930 a 1954 com 1955 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>4571,27</b>	<b>5632,46</b>	<b>63,46</b>	<b>67,07</b>
<b>De 1930 a 1955 com 1956 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>4538,63</b>	<b>5664,82</b>	<b>63,37</b>	<b>67,17</b>
<b>De 1930 a 1956 com 1957 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>4560,91</b>	<b>5674,42</b>	<b>63,69</b>	<b>67,10</b>
<b>De 1930 a 1957 com 1958 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5019,94</b>	<b>5472,98</b>	<b>66,15</b>	<b>65,97</b>
<b>De 1930 a 1958 com 1959 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5009,46</b>	<b>5486,55</b>	<b>66,24</b>	<b>65,92</b>
<b>De 1930 a 1959 com 1960 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>4872,12</b>	<b>5569,15</b>	<b>65,06</b>	<b>66,55</b>
<b>De 1930 a 1960 com 1961 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5277,13</b>	<b>5353,05</b>	<b>67,24</b>	<b>65,34</b>
<b>De 1930 a 1961 com 1962 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5134,25</b>	<b>5439,68</b>	<b>66,01</b>	<b>66,04</b>
<b>De 1930 a 1962 com 1963 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5004,91</b>	<b>5526,83</b>	<b>64,94</b>	<b>66,71</b>

<b>Período</b>	<b>H0 (Média)</b>	<b>s<sup>2</sup> (Série A)</b>	<b>s<sup>2</sup> (Série B)</b>	<b>Xm (Série A)</b>	<b>Xm (Série B)</b>
<b>De 1930 a 1963 com 1964 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>4905,09</b>	<b>5603,15</b>	<b>64,22</b>	<b>67,22</b>
<b>De 1930 a 1964 com 1965 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5484,22</b>	<b>5215,55</b>	<b>66,95</b>	<b>65,39</b>
<b>De 1930 a 1965 com 1966 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5410,81</b>	<b>5263,48</b>	<b>66,58</b>	<b>65,63</b>
<b>De 1930 a 1966 com 1967 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5452,89</b>	<b>5228,11</b>	<b>67,04</b>	<b>65,26</b>
<b>De 1930 a 1967 com 1968 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5429,94</b>	<b>5241,69</b>	<b>67,06</b>	<b>65,20</b>
<b>De 1930 a 1968 com 1969 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5558,74</b>	<b>5128,74</b>	<b>67,97</b>	<b>64,39</b>
<b>De 1930 a 1969 com 1970 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5673,75</b>	<b>5017,02</b>	<b>68,80</b>	<b>63,58</b>
<b>De 1930 a 1970 com 1971 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5858,40</b>	<b>4829,98</b>	<b>69,93</b>	<b>62,40</b>
<b>De 1930 a 1971 com 1972 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5754,07</b>	<b>4907,34</b>	<b>69,20</b>	<b>62,94</b>
<b>De 1930 a 1972 com 1973 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5685,09</b>	<b>4957,35</b>	<b>68,82</b>	<b>63,17</b>
<b>De 1930 a 1973 com 1974 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5629,45</b>	<b>4998,97</b>	<b>68,56</b>	<b>63,31</b>
<b>De 1930 a 1974 com 1975 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5760,64</b>	<b>4834,79</b>	<b>69,42</b>	<b>62,20</b>
<b>De 1930 a 1975 com 1976 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5749,89</b>	<b>4823,17</b>	<b>69,50</b>	<b>61,92</b>
<b>De 1930 a 1976 com 1977 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5705,17</b>	<b>4853,71</b>	<b>69,31</b>	<b>61,95</b>
<b>De 1930 a 1977 com 1978 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5697,35</b>	<b>4840,27</b>	<b>69,39</b>	<b>61,64</b>

<b>Período</b>	<b>H0 (Média)</b>	<b>s<sup>2</sup> (Série A)</b>	<b>s<sup>2</sup> (Série B)</b>	<b>Xm (Série A)</b>	<b>Xm (Série B)</b>
<b>De 1930 a 1978 com 1979 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>6135,99</b>	<b>4214,22</b>	<b>71,35</b>	<b>58,73</b>
<b>De 1930 a 1979 com 1980 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>6176,26</b>	<b>4099,67</b>	<b>71,73</b>	<b>57,81</b>
<b>De 1930 a 1980 com 1981 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>6320,55</b>	<b>3818,11</b>	<b>72,61</b>	<b>56,06</b>
<b>De 1930 a 1981 com 1982 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>6384,28</b>	<b>3638,34</b>	<b>73,10</b>	<b>54,75</b>
<b>De 1930 a 1982 com 1983 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>6292,52</b>	<b>3703,68</b>	<b>72,47</b>	<b>55,22</b>
<b>De 1930 a 1983 com 1984 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>6237,05</b>	<b>3715,39</b>	<b>72,20</b>	<b>55,13</b>
<b>De 1930 a 1984 com 1985 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>6162,63</b>	<b>3767,01</b>	<b>71,73</b>	<b>55,41</b>
<b>De 1930 a 1985 com 1986 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>6232,62</b>	<b>3543,98</b>	<b>72,25</b>	<b>53,82</b>
<b>De 1930 a 1986 com 1987 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>6144,48</b>	<b>3627,21</b>	<b>71,60</b>	<b>54,47</b>
<b>De 1930 a 1987 com 1988 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>6055,87</b>	<b>3724,65</b>	<b>70,92</b>	<b>55,30</b>
<b>De 1930 a 1988 com 1989 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5995,72</b>	<b>3770,94</b>	<b>70,57</b>	<b>55,48</b>
<b>De 1930 a 1989 com 1990 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5983,73</b>	<b>3707,72</b>	<b>70,61</b>	<b>54,77</b>
<b>De 1930 a 1990 com 1991 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5912,76</b>	<b>3793,90</b>	<b>70,13</b>	<b>55,34</b>
<b>De 1930 a 1991 com 1992 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5862,68</b>	<b>3836,44</b>	<b>69,85</b>	<b>55,43</b>
<b>De 1930 a 1992 com 1993 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>6054,46</b>	<b>3173,76</b>	<b>70,88</b>	<b>51,72</b>

<b>Período</b>	<b>H0 (Média)</b>	<b>s<sup>2</sup> (Série A)</b>	<b>s<sup>2</sup> (Série B)</b>	<b>Xm (Série A)</b>	<b>Xm (Série B)</b>
<b>De 1930 a 1993 com 1994 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5962,01</b>	<b>3320,94</b>	<b>69,99</b>	<b>53,55</b>
<b>De 1930 a 1994 com 1995 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5897,06</b>	<b>3400,70</b>	<b>69,56</b>	<b>54,13</b>
<b>De 1930 a 1995 com 1996 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5819,38</b>	<b>3542,55</b>	<b>68,94</b>	<b>55,52</b>
<b>De 1930 a 1996 com 1997 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5738,83</b>	<b>3721,32</b>	<b>68,23</b>	<b>57,47</b>
<b>De 1930 a 1997 com 1998 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5819,49</b>	<b>3257,47</b>	<b>68,79</b>	<b>54,46</b>
<b>De 1930 a 1998 com 1999 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5740,27</b>	<b>3445,79</b>	<b>68,09</b>	<b>56,70</b>
<b>De 1930 a 1999 com 2000 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5709,95</b>	<b>3431,33</b>	<b>67,97</b>	<b>56,44</b>
<b>De 1930 a 2000 com 2001 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5726,96</b>	<b>3164,47</b>	<b>68,19</b>	<b>54,39</b>
<b>De 1930 a 2001 com 2002 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5661,10</b>	<b>3340,58</b>	<b>67,69</b>	<b>56,22</b>
<b>De 1930 a 2002 com 2003 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5652,49</b>	<b>3186,00</b>	<b>67,73</b>	<b>54,88</b>
<b>De 1930 a 2003 com 2004 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5592,91</b>	<b>3374,28</b>	<b>67,30</b>	<b>56,76</b>
<b>De 1930 a 2004 com 2005 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5609,09</b>	<b>2994,78</b>	<b>67,50</b>	<b>53,91</b>
<b>De 1930 a 2005 com 2006 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5594,78</b>	<b>2802,13</b>	<b>67,50</b>	<b>52,23</b>
<b>De 1930 a 2006 com 2007 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5615,98</b>	<b>2172,96</b>	<b>67,73</b>	<b>47,56</b>
<b>De 1930 a 2007 com 2008 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5576,60</b>	<b>2104,50</b>	<b>67,51</b>	<b>47,02</b>

<b>Período</b>	<b>H0 (Média)</b>	<b>s<sup>2</sup> (Série A)</b>	<b>s<sup>2</sup> (Série B)</b>	<b>Xm (Série A)</b>	<b>Xm (Série B)</b>
<b>De 1930 a 2008 com 2009 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5526,40</b>	<b>2193,29</b>	<b>67,17</b>	<b>48,27</b>
<b>De 1930 a 2009 com 2010 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>5482,07</b>	<b>2235,36</b>	<b>66,89</b>	<b>49,09</b>

