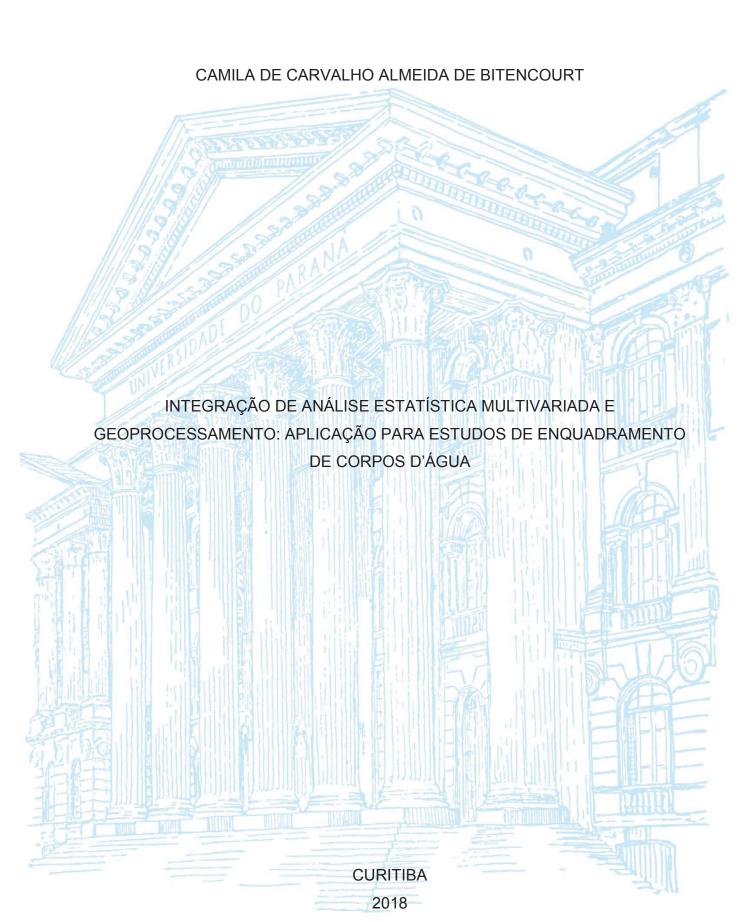
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ



CAMILA DE CARVALHO ALMEIDA DE BITENCOURT

INTEGRAÇÃO DE ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA E GEOPROCESSAMENTO: APLICAÇÃO PARA ESTUDOS DE ENQUADRAMENTO DE CORPOS D'ÁGUA

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção de Grau de Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, no Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental do Setor de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Cristovão V. S. Fernandes, Ph.D. Coorientador: Carlos E. C. Gallego, Dr.

CURITIBA

Catalogação na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR Biblioteca de Ciência e Tecnologia

B624i Bitencourt. Camila de Carvalho Almeida de

Integração de análise estatística multivariada e geoprocessamento: aplicação para estudos de enquadramento de corpos d'água / Camila de Carvalho Almeida de Bitencourt – Curitiba, 2018.

160p. : il. [algumas color.] ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor Tecnologia, Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, 2018.

Orientador: Cristovão V. S. Fernandes Coorientador: Carlos E. C. Gallego

Bibliografia: p. 139-145.

1. Geoprocessamento. 2. Qualidade da água — Análise de componentes. I. Universidade Federal do Paraná. II. Fernandes, Cristovão V. S. III. Gallego, Carlos E. C. IV. Título.

Bibliotecária: Roseny Rivelini Morciani CRB-9/1585



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA DE
RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTAL

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado o	lo Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA
DE RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTAL da Universidade Fer	deral do Paraná foram convocados para realizar a
arguição da Dissertação de Mestrado de CAMILA CARVAI	HO ALMEIDA DE BITENCOURT, intitulada:
INTEGRAÇÃO DE ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIA	DA E GEOPROCESSAMENTO: APLICAÇÃO
PARA ESTUDOS DE ENQUADRAMENTO DE CORPOS, D	'ÁGUA, após terem inquirido a aluna e realizado a
avaliação do trabalho, são de parecer pela sua AROVAÇÃO	no rito de defesa.
A outorga do título de Mestre está sujeita à homologação pelo cole	giado, ao atendimento de todas as indicações e
correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das dem	andas regimentais do Programa de Pós-
Graduação.	
Curitiba, 26 de Fevereiro de 2018. CRISTOVÃO VICENTE SCAPULATEMPO FERNANDES(UFPR) (Presidente da Banea Examinadora) JULIO CESAR RODRIGUES DE AZEVEDO(UFPR)	CARLOS EDUARDO CURI GALLEGO() JOSE ANTONIO OLIVEIRA DE JESUS()
Molone Horgail HELOISE GARCIA KNAPIK(UFPR)	

À minha mãe, com todo o meu amor, gratidão e admiração.

AGRADECIMENTOS

"Aqueles que passam por nós não vão sós. Deixam um pouco de si, levam um pouco de nós."

Antoine de Saint-Exupéry

Agradeço à Vida, pelo livre arbítrio, que me permite fazer escolhas e colher seus frutos, sejam eles bons ou ruins...

À toda a minha família por todo carinho e força dedicados a mim desde sempre. Em especial à minha mãe, Estela, que admiro tanto. Quem sempre escolheu lutar por mim e sempre me fez acreditar nos meus sonhos. Não tenho palavras para dizer o quanto a amo, a admiro e o quanto sou grata por ser sua filha. Quando achei que já conhecia toda a sua força, você me mostrou ser ainda mais forte... Agradeço ao "seu Zé" por me proporcionar o verdadeiro amor paternal e por sempre ter sonhado em me ver mestre. Infelizmente você não está aqui para compartilhar este momento comigo, mas de alguma forma sei que está vibrando com ele tanto quanto eu. Jamais esquecerei sua "passagem" pela minha vida, o guardarei para sempre em meu coração com muito amor e gratidão, meu pai.

Leandro, meu amor, muito obrigada pelo apoio incondicional nesses três anos de mestrado, que foram os mesmos três da vida de casados. O seu cuidado, carinho, paciência e amor foram os pontos chaves para eu chegar até aqui. Agora teremos mais tempo para sermos ainda mais felizes!

Agradeço à família que me recebeu com todo respeito e amor. Muito obrigada Luiz e Eloní, por me tratarem como filha, sou muito feliz em tê-los em minha vida. Léo e Lu muito obrigada por serem sempre tão queridos comigo, Li e Jú, vocês são as irmãs que eu não tive. É muito bom poder contar com todos vocês.

Faltam palavras para dizer o quanto sou grata ao meu orientador, padrinho e amigo Cristovão. Você é único! Me inspira a ser cada dia melhor, a colocar os pés no chão quando necessário, mas sempre vislumbrando algo lá no alto. Muito obrigada por toda a sua

orientação, por todo o seu suporte organizacional, cientifico e emocional nesses últimos anos. É uma honra trabalhar com você!

Sou grata à COBRAPE, por me permitir aprender tanto em tão pouco tempo, por ter a oportunidade de fazer parte de grandes projetos e continuar a estudar. Muito obrigada Tozzi e Cadu vocês são grandes exemplos de profissionais. Cadu, em especial que me co-orientou com grandes reflexões, aprendizados e "broncas", sempre me instigando a ver tudo por outro ângulo e me mostrando que ainda tenho muito a aprender. Obrigada aos demais colegas de escritório pelo apoio e incentivo. Um agradecimento especial ainda ao Tonico e à Gabi, meus mentores de qualidade no início da minha carreira, foi muito bom aprender com vocês.

Cristovão e Tonico, espero, de alguma forma misturada, ser como vocês quando eu crescer!

Agradeço ainda ao professor Paulo Justiniano e seu aluno Gabriel pela grande contribuição nas técnicas de estatística multivariada, que permitiram aprimorar um pouco o meu trabalho.

Obrigada aos professores e colegas do mestrado por terem me acrescentado novos conhecimentos e experiências. Em especial ao grupo de estudos do Alto Iguaçu, Ana (compartilhando cafés desde a época da IC), Marcelo, Carol, Elisa, Juliana e Davi. Trago com um carinho especial também os "amigos do João" que no nivelamento tornaram as coisas mais leves e alegres: Ellen, Paty, João e Bruna, em especial à você amiga que compartilhou muitos momentos difíceis comigo, finalmente chegamos ao fim!

Aos demais amigos, da graduação, da Seicho, da vida, obrigada por fazerem parte da minha vida e compartilharem esse período especial e pesado comigo.

Gratidão!

...

O sonho é a morada da esperança.

Na imensa morada do sonho
nascem tenros rebentos de esperança,
e os brotos crescem alimentados pelo sonho.
O sonho é a morada da esperança

...

