



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ISABELA DE ARAÚJO SOUZA FREITAS

**PEGADA HÍDRICA POPULACIONAL EM REGIÃO SEMIÁRIDA: um estudo da
influência do setor industrial no consumo indireto de água no Agreste Pernambucano**

Caruaru

2024

ISABELA DE ARAÚJO SOUZA FREITAS

PEGADA HÍDRICA POPULACIONAL EM REGIÃO SEMIÁRIDA: um estudo da influência do setor industrial no consumo indireto de água no Agreste Pernambucano

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Civil do Campus Agreste da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, na modalidade de artigo científico, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Saneamento

Orientadora: Profa. Dra. Elizabeth Amaral Pastich Gonçalves

Caruaru

2024

AGRADECIMENTOS

Não poderia começar de forma diferente, senão expressando a minha reverência e gratidão a Deus, cuja bondade, misericórdia e coragem são uma constante em minha existência. Em tempos de angústia e triunfo, encontrei n'Ele o refúgio e a força. Vejo essa conquista como uma manifestação das promessas divinas em minhas jornadas e, de forma humilde, dou-Lhe toda honra, louvor e glória. Entregue o teu caminho ao Senhor, confia n'Ele e Ele o fará.

Gostaria de expressar a minha sincera gratidão aos meus pais, Manasés Freitas de Lira e Silva e Nereuma de Araújo Souza Freitas, por seu amor incondicional, paciência incansável e participação constante. Se obtive êxito em minhas conquistas, isso se deve ao vosso alicerce, que foi durante toda a minha vida a base mais sólida. Agradeço as lágrimas e sorrisos que partilhamos, o apoio e, acima de tudo, o investimento que tive em meus sonhos. Vocês me ensinaram sobre virtudes e escolhas, e sempre me guiaram pelos caminhos da justiça e bondade.

À minha irmã Beatriz de Araújo Souza Freitas, que tem sido um consolo para mim e uma parceira constante em todas as fases da minha existência. Agradeço todos os gestos de amor e apoio que nos proporcionaram momentos de grande alegria e força em momentos delicados. A nossa ligação é um tesouro inestimável e sei que estaremos sempre uma pela outra para todo o sempre.

Às minhas avós, Maria José de Araújo Souza e Ruta Freitas de Lira, que sempre estiveram presentes em minhas jornadas, minha gratidão por cada oração, por cada abraço caloroso e por todas as refeições banhadas de amor a fim de me trazer alento. Aos meus avós Nereu Ferreira de Souza (*in memoriam*) e Manoel Amaro da Silva (*in memoriam*), sei que de onde estiverem estão a olhar por mim.

Agradeço aos meus familiares: Nereu Júnior, Nicácio Araújo, Mavial Freitas e Manoel Freitas (*in memoriam*), por seus exemplos de compromisso e excelência. Nádja Mascarenhas, Nikaelly Araújo, Mailde Freitas, Rúbia Freitas e Magali Freitas, que através de suas vivências me ensinaram sobre a resiliência feminina. Também aos meus tios Neson Mascarenhas, Robervânia Freitas e Letícia Souza, e aos meus primos, por todos os momentos de alegrias e descontração que compartilhamos, cada um de vocês contribuiu para a minha jornada, com sorrisos genuínos e apoio constante.

Expresso minha mais profunda gratidão aos meus queridos tios, Josenilson Gouveia e Nadjane Araújo, suas ações generosas em ajustar suas próprias rotinas e horários para facilitar minha vida longe de casa são testemunhos do amor incondicional e do apoio incomparável que sempre me ofereceram. Cada gesto, feito em prol do meu bem-estar, ressoa em meu coração

com uma gratidão que transborda em emoção. Que este gesto de gratidão possa alcançar o âmago do seu ser e trazer um reflexo do amor e apreço que sinto por vocês.

Gostaria de expressar o meu sincero agradecimento à minha orientadora, Profa. Dra. Elizabeth Amaral Pastich Gonçalves, por sua orientação e apoio, que foram fundamentais para o êxito desta pesquisa. Seu comprometimento e conhecimento foram extremamente importantes para o meu progresso. Agradeço imensamente por sua parceria durante todo esse processo.

Minha gratidão aos membros da minha banca avaliadora, Profa. Dra. Simone Machado Santos e Profa. Ma. Thais Tainan dos Santos Silva, por terem me permitido defender este trabalho através de suas análises aprofundadas e contribuições relevantes.

Aos meus estimados professores, entre os quais destacam-se José Moura, Érika Marinho, Edevaldo Alves, Marília Marinho, Saulo de Tarso, Renato Mahon, Shirley Minnell, Kênia Kelly, Juliana von Schmalz, Giuliana Bono, Maria Victória Leal, Dannúbia Pires e Débora Assis, agradeço imensamente a oportunidade de ter a oportunidade de adquirir conhecimento não apenas sobre a profissão, mas também sobre a vida com cada um de vocês.

Gostaria de expressar minha mais profunda gratidão a Jocilene Otília, coordenadora exemplar do curso. Seu comprometimento vai além do profissionalismo, tornando-se uma presença constante em minha vida. Não apenas compartilhando seu conhecimento acadêmico, mas também me inspirando com sua sabedoria e empatia, tornando-se uma amiga e mentora para mim.

Ao meu querido amigo André Inácio, ao longo dos anos, o seu exemplo de perseverança e superação permeou nossas conversas e nossos dias, incentivando-me a persistir diante das adversidades e a buscar o melhor em mim mesmo. A sua amizade é um presente inestimável que guardarei para sempre em meu coração. Cada dia ao seu lado foi um privilégio, o que tornou a minha trajetória acadêmica na UFPE mais clara e significativa.

Ao meu melhor amigo, Hiago Simões, sua fé incansável em mim, seu acolhimento e a sua amizade sincera foram as âncoras que me mantiveram firme, mesmo diante das adversidades da vida. Obrigada por sempre estar ao meu lado trazendo leveza aos meus dias, em cada etapa do caminho. Sua compreensão e o seu apoio foram um presente valioso que guardo para sempre e que me lembrará do poder transformador da amizade verdadeira. Agradeço profundamente por ter a sua companhia nesta jornada.

Gostaria de expressar minha gratidão aos meus futuros colegas de profissão que também participaram desta jornada: Érica Rafaela, Jhonatta Deivid, Pedro Henrique, Soffia Valéria, Anny Karolinny, Gleyce Nair, Jean Firmino e Isabelle Sales, e aos demais que tive ao longo do caminho. Aos amigos: Larissa Evelyne, Ana Laura, Beatriz Araújo, Marisa Freitas, Mariana

Carvalho, Débora Lúcia e ao meu cunhado Bruno Vitor, a vossa presença e apoio foram fundamentais durante a minha caminhada.

Por fim, toda minha gratidão à Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), que me acolheu como uma segunda casa durante a minha trajetória acadêmica, não apenas me proporcionando uma educação de excelência, como também um ambiente onde tive a oportunidade de me encontrar e me desenvolver como profissional, e, acima de tudo como ser humano.

Pegada hídrica populacional em região semiárida: um estudo da influência do setor industrial no consumo indireto de água no Agreste Pernambucano

Population water footprint in a semi-arid region: a study on the influence of the industrial sector on indirect water consumption in Agreste region of Pernambuco

Isabela de Araújo Souza Freitas¹

RESUMO

Este estudo concentra-se no impacto da economia na Pegada Hídrica (PH), uma ferramenta crucial para medir a sustentabilidade no uso da água em uma determinada área. O objetivo primordial foi avaliar a PH média dos habitantes da região Agreste de Pernambuco, estabelecendo relações com indicadores sociais e econômicos relevantes. Os resultados revelaram que o valor desse indicador na região está abaixo da PH *per capita* global e da média brasileira, uma característica atribuída às condições semiáridas predominantes na região.

Foi observada uma relação linear entre a renda e a PH, evidenciando que populações com maior poder aquisitivo tendem a consumir mais produtos, resultando em níveis mais elevados de PH. O estudo também direcionou seu foco para o perfil industrial e de desenvolvimento de cada município, destacando como esses aspectos se refletem no padrão de consumo de água da população local.