Fonte: Elaboração do próprio autor

**Tabela 12 - Resultados do teste de estacionariedade para a estação ARGOIM  
(51350000)**

<b>Período</b>	<b>H0 (Média)</b>	<b>s<sup>2</sup> (Série A)</b>	<b>s<sup>2</sup> (Série B)</b>	<b>Xm (Série A)</b>	<b>Xm (Série B)</b>
<b>De 1946 a 1950 com 1951 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>9159,41</b>	<b>8374,14</b>	<b>92,20</b>	<b>78,22</b>
<b>De 1946 a 1951 com 1952 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>7681,34</b>	<b>8480,68</b>	<b>82,17</b>	<b>78,80</b>
<b>De 1946 a 1952 com 1953 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>6906,57</b>	<b>8569,99</b>	<b>77,66</b>	<b>79,19</b>
<b>De 1946 a 1953 com 1954 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>6112,85</b>	<b>8690,31</b>	<b>71,81</b>	<b>79,90</b>
<b>De 1946 a 1954 com 1955 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>6752,18</b>	<b>8647,31</b>	<b>76,08</b>	<b>79,45</b>
<b>De 1946 a 1955 com 1956 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>6566,32</b>	<b>8708,82</b>	<b>75,55</b>	<b>79,60</b>
<b>De 1946 a 1956 com 1957 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>6575,71</b>	<b>8744,76</b>	<b>76,15</b>	<b>79,56</b>
<b>De 1946 a 1957 com 1958 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>8518,14</b>	<b>8401,95</b>	<b>84,43</b>	<b>78,00</b>
<b>De 1946 a 1958 com 1959 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>8280,80</b>	<b>8451,62</b>	<b>83,67</b>	<b>78,05</b>
<b>De 1946 a 1959 com 1960 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>7774,33</b>	<b>8576,71</b>	<b>80,40</b>	<b>78,73</b>
<b>De 1946 a 1960 com 1961 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>9861,22</b>	<b>8040,60</b>	<b>88,39</b>	<b>76,58</b>
<b>De 1946 a 1961 com 1962 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>9262,73</b>	<b>8178,23</b>	<b>84,48</b>	<b>77,49</b>
<b>De 1946 a 1962 com 1963 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>8783,81</b>	<b>8307,21</b>	<b>81,70</b>	<b>78,22</b>
<b>De 1946 a 1963 com 1964 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>8501,10</b>	<b>8393,80</b>	<b>80,61</b>	<b>78,52</b>



<b>Período</b>	<b>H0 (Média)</b>	<b>s<sup>2</sup> (Série A)</b>	<b>s<sup>2</sup> (Série B)</b>	<b>Xm (Série A)</b>	<b>Xm (Série B)</b>
<b>De 1946 a 1964 com 1965 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>11368,1 7</b>	<b>7338,40</b>	<b>89,75</b>	<b>75,12</b>
<b>De 1946 a 1965 com 1966 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>10941,0 9</b>	<b>7423,50</b>	<b>88,03</b>	<b>75,50</b>
<b>De 1946 a 1966 com 1967 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>10894,1 3</b>	<b>7368,64</b>	<b>88,63</b>	<b>74,98</b>
<b>De 1946 a 1967 com 1968 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>10648,4 6</b>	<b>7404,15</b>	<b>88,01</b>	<b>74,96</b>
<b>De 1946 a 1968 com 1969 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>10779,9 9</b>	<b>7267,76</b>	<b>89,30</b>	<b>74,04</b>
<b>De 1946 a 1969 com 1970 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>10946,0 7</b>	<b>7101,12</b>	<b>90,67</b>	<b>72,98</b>
<b>De 1946 a 1970 com 1971 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>11207,1 0</b>	<b>6866,01</b>	<b>92,36</b>	<b>71,62</b>
<b>De 1946 a 1971 com 1972 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>10814,8 3</b>	<b>6996,14</b>	<b>90,16</b>	<b>72,44</b>
<b>De 1946 a 1972 com 1973 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>10517,0 0</b>	<b>7091,87</b>	<b>88,83</b>	<b>72,85</b>
<b>De 1946 a 1973 com 1974 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>10274,6 2</b>	<b>7169,85</b>	<b>87,87</b>	<b>73,10</b>
<b>De 1946 a 1974 com 1975 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>10372,3 8</b>	<b>7020,05</b>	<b>88,81</b>	<b>72,05</b>
<b>De 1946 a 1975 com 1976 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>10239,9 0</b>	<b>7032,94</b>	<b>88,53</b>	<b>71,82</b>
<b>De 1946 a 1976 com 1977 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>10037,8 5</b>	<b>7110,09</b>	<b>87,73</b>	<b>72,01</b>
<b>De 1946 a 1977 com 1978 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>9901,84</b>	<b>7145,88</b>	<b>87,37</b>	<b>71,89</b>
<b>De 1946 a 1978 com 1979 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>10806,1 7</b>	<b>6240,32</b>	<b>90,79</b>	<b>68,32</b>

<b>Período</b>	<b>H0 (Média)</b>	<b>s<sup>2</sup> (Série A)</b>	<b>s<sup>2</sup> (Série B)</b>	<b>Xm (Série A)</b>	<b>Xm (Série B)</b>
<b>De 1946 a 1979 com 1980 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>10759,3 8</b>	<b>6151,44</b>	<b>90,96</b>	<b>67,49</b>
<b>De 1946 a 1980 com 1981 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>11381,9 5</b>	<b>5370,38</b>	<b>93,54</b>	<b>64,13</b>
<b>De 1946 a 1981 com 1982 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>11455,3 2</b>	<b>5102,26</b>	<b>94,24</b>	<b>62,44</b>
<b>De 1946 a 1982 com 1983 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>11185,7 2</b>	<b>5210,41</b>	<b>92,79</b>	<b>63,10</b>
<b>De 1946 a 1983 com 1984 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>11008,1 6</b>	<b>5230,23</b>	<b>92,11</b>	<b>62,94</b>
<b>De 1946 a 1984 com 1985 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>10787,2 1</b>	<b>5320,50</b>	<b>91,03</b>	<b>63,35</b>
<b>De 1946 a 1985 com 1986 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>10866,1 9</b>	<b>5015,26</b>	<b>91,72</b>	<b>61,41</b>
<b>De 1946 a 1986 com 1987 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>10633,1 3</b>	<b>5143,83</b>	<b>90,41</b>	<b>62,23</b>
<b>De 1946 a 1987 com 1988 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>10404,8 3</b>	<b>5292,71</b>	<b>89,07</b>	<b>63,25</b>
<b>De 1946 a 1988 com 1989 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>10235,0 0</b>	<b>5373,54</b>	<b>88,32</b>	<b>63,49</b>
<b>De 1946 a 1989 com 1990 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>10369,7 7</b>	<b>4929,52</b>	<b>89,21</b>	<b>60,86</b>
<b>De 1946 a 1990 com 1991 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>10195,1 5</b>	<b>5027,05</b>	<b>88,36</b>	<b>61,25</b>
<b>De 1946 a 1991 com 1992 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>10038,3 3</b>	<b>5112,91</b>	<b>87,64</b>	<b>61,49</b>
<b>De 1946 a 1992 com 1993 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>10476,6 1</b>	<b>3918,31</b>	<b>89,51</b>	<b>56,14</b>
<b>De 1946 a 1993 com 1994 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>10259,5 1</b>	<b>4100,59</b>	<b>87,96</b>	<b>58,12</b>

<b>Período</b>	<b>H0 (Média)</b>	<b>s<sup>2</sup> (Série A)</b>	<b>s<sup>2</sup> (Série B)</b>	<b>Xm (Série A)</b>	<b>Xm (Série B)</b>
<b>De 1946 a 1994 com 1995 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>10092,5 0</b>	<b>4198,36</b>	<b>87,11</b>	<b>58,69</b>
<b>De 1946 a 1995 com 1996 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>9913,74</b>	<b>4357,51</b>	<b>86,08</b>	<b>59,92</b>
<b>De 1946 a 1996 com 1997 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>9727,55</b>	<b>4578,29</b>	<b>84,85</b>	<b>62,00</b>
<b>De 1946 a 1997 com 1998 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>9844,32</b>	<b>3884,28</b>	<b>85,64</b>	<b>58,05</b>
<b>De 1946 a 1998 com 1999 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>9666,29</b>	<b>4104,12</b>	<b>84,46</b>	<b>60,30</b>
<b>De 1946 a 1999 com 2000 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>9552,74</b>	<b>4136,69</b>	<b>84,01</b>	<b>60,30</b>
<b>De 1946 a 2000 com 2001 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>9512,99</b>	<b>3885,18</b>	<b>84,04</b>	<b>58,31</b>
<b>De 1946 a 2001 com 2002 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>9359,62</b>	<b>4119,13</b>	<b>83,11</b>	<b>60,44</b>
<b>De 1946 a 2002 com 2003 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>9317,35</b>	<b>3857,93</b>	<b>83,12</b>	<b>58,33</b>
<b>De 1946 a 2003 com 2004 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>9180,95</b>	<b>4089,43</b>	<b>82,35</b>	<b>60,24</b>
<b>De 1946 a 2004 com 2005 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>9206,71</b>	<b>3357,70</b>	<b>82,71</b>	<b>55,45</b>
<b>De 1946 a 2005 com 2006 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>9152,00</b>	<b>3030,11</b>	<b>82,62</b>	<b>52,72</b>
<b>De 1946 a 2006 com 2007 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>9150,16</b>	<b>2171,26</b>	<b>82,83</b>	<b>46,66</b>
<b>De 1946 a 2007 com 2008 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>9061,82</b>	<b>1906,24</b>	<b>82,48</b>	<b>44,22</b>
<b>De 1946 a 2008 com 2009 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>8947,00</b>	<b>1898,88</b>	<b>81,86</b>	<b>44,24</b>