Poema Idealize um Grande Sonho Masaharu Taniguci

RESUMO

O enquadramento de corpos hídricos configura-se como um instrumento auxiliar da gestão de recursos hídricos desde a década de 70, por meio da iniciativa de alguns estados. Em 1997, através da promulgação da Política Nacional de Recursos Hídricos, ele se tornou oficialmente um instrumento de gestão. Contudo, no decorrer desses 20 anos, poucos Comitês de Bacia conseguiram elaborar propostas de enquadramento compatíveis com a legislação vigente e menos ainda colocaram essas propostas em prática. O enquadramento é um instrumento capaz de auxiliar no planejamento de uma bacia hidrográfica, para isso, ele deve conter um diagnóstico, um prognóstico, propostas de metas relativas às alternativas de enquadramento e programa de efetivação bem elaborados. Portanto, um instrumento peculiar e desafiador. Em cada uma dessas etapas é necessário, dentre outros, a adoção de técnicas capazes de sintetizar as informações atuais e futuras da bacia, incluindo seus conflitos e fragilidades. Essa gama de informações, adicionado à complexidade das relações entre as variáveis envolvidas, tornam o processo todo bastante difícil e faz com que algumas etapas sejam deixadas de lado. Além disso, não se tem metodologias definidas de como realizar cada etapa do enquadramento, sendo que cada empresa elabora de acordo com as suas metodologias próprias, que se baseiam muitas vezes no que é possível fazer com os dados disponíveis. Dado esse cenário, o presente estudo teve como objetivo avaliar a aplicabilidade da utilização simultânea de técnicas de estatística e distribuição espacial de dados combinadas com ferramenta de geoprocessamento voltados para estratégias de enquadramento. Para tanto foi realizado um levantamento de todos os enquadramentos vigentes no Brasil e as metodologias adotadas em cada um, onde se observou que há uma certa carência na adoção de metodologias mais consistentes. Para contribuir com a evolução desse quadro, foi proposta a adoção da técnica de análise de componentes principais (ACP) para identificação de parâmetros de qualidade da água mais representativos e a aplicação de técnicas de geoprocessamento para facilitar a junção de informações inerentes na bacia, tendo como estudo de caso a Bacia do Alto Iguaçu no Paraná. Os resultados mostraram que a ACP é uma técnica que permite a identificação de parâmetros chaves que ao que tudo indica estão ligados às atividades desenvolvidas na bacia. O geoprocessamento por sua vez, permitiu a organização das informações da bacia de forma bastante prática e eficaz para manipulação das informações. Dessa forma, o presente estudo apresenta uma aplicação que pode facilitar as propostas de enquadramento, embora se tenha muitos outros aspectos a serem mais aprofundados.

Palavras-chaves: Enquadramento. Análise de Componentes Principais. Geoprocessamento.

ABSTRACT

The water bodies' framework is an auxiliary instrument of Water resources Management since 1970's, through the initiative of some States. In 1997, through the promulgation of the national water resources policy, it has officially become a management instrument. However, a few basin committees have been able to develop framework proposals capable to fulfill the current legislation and fewer could put these proposals into practice. The water bodies framework is an instrument capable of assisting the planning of a river basin and to achieve this goal it must contain steps such as diagnosis, prognosis and also proposals of goals related to framing alternatives along with a wellexecuted implementation program. In each one of these steps it is necessary to adopt techniques capable of summarize current and future information of the basin, including its conflicts and weaknesses. This variety of information added to the complexity of the relations between the variables involved makes the whole process harder and makes steps to be left out. In addition, there are no well-defined methodologies on how to perform each step of the framework, because each company elaborates it according to its own methodologies, which are often based on what can be done with the available data. Given this scenario, this study aimed to evaluate the applicability of simultaneous utilization of statistical techniques and spatial data distribution by the utilization of geoprocessing techniques focused on framing strategies. For this, a survey of all existing frameworks in Brazil was made as well as the methodologies adopted for each one, in which, it has been noticed the lack of adoption of more consistent methodologies. In order to contribute to the development of this framework, it was proposed the adoption of the Principal Component Analysis (PCA) to identify more representative water quality parameters and the implementation of geoprocessing techniques to facilitate the information gathering inherent to the basin, as it can be observed in the Alto Iguaçu Basin case study in Paraná. The results showed that the ACP is a technique that allows the identification of key parameters that are apparently related to the activities developed in the basin. Geoprocessing, in turn, allowed the organization of the information of the basin in a real practical and effective way for information manipulation. In this way, the present study presents an application that can facilitate the framing proposals, although there are many other aspects to be further developed.

Key-words: Framework. Principal Component Analysis. Geoprocessing.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 – CLASSES DE QUALIDADE DA ÁGUA EM RELAÇÃO AOS USOS2	23
FIGURA 2.2 – SITUAÇÃO DOS PLANOS DE BACIAS DE RIOS FEDERAIS	29
FIGURA 2.3 – SITUAÇÃO DOS PLANOS DE BACIAS DE RIOS ESTADUAIS3	30
FIGURA 2.4 – IEC NACIONAL	38
FIGURA 2.5 – REDE NACIONAL DE QUALIDADE DAS ÁGUAS	41
FIGURA 3.1 – PROCESSO DO ENQUADRAMENTO	44
FIGURA 3.2 – EXEMPLO DA OTTOCODIFICAÇÃO	59
FIGURA 3.3 – CENÁRIOS E ESTRATÉGIAS6	61
FIGURA 4.1 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO6	მ4
FIGURA 4.2 – OUTORGAS DE CAPTAÇÃO6	35
FIGURA 4.3 – OUTORGAS PARA DILUIÇÃO6	35
FIGURA 4.4 – USO DO SOLO	36
FIGURA 4.5 – ENQUADRAMENTO VIGENTE NA BACIA DO ALTO IGUAÇU6	37
FIGURA 4.6 – ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO	71
FIGURA 4.7 – FLUXOGRAMA UTILIZADO NA APLICAÇÃO DA ACP	72
FIGURA 4.8 – ESTAÇÕES FINAIS UTILIZADAS NA APLICAÇÃO DA ACP PO PONTO	
FIGURA 4.9 – CRUZAMENTO DE INFORMAÇÕES DA BACIA POR MEIO D GEOPROCESSAMENTO	DE 77
FIGURA 5.1 – EXEMPLO DO RESULTADO DO CRUZAMENTO DA INFORMAÇÕES DA ÁREA DE ESTUDO	
FIGURA 5.2 – MATRIZ DE DISPERSÃO PARA OS DADOS DE CONCENTRAÇÃ DO HIDROWEB8	
FIGURA 5.3 – MATRIZ DE DISPERSÃO PARA OS DADOS DE CONCENTRAÇÃ DA UFPR	
FIGURA 5.4 – MATRIZ DE DISPERSÃO PARA OS DADOS DE CARGA D)O 85

FIGURA 5.5 – MATRIZ DE DISPERSÃO PARA OS DADOS DE CARGA D)A UFPR
	86
FIGURA 5.6 – RESULTADOS DA HIPÓTESE I A GLOBAL	88
FIGURA 5.7 – RESULTADOS DA HIPÓTESE I B GLOBAL	90
FIGURA 5.8 – RESULTADOS DA HIPÓTESE I B PONTO IG1	95
FIGURA 5.9 – RESULTADOS DA HIPÓTESE I A ESTAÇÃO 65006075	96
FIGURA 5.10 – RESULTADOS DA HIPÓTESE I A ESTAÇÃO 65009000	98
FIGURA 5.11 – RESULTADOS DA HIPÓTESE I B PONTO IG2D	99
FIGURA 5.12 – RESULTADOS DA HIPÓTESE I B PONTO IG2E	100
FIGURA 5.13 – RESULTADOS DA HIPÓTESE I A ESTAÇÃO 65013005	102
FIGURA 5.14 – RESULTADOS DA HIPÓTESE I A ESTAÇÃO 650170006	103
FIGURA 5.15 – RESULTADOS DA HIPÓTESE I B PONTO IG3	104
FIGURA 5.16 – RESULTADOS DA HIPÓTESE I A ESTAÇÃO 65019980	105
FIGURA 5.17 – RESULTADOS DA HIPÓTESE I B PONTO IG4	107
FIGURA 5.18 – RESULTADOS DA HIPÓTESE I A ESTAÇÃO 65025000	108
FIGURA 5.19 – RESULTADOS DA HIPÓTESE I B PONTO IG5	109
FIGURA 5.20 – RESULTADOS DA HIPÓTESE I A ESTAÇÃO 65028000	110
FIGURA 5.21 – RESULTADOS DA HIPÓTESE I B PONTO IG6	111
FIGURA 5.22 – RESULTADOS DA HIPÓTESE II A GLOBAL	114
FIGURA 5.23 – RESULTADOS DA HIPÓTESE II B GLOBAL	115
FIGURA 5.24 – RESULTADOS DA HIPÓTESE II B PONTO IG1	119
FIGURA 5.25 – RESULTADOS DA HIPÓTESE II A ESTAÇÃO 65006075	120
FIGURA 5.26 – RESULTADOS DA HIPÓTESE II A ESTAÇÃO 65009000	121
FIGURA 5.27 – RESULTADOS DA HIPÓTESE II B PONTO IG2D	122
FIGURA 5.28 – RESULTADOS DA HIPÓTESE II B PONTO IG2E	123
FIGURA 5.29 – RESULTADOS DA HIPÓTESE II A ESTAÇÃO 65013005	125
FIGURA 5.30 – RESULTADOS DA HIPÓTESE II A ESTAÇÃO 650170006	126
FIGURA 5 31- RESULTADOS DA HIPÓTESE ILB PONTO IG3	127