Por último, é crucial ressaltar que a qualidade da água desempenha um papel fundamental na gestão dos recursos hídricos. Algumas atividades industriais podem ser menos intensivas no consumo de água, o que pode orientar a alocação eficiente dos recursos hídricos disponíveis para promover o desenvolvimento sustentável das cidades da região Agreste de Pernambuco. Este estudo enfatiza a importância de abordagens integradas e sustentáveis na gestão dos recursos hídricos, visando o equilíbrio entre as necessidades econômicas e ambientais da região.

Palavras-chave: consumo de água; recursos hídricos; indicadores.

¹Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco. E-mail: isabela.souzafreitas@ufpe.br

ABSTRACT

This study focuses on the impact of the economy on water footprint (WF), a crucial tool for measuring water sustainability in a particular area. The primary objective was to assess the average WF of the inhabitants in the Agreste region of Pernambuco, establishing relationships with relevant social and economic indicators. The results revealed that the value of this indicator in the region is below the global *per capita* WF and the Brazilian average, a characteristic attributed to the predominant semi-arid conditions in the region.

A linear relationship between income and WF was observed, indicating that populations with higher purchasing power tend to consume more products, resulting in higher levels of WF. The study also directed its focus to the industrial and developmental profile of each municipality, highlighting how these aspects are reflected in the water consumption pattern of the local population.

Lastly, it is crucial to emphasize that water quality plays a fundamental role in water resource management. Some industrial activities may be less intensive in water consumption, which can guide the efficient allocation of available water resources to promote sustainable development in the cities of the Agreste region of Pernambuco. This study underscores the importance of integrated and sustainable approaches in water resource management, aiming to balance the economic and environmental needs of the region.

Keywords: water consumption; water resources; indicators.

DATA DE APROVAÇÃO: 26 de março de 2024.

1 INTRODUÇÃO

A inclusão de indicadores de sustentabilidade como ferramentas essenciais na avaliação do uso apropriado dos recursos naturais é uma resposta à tentativa de medir o desequilíbrio ambiental causado pela humanidade (Ercin; Aldaya; Hoekstra, 2011). Nesse contexto, a Pegada Hídrica (PH) surge como uma ferramenta de sustentabilidade ambiental, sendo definida como o volume total de água utilizado de forma direta e indireta ao longo de todo o ciclo de produção e consumo de bens e serviços.

Esse conceito foi introduzido por Hoekstra e Hung (2002) como um indicador para mapear o impacto do consumo humano na água doce ao redor de todo o globo. A PH está relacionada às diferentes formas de uso dos recursos hídricos por habitante em uma determinada região geográfica, conforme explicado por Hoekstra e Chapagain (2007). O seu conceito surgiu do termo “água virtual”, que descreve a quantidade de água incorporada em *commodities*. Essencialmente, esse conceito envolve as transações comerciais e o envolvimento indireto da água presente nos produtos e serviços, desde sua produção, consumo e transporte, relacionados ao cotidiano da população.

A PH não se restringe apenas à quantificação do uso da água, mas possui como principal objetivo revelar as interações entre consumo humano, uso da água e comércio global. Este conceito considera toda a água envolvida na cadeia de produção, incluindo as características específicas da região produtora, bem como os aspectos ambientais e tecnológicos relacionados (Carmo *et al.*, 2007). Tais interações são fundamentais para compreender os impactos do consumo e promover práticas sustentáveis de manejo da água.

Conforme indicado por Hoekstra *et al.* (2011), a organização e as características da produção de bens, além das cadeias de abastecimento, influenciam fortemente a demanda por água. O reconhecimento do uso indireto deste recurso em produtos industriais auxilia na compreensão da natureza global da água doce e na avaliação dos impactos, nos corpos hídricos, decorrentes dos padrões de consumo apresentados pela sociedade moderna.

O estado de Pernambuco, localizado na região Nordeste do Brasil, é dividido em 5 mesorregiões e 19 microrregiões geográficas, conforme estabelecido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1991). Uma das mesorregiões é o Agreste Pernambucano, de clima predominantemente semiárido (seco e quente), com precipitação anual média em torno de 750 mm. A mesorregião é marcada por uma diversidade geográfica acentuada, sendo dividida em seis microrregiões: Vale do Ipojuca, Alto e Médio Capibaribe, Brejo Pernambucano, Garanhuns e Vale do Ipanema.

De acordo com a Agência Pernambucana de Águas e Clima - APAC, a mesorregião apresenta períodos de maior precipitação entre abril e agosto, enquanto os meses de setembro e janeiro são os de menor precipitação. Nos primeiros dois meses do período de chuvas, a precipitação tem permanecido dentro do padrão normal, sendo reduzida no mês seguinte, mês de seca, e novamente em julho, à exceção do ano de 2023, que apresentou volume irregular de chuvas nos meses de maio e junho (APAC, 2017).

O clima semiárido do Agreste Pernambucano, caracterizado por baixas precipitações, temperaturas elevadas e períodos de estiagem longos, inevitavelmente afeta a atividade

econômica e o estilo de vida das populações locais. Além disso, o volume de água de superfícies líquidas, em determinado período, não é totalmente disponível devido à evaporação, em especial em regiões com alta demanda atmosférica, tal como em áreas áridas e semiáridas (Silva *et al.*, 2006). O uso adequado dos recursos hídricos e a adaptação às condições climáticas são essenciais para assegurar a sustentabilidade e a resiliência da região.

No Agreste, alguns municípios destacam-se no setor industrial; no entanto, a gestão dos recursos hídricos locais apresenta desafios significativos, exigindo ferramentas que auxiliem os gestores públicos na tomada de decisões. No que diz respeito à indústria, a utilização da água de forma desigual é um fator relevante a ser considerado, no âmbito de gerenciamento dos recursos hídricos, deve-se compreender o impacto na cadeia produtiva que os períodos de estiagem, característicos para cada região, tem na cadeia produtiva, ou seja, quanto mais abundante em água for a microrregião, maior a tendência de desenvolvimento do setor.

Assim, vê-se que o conhecimento de ferramentas como a PH pode embasar a criação de políticas públicas e privadas voltadas à preservação e uso racional da água. É válido ressaltar que o setor industrial é responsável por uma parcela significativa do consumo de água potável no mundo, o que reforça a urgência de melhorar a distribuição e reutilização desse recurso valioso..

Quanto ao padrão de consumo, nas últimas décadas, testemunhou-se um período de considerável crescimento populacional em todo o mundo, cujo impacto foi significativo tanto no aspecto econômico quanto no ambiental, especialmente devido à produção de novos itens. Nesse contexto, a análise da PH levanta questões sobre o consumo e a gestão da água, além de auxiliar na compreensão e utilização eficiente e sustentável dos recursos hídricos.

Este trabalho pretendeu avaliar o consumo de água da população da mesorregião do Agreste e sua relação com alguns indicadores sociais, por meio da análise da PH local. Também foi avaliado o impacto da indústria local na PH, na tentativa de identificar as interferências da cadeia produtiva regional no uso da água. Ao detalhar o perfil do consumo industrial, o estudo buscou auxiliar na identificação de padrões de consumo e na conscientização da importância de preservar os recursos hídricos, a fim de minimizar os efeitos das longas estiagens e garantir o desenvolvimento socioeconômico da região.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Este trabalho possui como objetivo principal trazer a compreensão do impacto causado pela indústria no consumo indireto de água pela população do semiárido pernambucano, a fim de nortear soluções de manejo e distribuição que possam levar ao crescimento econômico e social de forma eficiente e sustentável.

1.1.2 Objetivos específicos

- Analisar os perfis dominantes na indústria das microrregiões do Agreste;
- Entender a relação entre períodos de estiagem com os impactos nos custos operacionais;
- Identificar zonas industriais com maior consumo de água e impacto econômico;
- Correlacionar características das microrregiões estudadas com o seu impacto na PH.

2 METODOLOGIA

O presente estudo concentra-se na análise da mesorregião do Agreste. Cumpre ressaltar que a microrregião do Vale do Ipanema não foi analisada quanto à PH devido à falta de respostas dentro do escopo do estudo. Os dados utilizados foram aqueles obtidos por Silva *et al.* (2022). Para a coleta das informações necessárias, os consumidores entrevistados foram selecionados a partir de uma amostra representativa de residentes de 37 cidades da região, abrangendo um total de 71 municípios e aproximadamente 2,4 milhões de habitantes.