<b>Período</b>	<b>H0 (Média)</b>	<b>s<sup>2</sup> (Série A)</b>	<b>s<sup>2</sup> (Série B)</b>	<b>Xm (Série A)</b>	<b>Xm (Série B)</b>
<b>De 1946 a 2009 com 2010 a 2014</b>	<b>Aceita</b>	<b>8850,71</b>	<b>1653,48</b>	<b>81,41</b>	<b>41,89</b>

Fonte: Elaboração do próprio autor

## APÊNDICE 2

### Relação das Outorgas Utilizadas

Quadro 5 – Relação de Outorgas Utilizadas no estudo

<b>Código de Identificação</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Finalidade</b>	<b>Vazão (m³/s)</b>
<b>644</b>	-13,0075	-40,9616667	Criação Animal	0,078718
<b>93</b>	-13,0082778	-40,9614722	Irrigação	0,352621
<b>308</b>	-13,0373611	-40,9522778	Indústria	0,232479
<b>10</b>	-13,03675	-40,9449167	Irrigação	0,315692
<b>984</b>	-13,0288889	-40,92	Irrigação	0,576403
<b>14</b>	-13,0487778	-40,9130556	Irrigação	0,021814
<b>225</b>	-13,0245833	-40,9137222	Irrigação	0,087608
<b>100</b>	-13,0194444	-40,9102778	Irrigação	0,491575
<b>974</b>	-13,0219444	-40,9008333	Irrigação	0,022043
<b>910</b>	-12,9984444	-40,8725	Irrigação	0,017847
<b>531</b>	-13,0427778	-40,7841667	Irrigação	0,048094
<b>571</b>	-13,0402778	-40,7761111	Irrigação	0,013333
<b>533</b>	-13,0447778	-40,7610278	Irrigação	0,000833
<b>514</b>	-13,0416667	-40,75	Abastecimento Público	0,003703
<b>684</b>	-13,0316667	-40,7311111	Irrigação	0,030100
<b>263</b>	-13,0217778	-40,7266667	Irrigação	0,024136
<b>98</b>	-13,0260833	-40,7234167	Irrigação	0,020767
<b>62</b>	-13,0172222	-40,7188889	Irrigação	0,022592
<b>691</b>	-13,0210556	-40,7014167	Abastecimento Público	0,009622
<b>610</b>	-13,0210556	-40,7013056	Irrigação	0,031215
<b>273</b>	-13,0102778	-40,6758333	Irrigação	0,068264

<b>Código de Identificação</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Finalidade</b>	<b>Vazão (m³/s)</b>
<b>637</b>	-13,0097222	-40,6708333	Irrigação	0,068264
<b>935</b>	-12,9991667	-40,6277778	Irrigação	0,046644
<b>266</b>	-12,9961111	-40,6041667	Irrigação	0,026236
<b>780</b>	-12,99975	-40,5713333	Abastecimento Público	0,007061
<b>410</b>	-12,9946944	-40,5558333	Abastecimento Público	0,231481
<b>280</b>	-12,9933333	-40,5480556	Abastecimento Público	0,049878
<b>521</b>	-12,9863333	-40,5451944	Irrigação	0,000978
<b>400</b>	-12,9633889	-40,5240278	Irrigação	0,019967
<b>862</b>	-12,9675278	-40,5084167	Irrigação	0,013272
<b>432</b>	-12,94625	-40,5077778	Abastecimento Público	0,033542
<b>415</b>	-12,9455556	-40,5055556	Irrigação	0,056719
<b>804</b>	-12,9450833	-40,5035833	Irrigação	0,047639
<b>622</b>	-12,9461111	-40,4925	Irrigação	0,179736
<b>137</b>	-12,9520278	-40,4923611	Irrigação	0,219222
<b>929</b>	-12,9461111	-40,4925	Criação Animal	0,041242
<b>588</b>	-12,9447222	-40,4830556	Irrigação	0,046050
<b>339</b>	-12,9486111	-40,4455556	Irrigação	0,010861
<b>334</b>	-12,9172222	-40,4283333	Irrigação	0,016788
<b>396</b>	-12,9101389	-40,4220833	Irrigação	0,038389
<b>660</b>	-12,9101389	-40,4220833	Irrigação	0,130939
<b>262</b>	-12,8982778	-40,4220278	Irrigação	0,026408
<b>481</b>	-12,8878611	-40,4129722	Irrigação	0,045556
<b>696</b>	-12,88325	-40,4029444	Irrigação	0,103622
<b>847</b>	-12,88325	-40,4029444	Irrigação	0,103622

<b>Código de Identificação</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Finalidade</b>	<b>Vazão (m³/s)</b>
<b>384</b>	-12,8734444	-40,3948611	Criação Animal	0,001389
<b>261</b>	-12,8696111	-40,3948056	Irrigação	0,013708
<b>828</b>	-12,8698889	-40,3914167	Irrigação	0,015433
<b>544</b>	-12,8698333	-40,3914167	Irrigação	0,027942
<b>374</b>	-12,8661944	-40,3910278	Irrigação	0,005611
<b>245</b>	-12,8650556	-40,3826389	Irrigação	0,00875
<b>810</b>	-12,8588889	-40,3919444	Criação Animal	0,000278
<b>64</b>	-12,8527778	-40,3847222	Irrigação	0,012314
<b>709</b>	-12,8265556	-40,3771944	Irrigação	0,021969
<b>215</b>	-12,8086111	-40,3744444	Irrigação	0,015092
<b>452</b>	-12,8019444	-40,3722222	Irrigação	0,009942
<b>427</b>	-12,7988889	-40,3683333	Irrigação	0,012347
<b>360</b>	-12,7938056	-40,3591944	Abastecimento Público	0,024400
<b>934</b>	-12,7901667	-40,3503333	Irrigação	0,031575
<b>867</b>	-12,7897222	-40,3501111	Irrigação	0,063056
<b>516</b>	-12,7830278	-40,3483611	Irrigação	0,008666
<b>965</b>	-12,775	-40,3444444	Irrigação	0,012611
<b>740</b>	-12,7652778	-40,3430556	Irrigação	0,027778
<b>332</b>	-12,7655833	-40,3396111	Irrigação	0,005664
<b>510</b>	-12,7652778	-40,3377778	Irrigação	0,009958
<b>586</b>	-12,7625	-40,3352778	Irrigação	0,008675
<b>722</b>	-12,7580556	-40,3230556	Abastecimento Público	0,381383
<b>220</b>	-12,755	-40,3205556	Irrigação	0,098097
<b>898</b>	-12,7569722	-40,3179444	Irrigação	0,003256
<b>208</b>	-12,7512222	-40,3028333	Irrigação	0,012222

<b>Código de Identificação</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Finalidade</b>	<b>Vazão (m³/s)</b>
<b>393</b>	-12,7493056	-40,2953611	Irrigação	0,018933
<b>583</b>	-12,7502222	-40,2660278	Irrigação	0,101814
<b>60</b>	-12,7575	-40,2636111	Irrigação	0,016653
<b>358</b>	-12,7593056	-40,2554722	Irrigação	0,019514
<b>464</b>	-12,7569444	-40,255	Irrigação	0,015429
<b>473</b>	-12,7558333	-40,2419444	Irrigação	0,045227
<b>625</b>	-12,7588889	-40,2355556	Irrigação	0,120764
<b>164</b>	-12,7644444	-40,2330556	Indústria	0,002083
<b>916</b>	-12,7636111	-40,2258333	Irrigação	0,006806
<b>264</b>	-12,7619444	-40,2144444	Irrigação	0,004828
<b>1020</b>	-12,7524722	-40,2192222	Abastecimento Público	0,071208
<b>503</b>	-12,7461111	-40,2036111	Irrigação	0,025656
<b>170</b>	-12,7402778	-40,1955556	Irrigação	0,057864
<b>428</b>	-12,7219444	-40,1791667	Irrigação	0,008383
<b>926</b>	-12,7158611	-40,1849722	Irrigação	0,005556
<b>382</b>	-12,7111111	-40,1783333	Irrigação	0,297067
<b>895</b>	-12,7064722	-40,1871389	Irrigação	0,022314
<b>292</b>	-12,7061111	-40,1775	Irrigação	0,007539
<b>368</b>	-12,705	-40,1766667	Irrigação	0,007681
<b>605</b>	-12,6987778	-40,1837778	Irrigação	0,013750
<b>116</b>	-12,6961111	-40,1813889	Irrigação	0,036389
<b>27</b>	-12,6955278	-40,1752222	Irrigação	0,017581
<b>545</b>	-12,7025556	-40,1651667	Irrigação	0,005594
<b>66</b>	-12,69475	-40,1619167	Irrigação	0,006611
<b>890</b>	-12,6944167	-40,1612222	Irrigação	0,021508