FIGURA 5.32 – RESULTADOS DA HIPÓTESE II A ESTAÇÃO 65019980	128
FIGURA 5.33 – RESULTADOS DA HIPÓTESE II B PONTO IG4	129
FIGURA 5.34 – RESULTADOS DA HIPÓTESE II A ESTAÇÃO 65025000	130
FIGURA 5.35 – RESULTADOS DA HIPÓTESE II B PONTO IG5	131
FIGURA 5.36 – RESULTADOS DA HIPÓTESE II A ESTAÇÃO 65028000	133
FIGURA 5.37 – RESULTADOS DA HIPÓTESE II B PONTO IG6	134

LISTA DE TABELAS

ΓABELA 4.1 – DESCRIÇÃO DOS PONTOS DE MONITORAMENTO68
TABELA 4.2 – PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA DETERMINADOS EM
CAMPO69
TABELA 4.3 - PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA DETERMINADOS EN LABORATÓRIO70
ΓABELA 4.4 – DADOS UTILIZADOS NA HIPÓTESE I - CONCENTRAÇÃO74
ΓABELA 4.5 – DADOS UTILIZADOS NA HIPÓTESE II75
TABELA 5.1 – RESUMO DOS RESULTADOS DA ACP PARA A HIPÓTESE I92
ΓABELA 5.2 – RESUMO DOS RESULTADOS DA ACP PARA A HIPÓTESE II116

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AC – Análise de Cluster

ACP – Análise de Componentes Principais

AGUASPARANÁ - Instituto das Águas do Paraná

ANA - Agência Nacional de Águas

AEM – Análise Estatística Multivariada

AF - Análise Fatorial

AG – Análise Global

ANM - Análise Normalizada pela Média

AP - Análise Preliminar

APM – Análise por Ponto de Monitoramento

CBH – Comitê de Bacia Hidrográfica

C₆H₅OH – Fenóis

CECA/MS - Conselho Estadual de Meio Ambiente do Mato Grosso do Sul

CF - Coliformes Fecais

CT- Coliformes Totais

CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos

COD – Carbono Orgânico Dissolvido

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

CPs – Componentes Principais

CRH - Conselho de Recursos Hídricos

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO - Demanda Química de Oxigênio

ETE – Estação de Tratamento de Efluentes

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IEC – Índice de Conformidade do Enquadramento

IET – Índice do Estado Trófico

IQA – Índice de Qualidade da Água

N_Amo – Nitrogênio Amoniacal

N KJ – Nitrogênio Kjeldahl

N NH4 – Nitrogênio Amoniacal

N NO₂ – Nitrito

N NO₃ - Nitrato

N_Org - Nitrogênio Orgânico

O₂ - Oxigênio

OD - Oxigênio Dissolvido

PB - Paraíba

PCJ - Piracicaba, Capivari e Jundiaí

P_DisOrg - Fósforo Dissolvido Orgânico

pH - Potencial Hidrogeniônico

PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos

PNQA - Programa Nacional de Avaliação de Qualidade das Águas

P Part - Fósforo Particulado

PPO₄₃ – Ortofosfato

PR - Paraná

PT – Fósforo Total

PTA - Power Transform Analysis

RN - Rio Grande do Norte

RNQA – Rede Nacional de Qualidade das Águas

SD - Sólidos Dissolvidos

SDF - Sólidos Dissolvidos Fixos

SDV - Sólidos Dissolvidos Voláteis

SolTotais - Sólidos Totais

SSed – Sólidos Sedimentáveis

SSF- Sólidos Suspensos Fixos

SSV – Sólidos Suspensos Voláteis

TempAmostra – Temperatura da Amostra

TempAr – Temperatura do Ar

UFPR - Universidade Federal do Paraná

USP - Universidade de São Paulo

UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	EVIDÊNCIAS DE INTERESSE	18
1.2	OBJETIVOS	
1.3	ESTRUTURA DO DOCUMENTO	20
2	ENQUADRAMENTO DE CORPOS D'ÁGUA – DE CONCEITUAIS	
2.1	CONCEITO E OBJETIVOS DO ENQUADRAMENTO	22
2.2	ENQUADRAMENTO E PLANOS DE BACIA	28
2.3	DIFICULDADES PARA IMPLEMENTAÇÃO	38
2.4	SÍNTESE DO CAPÍTULO	
3	REFERENCIAL TEÓRICO E BASES TÉCNICAS	44
3.1	ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA	47
3.1.1	Análise de componentes principais	52
3.2	MODELAGEM MATEMÁTICA	
3.3	GEOPROCESSAMENTO E A BASE DE OTTOCODIFICAÇÃO	
3.4	CENARIZAÇÃO	
3.5	SÍNTESE DO CAPÍTULO	
4	MATERIAIS E MÉTODOS	
4.1	ÁREA DE ESTUDO	
4.2	BASE DE DADOS	
4.3	MÉTODOS DE ANÁLISE	
4.3.1	Análise estatística multivariada	
4.3.2	Geoprocessamento	76
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	78
5.1	GEOPROCESSAMENTO	
5.2	AVALIAÇÃO CRÍTICA DE PARÂMETROS DE QUALIDADE GLOBAL DO ALTO IGUAÇU	
5.3	HIPÓTESE I – CONCENTRAÇÃO	87
5.4	HIPÓTESE II - CARGA	112
5.5	DISCUSSÃO	135
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	138
	REFERÊNCIAS	140
	APÊNDICE A- PLANOS DE BACIA E ENQUADRAMENTOS VIO	GENTES147
	APÊNDICE B - SCRIPTS UTILIZADOS NO R CORE TEAM (201	7) 159

"A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo".

Albert Einstein

1 INTRODUÇÃO

A Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei Nº 9.433/1997, estabelece uma série de princípios e instrumentos para a gestão de águas, porém, observa-se que na prática poucos deles conseguem de maneira eficiente ser aplicados de forma a contribuir efetivamente para a gestão. Dentre os instrumentos estabelecidos encontra-se o enquadramento de corpos d'água em classes de acordo com o uso preponderante, que tem como objetivo prevenir a poluição e assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes.

Esse instrumento de gestão consiste em enquadrar os corpos d'água em classes de acordo com o uso preponderante, sendo que cada classe tem uma série de parâmetros de qualidade da água a serem atendidos, conforme o estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05. A classificação é realizada em cinco grupos: Classe Especial; Classe 1; Classe 2; Classe 3; e Classe 4. A Classe Especial representa os usos mais exigentes, ou seja, aqueles que requerem uma melhor qualidade da água, como a proteção e preservação da vida aquática, o outro extremo, a Classe 4, expressa os usos menos exigentes, como a navegação e a harmonia paisagística. Para a definição das classes atuais ou futuras, uma vez que o enquadramento serve, ou deveria servir, para ações de planejamento, são levadas em consideração as prioridades do uso da água em determinada região, o que envolve interesse de diferentes públicos, tornando complexa a efetivação de uma proposta de enquadramento e de programas para se atingir uma melhoria de classe ou até mesmo para mantê-la no futuro. Isso, entre outros fatores, faz com que poucas bacias consigam realmente implantar um sistema capaz de garantir o enquadramento dos corpos hídricos.

A avaliação da qualidade da água, além de permitir uma caracterização dos corpos hídricos também serve como uma ferramenta de acompanhamento e avaliação do enquadramento aprovado. Porém, uma rede de monitoramento quali-

quantitativa eficiente não é uma realidade em todo o país. Além disso, quando se dispõe de uma série histórica de dados, a análise simultânea dessas informações é algo complexo, devido à diversidade das variáveis que interagem umas com as outras e são medidas em diferentes escalas. São muitos os mecanismos por trás da elaboração do diagnóstico e prognóstico do enquadramento, fazendo-se necessário entender a relação das variáveis existentes dentro dessas etapas, como a vazão de referência, os parâmetros de qualidade, os meios de estimativa de cargas poluidoras, a construção dos cenários e os modelos representativos dos processos de absorção de cargas pelos corpos hídricos.

Dessa forma, é importante a busca pelo entendimento das relações existentes entre as variáveis que interferem na definição do enquadramento e quais as diferentes técnicas que podem ser aplicadas para facilitar a identificação de variáveis-chave e métodos adequados a serem adotados na definição do enquadramento, contribuindo assim para uma classificação mais eficiente.

1.1 EVIDÊNCIAS DE INTERESSE

Apesar da Política Nacional de Recursos Hídricos ter completado 20 anos em 2017, observa-se que ainda existem muitas dificuldades em implantar os instrumentos de gestão estabelecidos por ela, em especial o enquadramento de corpos hídricos em classes de usos. O número de enquadramentos elaborados e aprovados pelos comitês não chega a 10% do número de Planos de Recursos Hídricos (ANA, 2016).

No que se refere às bacias que conseguiram aprovar uma proposta de enquadramento, apenas 3 estabeleceram metas intermediárias, com enquadramentos compatíveis a elas. Sendo assim, todas as outras aprovaram, em teoria, um enquadramento compatível com a qualidade das águas já observada ou desejada para os corpos hídricos. Nesse sentindo, pode-se dizer que o enquadramento ao invés de estar sendo utilizado para indicar qual a classe de qualidade mais adequada e, com suporte dos outros instrumentos de gestão, como a outorga, a cobrança e até mesmo o licenciamento ambiental, atingir essa classe, está estabelecendo ao rio uma classe que, na realidade, não existe. Mais ainda,

essa classe pode vir a nunca existir, pois o enquadramento por si só não garante a qualidade do rio enquadrado.