A seleção dos participantes seguiu o método proposto por Levine, Berenson e Stephan (2000), estimando-se a média populacional para calcular a amostra mínima necessária, que foi de 181 questionários. Foram obtidas 625 respostas ao longo de um período de 12 meses. A Tabela 1 contém informações referentes aos entrevistados (Silva *et al.*, 2022).

Tabela 1 – Características sociodemográficas dos entrevistados.

Faixa etária (anos)	Número de entrevistados	%
15-20	115	18,40
21-30	365	58,40
31-40	87	13,92
41-50	38	6,08
51-60	13	2,08
> 60	7	1,12

Faixa de rendimento anual (R\$)	Número de entrevistados	%
0-12000	324	51,84
12001-36000	254	40,64
36001-120000	39	6,24
> 120000	8	1,28

Fonte: Silva *et al.* (2022).

As entrevistas foram conduzidas por meio da aplicação de questionários digitais, através da plataforma eletrônica *Google Forms*. O questionário, baseado nos critérios da calculadora de PH, foi modificado para incluir valores específicos de consumo, alimentação, indústria e renda da população dos municípios em questão. Os dados coletados foram inseridos individualmente na ferramenta de determinação de PH, a fim de obter o valor individual de cada participante, utilizando a calculadora eletrônica *Water Footprint Network*.

O método adotado para analisar a PH *per capita* e sua relação com o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), pluviosidade e perfil industrial das microrregiões envolveu diversas etapas, estruturadas para uma compreensão abrangente e detalhada do fenômeno. Inicialmente, os dados de PH *per capita* foram coletados e filtrados, abrangendo todos os municípios da região estudada, de forma a garantir a inclusão de informações relevantes para uma análise mais ampla da distribuição e consumo de recursos hídricos.

Em seguida, esses dados foram calculados e avaliados para cada uma das cinco microrregiões delimitadas, permitindo uma comparação com o valor geral e identificando padrões e discrepâncias regionais no consumo de água *per capita*. Posteriormente, foi realizada uma análise específica da parcela industrial da PH, isolando-a para compreender sua contribuição relativa ao consumo total de água em cada microrregião. Além disso, foram coletados dados do IBGE referentes ao IDH dos municípios e informações sobre pluviosidade; esses dados foram utilizados para calcular a média dos índices em cada microrregião, juntamente com a média da renda da população e da PH *per capita*.

A análise comparativa entre os diferentes parâmetros permitiu a identificação de possíveis correlações e relações de causa e efeito entre o desenvolvimento humano, as condições climáticas, o perfil industrial e o consumo hídrico em cada microrregião. Por fim, como complemento à análise, foi realizado um estudo do perfil industrial predominante em cada microrregião, em conjunto com uma avaliação do respectivo consumo de água, contribuindo para uma compreensão mais detalhada das dinâmicas econômicas e ambientais locais.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

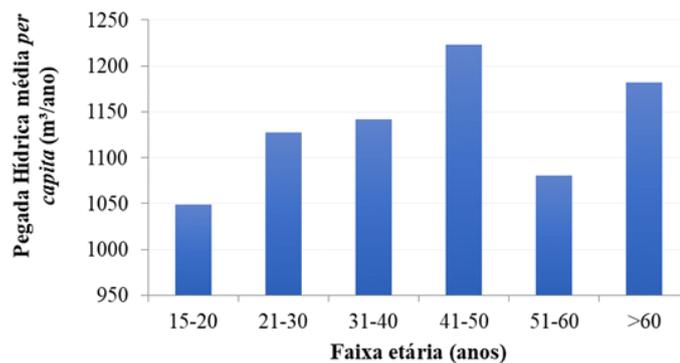
A seguir, são apresentados os resultados obtidos através da análise dos dados referentes à PH, destacando as principais tendências, padrões e conclusões encontradas. Os resultados foram organizados de acordo com os objetivos específicos do estudo, visando fornecer *insights* relevantes a respeito do tema abordado.

3.1 Caracterização da PH

A caracterização da PH foi desenvolvida considerando os diferentes setores de atividade, processos e produtos, avaliando esses aspectos de forma a entender a distribuição da PH na atividade industrial por microrregião, além da sua relação com o indicador em todo o Agreste. Foram observados também os critérios de faixa etária e renda dos entrevistados e sua associação com a parcela industrial deste marcador, assim como a predominância do tipo de setor industrial e sua participação na economia do estado. Foi utilizado um fator de ponderação de relação entre a participação da microrregião e a soma de todas estas no estado.

Os resultados obtidos referentes à faixa etária e renda podem ser observados nas Figuras 1 e 2 a seguir.

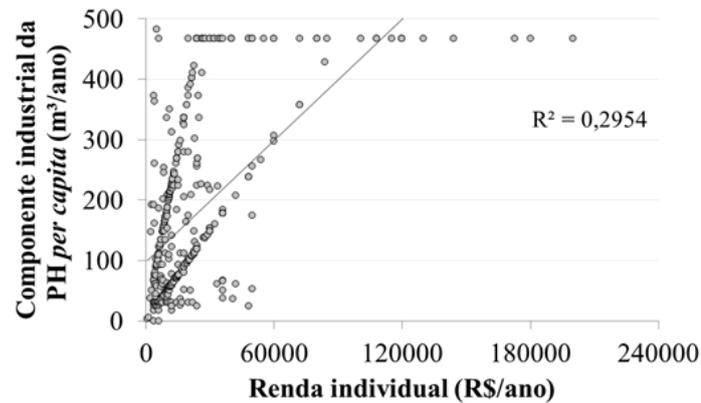
Figura 1 – Relação entre a faixa etária e a PH geral do Agreste.



Fonte: Silva *et al.* (2022).

É possível verificar na Figura 1 que as faixas etárias que apresentam maior PH são as das pessoas entre 41 e 50 anos e acima de 60 anos.

Figura 2 – Relação entre a renda individual e a parcela industrial da PH no Agreste.



Fonte: Silva *et al.* (2022).

Na Figura 2, é possível averiguar que a parcela industrial da PH apresenta crescimento relacionado a renda individual dos entrevistados na pesquisa, até que se alcança um patamar de estabilidade na curva, que pode indicar que as mudanças no consumo hídrico industrial tende a equiparar-se de acordo com um limiar de renda.

3.2 Índice pluviométrico

O índice de precipitação no Agreste Pernambucano e suas microrregiões é uma informação relevante para o desenvolvimento do setor industrial e das necessidades gerais da região. Sendo o Agreste uma região semiárida, o regime pluviométrico é um dos principais fatores que interferem na disponibilidade de água e, conseqüentemente, nas atividades industriais. O ciclo hidrológico envolve a circulação da água na Terra, impulsionada pela energia solar, com componentes como precipitação, escoamento e evapotranspiração (Chang, 2002).

As chuvas são essenciais para o ciclo hídrico, contribuindo para a recarga dos aquíferos, o abastecimento de reservatórios e a irrigação de culturas agrícolas, o que, por sua vez, possui um impacto direto nas indústrias da região. No entanto, a variação do índice pluviométrico é um desafio relevante para o setor industrial, especialmente para as indústrias que dependem diretamente da disponibilidade de água para a execução de suas atividades.

Em períodos de estiagem, as indústrias regionais podem enfrentar escassez de água, o que ocasiona aumentos nos custos de produção e limitações operacionais decorrentes da inexistência de um sistema de abastecimento hídrico adequado, gerando impactos adversos na produção industrial e na economia local (Setti, 2001). Por outro lado, quando há incidência de índices de precipitação maiores, as indústrias se beneficiam da oferta de água. Maiores volumes de precipitação também podem contribuir para a recuperação dos corpos hídricos locais e reduzir a pressão sobre os aquíferos e mananciais.

Além disso, o índice de precipitação está diretamente ligado ao desenvolvimento de projetos e políticas de gestão de recursos hídricos, incluindo programas de conservação, reuso e recuperação de água, necessários para assegurar a sustentabilidade das atividades industriais regionais. Dessa forma, a análise do índice pluviométrico na região de estudo, isto é, a mesorregião do Agreste e suas respectivas microrregiões, é indispensável para compreender as dinâmicas do setor industrial e suas necessidades em relação à disponibilidade de água.