<b>Código de Identificação</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Finalidade</b>	<b>Vazão (m³/s)</b>
<b>409</b>	-12,6941389	-40,1493056	Irrigação	0,001469
<b>404</b>	-12,6877778	-40,1419444	Irrigação	0,046536
<b>367</b>	-12,6971944	-40,1408333	Irrigação	0,051717
<b>542</b>	-12,6877778	-40,1377778	Irrigação	0,071775
<b>555</b>	-12,675	-40,1108333	Irrigação	0,016177
<b>127</b>	-12,65825	-40,1055833	Irrigação	0,001389
<b>103</b>	-12,6608611	-40,1014167	Irrigação	0,114461
<b>921</b>	-12,6347222	-40,0825	Irrigação	0,120917
<b>686</b>	-12,5683056	-40,0491667	Irrigação	0,033611
<b>537</b>	-12,5622222	-40,05	Irrigação	0,023939
<b>942</b>	-12,5756944	-40,0456389	Consumo Humano	0,000250
<b>669</b>	-12,5595278	-40,0350833	Irrigação	0,005000
<b>383</b>	-12,5577778	-40,0283333	Irrigação	0,085433
<b>33</b>	-12,5598889	-40,02425	Irrigação	0,113889
<b>515</b>	-12,5626944	-40,0210556	Irrigação	0,007472
<b>250</b>	-12,5724722	-40,0285556	Irrigação	0,135700
<b>246</b>	-12,5725	-40,0166667	Irrigação	0,112842
<b>728</b>	-12,5594167	-40,0049167	Irrigação	0,157297
<b>371</b>	-12,5594167	-40,0049167	Irrigação	0,157297
<b>877</b>	-12,557	-39,9958056	Irrigação	0,171017
<b>888</b>	-12,5589444	-39,9867222	Irrigação	0,007592
<b>1004</b>	-12,5622222	-39,9772222	Irrigação	0,041897
<b>998</b>	-12,5594444	-39,9830556	Irrigação	0,026853
<b>12</b>	-12,5605278	-39,9708333	Irrigação	0,010931
<b>854</b>	-12,56125	-39,9659167	Irrigação	0,093296
<b>217</b>	-12,5552778	-39,9536111	Irrigação	0,003286

<b>Código de Identificação</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Finalidade</b>	<b>Vazão (m³/s)</b>
<b>827</b>	-12,5536111	-39,9480556	Irrigação	0,044606
<b>285</b>	-12,5553333	-39,9477778	Irrigação	0,080486
<b>47</b>	-12,5501111	-39,9345694	Irrigação	0,05125
<b>345</b>	-12,54	-39,9372222	Irrigação	0,042853
<b>903</b>	-12,5272222	-39,9333333	Irrigação	0,044167
<b>1000</b>	-12,5216944	-39,9301389	Abastecimento Público	0,004300
<b>276</b>	-12,5167139	-39,9076111	Irrigação	0,028139
<b>806</b>	-12,5233333	-39,8411111	Abastecimento Público	0,073519
<b>1001</b>	-12,5233333	-39,8411389	Abastecimento Público	0,079167
<b>44</b>	-12,5508056	-39,7591944	Abastecimento Público	0,012361
<b>737</b>	-12,5549167	-39,7164444	Irrigação	0,021967
<b>471</b>	-12,5578056	-39,7023611	Irrigação	0,001173
<b>28</b>	-12,5610556	-39,7054722	Irrigação	0,056736
<b>860</b>	-12,5647222	-39,6955556	Criação Animal	0,000114
<b>692</b>	-12,5647222	-39,6955556	Irrigação	0,148833
<b>570</b>	-12,5994167	-39,6206389	Irrigação	0,009289
<b>211</b>	-12,5977778	-39,6177778	Abastecimento Público	0,400961
<b>1003</b>	-12,5700278	-39,5963333	Irrigação	0,025086
<b>548</b>	-12,5527778	-39,5791667	Irrigação	0,022643
<b>344</b>	-12,5606667	-39,54575	Irrigação	0,005881
<b>319</b>	-12,5638889	-39,5413889	Abastecimento Público	0,028772

<b>Código de Identificação</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Finalidade</b>	<b>Vazão (m³/s)</b>
<b>146</b>	-12,5833611	-39,5372778	Criação Animal	0,005556
<b>340</b>	-12,5867222	-39,525	Indústria	0,006944
<b>590</b>	-12,5862222	-39,5228333	Outras	0,012153

Fonte: Elaboração do próprio autor

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA**

**ESCOLA POLITÉCNICA**

**Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação  
de Recursos Hídricos (ProfÁgua)**

**MATEUS YUKIO TAGATA**

**APÊNDICE 3: PRODUTO**

**AVALIAÇÃO DE DISPONIBILIDADES HÍDRICAS SUPERFICIAIS PARA  
OUTORGA APLICANDO-SE CRITÉRIOS DE PRIORIDADE NO ATENDIMENTO  
DE DEMANDAS NA BACIA DO RIO PARAGUAÇU-BA**

Salvador  
2024

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - RPGA X Rio Paraguaçu .....	<b>147</b>
<b>Figura 2</b> - Demanda para Irrigação na RPGA X .....	<b>150</b>
<b>Figura 3</b> - Bacia Hidrográfica do Rio Paraguaçu. (a) Outorgas na bacia do Paraguaçu (b) trecho estudado. ....	<b>151</b>
<b>Figura 4</b> - Representação de um Sistema Hídrico como uma Rede de Fluxo .....	<b>152</b>
<b>Figura 5</b> - Curvas de Permanência da Estação IAÇU (51280000) – Períodos Seco e Chuvoso .....	<b>153</b>
<b>Figura 6</b> - Resultado gerado pela simulação do OUTORGALS para a rede modelada no período chuvoso .....	<b>155</b>
<b>Figura 7</b> - Resultado obtido para o trecho simulando um cenário de escassez hídrica atípica.....	<b>155</b>
<b>Figura 8</b> - Estatísticas da simulação no cenário de escassez hídrica atípica .....	<b>156</b>

**LISTA DE QUADROS**

<b>Quadro 1 - Etapas metodológicas .....</b>	<b>148</b>
--	------------

## SUMÁRIO

<b>1. APRESENTAÇÃO.....</b>	<b>144</b>
<b>2. SÍNTESE METODOLÓGICA.....</b>	<b>147</b>
<b>3. CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO.....</b>	<b>152</b>
3.1. POSSÍVEIS IMPACTOS E BENEFÍCIOS NO CONTEXTO LOCAL .....	156
<b>4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>159</b>

## 1. APRESENTAÇÃO

Este documento traduz-se no PRODUTO da Dissertação de Mestrado de Mateus Y. Tagata no âmbito do Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, intitulada ***Avaliação de Disponibilidades Hídricas Superficiais para Outorga Aplicando-se Critérios de Prioridade no Atendimento de Demandas na Bacia do rio Paraguaçu-BA***, que teve a orientação do Prof. Dr. Paulo Romero G. Serrano de Andrade. Pode-se afirmar que a garantia do acesso à água, um recurso natural essencial à vida e ao desenvolvimento socioeconômico, é um compromisso delineado pela Lei Federal N° 9.433, de 08 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Brasil, 1997).

Pelo Art. 5º, inciso III, da Lei N° 9.433/97, vale destacar como um dos seus instrumentos a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos. A outorga desempenha um papel crucial para assegurar o controle quantitativo e qualitativo para o exercício dos direitos de acesso à água. No entendimento de Granziera (2001), a outorga é o instrumento pelo qual o Poder Público atribui ao interessado, público ou privado, o direito de utilizar privativamente o recurso hídrico. Para Carolo (2007), a outorga é um diploma de emissão formal, mediante o qual o Poder Público outorgante faculta ao outorgado o uso da água, por prazo determinado, nos termos e condições expressas no respectivo ato.

Neste contexto, emerge a dualidade na gestão dos recursos hídricos no Brasil: a gestão da oferta, uma incumbência do Estado que visa avaliar e ampliar a disponibilidade quantitativa e qualitativa, enquanto a gestão da demanda busca racionalizar os usos e resolver potenciais conflitos de interesse que surgem entre usos e usuários da água. Para avaliar e controlar a oferta, a disponibilidade hídrica se configura como a informação crucial para embasar as decisões relacionadas à emissão de outorgas de direito de uso dos recursos hídricos, conforme previsto na Lei Federal N°. 9.433/97, especialmente no Artigo 11, complementado pelo Art. 7º, parágrafo III. Estes dispositivos da chamada Lei das Águas do Brasil, estão alinhados com a Agenda 21 (capítulo 18, item 18.2) e o Objetivo 6 para o Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, mais particularmente pela Meta 6.5 do ODS 6 que aponta



para a “necessidade de se implementar a gestão integrada dos recursos hídricos, aprimorando-se a emissão de outorgas, considerando a classe de uso definida nos planos de recursos hídricos”.

A análise da disponibilidade hídrica visa calcular indicadores de comprometimento para subsidiar a tomada de decisão sobre o deferimento ou indeferimento da outorga. Esses indicadores resultam da comparação entre a demanda acumulada pelo conjunto de usuários outorgados e uma disponibilidade hídrica estática, embora no mundo real ela nunca seja fixa. Pelo contrário, a vazão de um rio é uma variável aleatória, resultando em momentos de alta e baixa disponibilidade hídrica. Assim, a análise se depara com flutuações constantes, onde a disponibilidade pode variar significativamente, influenciando diretamente no grau de comprometimento hídrico (ANA, 2022).