Pouco se sabe da realização das ações previstas nos programas para efetivação do enquadramento das bacias com esse instrumento aprovado, nem mesmo se há ou não acompanhamento do programa em si. Essas ações, que devem estar associadas aos outros instrumentos de gestão de recursos hídricos previstos pela PNRH, é que têm o poder de modificar a situação dos corpos hídricos para que as metas, que deveriam existir em todos os enquadramentos aprovados, sejam atingidas.

Não existe uma metodologia muito bem definida de como se elaborar uma proposta de enquadramento, a legislação apenas prevê que a mesma tenha um diagnóstico, um prognóstico, uma proposta de metas e programas de efetivação. A melhor maneira de construir e articular as variáveis envolvidas nessas etapas é uma incógnita inclusive para os técnicos das instituições públicas. O que se observa é que praticamente as mesmas considerações, como parâmetro base, vazão de referência e planos de ações são abordadas de maneira semelhante em bacias hidrográficas de diferentes portes e diferentes realidades locais.

Nesse sentido cabe destacar um pouco de falta de cunho científico na elaboração do enquadramento, sendo o mesmo desenvolvido de acordo com as exigências das instituições gestoras, que comumente contratam uma empresa privada com base em licitações cujos editais parecem ser "cópia" e "cola" de outros editais. Essas empresas, por sua vez, normalmente com um tempo curto para execução do trabalho, desenvolvem as metodologias que "dão certo" para os dados secundários disponíveis. Dessa forma, muito das metodologias estudadas, comprovadas e consolidadas no meio acadêmico acabam ficando de fora da elaboração dos planos de bacias e de enquadramento de corpos d'água.

Uma vez que a água é essencial para o desenvolvimento da vida e o enquadramento é um dos instrumentos-base de gestão para garantir a qualidade mais apropriada da mesma para cada uso, tanto no tempo presente quanto futuro, o fato do mesmo não ser colocado em prática é uma grande insatisfação para os envolvidos em gestão de recursos hídricos e, ao mesmo tempo, uma grande motivação para se desenvolver estudos que busquem compreender porque isso ocorre e quais as possíveis soluções.

1.2 OBJETIVOS

A efetivação do enquadramento de corpos hídricos em classes de uso preponderante requer um entendimento de relações qualiquantitativas que permitam avaliar condições para o estabelecimento de seus limites de aplicabilidade. Dessa forma, o objetivo geral foi avaliar a aplicabilidade simultânea de estatística e distribuição espacial de dados, com técnicas de geoprocessamento.

Os objetivos específicos deste estudo foram:

- Entender o panorama da implantação e efetivação do enquadramento nas bacias hidrográficas brasileiras;
- Aplicar técnicas de AEM na visando identificar um parâmetro de qualidade da água mais representativo para a definição e monitoramento do enquadramento;
- Organizar as múltiplas informações da bacia hidrográfica de estudo de forma a estabelecer a influência da dinâmica de uso e ocupação do solo com os dados de qualidade da água observados.

1.3ESTRUTURA DO DOCUMENTO

Esta dissertação foi organizada em seis capítulos, mais as referências e dois apêndices, A e B, que apresentam, respectivamente, todas as informações levantadas nos planos de bacias e enquadramentos vigentes no Brasil, que serviu como base para se atender o primeiro objetivo específico desse estudo e os *scripts* utilizados no *software* R Core Team para o desenvolvimento das técnicas de estatística.

O **Capítulo 1** trata da Introdução ao tema central do estudo, o enquadramento, além de trazer as evidências de interesse, que motivaram o desenvolvimento dessa pesquisa e os objetivos atrelados à mesma.

Os aspectos conceituais do enquadramento foram levantados no **Capítulo 2**, iniciando-se com as definições legais, passando para a relação existentes entre o enquadramento e os planos de bacia, outro instrumento de planejamento da PNRH, onde abordou-se ainda como está o panorama de implantação dos mesmos. Em

seguida, foram trazidos aspectos que dificultam a implementação do enquadramento.

No **Capítulo 3** foi apresentado um referencial teórico de ferramentas que podem auxiliar a elaboração de enquadramentos, na tentativa de se estabelecer uma metodologia mais robusta e que leve em consideração aspectos essenciais, tais como os cenários.

A metodologia do estudo de caso foi apresentada no **Capítulo 4**, incluindo a descrição da bacia hidrográfica escolhida, a base de dados, a técnica de estatística escolhida e a ferramenta de geoprocessamento.

O Capítulo 5 apresenta os resultados obtidos para a aplicação das técnicas de geoprocessamento e estatística bem como a discussão dos mesmos, onde buscou-se ainda resgatar resultados obtidos por estudos anteriores na mesma bacia.

As considerações finais do estudo, incluindo reflexões e estudos que podem ser desenvolvidos futuramente a fim de complementar esta pesquisa foram descritas no **Capítulo 6.**

"A ciência nunca resolve um problema sem criar pelo menos outros dez".

George Bernard Shaw

2 ENQUADRAMENTO DE CORPOS D'ÁGUA - DESAFIOS CONCEITUAIS

2.1 CONCEITO E OBJETIVOS DO ENQUADRAMENTO

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei Nº 9.433/1997, estabeleceu em seu Artigo 5º, cinco instrumentos de gestão de recursos hídricos. Dentre eles está o enquadramento dos corpos de água em classes segundo os usos preponderantes da água. De acordo com a Seção II do Capítulo IV da referida Lei:

"Art. 9º O enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água, visa a:

I - assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas;

II - diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes.

Art. 10. As classes de corpos de água serão estabelecidas pela legislação ambiental."

No Artigo 2º da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) Nº 357/2005 o enquadramento é definido como sendo o estabelecimento da meta ou objetivo de qualidade da água (classe) a ser, obrigatoriamente, alcançado ou mantido em um segmento de corpo de água, de acordo com os usos preponderantes pretendidos, ao longo do tempo.

É a CONAMA 357/2005 que estabelece o sistema de classes de qualidade, previstos no Inciso II do Artigo 9º da 9.433/1997. Ainda de acordo com essa resolução, a classe de qualidade pode ser definida como o conjunto de condições e padrões de qualidade de água necessários ao atendimento dos usos preponderantes, atuais ou futuros.

Dessa forma, pode-se dizer que o enquadramento, conforme previsto em lei, é um instrumento a ser considerado no planejamento de gestão de uma bacia, em

que os usos preponderantes determinam o nível de exigência quanto à qualidade da água a ser assegurada, conforme FIGURA 2.1.

CLASSE **CLASSE 1 CLASSE 2 CLASSE 3** CLASSE 4 **ESPECIAL USOS MENOS EXIGENTES USOS MAIS EXIGENTES** Qualidade da água ruim

FIGURA 2.1 – CLASSES DE QUALIDADE DA ÁGUA EM RELAÇÃO AOS USOS

FONTE: Adaptado de ANA, 2013a.

No que se refere às aguas doces, enfoque do presente estudo, de acordo com o Artigo 4º da Resolução CONAMA 357/2005:

As águas doces são classificadas em:

Qualidade da água excelente

- I classe especial: águas destinadas:
- a) ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção;
- b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e,
- c) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.
- II classe 1: águas que podem ser destinadas:
- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA no 274, de 2000;
- d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e
- e) à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.
- III classe 2: águas que podem ser destinadas:
- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA no 274, de 2000;
- d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e e) à aqüicultura e à atividade de pesca.
- IV classe 3: águas que podem ser destinadas:
- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;
- b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;
- c) à pesca amadora;
- d) à recreação de contato secundário; e
- e) à dessedentação de animais.
- V classe 4: águas que podem ser destinadas: a) à navegação; e
- b) à harmonia paisagística.

Para cada uma dessas classes é listada uma série de concentrações mínimas ou máximas para parâmetros físicos, químicos e biológicos, sendo que esses padrões se alteram conforme a perda de qualidade, o que permite concentrações maiores das substâncias. Nessa questão, pode-se citar como ponto falho da resolução o fato da mesma não estabelecer limites de carga poluidora ao invés de concentração ou mesmo prever diferentes concentrações limites para cada vazão de referência. Estudos como de Brites (2010), Ferreira, Fernandes e Kaviski (2016), Calmon et al. (2016) dentre outros mostraram que o comportamento da qualidade da água em função de diferentes vazões é fortemente influenciado, portanto seria interessante que os padrões de qualidade acompanhassem a flutuação da quantidade da água.

Além disso, o Artigo 17, referente aos limites da Classe 4 estabelece que:

I - materiais flutuantes, inclusive espumas não naturais: virtualmente ausentes:

II - odor e aspecto: não objetáveis;

III - óleos e graxas: toleram-se iridescências;

IV - substâncias facilmente sedimentáveis que contribuam para o assoreamento de canais de navegação: virtualmente ausentes;

V - fenóis totais (substâncias que reagem com 4 - aminoantipirina) até 1,0 mg/L de C_6H_5OH ; VI - OD, superior a 2,0 mg/L O_2 em qualquer amostra; e, VII - pH: 6,0 a 9,0

Dessa forma, muitos limites ficam sem um nível máximo permitido, é o que ocorre principalmente na Classe 4, o que pode ocasionar um descontrole quanto à qualidade da água e tornar difícil o atendimento de classes com melhores qualidade à jusante.