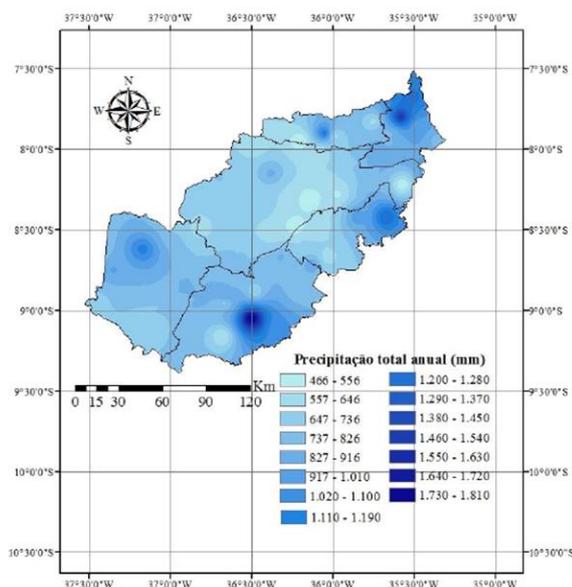
As Figuras 3 e 4 a seguir contêm representações do estado, setorizado por microrregiões, e também da área de interesse do estudo com seus respectivos indicadores de chuva.

Figura 3 – Microrregiões do estado de Pernambuco.



Fonte: IBGE (2024).

Figura 4 – Microrregiões do Agreste Pernambucano e média pluviométrica anual.



Fonte: Santos *et al.* (2014).

3.3 Perfil industrial

O tipo de indústria predominante em cada microrregião gera um impacto direto na rentabilidade dos negócios; por exemplo, setores como o têxtil e o alimentício podem apresentar margens de lucro distintas devido à competitividade do mercado, custos de produção e demanda dos produtos. O consumo de água nas indústrias possui uma influência significativa nos custos operacionais e, conseqüentemente, na rentabilidade das empresas.

Além disso, a dimensão e escala das indústrias também são aspectos relevantes, os sistemas tradicionais de produção passaram por transformações significativas devido às novas abordagens voltadas para o aumento da concorrência e competitividade entre as empresas (Farhanna; Amir, 2009). Sendo assim, as empresas de grande porte podem ter economias de escala que as permitam reduzir os custos de produção, inclusive aqueles relativos ao consumo direto de água. Por outro lado, empresas de pequeno e médio porte podem vir a enfrentar dificuldades para otimizar o uso da água e manter a rentabilidade em um intervalo aceitável.

Outro fator diretamente relacionado ao potencial rentável é a eficiência dos processos industriais. De acordo com Smith e Jhonson (2010), a eficiência dos processos é fundamental para o sucesso organizacional; empresas que adotam práticas de gestão eficientes e tecnologias sustentáveis são capazes de reduzir custos e aumentar a rentabilidade, mesmo que o consumo de água cresça simultaneamente. A disponibilidade de água também interfere na rentabilidade industrial, sendo que as indústrias localizadas em microrregiões com acesso limitado à água têm seus rendimentos afetados por custos adicionais para a obtenção daquela.

A existência de políticas governamentais e regulamentações ambientais que incentivam práticas sustentáveis, como a reutilização da água e a conservação dos corpos hídricos, podem aumentar os custos operacionais das indústrias. No entanto, também contribuem para melhorar a imagem das companhias e aprimorar sua aceitação pelo mercado consumidor. Assim, pode-se verificar que as relações entre o consumo de água, o perfil industrial e a rentabilidade das empresas são complexas e multifacetadas. A compreensão dessas interações é imprescindível para o desenvolvimento de estratégias ambientalmente amigáveis e para estimular adequadamente o crescimento econômico sustentável na região.

A Tabela 2 contém informações referentes ao tipo de indústria predominante em cada microrregião, assim como suas participações percentuais no estado e a relação ponderada. Pode-se perceber a forte influência que a microrregião do Vale do Ipojuca possui no panorama do estado de Pernambuco, em relação às demais microrregiões. Esse fato pode ser explicado pela presença do município de Caruaru, que possui um polo industrial bastante diversificado (com

um distrito industrial na zona urbana) e um comércio desenvolvido.

Tabela 2 – Relação entre o tipo de indústria e sua participação na economia estadual.

Microrregião	Indústria predominante	Participação no estado (%)	Relação ponderada (%)
Vale do Ipojuca	Química de materiais não metálicos	11,00	83,26
Alto Capibaribe	Produção têxtil	0,42	3,24
Médio Capibaribe	Alimentos e bebidas	0,94	7,19
Brejo Pernambucano	Produção de cerâmica	0,68	5,20
Garanhuns	Laticínios	0,15	1,11

Fonte: Autora (2024).

Quanto às microrregiões do Alto e Médio Capibaribe, destacam-se nelas os setores de produção têxtil e de alimentos, respectivamente. Ambas as indústrias movimentam um grande volume de capital e impulsionam as economias locais; no caso do setor têxtil, as cidades de Santa Cruz e Toritama são referências em todo o estado.

No que tange o Brejo Pernambucano, sua economia é formada por um conjunto de micro setores que, sozinhos, não possuem tanta expressividade; o setor de produção cerâmica, por ser o de maior destaque na região, foi escolhido para representá-la na Tabela 2.

Por fim, a microrregião de Garanhuns traz os menores indicadores, tratando da indústria de laticínios. Isso se dá não por seu baixo consumo hídrico ou pouca lucratividade, uma vez que de acordo com Saraiva et. al (2009), o consumo desse setor vai desde a criação do gado produtor de leite até a manutenção das fábricas, mas sim pela dimensão setorial, a qual não é tão significativa quanto as das demais microrregiões,

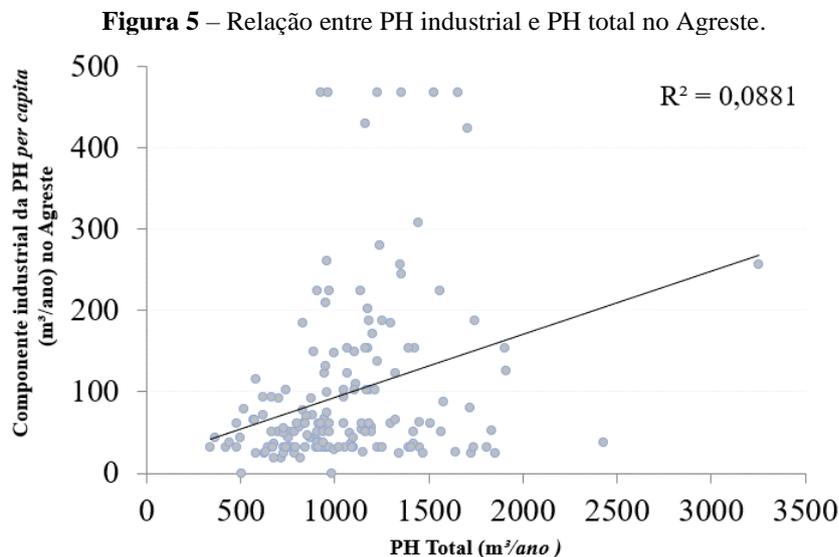
3.4 PH por microrregião

Cada microrregião do Agreste apresenta características distintas em termos de PH, influenciadas por diversos fatores, dentre eles os perfis industrial, agrícola e demográfico, além das condições climáticas e hídricas. As microrregiões com maior concentração de indústrias apresentam maior perspectiva hídrica devido às altas demandas para processos de produção, resfriamento e limpeza. Setores como os de confecção, alimentos e cerâmica, particularmente, consomem bastante água. Atividades agrícolas também impactam na disponibilidade de água, sendo que a utilização desta na agricultura, principalmente para a irrigação, pode representar uma parcela significativa do uso hídrico total em algumas áreas.

As utilizações residencial e não residencial da água também contribuem para a PH local. O uso em residências, escolas, hospitais e outros locais pode vir a ter um grande impacto na demanda total de água na região. Por isso, a implementação de práticas eficientes de gestão e conservação da água pode resultar na redução das emissões de efluentes em comparação com regiões que não adotam medidas semelhantes. O reúso de água, a reciclagem de resíduos sólidos e outras ações de conservação contribuem para a redução do consumo total de água.

A disponibilidade hídrica na região, incluindo rios, aquíferos e reservatórios, também influencia a determinação da sua PH. Os principais desafios são a irregularidade e ausência de periodicidade no abastecimento, desmatamento, poluição das nascentes, falta de saneamento e má gestão dos recursos hídricos (May, 2004). Além disso, áreas com acesso limitado podem apresentar maior carga hídrica, devido à necessidade de fontes distantes ou menos acessíveis.