Diante de dificuldades na determinação da vazão máxima outorgável ( $Q_{outorgável}$ ), adotou-se no Brasil uma postura rigorosa ao estabelecer critérios de outorga, uma vez que essa vazão ( $Q_{outorgável}$ ) deve ser utilizada nos cálculos de balanço hídrico, o que é um valor desconhecido, a priori. Passou a ser comum então estabelecer um teto para as derivações consuntivas baseados em valores fixos denominados vazões de referência, adotados, regra geral, em legislações de recursos hídricos dos estados brasileiros, como critério para estabelecer vazões outorgáveis máximas (Kelman, 1997). No estabelecimento de limites de utilização dessas vazões por usos da água, as vazões mínimas de referência caracterizam as disponibilidades hídricas dos corpos de água e são geralmente definidas por vazões com alta permanência no tempo (como a  $Q_{90}$ ) ou por vazões mínimas associadas a probabilidades de ocorrência (como a  $Q_{7,10}$ ), ou frações de vazões de permanência ( $QP\%$ ). No Estado da Bahia, especificamente, conforme Decreto N° 6.296 de 21 de março de 1997, os limites máximos outorgáveis estão definidos no seu Art.14, como se transcreve:

*Art. 14 - Ficam estabelecidos, para o somatório das vazões a serem outorgadas, os seguintes limites: I - 80% (oitenta por cento) da vazão de referência do manancial, estimada com base na vazão de até 90% (noventa por cento) de permanência a nível diário, quando não houver barramento; II - 80% (oitenta por cento) das vazões regularizadas com 90% (noventa por cento) de garantia, dos lagos naturais ou de barramentos implantados em*

*mananciais perenes; III - 95% (noventa e cinco por cento) das vazões regularizadas com 90% (noventa por cento) de garantia, dos lagos naturais ou de barramentos implantados em mananciais intermitentes.*

*§ 1º - Nos casos de abastecimento humano, os limites dos incisos I e II poderão atingir até 95% (noventa e cinco por cento). § 2º - No caso do inciso II, a vazão remanescente de 20% (vinte por cento) das vazões regularizadas deverá escoar para jusante, por descarga de fundo ou por qualquer outro dispositivo que não inclua bombas de recalque; § 3º - Nenhum usuário, individualmente, receberá autorização acima de 20% (vinte por cento) da vazão de referência de um dado manancial.*

Pode-se depreender que a adoção de critérios como os aqui citados, tomados como vazões de referência, representam quase que um engessamento em relação a outros possíveis limites máximos outorgáveis vez que não levam em conta a análise das particularidades de cada bacia, como em situações de escassez hídrica, eliminando a necessidade de simulação do comportamento dos corpos de água e suas variações ao longo do tempo. No geral, restritos a uma situação de disponibilidade hídrica mais severa, tais critérios não favorecem a alocação de água nos períodos de hidrologia favorável, o que pode resultar em prejuízos ao desenvolvimento socioeconômico ou em prejuízos ambientais na região.

Dessa forma, é factível se analisar a flexibilização de valores de vazões de referência, atualmente baseados em valores fixos para a vazão máxima outorgável, a partir de determinações de outras vazões de referência sazonais que são, quase sempre, maiores nos períodos de chuvas, embora menores no período de estiagem. Além disso, o estabelecimento de um sistema de posições (*ranking*) de prioridade entre os diversos usuários, mormente nas situações hidrológicas críticas, tornaria possível identificar os efeitos de cada uso outorgado sobre as disponibilidades, incrementalmente, quantificando-se um balanço hídrico em cada trecho do rio, resultando daí possíveis restrições a usuários menos prioritários.

Esse tipo de procedimento permitiria ao órgão responsável pela emissão da outorga na bacia hidrográfica avaliar a situação das outorgas concedidas e seu impacto nas vazões restantes em cada trecho de rio sob análise. Para atender ao propósito da pesquisa mencionada, utilizou-se o Sistema de Suporte à Decisão OutorgaLS para analisar as alocações de água, levando em consideração as disponibilidades e as demandas hídricas, incluindo seus usos múltiplos, com o objetivo



**Quadro 6 - Etapas metodológicas**

<b>Etapa</b>	<b>Síntese Descritiva</b>
<b>1</b>	<b>Revisão Bibliográfica:</b> periódicos CAPES; Scopus; trabalhos, dissertações, artigos e revistas científicas; Dados gerais sobre a RPGAX - rio Paraguaçu
<b>2</b>	<b>Coleta/análise de dados fisiográficos, socioeconômicos, etc., para caracterização da bacia do rio Paraguaçu; Estudo de Regionalização de Vazões</b> (ampla consulta à base de dados hidro meteorológicos HIDROWEB/ANA, INEMA, BDMET/INMET, etc.)
<b>3</b>	<b>Determinação de Regiões Hidrologicamente Homogêneas:</b> aplicação da <i>Análise de Clusters</i> , com regiões definidas pelo método K-Means, usando-se os softwares <i>RStudio</i> (versão 2022.07.2) e o <i>Orange Data Mining</i> (versão 3.33.0) ao conjunto de dados hidrológicos.
<b>4</b>	<b>Regionalização de Vazões:</b> análise de estacionariedade de vazões na área estudada, obtenção de equações de regressão/curvas de probabilidade a partir do ajuste de distribuições estatísticas; aplicando-se o <i>Método Tradicional</i> , associando-se variáveis topológicas e climáticas, com aplicação do Software <i>SisCORV V1.0-Sistema Computacional para a Regionalização de Vazões</i> , desenvolvido por Sousa (2009), com parcerias da Rede 2/UFV e da ANA.
<b>5</b>	<b>Caracterização das outorgas concedidas pelo INEMA na bacia do rio Paraguaçu:</b> georreferenciamento das informações, aplicando-se o Sistema de Informações Geográficas-QGIS, V3.28.12; tipos e quantificação das demandas outorgadas; estimativa de disponibilidades hídricas e de balanços hídricos em cada sessão de interesse, no contexto dos trechos do rio selecionados para o estudo.
<b>6</b>	<b>Seleção, estudo e aplicação do SSD <i>OutorgaLS-v3.1.1.2</i></b> (LabSid/USP, 2012); definição tipológica do sistema em estudo, via rede de fluxo; implementação do SSD para alocação da água com inclusão de dados georreferenciadas; estimativa de disponibilidades hídricas e vazões demandadas pelas outorgas; introdução do conceito de probabilidade de atendimento às demandas outorgadas e de prioridades de uso dos recursos hídricos, com cenários de planejamento para demandas/ impactos da sazonalidade.
<b>7</b>	<b>Simulação, obtenção e interpretação de resultados pelo SSD;</b> simulação em condições críticas de disponibilidade hídrica, comparação de respostas da rede de fluxo integrada; consolidação de possibilidades para flexibilização/adaptabilidade nos critérios de concessão de outorgas.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

### **Funções Regionais de Vazão**

Algumas etapas referidas no Quadro 1 são executadas de maneira interativa com outras, e/ou com o uso de aplicativos específicos. Na Etapa 5, por exemplo, é preciso ter os resultados obtidos da Etapa 4 no que tange à obtenção das equações de regionalização na bacia. Essas equações desempenham um papel fundamental na estimativa das vazões de permanência  $Q_{90}$ , não apenas relacionadas às séries de vazões das estações fluviométricas selecionadas para o estudo, mas principalmente para calcular a vazão em cada ponto de demanda outorgada. Elas também são essenciais para estimar a disponibilidade hídrica correspondente e realizar o balanço hídrico em cada trecho de rio que se deseja analisar na bacia.

Para determinação das funções regionais na bacia do rio Paraguaçu, foi utilizado o *software* Sistema Computacional para Regionalização de Vazões - SisCORV, versão 1.0 (Souza, 2009) e sua extensão SISCAH (Sistema Computacional para Análises Hidrológicas), versão 1.0. O SisCORV se vale de dados de vazões disponíveis na base hidro referenciada da ANA. Esses dados são importados diretamente do site da Hidroweb/ANA, o que os torna confiáveis e atuais (VALENTIM; ANDRADE, 2012). O aplicativo SisCORV dispõe dos métodos de regionalização tradicional, da curva adimensional e da conservação de massas, sendo o Método de

Regionalização Tradicional a opção usada no estudo, pela sua praticidade e ser amplamente difundido.

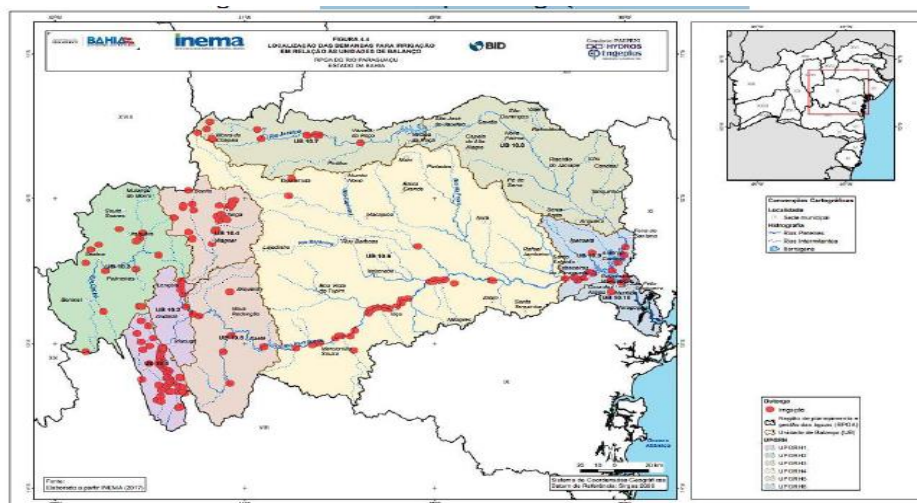
Definido o Método Tradicional, foram importados os dados de vazões das estações fluviométricas ITAETÉ (51240000), IAÇU (51280000) e ARGOIM (51350000) e determinada a variável a ser regionalizada, a qual para este estudo foi a vazão de permanência  $Q_{90}$ . A variável independente relacionada foi a área de drenagem de cada estação fluviométrica, medida em  $\text{km}^2$  — sendo esta automaticamente identificada e importada pelo aplicativo SisCORV.