Outro ponto importante, destacado por Pessôa, Fontes e Medeiros (2015) é o fato de não existir parâmetros específicos para a classificação da qualidade da água de rios intermitentes, principalmente nos trechos onde não ocorre escoamento superficial, o que acarreta prejuízo ambiental ao trecho de intermitência e aos trechos à jusante. Essa situação é bastante comum no nordeste brasileiro, que inclusive conta com predominância de águas salobras que normalmente servem como fonte de abastecimento público. Ainda segundo os autores, ao se considerar somente um limite máximo para todos os usos atribuídos à uma única classe, é possível que se inviabilizem outros fins para os quais a água possa ser destinada. Tal fato, em regiões do semiárido e de água salobra ganha especial importância, uma vez que somente a Classe 01 pode ser destinada ao abastecimento humano e

os padrões estabelecidos são mais restritivos do que os definidos na Portaria MS 2914/2011.

A Resolução CONAMA 357/05 prevê ainda que enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos, as águas doces são consideradas Classe 2, exceto se as condições de qualidade atuais forem melhores, determinando a aplicação da classe mais rigorosa correspondente. Em teoria pode-se dizer assim que automaticamente quase metade dos rios brasileiros teria que apresentar condições de qualidade compatíveis com a Classe 2¹, porém nada é feito no sentido de se verificar se tal situação é atendida nem muito menos para melhorar, nos casos em que não é.

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos, através da Resolução Nº 91 de 5 de novembro de 2008, definiu os procedimentos gerais do enquadramento dos corpos d'água superficiais e subterrâneos. De acordo com o Artigo 3º dessa Resolução:

A proposta de enquadramento deverá ser desenvolvida em conformidade com o Plano de Recursos Hídricos da bacia hidrográfica, preferencialmente durante a sua elaboração, devendo conter o seguinte:

I - diagnóstico;

II - prognóstico;

III - propostas de metas relativas às alternativas de enquadramento; e

IV - programa para efetivação.

O diagnóstico deve abordar a caracterização geral da bacia, onde se inclui a identificação do uso do solo, os corpos hídricos superficiais e subterrâneos, as interconexões existentes entre eles, os usos e interferências que alteram a quantidade ou a qualidade da água, com destaque aos usos preponderantes, as fontes de poluição, a disponibilidade, demanda e condições da qualidade das águas, a potencialidade das águas subterrâneas, áreas vulneráveis e suscetíveis a riscos de perda de qualidade e alteração de quantidade, áreas reguladas por legislação específica, políticas, planos e programas existentes e de planejamento, caracterização socioeconômica e capacidade de investimento em ações de gestão de recursos hídricos. Portanto, essa etapa considera todas as informações existentes na bacia, tanto referente ao recurso hídrico em si quanto nas demais condições em que ela está inserida. Pode-se dizer que o mesmo conteúdo é

-

¹ De acordo com o Conjuntura de Recursos Hídricos no Brasil: Informe 2015, 54% do território nacional conta com rios enquadrados.

levantado na elaboração dos planos de recursos hídricos, que nem sempre são realizados ao mesmo tempo que a proposta de enquadramento e que muitas vezes gera um trabalho "dobrado", resultando em desperdício de recursos e até informações desencontradas.

A etapa do prognóstico compreende avaliar os impactos sobre os recursos hídricos superficiais e subterrâneos advindos da implementação dos planos e programas de desenvolvimento previstos em diferentes horizontes de planejamento e desenvolver projeções para a disponibilidade, demanda e cargas poluidoras através da elaboração de diferentes cenários considerando a realidade de cada bacia num horizonte a ser definido pela entidade responsável. Novamente é uma das etapas realizadas também em planos de recursos hídricos.

As propostas de metas relativas às alternativas de enquadramento deverão ser elaboradas com o objetivo de se alcançar ou se manter a classe de qualidade da água pretendida e precisam ser propostas em função de um conjunto de parâmetros de qualidade da água, que serão definidos de acordo com os usos pretendidos e vazões de referências, considerando inclusive as informações obtidas na elaboração dos cenários. O Artigo 6º da Resolução estabelece ainda que:

§ 3º As metas deverão ser apresentadas por meio de quadro comparativo entre as condições atuais de qualidade das águas e aquelas necessárias ao atendimento dos usos pretensos identificados.

§ 4º O quadro comparativo deve vir acompanhado de estimativa de custo para a implementação das ações de gestão, incluindo planos de investimentos e instrumentos de compromisso.

A apresentação em quadros comparativos, previsto na lei, possivelmente é realizada com o intuito de facilitar o entendimento do processo por parte dos participantes dos Comitês e para o acompanhamento da evolução do que foi proposto no decorrer do tempo.

O programa para efetivação do enquadramento deve conter ainda propostas de ações de gestão, planos de investimento e os instrumentos de compromisso para que o enquadramento proposto seja alcançado no horizonte previsto. Os instrumentos de compromisso listados na Resolução CNRH Nº 91/08 foram:

• Recomendações para os órgãos gestores de recursos hídricos e de meio ambiente que possam subsidiar a implementação, integração ou adequação de seus respectivos instrumentos de gestão, de acordo com as

metas estabelecidas, especialmente a outorga de direito de uso de recursos hídricos e o licenciamento ambiental;

- Recomendações de ações educativas, preventivas e corretivas, de mobilização social e de gestão, identificando-se os custos e as principais fontes de financiamento;
- Recomendações aos agentes públicos e privados envolvidos, para viabilizar o alcance das metas e os mecanismos de formalização, indicando as atribuições e compromissos a serem assumidos;
- Propostas a serem apresentadas aos poderes públicos federal, estadual e municipal para adequação dos respectivos planos, programas e projetos de desenvolvimento e dos planos de uso e ocupação do solo às metas estabelecidas na proposta de enquadramento; e
- Subsídios técnicos e recomendações para a atuação dos comitês de bacia hidrográfica.

Essa etapa também é semelhante ao que deve ser desenvolvido em um plano de recursos hídricos, que deve possuir um plano de ações, cujo conteúdo é um pouco mais abrangente que o aqui definido, mas que deve abranger a aplicação simultânea e em concordância entre os demais instrumentos de gestão de recursos hídricos previstos pela PNRH.

Uma vez definidos os objetivos do enquadramento e suas etapas de elaboração, fica claro que o mesmo pode ser tratado como um instrumento-base para o planejamento, tendo a participação social suma importância, pois a PNRH define que é papel dos Comitês de Bacia Hidrográfica e das Agências de Água propor e acompanhar o enquadramento.

Dentre os instrumentos estabelecidos pela PNRH, o enquadramento dos corpos d'água em classes, segundo usos preponderantes, apresenta especial relevância, uma vez que, numa concepção de planejamento descentralizado e participativo, figura como ferramenta de integração entre a gestão de quantidade e de qualidade da água na esfera da bacia hidrográfica (CALMON *et al.*, 2016).

Essa questão é bastante interessante, pois assim os próprios usuários ajudam a definir as melhores classes e níveis de qualidade dos trechos de rios, mas por sua vez, geram discussões que muitas vezes acabam por tornar o processo de enquadramento muito lento e sem efetividade. De acordo com Torres, Medeiros e

Freitas (2016), processos decisórios que envolvem múltiplos atores sociais são suscetíveis a falhas que podem gerar desconfianças entre os membros e falta de compromisso com as decisões aprovadas. No Brasil há alguns comitês, tais como o da Bacia Hidrográfica do São Francisco que são bastante atuantes, mas boa parte deles não consegue desenvolver o papel definido na PNRH. Dessa forma é essencial desenvolver estratégias para que a participação do Comitê seja realmente construtiva e efetiva para discussão e inclusão das questões sociais e políticas no processo de enquadramento. Nesse sentido cabe destacar ainda a falta de aptidão por parte dos técnicos normalmente envolvidos na elaboração de propostas de enquadramento para lidar com essas questões mais sociáveis. Esse desafio de integração não será tratado no presente estudo, contudo entende-se que é imprescindível um aprofundamento sobre o mesmo.

2.2 ENQUADRAMENTO E PLANOS DE BACIA

De forma sintetizada, a PNRH define os Planos de Recursos Hídricos (PRH) como planos diretores que visam fundamentar e orientar a implementação da Política Nacional e o gerenciamento de recursos Hídricos. Estes devem ter horizontes de planejamento compatíveis com o período de implantação de seus programas e projetos.

Dessa forma, os PRH juntamente com o enquadramento dos corpos d'água em classes são caracterizados como os instrumentos de planejamento da PNRH, sendo importantes para a solução de problemas relacionados à gestão das águas (ANA, 2013a). De acordo com Gallego (2014), instrumentos de planejamento podem ser definidos como aqueles voltados para o futuro, que tratam da aplicabilidade dos demais instrumentos ao longo do tempo para atingirem metas de gestão, baseados em decisões no presente.