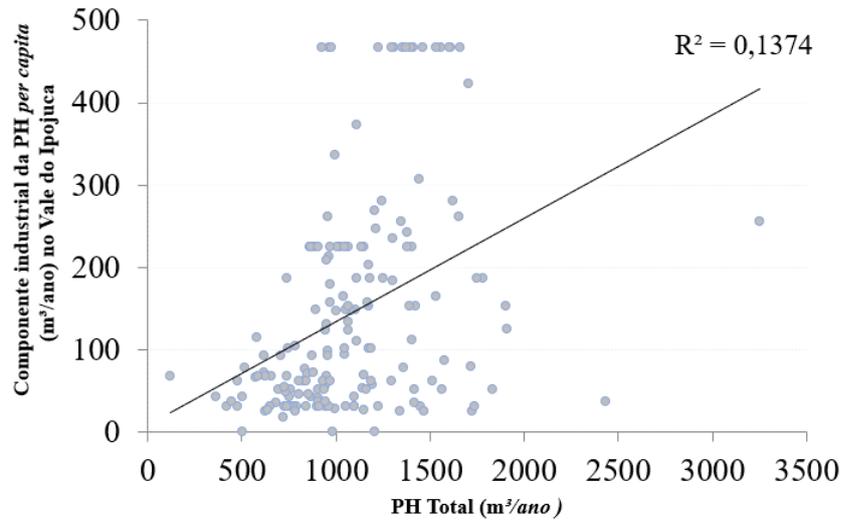
Das Figuras 5 a 10, é possível extrair *insights* valiosos sobre o comportamento da PH industrial nas cinco microrregiões analisadas, bem como sua relação com a PH industrial total no Agreste Pernambucano. Através dos gráficos apresentados, é possível identificar algumas tendências que ajudam a entender como o setor industrial de cada microrregião contribui para o consumo global de água na região.



Fonte: Autora (2024).

O comportamento da dispersão na situação anterior é justificado pela diversidade industrial presente no Agreste, que faz com que a relação entre a componente industrial da PH apresente pouca correspondência com o marcador geral, indicado pelo coeficiente de determinação R^2 da linha de tendência.

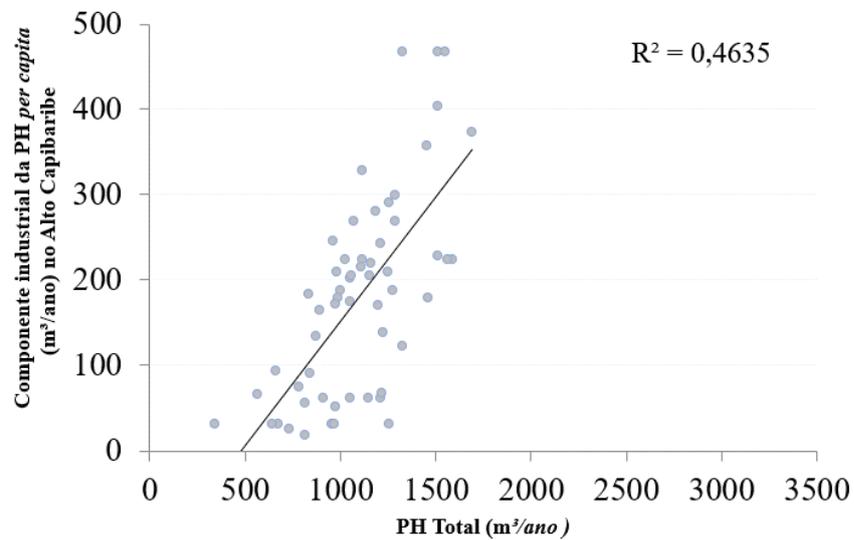
Figura 6 – Relação entre PH industrial e PH total no Vale do Ipojuca.



Fonte: Autora (2024).

O Vale do Ipojuca obteve o maior número de respostas na etapa de coleta de dados da pesquisa desenvolvida por Silva *et al.* (2022); assim, a PH desta microrregião apresentou um padrão de dispersão superior aos dos demais casos.

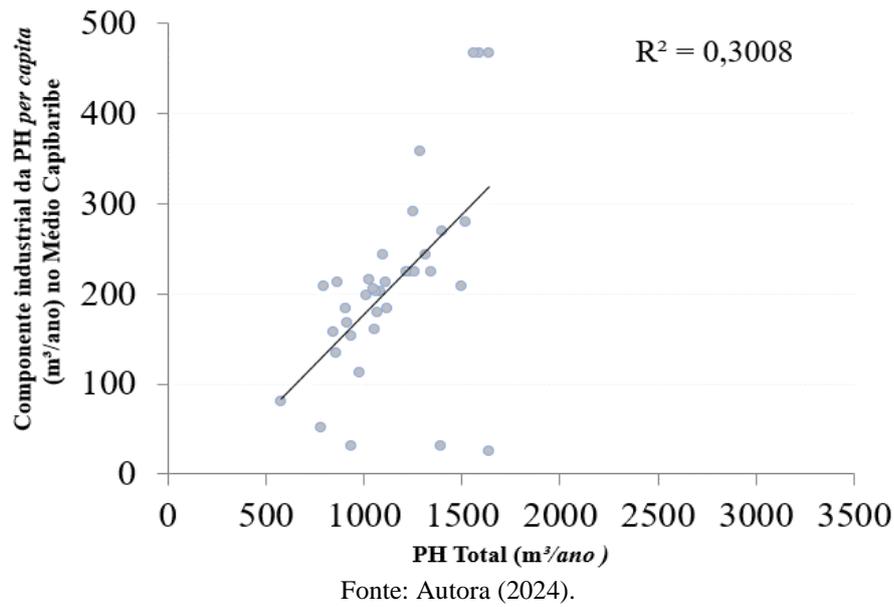
Figura 7 – Relação entre PH industrial e PH total no Alto Capibaribe.



Fonte: Autor (2023).

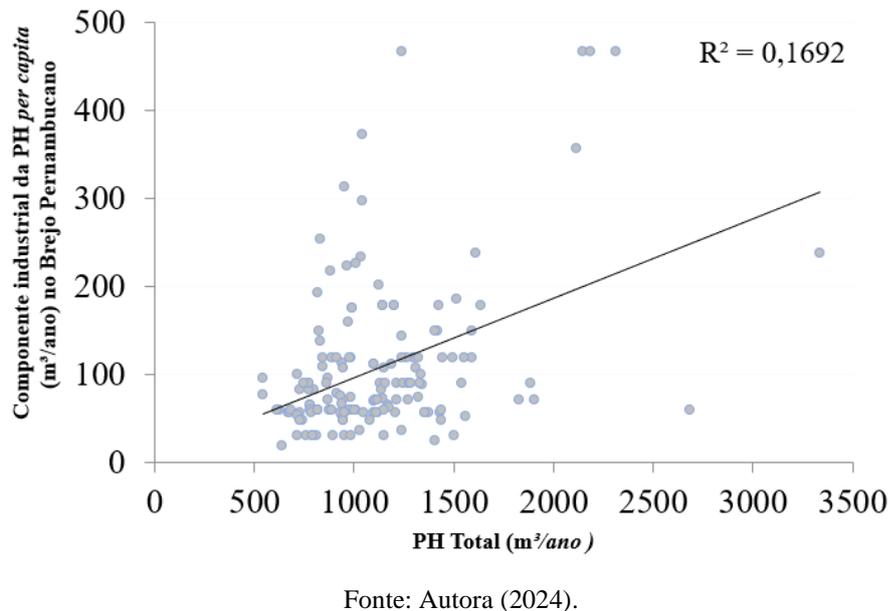
O Alto Capibaribe apresenta elevado PH industrial em virtude do consumo de água envolvido nos processos da indústria têxtil.

Figura 8 – Relação entre PH industrial e PH total no Médio Capibaribe.



A microrregião do Médio Capibaribe possui o menor número de dados coletados, representando cerca de 5% da amostra avaliada; entretanto, a relação entre os dois índices avaliados foi satisfatória, apontando ao fato de que um estudo seccional da mesorregião Agreste é capaz de indicar o comportamento mais detalhado da parcela individual.