### **Demandas Hídricas e Outorgas Consideradas**

Na etapa 5 da metodologia adotada, foram consideradas, com base no Plano de Ações Estratégicas para Gerenciamento dos Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraguaçu (2019), as demandas hídricas superficiais. Destaca-se que a irrigação predomina significativamente, representando 71,3% da demanda total, seguida pelo abastecimento para consumo humano com 20,1%, e dessedentação animal com 7,4%. Isso evidencia que os conflitos pelo uso da água são protagonizados pela tripartição do atendimento às demandas, considerando o abastecimento público, a dessedentação animal e a irrigação. Juntos, esses três usos representam 98,8% da demanda total da Região de Planejamento e Gestão das Águas X.

Com relação às demandas para irrigação, observa-se que a maior concentração (56,5%) está localizada na Parte Alta do Paraguaçu, especificamente na Unidade de Balanço Hídrico - UB 10.1. Em seguida, a Bacia Incremental do rio Paraguaçu no Semiárido representa 15,5% da demanda total para esse fim, enquanto a sub-bacia do Rio Utinga contribui com 11,8%. Essa distribuição é ilustrada na Figura 2.

**Figura 33 - Demanda para Irrigação na RPGA X**



Fonte: Plano de ações estratégicas para gerenciamento dos recursos hídricos da bacia do rio Paraguaçu (2019).

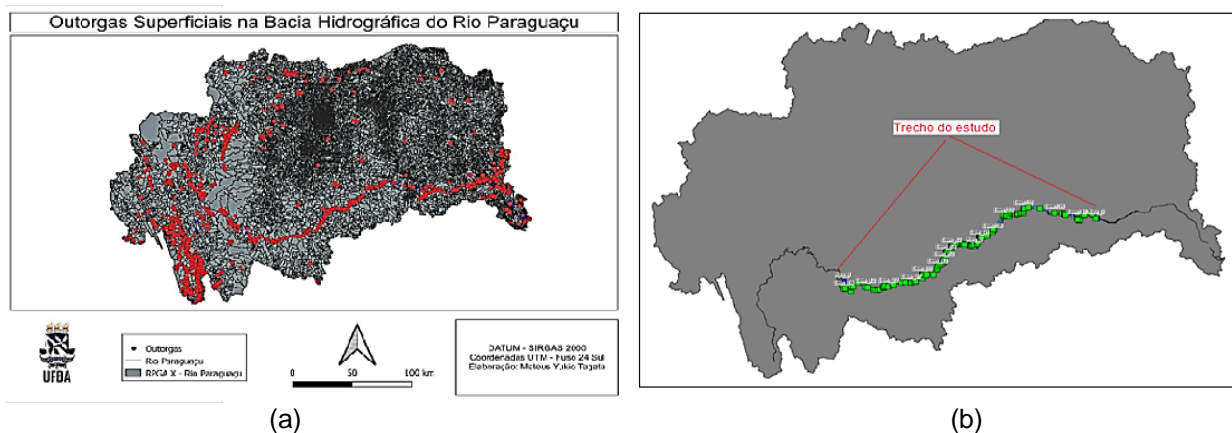
### **Outorgas de uso dos recursos hídricos**

De acordo com dados obtidos junto ao INEMA (2023), foram registradas 472 outorgas de água de superfície na bacia do Paraguaçu. Essas outorgas foram identificadas com base em informações como tipo de interferência (captação, barragem, lançamento de efluente), descrição do tipo de corpo hídrico da interferência (rio ou curso d'água, espelho d'água), coordenadas geográficas, tipo de outorga (uso de pouca expressão, direito de uso), vazão demandada, dias de captação no mês e finalidade da outorga (abastecimento público, irrigação, criação animal, indústria).

Para os objetivos do estudo, atribuiu-se maior prioridade de atendimento (P) para as demandas do abastecimento público e dessedentação animal ( $P=15$ ), seguida do uso industrial e irrigação ( $P=60$ ). Considerou-se ainda que: (a) as outorgas classificadas como “lançamento superficial” são excluídas, vez que a avaliação da qualidade da água não constitui um dos objetivos do estudo; (b) para o teste/aplicação do SSD OutorgaLS, foi escolhido o trecho do rio Paraguaçu entre as estações fluviométricas de Itaeté e Argoim, localizadas no curso principal do rio Paraguaçu, tendo por coordenadas: Itaeté 12:59:10 Latitude Sul e 040:57:29 de Longitude Oeste (série histórica de vazões com 88 anos), Argoim 12:35:08 -039:31:20 (com 77 anos de dados). A Figura 3(a) ilustra a distribuição geográfica das outorgas na bacia, até 30 de maio de 2023, e a Figura 3(b) indica o posicionamento das outorgas no trecho de estudo.



**Figura 34 - Bacia Hidrográfica do Rio Paraguaçu. (a) Outorgas na bacia do Paraguaçu (b) trecho estudado.**



Fonte: Elaboração do próprio autor.

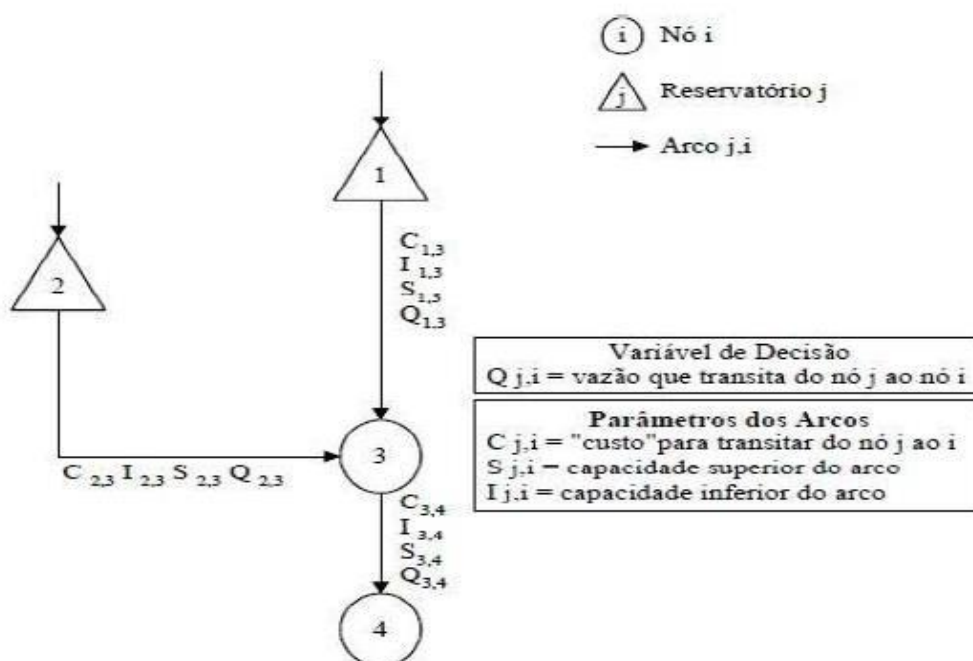
### **O SSD OutorgaLS**

O SSD OutorgaLS, (Sistema de Suporte à Decisão para Análise e Concessão de Outorga para Captação de Água e para Lançamento de Efluentes), desenvolvido pelo LabSid, foi selecionado como ferramenta para testar uma metodologia, ainda a ser melhor explorada, para auxiliar na emissão de outorgas. Este sistema permite a formulação de soluções para questões relacionadas à outorga, através do cálculo do balanço hídrico e da elaboração de cenários. Além disso, facilita a análise de outorgas ao permitir a avaliação da flexibilização dos valores máximos outorgáveis, considerando as disponibilidades e as outorgas requeridas na bacia hidrográfica. Adicionalmente, o SSD possibilita a introdução de conceitos como risco ou probabilidade de atendimento às demandas e prioridades de uso dos recursos hídricos.

Trata-se de um modelo de rede de fluxo projetado para simular bacias hidrográficas, combinando técnicas de simulação e otimização de forma sequencial. A otimização é realizada em intervalos mensais, enquanto a interface do usuário é compatível com o ambiente Windows. Este sistema utiliza tecnologia SIG para consulta e manipulação de dados gerais, dados de simulação e resultados dos modelos. É também capaz de determinar a alocação da água em sistemas de recursos hídricos complexos, considerando restrições operacionais e prioridades de atendimento às demandas. Ele resolve problemas relacionados à outorga por meio do cálculo do balanço hídrico e simulação de cenários.

A Figura 4 esquematiza uma rede de fluxo, composta por "nós" e "links". Os nós representam elementos pontuais do sistema, como reservatórios, demandas, importações e confluências, enquanto os links simbolizam as conexões entre os nós, como trechos de rios, adutoras, canais naturais ou artificiais, entre outros (Roberto, 2002).

**Figura 35 - Representação de um Sistema Hídrico como uma Rede de Fluxo**



Fonte: Roberto (2002).