Tanto o enquadramento quanto o PRH precisam ser elaborados levando-se em conta as condições atuais da bacia hidrográfica (diagnóstico), as condições possíveis de se desenvolverem na bacia (prognóstico), trabalhar de forma conjunta os aspectos de qualidade e quantidade da água e focar em ações a serem realizadas para se alcançar as metas desejadas. O ideal seria que ambos fossem realizados de forma simultânea, ou ao menos, num curto intervalo de tempo, com

participação efetiva da sociedade, mas na prática observa-se que poucas são as bacias hidrográficas que conseguem tal feito. Tem-se muitos casos em que após o plano aprovado, as propostas de enquadramento são elaboradas de forma a compatibilizar, ou ainda reaproveitar, o que foi elaborado no plano.

De acordo com o último informe da Conjuntura dos Recursos no Brasil (ANA, 2016a), até o final de 2015, 54% do território nacional contava com planos de recursos hídricos federais elaborados ou em andamento, conforme a FIGURA 2.2.

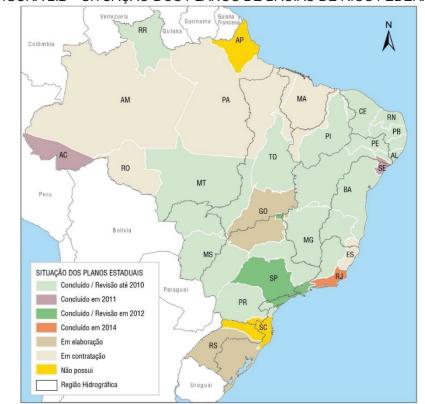


FIGURA 2.2 – SITUAÇÃO DOS PLANOS DE BACIAS DE RIOS FEDERAIS

FONTE: Adaptado de ANA, 2016a.

No âmbito estadual, apenas o estado do Amapá não possuía plano e nem estava em fase de elaboração ou contratação, quanto aos planos de rios estaduais a situação está ilustrada na FIGURA 2.3.

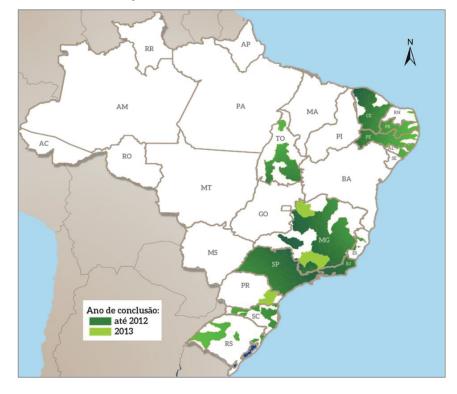


FIGURA 2.3 – SITUAÇÃO DOS PLANOS DE BACIAS DE RIOS ESTADUAIS

FONTE: Adaptado de ANA, 2016a.

No que se refere às ações tomadas no âmbito do enquadramento, ao se compilar as informações publicadas pela ANA desde 2009 nos cadernos Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil, observa-se o seguinte histórico:

Conjuntura 2009 (ANA, 2009a):

- 10 das 27 unidades da federação possuíam instrumentos legais que enquadravam total ou parcialmente seus corpos d'água;
- O estado de Pernambuco estava com seus principais corpos d'água enquadrados com base na Portaria Interministerial nº de 13 de 1976, mas que ficaram sem validade depois da publicação da Resolução CONAMA 357/2005;
- No estado do Rio de Janeiro, o Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras havia estabelecido na década de 70, uma sistemática de classificação dos corpos de água diferente da norma federal, mas que estava sendo seguida até então;
- As demais bacias, Paranapanema e Paraíba do Sul, necessitavam de atualização de seus enquadramentos, pois eles haviam sido elaborados segundo a Portaria do Ministério do Interior n. 13, de 1976, anterior à Resolução Conama n. 20, de 1986;

- Em 1989, os corpos d'água da Bacia do Rio São Francisco foram enquadrados pelo Ibama, segundo as normas estabelecidas pela Resolução Conama n. 20, de 1986.
- Em 2004 foi elaborada uma proposta de enquadramento no Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco, cuja aprovação foi realizada pelo Comitê da Bacia;
- Em 2006 o Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim, estado do Rio de Janeiro, apresentou uma proposta de enquadramento, a qual foi aprovada pelo Comitê.
- Em 2007 a ANA elaborou uma proposta de enquadramento dos trechos dos rios Mundaú, Canhoto e Inhumas e da Lagoa Mundaú no estado de Alagoas.
- Em 2008 uma proposta de enquadramento foi incluída no Plano Estratégico das Bacia Hidrográficas dos rios Tocantins e Araguaia.
- Estava em elaboração o Plano Estratégico de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Afluentes da Margem Direita do Rio Amazonas, o qual incluía uma proposta de enquadramento.
- Minas Gerais havia realizado o enquadramento da Bacia do Rio Paracatu;
- O estado de São Paulo havia criado um grupo para discutir o reenquadramento dos seus corpos d'água.
- O Comitê das Bacias dos Rios PCJ (Piracicaba, Capivari e Jundiaí, estados de São Paulo e Minas Gerais, e o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Pará, estado de Minas Gerais, elaboraram propostas de reenquadramento de suas bacias.

Conjuntura 2010 (ANA, 2010):

- O estado da Bahia aprovou a proposta de enquadramento transitório das Bacias dos Rios Joanes, Ipitanga e Jacuípe, as quais receberam recursos do PAC do Saneamento:
- Na Bacia dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí ocorreram as discussões sobre as metas de enquadramento no âmbito da revisão do Plano da Bacia, que ainda não haviam sido concluídas:
- Em 2009, foi finalizada e aprovada pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos a proposta de enquadramento dos corpos d'água das bacias dos rios Tocantins e Araguaia no âmbito do respectivo plano da bacia;

- Estava em continuidade o trabalho de enquadramento das bacias afluentes da margem direita do Rio Amazonas, da bacia do Rio Doce, e da bacia do Rio Verde Grande, todos realizados no âmbito da elaboração dos respectivos Planos da Bacia sob o comando da ANA;

Conjuntura 2011 (ANA, 2011):

- Destacaram-se as ações relativas ao enquadramento dos corpos d'água nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Minas Gerais e Espírito Santo, além das ações da ANA nas bacias de rios de domínio da União;
- O Comitê da Bacia do Rio Doce aprovou a proposta de enquadramento apresentada no Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce;
- Em Santa Catarina, o Comitê do Rio Itajaí aprovou a proposta de reenquadramento apresentada no Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Itajaí;
- O Conselho de Recursos Hídricos do Rio Grande do Sul aprovou o enquadramento dos corpos d'água da Bacia do Rio Gravataí e das lagoas da Bacia do Rio Tramandaí, assim como os prazos máximos para atingir a meta final e a meta intermediária do enquadramento da Bacia do Rio Caí;
- Prosseguiram os trabalhos de reenquadramento das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí;
- Avançaram as discussões sobre o enquadramento da Bacia do Alto Iguaçu no Paraná;
- O Espírito Santo deu início aos trabalhos de enquadramento das Bacias dos Rios Santa Maria da Vitória e Jucu;
- A ANA apresentou diretrizes para o enquadramento dos afluentes da margem direita do rio Amazonas (Bacias dos Rios Xingu, Tapajós, Madeira, Purus, Juruá e Javari) e deu início à elaboração do Plano da Bacia do Rio Paranaíba, que incluiria uma proposta de enquadramento dos corpos d'água.

Conjuntura 2012 (ANA, 2012):

- No Espírito Santo, o lema lançou um edital para contratação de empresa de consultoria especializada para elaboração de Projeto Executivo para o

Enquadramento dos Corpos d'Água e do Plano de Bacia para os Rios Santa Maria da Vitória e Jucu;

- Em Pernambuco, foi realizada a proposta de enquadramento da Bacia do Rio Ipojuca, no âmbito do Plano Hidroambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca;
- Na Bahia, estavam em contratação os Planos das Bacias dos Rios Salitre, Grande e riachos de Serra Dourada e Brejo Velho, Corrente e riachos do Ramalho, Paraguaçu e do Recôncavo Norte e Inhambupe, os quais previam a elaboração de propostas de enquadramentos dos corpos d'água;
- Ao longo de 2011, prosseguiam as discussões no CBH do Paranaíba sobre o plano da bacia, que contemplaria uma proposta de enquadramento dos corpos d'água;
- O CNRH aprovou o Plano de Recursos Hídricos da Bacia Amazônica Afluentes da Margem Esquerda, o qual possui diretrizes para o enquadramento das Bacias dos Rios Xingu, Tapajós, Madeira, Purus, Juruá e Javari.
- Na Bacia do Rio das Velhas, em Minas Gerais, a implementação do enquadramento estava em andamento, onde foi estabelecida a meta 2014 para consolidar a volta dos peixes e a possibilidade do nado no Rio das Velhas, alcançando a classe 2 de enquadramento.
- Nas Bacias PCJ, o plano de bacia para o período 2010-2020 apresentou uma proposta de atualização do enquadramento dos corpos d'água, estabelecendo como metas alcançar 95% de coleta e de tratamento de esgotos domésticos em 2020.