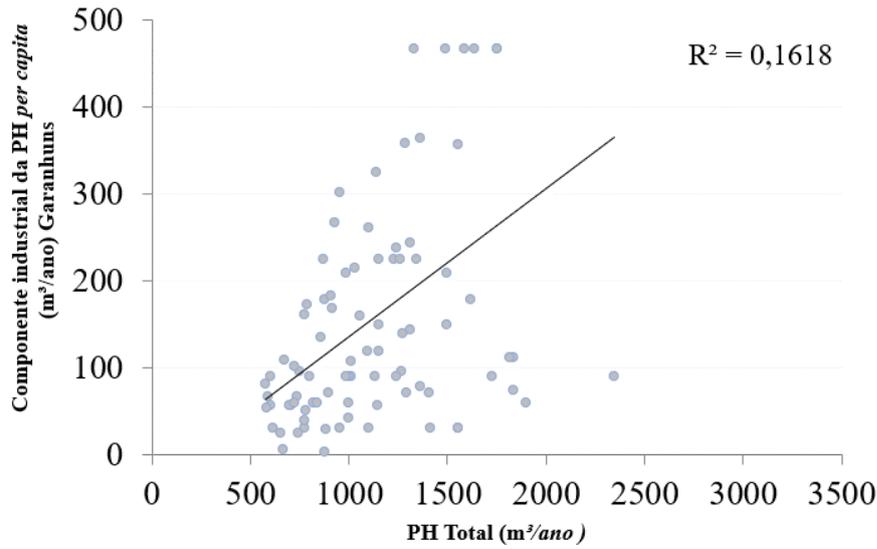
Figura 9 – Relação entre PH industrial e PH total no Brejo Pernambucano.



No Brejo Pernambucano, a dispersão dos dados deu-se pela ausência de um setor industrial predominante, apresentando resultado similar ao Vale do Ipojuca. No entanto, este resultado é advém de condições diversas, em especial a amplitude do setor industrial nessa microrregião,

formado especialmente por grupos industriais diversificados, desde a indústria de bebidas e alimentos, produção de materiais cerâmicos e itens de comercialização local, entretanto, sem grande expressividade de maneira individual, o que ilustra a existência de múltiplos fatores capazes de impactar na PH local.

Figura 10 – Relação entre PH industrial e PH total em Garanhuns.

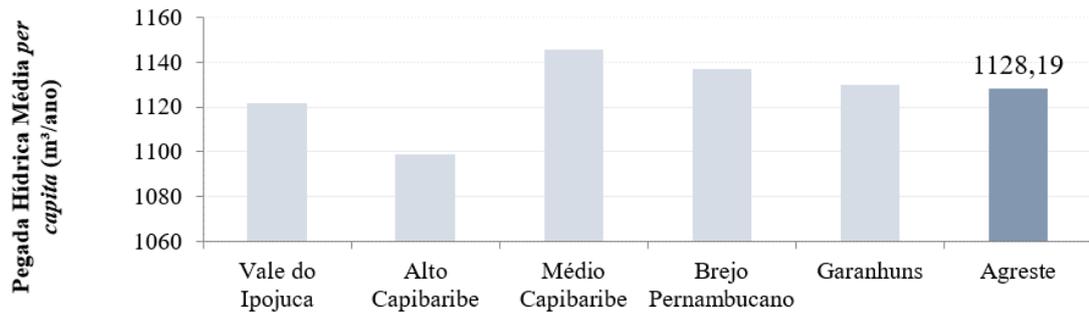


Fonte: Autora (2024).

Na microrregião de Garanhuns, a PH apresenta valores dispersos e pouco associados ao marcador geral em virtude da pequena influência do setor de laticínios no panorama geral do estado, pois, embora o setor demande um elevado consumo hídrico, este representa menos de 1% no que se refere ao consumo industrial total do estado.

Na Figura 11, é possível comparar a PH das microrregiões com o total apresentado pela região Agreste. O gráfico oferece uma visão do consumo de água nas diferentes microrregiões analisadas, permitindo observar com maior precisão as variações na demanda hídrica entre as microrregiões em relação ao panorama regional.

Figura 11 – Distribuição da PH por microrregião em comparação ao Agreste.



Fonte: Silva *et al.* (2022).

Através do gráfico apresentado, pode-se entender o comportamento individual de cada microrregião e avaliar se estas estão próximas à média calculada no Agreste. Tal comparação auxilia na identificação dos padrões de uso da água, visando entender quais são as principais fontes de consumo e avaliar a distribuição dos recursos hídricos na região.

3.5 Tendências e padrões relevantes relacionados à PH

O IDH, para Stanton (2007), é uma medida criada com o objetivo de encontrar métodos mais eficazes para retratar o nível de desenvolvimento humano das sociedades. Sendo composto por indicadores de saúde, educação e qualidade de vida, é possível verificar que as relações entre o IDH, o desenvolvimento industrial e o aumento da renda populacional são complexos e multifacetados, envolvendo fatores que podem ou não estar interligados. Além disso, o aumento do IDH representa um crescimento positivo no produto e na renda, destinado a atender diversas necessidades humanas, como saúde, educação, habitação, transporte, alimentação e lazer (Souza, 2017).

Por outro lado, sabe-se que o desenvolvimento industrial de uma região pode ter um impacto significativo no IDH e, particularmente, na renda *per capita*, sendo este indicador considerado mais confiável para o retrato da economia (Ferreira; Ellery Jr., 1996). A industrialização tende a gerar novos empregos e a aumentar a produção de bens e serviços (e, conseqüentemente, do consumo), contribuindo para o aumento do IDH e da qualidade de vida da população local. Entretanto, é importante lembrar que o desenvolvimento acelerado e não planejado pode acarretar problemas ambientais, como o desperdício de recursos naturais.

A PH industrial varia de acordo com os índices pluviométricos da região e a rentabilidade das atividades em andamento. De acordo com Schnitter (1994), houve uma expansão no uso de barragens para o controle de cheias e estiagens. Em áreas com baixos índices de precipitação,

a disponibilidade de água pode ser reduzida, o que impacta negativamente o desempenho das indústrias. Nesse contexto, a existência de infraestruturas como reservatórios e barragens é indispensável para atender às necessidades hídricas durante os períodos de estiagem, para que seja possível garantir a continuidade dos ciclos produtivos.

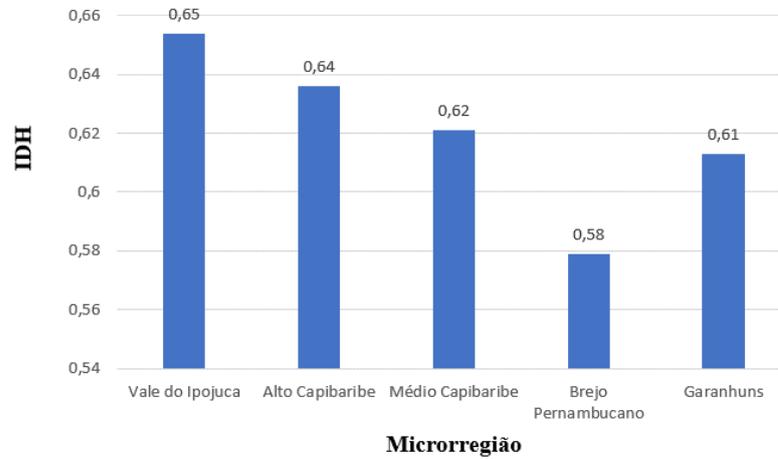
Uma das tendências observadas é a relação entre o desenvolvimento industrial e o aumento da PH. De acordo com (Souza, 2017) é possível afirmar que regiões com maior atividade industrial apresentam PH mais elevada devido ao uso intensivo de água nos processos produtivos. Essa relação se torna ainda mais complexa em áreas com baixos índices pluviométricos, onde a disponibilidade de água é limitada e o impacto das indústrias sobre os corpos hídricos é mais acentuado.

Outra tendência relevante é a variação da PH com o passar do tempo. Mudanças nos padrões de consumo, avanços tecnológicos e políticas de gestão de recursos hídricos podem influenciar diretamente a PH de uma região. A análise conduzida por Wang *et al.* (2014) investigou o impacto de cinco variáveis (intensidade no uso da água, estrutura tecnológica, população, Produto Interno Bruto (PIB) *per capita* e estrutura de consumo) na captação de água. Investimentos em tecnologias de reutilização da água podem reduzir a PH industrial, ao mesmo tempo em que a existência de programas de conservação e uso eficiente podem impactar positivamente na medida da PH *per capita*.