### 3. CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO

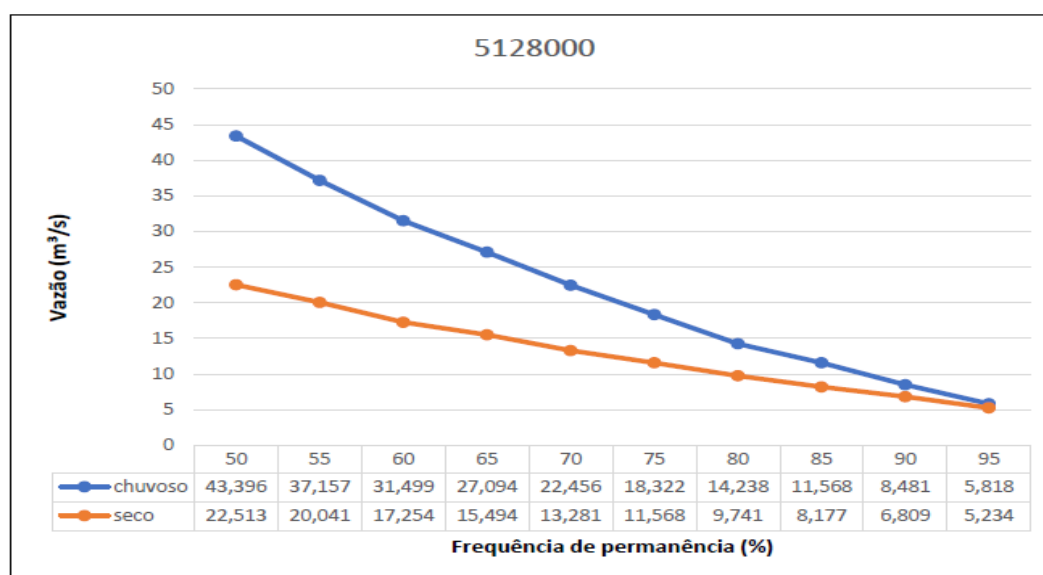
No estudo, o produto se origina nos resultados da análise simples para captações no trecho de rio sem influência de reservatórios de regularização, verificando as influências que as vazões de outorga concedidas exercem sobre a disponibilidade hídrica natural. Nessa abordagem propõe-se uma reflexão, mesmo em caráter preliminar, voltada ao gerenciamento de outorgas em bacias hidrográficas.

Com efeito, o trabalho desenvolvido para um trecho do rio Paraguaçu (Fig.3b), integrante da RPGA X - Rio Paraguaçu, possibilitou analisar possíveis vantagens da adoção do SSD OutorgaLS para analisar a concessão de outorgas, não utilizando apenas os valores de referência fixos (disponibilidade hídrica engessada), vez que esses são apenas indicativos para condições críticas das bacias.



A abordagem estudada revela que, ao avaliar a disponibilidade hídrica, torna-se crucial considerar a sazonalidade climática da região e sua dinâmica hidrológica. Isso é demonstrado pelas análises realizadas para verificar as diferenças notáveis entre as vazões de permanência (Q90) durante o período chuvoso e o período seco. Como mostrado na Figura 5, existem diferenças consideráveis entre os valores de vazão de permanência (Q90) na Estação IAÇU (51280000), um aspecto que também foi observado nas demais estações na área de estudo.

**Figura 36 - Curvas de Permanência da Estação IAÇU (51280000) – Períodos Seco e Chuvoso**



Fonte: Elaboração do próprio autor

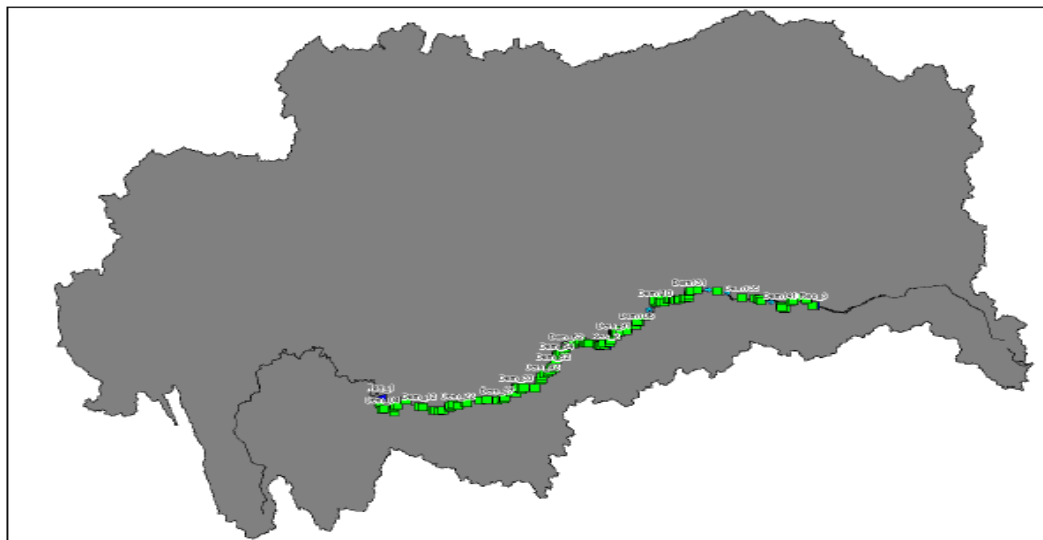
Quando o órgão gestor não considera a análise da sazonalidade, acaba adotando uma abordagem simplificada, linear e inflexível para o gerenciamento dos recursos hídricos. Isso significa que, durante os períodos chuvosos, quando há um potencial hídrico disponível, esse recurso não é devidamente aproveitado. Por outro lado, nos períodos de escassez, os problemas relacionados à falta de água são negligenciados. Essa abordagem limitada pode levar a uma gestão ineficiente dos recursos hídricos, sendo portanto, essencial considerar a sazonalidade para uma gestão mais eficaz e sustentável dos recursos hídricos.

Em outras palavras, durante os períodos de abundância, a forma atual de concessão de outorgas se torna restritiva, quando na verdade deveria ser mais flexível para permitir um melhor aproveitamento dos recursos hídricos disponíveis. Por outro

lado, nos períodos de escassez, a abordagem existente muitas vezes não é suficientemente rigorosa, resultando em uma falta de controle sobre a utilização da água, o que pode agravar os problemas de escassez hídrica. Isso evidencia a necessidade de uma gestão mais dinâmica e adaptativa dos recursos hídricos, que leve em consideração as variações sazonais e as demandas específicas de cada período, visando um uso mais eficiente e sustentável da água.

Neste contexto, dois dos vários resultados obtidos das simulações realizadas no SSD OutorgaLS estão representados nas Figuras 6 e 7. Para todas as análises, foram gerados resultados considerando tanto o período seco quanto o período chuvoso. É importante ressaltar que os quadriláteros na cor verde indicam o atendimento satisfatório da demanda, enquanto aqueles em tom vermelho (aplicado em um cenário atípico de escassez hídrica, onde a disponibilidade hídrica é "engessada" em 3 m<sup>3</sup>/s em todo o trecho do rio) indicam que a disponibilidade hídrica é insuficiente para satisfazer essa demanda específica. Em um cenário como o último descrito, torna-se evidente para o tomador de decisão quais outorgas devem ser suspensas para garantir o fornecimento às demandas prioritárias. Essa análise auxilia na identificação de medidas necessárias para garantir um uso mais eficiente e equitativo dos recursos hídricos, mesmo em condições de escassez.

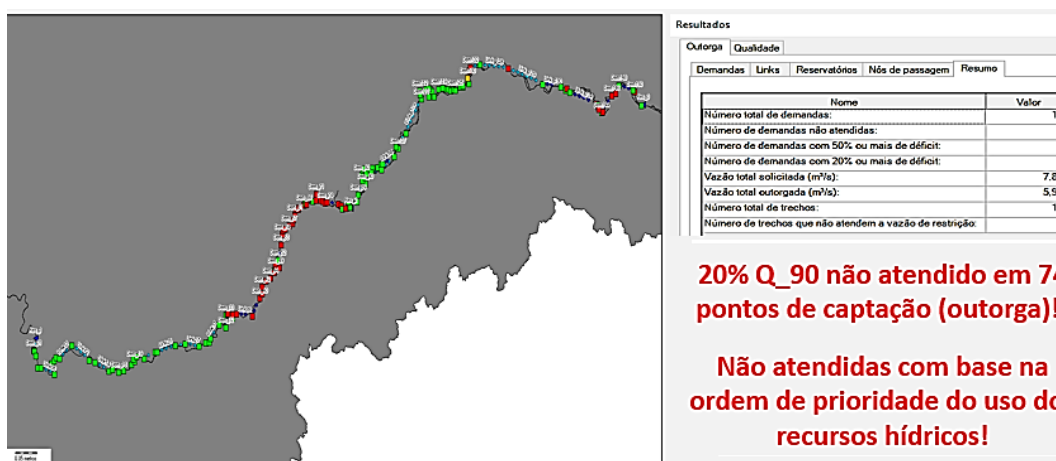
**Figura 37 - Resultado gerado pela simulação do OUTORGALS para a rede modelada no período chuvoso**



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Pela análise da Figura 6, gerada pelo OutorgaLS, deduz-se que a soma das vazões outorgadas até uma determinada seção do rio não ultrapassa o valor da vazão de referência, ou seja, a vazão natural disponível. Isso sugere que as outorgas concedidas a jusante não estão comprometidas, pois ainda há uma margem de disponibilidade hídrica dentro dos limites aceitáveis. Essa interpretação é fundamental para garantir que o uso da água seja gerenciado de forma sustentável, evitando impactos negativos sobre o fluxo hídrico e as atividades que dependem dele.