Conjuntura 2013 (ANA, 2013b):

- No Rio Grande do Sul, o Conselho de Recursos Hídricos do Rio Grande do Sul (CRH-RS) aprovou em forma de resoluções, os enquadramentos das águas superficiais das bacias dos Rios Gravataí, Ijuí e Ibicuí. O CRH-RS aprovou também a proposta de enquadramento elaborada pelo Comitê Apuaê-Inhandava para os rios Tigre, Ligeirinho, Campos e Poço, que fazem parte da área de drenagem da bacia de captação do município de Erechim. Também foi encaminhada ao CHR-RS a proposta de enquadramento da Bacia do Rio Passo Fundo. O CRH-RS também homologou a proposta de enquadramento das águas superficiais da Bacia Hidrográfica do Alto Jacuí para os próximos 20 anos. Ainda no Rio Grande do Sul, foi elaborada no âmbito do plano da bacia a proposta de enquadramento da bacia Taguari-Antas;

- Em Santa Catarina, um grupo composto por técnicos de várias instituições (SOS, Floram, Fatma, Vigilância Sanitária e Casan) decidiu pela elaboração do termo de referência para o estudo de enquadramento dos rios da ilha de Santa Catarina, onde se localiza parte da cidade de Florianópolis;
- No Paraná, foi apresentada ao Comitê das Bacias do Alto Iguaçu e dos Afluentes do Alto Ribeira a proposta de atualização do enquadramento dos principais cursos d' água nestas bacias, elaborada no âmbito de seus planos de recursos hídricos;
- Em São Paulo continuaram as discussões sobre as ações necessárias para a implementação do enquadramento nas Bacias PCJ, o qual foi definido pelo Plano de Bacia (2010-2020) e aprovado pelos Comitês PCJ;
- No Mato Grosso do Sul ocorreu a publicação da Deliberação do Conselho Estadual de Meio Ambiente (CECA) (CECA/MS Nº 36/2012) que dispõe sobre a classificação dos corpos d'água superficiais e estabelece diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como diretrizes, condições e padrões de lançamento de efluentes no âmbito do estado do Mato Grosso do Sul. Em Campo Grande, foi elaborada uma proposta de enquadramento da Bacia do Rio Anhanduí;
- No Espírito Santo prosseguiram os trabalhos de enquadramento no âmbito do "Projeto Executivo para o Enquadramento de Cursos de Água e Plano de Bacia para os rios Santa Maria da Vitória e Jucu';
- No Rio de Janeiro foi criado um grupo de trabalho multidisciplinar no Inea para planejar e executar ações do "Projeto de Enquadramento para os Corpos d' água no estado do Rio de Janeiro": O CBH dos Rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim definiu como prioridade a normatização da proposta de enquadramento;
- Em Minas Gerais foi instalado um grupo de trabalho para discutir diretrizes gerais para o enquadramento de corpos d'água, composto por 12 membros, dentre representantes do CERH e do Conselho Estadual de Política Ambiental (Capam). Também em Minas Gerais continuaram os trabalhos de elaboração da proposta de enquadramento das bacias dos rios Pardo, Alto Rio Grande, Urucuia, Mortes e Jacaré;
- Na Bahia estavam em andamento os planos do Rio Salitre e dos rios Grande e Corrente, sendo o enquadramento contemplado em ambos. Estavam em contratação os planos das bacias dos rios Paraguaçu e Recôncavo Norte, Contas, Recôncavo Sul e Leste, os quais também preveem a elaboração de propostas de enquadramento dos corpos d'água.

- Ao nível federal, a ANA, juntamente com o CBH do Paranaíba e órgãos gestores de Goiás, Minas Gerais, Distrito Federal e Mato Grosso do Sul, elaborou a proposta de enquadramento da Bacia do Rio Paranaíba, no âmbito do seu plano de recursos hídricos;
- A ANA, juntamente com o CBH do Piranhas Açu e órgãos gestores do Rio Grande do Norte e Paraíba, deu início à elaboração do Plano da Bacia do Rio Piranhas Açu, que também contaria com a elaboração de proposta de enquadramento dos corpos d'água.

Conjuntura 2014 (ANA, 2015b):

- Foi aprovada, no âmbito do CBH Paranaíba (que engloba áreas do DF e dos estados de GO, MG e MS), a Proposta de Enquadramento dos Corpos Hídricos Superficiais da Bacia do Rio Paranaíba;
- Encontrava-se em elaboração estudos para subsidiar a elaboração de proposta de enquadramento para os corpos d'água superficiais da Bacia do Rio Piranhas-Açu (contempla áreas dos estados da PB e do RN);
- No Paraná foi aprovado o enquadramento dos corpos de água superficiais na área de abrangência do Comitê das Bacias do Alto Iguaçu e Afluentes do Alto Ribeira;
- No Rio Grande do Sul foi aprovado o enquadramento das águas superficiais da Bacia Rio Passo Fundo, o enquadramento das aguas superficiais da Bacia Hidrográfica do Taquari-Antas e o enquadramento das águas superficiais da Bacia Hidrográfica Alto Jacuí.

Conjuntura 2015 (ANA, 2015a):

- Em 2014, não foram aprovadas propostas de enquadramento de rios de domínio federal;
- No Rio Grande do Sul, foi aprovado o enquadramento das águas superficiais da Bacia do Rio dos Sinos:
- No Rio de Janeiro foi aprovado o enquadramento de corpos d'água em classes de uso para 24 trechos de cursos d'água da Região Hidrográfica Guandu;
- No Distrito Federal foi aprovado o enquadramento dos corpos d'água superficiais do Distrito Federal em classes segundo os usos preponderantes;

- Foram publicadas, duas deliberações do Conselho Estadual de Recursos Hídricos de São Paulo que alteram enquadramentos de alguns trechos do Rio Jundiaí, da Bacia do PCJ e do Ribeirão Lavapés do CBH - Sorocaba/ Médio Tietê.

Conjuntura 2016 (ANA, 2016a):

- Em 2015 não foram aprovadas propostas de enquadramento de rios de domínio federal;
- No Rio Grande do Sul foi aprovado o enquadramento das águas superficiais da Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí;
- No Espírito Santo foi homologado o enquadramento dos corpos de água apresentado pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do rio Benevente.

Percebe-se que a definição dos enquadramentos não segue o mesmo ritmo de implantação dos PRH e que algumas propostas começaram a ser elaboradas, mas não foram finalizadas. Na tentativa de se compilar de forma mais detalhada as informações dos planos de bacias e propostas de enquadramento para entender o panorama de implantação desses instrumentos a nível nacional, bem como as metodologias mais comuns aplicadas, elaborou-se, por meio da análise dos documentos, as tabelas do APÊNDICE A.

Nesse levantamento observou-se que apenas 42 bacias possuem propostas de enquadramento elaboradas e uma minoria, 18, apresenta propostas aprovadas, situação alarmante, uma vez que o enquadramento é um instrumento de gestão que deve ser integrado com outros instrumentos de recursos hídricos, gestão territorial e ambiental.

Quanto mais se demora em aprovar um enquadramento, aumenta a tendência a problemas futuros com qualidade da água, bem como a dificuldade em estabelecer uma proposta de enquadramento.

Como exemplo, pode-se citar a proposta do enquadramento da Bacia Hidrográfica do rio Tibagi (AGUASPARANÁ, 2013), quando se identificou que, num trecho de rio de área indígena existia uma estação de tratamento de efluentes da concessionária estadual. Nesse caso, com base na CONAMA 357/05, o adequado seria estabelecer Classe 1 pelo uso indígena. Porém com a existência de uma ETE com autorização para funcionamento, fica praticamente impossível exigir que a concessionária arque com altos custos de tratamento para tal.

Certamente essa situação é comum em muitas outras bacias, mas não ocorreria se o licenciamento ambiental e a concessão de outorgas estivessem interligados com as definições do enquadramento. Além disso, a forma como a lei é definida torna o enquadramento algo muito determinístico, estabelecendo classes de qualidade onde não há condições para a mesma. Seguindo ainda a linha do exemplo, a única solução seria desativar a ETE, por meio da proposição de tal ação no plano para a efetivação do enquadramento. Fato que certamente não será possível, pois a desativação da ETE ou mesmo a sua alocação em outro ponto da bacia traria custos que a Bacia não conseguiria arcar. Dessa forma, quanto mais licenças e outorgas forem sendo emitidas em determinada bacia hidrográfica, mas complexa será a definição e consequente alcance do enquadramento baseado em usos.

Talvez a única certeza sobre os enquadramentos no Brasil a partir da análise realizada seja que os diagnósticos são elaborados majoritariamente sobre dados secundários, o que não chega a ser ruim, pois normalmente conta com um número de dados mais significativo, porém pode trazer incertezas quando se utiliza diferentes fontes de informação sem uma análise criteriosa das metodologias de coleta e análise dos dados utilizados. A avaliação dos mesmos é realizada em grande parte por uma série de parâmetros, onde se busca associar os valores médios dos mesmos com as Classes em que eles se enquadrariam. Há ainda muitos casos em que são utilizados índices, principalmente o Índice de Qualidade das Águas (IQA) e o Índice do Estado Trófico (IET). Em apenas seis casos os diagnósticos fizeram uso da análise das fontes poluidoras.

No que se refere ao Prognóstico, das 42 bacias com proposta de enquadramento, 39 apresentaram definição de cenários, sendo que mais da metade possuía apenas o cenário tendencial apresentado, portanto não pode ser considerado um cenário propriamente dito, pois está baseado apenas em informações do passado.