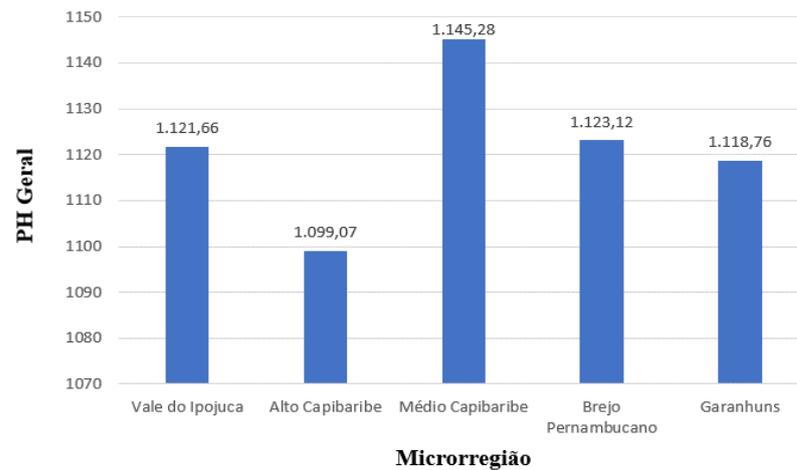
Além disso, padrões sazonais podem ser identificados na PH, com variações ao longo do ano devido a fatores como mudanças climáticas, sazonalidade de atividades agrícolas e demanda temporal por produtos industriais específicos. Essas variações podem influenciar a disponibilidade de água e a pressão sobre os recursos hídricos em diferentes épocas do ano.

Assim, vê-se que a análise de tendências e padrões relevantes relacionados à PH requer uma abordagem integrada, que leve em consideração múltiplos fatores, incluindo aspectos socioeconômicos, ambientais e de infraestrutura. Por meio de ferramentas de análise de dados e modelagem matemática, que permitem projetar diferentes cenários e analisá-los, contribuindo com elementos para a tomada de decisões (FIOCRUZ, 2020), é possível identificar padrões emergentes, antecipar impactos futuros e desenvolver estratégias eficazes para a gestão sustentável dos recursos hídricos.

As Figuras 12 a 15 contêm uma visão representativa dos indicadores mencionados, oferecendo *insights* importantes para identificar padrões e tendências que sustentam as análises e interpretações realizadas. Ao analisar esses gráficos, é possível identificar correlações entre o IDH, o desenvolvimento industrial, a renda *per capita* e a PH em diferentes contextos e microrregiões.

Figura 12 – Distribuição do IDH por microrregião.

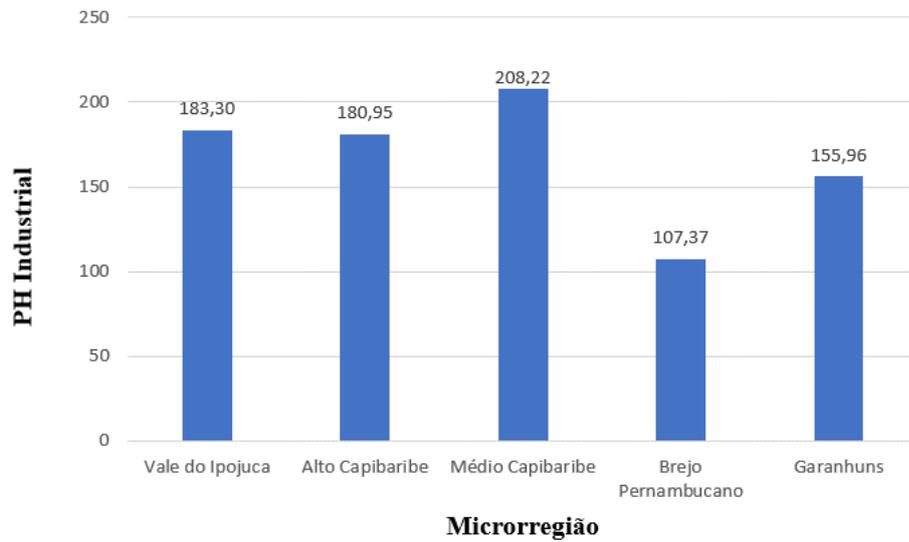
Fonte: Autora (2024).

Figura 13 – Distribuição do PH geral por microrregião.

Fonte: Autora (2024).

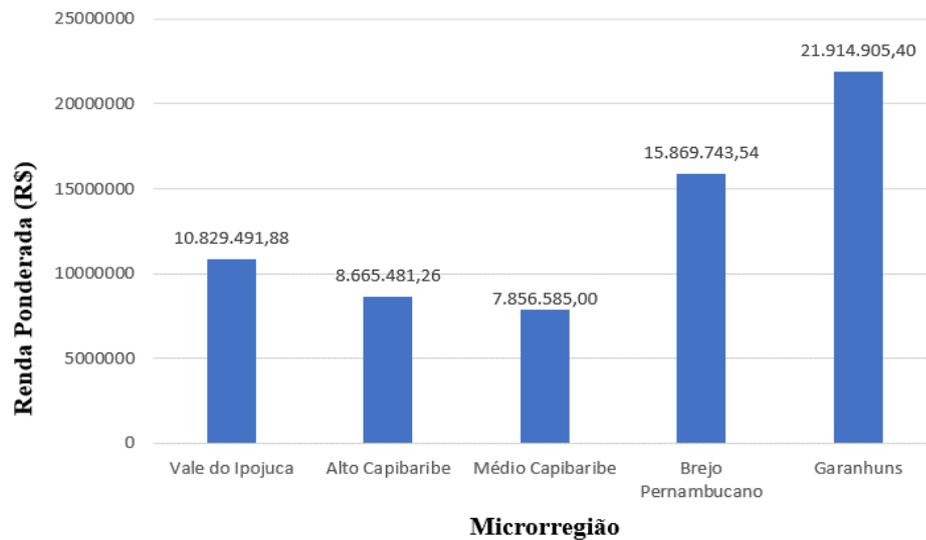
Comparando os gráficos presentes nas Figuras 12 e 13, é possível inferir que o aumento do IDH está associado a uma menor PH, indicando uma possível melhoria na eficiência do uso da água em regiões mais desenvolvidas.

Figura 14 – Distribuição da PH industrial por microrregião.



Fonte: Autora (2024).

Figura 15 – Distribuição da renda calculada com fator de ponderação.



Fonte: Autora (2024).

Na Figura 14 está representada a distribuição da PH no agreste e na Figura 15 a relação entre a renda ponderada e a microrregião estudada, estas informações foram baseadas no grupo pesquisado, com os critérios referenciados na Metodologia deste estudo.

Na Tabela 3 tem-se uma síntese dos principais indicadores socioeconômicos e ambientais coletados e analisados ao longo da pesquisa. Os dados foram obtidos por meio de fontes confiáveis, como o IBGE .

Tabela 3 – Síntese dos dados utilizados para formulação dos gráficos anteriores.

Microrregião	Vale do Ipojuca	Alto Capibaribe	Médio Capibaribe	Brejo Pernambucano	Garanhuns
--------------	-----------------	-----------------	------------------	--------------------	-----------

IDH	0,654	0,636	0,621	0,579	0,613
PH (m³/ano)	1121,66	1099,07	1145,28	1123,12	1118,76
Alimentação (m³/ano)	730,66	715,11	727,19	693,74	646,27
Uso doméstico (m³/ano)	211,13	203,05	210,03	320,97	316,52
Uso industrial (m³/ano)	183,30	180,95	208,22	107,37	155,96
Renda média (R\$)	16993,77	13689,54	12411,67	25070,69	34620,70
Soma dos rendimentos (R\$)	5081136,00	780304,00	446820,00	3885956,16	3046621,92
Renda ponderada (R\$)	10829491,88	8665481,26	7856585,00	15869743,54	21914905,40

Fonte: Autora (2024).

4 CONCLUSÕES

A compreensão do comportamento industrial desempenha um papel essencial na gestão eficiente dos recursos financeiros e naturais, imprescindíveis para o desenvolvimento econômico de qualquer região. As informações analisadas neste estudo ressaltam a importância dessa compreensão, evidenciando a estreita relação entre o crescimento industrial de uma microrregião, os padrões de consumo das indústrias locais e os impactos ambientais e socioeconômicos resultantes dessas interações.