**Figura 38 - Resultado obtido para o trecho simulando um cenário de escassez hídrica atípica**



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Outras estatísticas, a exemplo da apresentada na Figura 8 (caso do cenário de disponibilidade de 3 m³/s – uma situação de seca), podem ser extraídos de resultados obtidos pelo OutorgaLS, sendo possível ainda quantificar e listar as demandas não atendidas, ou só parcialmente atendidas.

**Figura 39 - Estatísticas da simulação no cenário de escassez hídrica atípica**

Resultados

Outorga	
Qualidade	
Demandas Links Reservatórios Nós de passagem Resumo	
Nome	Valor
Número total de demandas:	144
Número de demandas não atendidas:	50
Número de demandas com 50% ou mais de déficit:	49
Número de demandas com 20% ou mais de déficit:	49
Vazão total solicitada (m³/s):	7.840
Vazão total outorgada (m³/s):	5.990
Número total de trechos:	148
Número de trechos que não atendem a vazão de restrição:	74

Fonte: Elaboração do próprio autor

### 3.1 Possíveis Impactos e Benefícios no Contexto Local

No estado da Bahia, segundo Silva et al. (2021), são utilizados dois SSDs para realizar os cálculos e armazenar as informações de outorgas concedidas para corpos hídricos superficiais, o *Sistema de Gerenciamento de Controle de Outorga (SIGO) Captação* e o *SIGO Efluentes*. No entanto os mesmos apresentam problemas, como a falta de integração entre eles para análises superficiais de captação e lançamento, atraso tecnológico, fragilidade na segurança da informação, falta de transparência e a inexistência de conexão com o Sistema Estadual de Informações Ambientais e de Recursos Hídricos (SEIA). Os SIGOS foram desenvolvidos desde a extinta Superintendência de Recursos Hídricos da Bahia (SRH), em planilha eletrônica Excel, onde cada rio principal das RPGAs é representado por uma planilha que realiza os cálculos de balanço hídrico para o rio principal e seus afluentes, com contribuições computadas de montante para jusante (Silva et al. 2003, apud Silva et al., 2021). Não consideram, entretanto, as alterações sazonais na disponibilidade hídrica e nas retiradas de água.

Diante dessa realidade, a utilização de uma metodologia que introduza o conceito de probabilidade de atendimento e de prioridades nas demandas, é de extrema importância para que os gestores possam trabalhar com maior flexibilidade em relação aos valores outorgáveis em bacias críticas. Acredita-se que o SSD OutorgaLS e os produtos alcançados no presente estudo sejam valiosos artifícios para o processo de emissão de outorga e gestão dos recursos hídricos, tanto para o INEMA como outros órgãos gestores.

Foi demonstrado que SSD OutorgaLS tem a capacidade de simular o atendimento ou não das demandas por meio de uma representação em formato de rede, com uma qualidade de integração que permite uma análise holística. Caso uma nova outorga seja concedida, o OutorgaLS analisará o sistema como um todo, considerando os impactos em toda a rede, e não apenas de maneira pontual. Além disso, ele permite gerar cenários hipotéticos de escassez hídrica, proporcionando uma oportunidade valiosa para os gestores se anteciparem e realizarem atualizações em resposta a situações que possam demandar mudanças ou flexibilizações nas regras de restrição de uso estabelecidas na bacia.

Ferramenta como o SSD OutorgaLS, ou outra similar que possa ser produzido, mostra-se essencial e muito útil nas análises de requerimentos para usos de águas superficiais. A demonstração, quase que imediata, de como a introdução de uma captação interfere em todas as seções com usos a jusante e de como os usos situados a montante alteram o regime de vazões mínimas na seção de estudo permite avaliar, para cada disponibilidade definida, a sustentabilidade das demandas, ou o risco de falhas. Assim, é crucial observar que a emissão de outorgas, além de envolver estratégias objetivas, deve considerar características locais específicas, como o aumento das demandas, a sazonalidade climática e possíveis alterações no regime hídrico do rio, tornando-se determinantes para a definição da vazão que pode ser outorgada no sistema de recursos hídricos em dado momento, favorecendo identificar quais outorgas devem ser temporariamente suspensas, garantindo o atendimento às demandas prioritárias, alinhando-se com os princípios estabelecidos pela Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH).

Essa abordagem proativa pode auxiliar na antecipação de possíveis desafios e assegurar uma gestão eficiente e sustentável dos recursos hídricos na bacia do Rio Paraguaçu, e em outras. Dessa forma, o presente estudo não apenas contribui para a validação e aperfeiçoamento das práticas de outorga, mas também sinaliza um avanço significativo na direção de uma gestão mais sustentável e resiliente dos recursos hídricos na bacia em consonância com as tendências e preocupações expressas pela ANA.

Ao INEMA/BA, recomenda-se aprofundar o uso da ferramenta OutorgaLS e que ela seja proveitosa no auxílio à gestão de recursos hídricos do estado da Bahia. A versatilidade desse SSD é uma vantagem notável, pois sua eficácia não está vinculada a uma metodologia específica para determinar a vazão de referência ( $Q_{90}$ ,  $Q_{7,10}$ , etc.), o que permite sua relevância mesmo com a mudança dos referenciais de disponibilidade hídrica, caso ocorram. Ademais, sua capacidade de considerar a sazonalidade oferece uma abordagem abrangente e adaptável às variações climáticas ao longo do ano. Com essas características, acredita-se que este Sistema de Suporte à Decisão (SSD) permanecerá atualizado e eficaz, contribuindo de forma contínua para a gestão sustentável dos recursos hídricos no estado da Bahia.

#### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. PARECER TÉCNICO Nº 3/2022/SER - Documento nº 02500.047031/2022-32. Outorga com Gestão de Garantia e Prioridade (OGP) – uma proposta para maximização do uso da água. 2022. Disponível em [https://participacaosocial.ana.gov.br/api/files/Parecer\\_Tecnico\\_3\\_2022\\_SRE-1675339471836.pdf](https://participacaosocial.ana.gov.br/api/files/Parecer_Tecnico_3_2022_SRE-1675339471836.pdf), acesso em março 2023.

BAHIA. Plano de Ações Estratégicas para Gerenciamento dos Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraguaçu / PF01B – Síntese executiva do plano de ações estratégicas da bacia hidrográfica do Recôncavo Norte e Inhambupe. 2019. [[http://www.inema.ba.gov.br/wp-content/uploads/2021/11/PAEPRNI\\_PF01B\\_R00.pdf](http://www.inema.ba.gov.br/wp-content/uploads/2021/11/PAEPRNI_PF01B_R00.pdf)].

BAHIA. Decreto Nº 6.296 de 21 de março de 1997. Dispõe sobre a outorga de direito de uso de recursos hídricos, infração e penalidades e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.seia.ba.gov.br/sites/default/files/legislation/Dec6296.pdf>>, acesso em dezembro de 2022.

BAHIA. INEMA - Dados de Outorga do CNARH-Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos em 30/05/2023. Ofício nº 00068150856 /2022 - INEMA/DG/DIRRE/NOUT Salvador/BA, 05/06/2023.

BRASIL, Lei Federal Nº 9.433, 08.01.97. Política Nacional de Recursos Hídricos, 2a edição, Ministério do Meio Ambiente, Secretaria Nacional de Recursos Hídricos, Brasília, D. F., 1999.

CALEGARIO, A. T. Identificação de regiões hidrologicamente homogêneas e comportamento das vazões mínima e média regionalizadas. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa / Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. doViçosa,MG,2014. [<https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/8210/1/texto%20completo.pdf>]

CAROLO, F. Outorga de direito de uso de recursos hídricos: instrumento para o desenvolvimento sustentável? Estudo das bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. Dissertação de mestrado. Brasília: Universidade de Brasília, 2007, p. 54.

KELMAN J. Outorga e Cobrança de Recursos Hídricos. Trabalho apresentado no XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Vitória, 1997 (Publicado como capítulo no

livro editado por Antônio Carlos de Mendes Thame, A Cobrança pelo uso da água. São Paulo, 2000, p. 93-113).

ROBERTO, A. N. (2002). Modelos de Rede de Fluxo para Alocação da Água entre Múltiplos Usos em uma Bacia Hidrográfica. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2002, p. 105. Disponível em <https://repositorio.usp.br/item/001271228>.

SILVA, G. O. M.; MEDEIROS, Y. D. P. 1; FONTES, A. S. Atualização do sistema de suporte à decisão para outorga de uso de recursos hídricos do estado da Bahia. In. Rev. Gest. Água Am. Lat., Porto Alegre, 2021. <https://dx.doi.org/10.21168/rega.v18e8>.

SOUSA, H. T. de. Sistema computacional para regionalização de vazões. Dissertação de (mestrado). Universidade Federal de Viçosa/MG, 2009 .86f. Disponível em [https://www.gprh.ufv.br/docs/Dissertacoes\\_mestrado/Heber\\_Tormentino\\_Sousa.PDF](https://www.gprh.ufv.br/docs/Dissertacoes_mestrado/Heber_Tormentino_Sousa.PDF).

VALENTIM JR. F.; ANDRADE, P. R. G. SERRANO. Uma análise regional de vazões na bacia do rio Paraguaçu – BA. In.: Anais do XI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. João Pessoa-PB. 2012. Disponível em: <https://eventos.abrh.org.br/xisrhn/>.