É possível concluir que a técnica de mensuração da PH é uma boa ferramenta de apoio na tomada de decisões referente à administração dos recursos hídricos disponíveis no estado de Pernambuco, ressaltando que as demandas hídricas são influenciadas pelo perfil das indústrias de cada microrregião analisada. Ademais, é possível notar que, dentre as seis áreas de estudo, aquelas que apresentam índices pluviométricos mais elevados possuem uma PH maior, tanto geral quanto industrial, associando-as assim ao desenvolvimento da região.

No que tange a logística operacional de distribuição da água, entendeu-se que a implementação de infraestruturas que auxiliem no manejo e subsídio dos recursos hídricos nos períodos de estiagem impulsionam as economias regionais.

Além disso, ao detalhar o perfil do consumo industrial, foi possível gerar informações relevantes para o monitoramento e controle hídricos, promovendo práticas mais sustentáveis e otimizando o uso da água disponível. Considerando que a indústria é responsável por uma parcela significativa do consumo de água potável, é nítida a importância de uma abordagem abrangente na gestão hídrica, que leve em conta a

relevância desse setor da economia nos processos de planejamento, gerenciamento e operação dos recursos hídricos.

REFERÊNCIAS

ALLAN, J. A., 1993, “**Fortunately there are Substitutes for Water Otherwise our Hydropolitical Futures would be Impossible**”. In: *Priorities for Water Resources Allocation and Management*. London, United Kingdom: ODA: 13–26.

CHAPAGAIN, A. K., & Hoekstra, A. Y., 2008. **O componente global da demanda e oferta de água doce: Uma avaliação dos fluxos de água virtual entre nações como resultado do comércio de produtos agrícolas e industriais**. *Água Internacional*, 33(1), 19-32.

COSTA, M.; MOREIRA, M.; SILVA, D.; ALENCAR, K.; COELHO, C., 2021. **Water Footprint of soybean, cotton, and corn crops in the western region of Bahia State**. *Engenharia Sanitária e Ambiental*.

CASSIANO, R. *et al.* **Índice de Desenvolvimento Humano Eficiente: Uma Mensuração Alternativa do Bem-Estar das Nações**. [S.l.]: [s.n.], 2014. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/5167/6/PPE_v45_n02_%C3%8Dndice_de_De_senvolvimento_Humano.pdf. Acesso em: 24 jan. 2023.

FARHANNA, F.; AMIR, A. **Lean Production Practice: the Differences and Similarities in Performance between the Companies of Bangladesh and other Countries of the World**. *Asian Journal of Business Management*, v. 1, n. 1, p. 32-36, 2009.

FERREIRA, P. C. G.; ELLERY JR., R. G. **Convergência entre a renda per-capita dos estados brasileiros**. *Brazilian Review of Econometrics* 16.1, 1996. 83-103 p. Disponível em: <http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/bre/article/view/2881>. Acesso em: 03 set. 2023.

FIOCRUZ. **Pesquisador Daniel Villela destaca a importância de modelos matemáticos em diversas áreas, como no estudo da pandemia de Covid-19.**, [s.d.]. Disponível em: <https://portal.fiocruz.br/noticia/pesquisador-daniel-villela-destaca-importancia-de-modelos-matematicos-em-diversas-areas-como#:~:text=Improv%C3%A1vel..> Acesso em: 25 fev. 2024.

GARRIDO, A., 2007. **PH: Gestão sustentável da água**. *Agroecológico*, 5(2), 12-17.

GLEICK, P. H. (org.), 2014. **Água em Crise: Um guia para os recursos de água doce do mundo**. Editora da Universidade de Oxford, EUA.

HOEKSTRA, A.Y.; CHAPAGAIN, A. K.; ALDAYA, M. M.; MEKONNEN, M. M., 2011. **The water footprint assessment manual: Setting the global standard**. Earthscan, London, UK

HOEKSTRA, A. Y., 2020. **The Water Footprint of Modern Consumer Society**. 2 ed. New York, NY: Routledge.

LUTZ, M. R., 2013. **Amostragem**. Alegrete - RS: Instituto Federal Farroupilha - IFFAR.

MEKONNEN, M. M., & Hoekstra, A. Y., 2011. **A PH verde, azul e cinza das culturas e produtos derivados das culturas**. *Hidrologia e Ciências da Terra*, 15(5), 1577-1600.

MAY, S. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações**. 2004. 189 f. Dissertação (Título de mestre em engenharia de construção civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MIRANDA, A. N. **Behavior of Small Earth Dams During Initial Filling**. PhD. 1988

STANTON, E. A. **The human development index: a history**. Amherst: Political Economy Research Institute, 2007. (Working Paper Series, n. 127).

SANTOS, J. P. O.; EL-DEIR, S. G.; ALENCAR, S. K. P.; SILVA, K. A.; PESSOA, L. A., 2020. **PH na mineração: análise de aplicabilidade na extração e beneficiamento da gipsita pernambucana**. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*. Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/7211>. Acesso em: 20 dez. 2023.

SANTOS, K. S.; OLIVEIRA, A. S.; SILVA, M. G.; SANTOS, N. T.; BORGES, T. K. S.; SOUZA, E. A; Análise espacial de dados de precipitação pluvial no Agreste Pernambucano. **II Inovagri International Meeting**, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/269196907_Analise_Espacial_de_Dados_de_Precipitacao_Pluvial_no_Agreste_Pernambucano. Acesso em: 01 mar. 2024.

SARAIVA, C. B. et al. **Consumo de água e geração de efluentes em uma indústria de laticínios**. *Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes*, v. 64, n. 367, p. 10–18, 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/269196907_Analise_Espacial_de_Dados_de_Precipitacao_Pluvial_no_Agreste_Pernambucano. Acesso em: 01 mar. 2024.

SCHNITTER, N. J. **A History of Dams: The Useful Pyramides**. Netherlands: [s.n.], 1994.

SETTI, A. A.; LIMA, J. E. F. W.; CHAVES, A. G. M.; PEREIRA, I. C. (2001). **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. Agência Nacional de Energia Elétrica. Agência Nacional de Águas. 3ª. Edição. P. 642

SILVA, M. C. O.; SILVA, M. M.; SANTOS, S. M.; BEZERRA, S. T. M.; SILVA, G. L.; GONÇALVES, E. A. P. Estudo da pegada hídrica populacional em região semiárida. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, 2022. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.1.p297-311>. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/252459>. Acesso em: 20 dez. 2023

SOUZA, J.; NEVES, J. A. B. **O Princípio da Responsabilidade e os Determinantes Socioeconômicos da Saúde**. *Cadernos Ibero-Americanos de Direito Sanitário*, 29 dez. 2017. v. 6, p. 1144–1151. Disponível em: <https://www.cadernos.prodisa.fiocruz.br/index.php/cadernos/article/view/1193>. Acesso em: 8 fev. 2024.

SMITH, A., & JOHNSON, B. (2010). **Eficiência dos processos na gestão organizacional**. Journal of Management, 15(2), 123-136.

UNESCO, 2015. **Relatório Mundial de Desenvolvimento da Água 2015: Água para um Mundo Sustentável**. UNESCO. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000232272_por. Acesso em: 20 dez. 2023

VANHAM, D., 2013. **The water footprint of Austria for different diets**. Water Science and Technology. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23306261/>. Acesso em 4 maio. 2023.

WANG, B. H.; SMALL, M. J.; DZOMBAK, D. A. **Factors governing change in water withdrawals for U.S. industrial sectors from 1997 to 2002**. Environmental Science & Technology, v. 48, n. 6, p. 3420-2429, Jan. 2014.

ZHAO, X., CHEN, B., YANG, Z. F. **National water footprint in an input-output framework-A case study of China 2002**. Ecological Modeling, v. 220, p.245-253, 2009.

ISABELA DE ARAÚJO SOUZA FREITAS

PEGADA HÍDRICA POPULACIONAL EM REGIÃO SEMIÁRIDA: um estudo da influência do setor industrial no consumo indireto de água no Agreste Pernambucano

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Civil do Campus Agreste da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, na modalidade de artigo científico, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Saneamento

Aprovado em 26 de março de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Elizabeth Amaral Pastich Gonçalves (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Simone Machado Santos (Avaliadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Ma. Thais Tainan Santos da Silva (Avaliadora)
Universidade Federal de Pernambuco