As cargas poluidoras foram calculadas em 30 bacias para a definição do enquadramento e nas demais, as classes foram estabelecidas com base nos usos ou no percentual de atendimento de cada classe com base nos dados levantados no diagnóstico. As cargas em sua maioria foram consideradas apenas para o setor doméstico, mais especificamente para o parâmetro DBO. Essas cargas, em apenas poucos casos, foram analisadas com o uso de modelos matemáticos, podendo-se

destacar o QUAL2K ou QUAL2E e HEC-Ras. O uso de estatística apareceu em apenas um caso e outros modelos também foram utilizados, porém pouco detalhados nos relatórios disponíveis.

A análise geral da tabela mostra que apesar de decorridos 20 anos desde a definição da Política Nacional de Recursos Hídricos, poucos avanços foram registrados na sua implantação, particularmente no enquadramento e nada há definido sobre as mais adequadas metodologias a serem adotadas em cada etapa e quais os reflexos da adoção de uma ou outra, ou a simples replicação dos métodos comuns em bacias de diferentes portes e características.

2.3 DIFICULDADES PARA IMPLEMENTAÇÃO

Apesar de poucas bacias terem uma proposta de enquadramento aprovada, na prática sabe-se que a minoria, para não se dizer nenhuma, consegue atender ao que foi proposto. A FIGURA 2.4 ilustra o Índice de Conformidade ao Enquadramento (IEC), onde nota-se que a maioria dos corpos hídricos analisados está nas faixas péssima ou ruim, que de acordo com o índice significa que a qualidade da água está quase sempre alterada e frequentemente afetada, respectivamente.

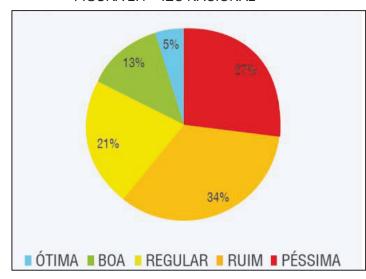


FIGURA 2.4 - IEC NACIONAL

FONTE: Adaptado de ANA, 2012.

De acordo com Lanna (2003):

As principais dificuldades na implantação do enquadramento esbarram na falta de capacidade técnica, metodologia e de priorização das ações de gestão dos recursos hídricos, prejudicando a aplicação deste importante instrumento da política nacional de recursos hídricos.

Sobre o aspecto de falta de capacidade técnica, cabe apontar a disparidade técnica, ideológica e política existente entre os técnicos dos órgãos nacionais, estaduais e locais. Além da dificuldade de entendimento entre os profissionais dos órgãos gestores e elaboradores das propostas de enquadramento, que em teoria são especialistas, com os diferentes usuários representados no Comitê de bacia. Dessa forma, descobrir a melhor forma de desenvolver uma conversa produtiva, juntando o conhecimento técnico e científico com os conhecimentos de campo e de vivência de forma que haja entendimento mútuo para a elaboração de propostas de enquadramento realmente representativas de uma bacia hidrográfica é um dos desafios para a implementação do enquadramento.

No que se refere à falta de metodologia, colocada por Lanna (2003), é importante destacar que um dos principais problemas para realização do enquadramento, segundo os próprios Estados, é a falta de metodologia para o processo como um todo (ANA, 2009b). Na verdade, metodologias se tem de sobra, o que falta é saber qual é a mais adequada para cada situação, quais são os riscos por de trás da adoção de uma ou de outra técnica de análise de banco de dados, de modelagem matemática, de criação de cenários, de medidas de redução de cargas, de estimativas de custo, entre outros.

A verdade é que o processo de enquadramento é complexo, dificultando a escolha de metodologias e normalmente esse processo está afastado das teorias mais bem aceitas no meio acadêmico. De qualquer forma, ao se analisar as propostas de enquadramento já aprovadas nota-se que a metodologia por trás da elaboração das mesmas é quase sempre idêntica, tanto nas bacias interestaduais quanto nas bacias estaduais, de escalas muito diferentes, portanto o que falta é a análise da metodologia mais adequada para cada bacia hidrográfica, em cada situação e em cada realidade. Esse ponto foi destacado por Gallego (2014), exemplificando que a aplicação de um modelo de qualidade da água em uma pequena bacia hidrográfica com baixo grau de complexidade pode gerar resultados satisfatórios enquanto que o mesmo modelo aplicado em uma bacia complexa acaba exigindo tantas simplificações que os resultados perdem a validade.

Ainda sobre a colocação de Lanna (2003), a falta de priorização das ações de gestão dos recursos hídricos é realmente uma atitude alarmante e possivelmente é um dos grandes empecilhos para a implantação dos instrumentos da PNRH.

Dentre os obstáculos encontrados, está ainda a falta de definição de objetivos concretos, tanto na elaboração dos planos de recursos hídricos quanto na definição do enquadramento. É preciso que os objetivos sejam definidos de forma tangível, transmitindo a realidade de cada bacia, os principais problemas e as ações mais urgentes a serem tomadas, tudo isso de forma real, se possível numérica ou por meio de agrupamentos de informações e critérios que representem objetivos efetivos. É preciso saber onde se quer chegar, em qual horizonte, com quais investimentos financeiros e fontes de recurso.

Existe a necessidade de aprimoramento do processo de enquadramento dos corpos de água, a fim de dar maior vinculação entre ações e intervenções viáveis e realistas programadas no contexto de planos de bacias com os objetivos e metas estabelecidos para o alcance de classes de usos (FACIOLI e BEZERRA, 2015).

Cabe ainda destacar que é preciso estar aberto para a adaptação às circunstâncias que podem mudar numa bacia, pois o planejamento é um processo permanentemente e que, portanto, precisa ser revisado periodicamente. Por isso, é interessante planejar em longo prazo, mas criando etapas a serem alcançadas aos poucos, para que as ações possam ser alteradas caso necessário. Nesse ponto, cabe destacar que a própria CONAMA 357/05 prevê a adoção de metas progressivas intermediárias, o grande desafio é como acompanhar a implementação dessas metas e ajustá-las conforme a necessidade. Dos 120 planos listados no APÊNDICE A, 40 estabeleceram metas intermediárias de redução de cargas, mas apenas 2 estabeleceram enquadramentos intermediários, o que reflete a falta de compatibilidade nas metodologias adotadas e definição de classes irreais, principalmente quando se trata de bacias urbanas, em que o grau de degradação da qualidade da água é elevado.

Outro ponto que dificulta a implementação do enquadramento é a falta de dados, que vão desde cadastros incompletos ou desatualizados de usuários de água, ausência de informações georreferenciadas de uso do solo e dados econômicos até a falta de dados de quantidade e qualidade da água. Sobre esse ponto, no estudo de caso da bacia do Rio São Francisco (OCDE, 2015), é destacado o fato de que a classificação dos rios só existe no papel, sendo o monitoramento

fraco com ausência de prazo estabelecido para que os rios entrem em conformidade com os padrões de qualidade da água definidos para sua classe de enquadramento.

Apesar de ser apontado para uma bacia específica, na realidade sabe-se que a rede de monitoramento no Brasil é ineficiente e que apesar de os programas para efetivação do enquadramento, em sua maioria, preverem o monitoramento como medida de acompanhamento, o mesmo não ocorre na escala temporal e espacial adequada. A ANA vem atuando na tentativa de resolver essa situação, através do Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas (PNQA), em que a Rede Nacional de Qualidade das Águas (RNQA) vêm sendo ampliada de forma participativa e descentralizada, mas ao mesmo tempo buscando-se a padronização dos dados e métodos de análise. A meta da Agência é que em 2020 o monitoramento não seja um dos empecilhos da gestão de recursos hídricos, conforme pode ser observado na FIGURA 2.5. Porém, um banco de dados consistente para essa rede levará anos para se formar.

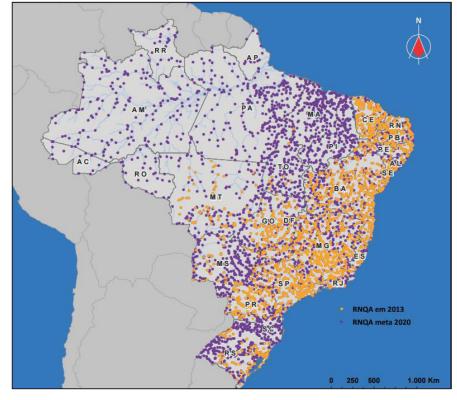


FIGURA 2.5 – REDE NACIONAL DE QUALIDADE DAS ÁGUAS

FONTE: ANA, 2015a.

Mais um ponto que merece destaque é o fato de que apesar de existir uma lista de parâmetros físicos, químicos e biológicos com limites para cada classe da

CONAMA 357/05, a maioria dos enquadramentos são definidos com base apenas no parâmetro DBO. Esse parâmetro é de fácil determinação, representa muito bem os aportes de efluente sanitário e é o mais utilizado por órgãos de controle ambiental e de implementação e aplicação de instrumentos de gestão de recursos hídricos, conforme destacado por Calmon *et al.* (2016). Porém, nem todas as bacias, ou ao menos não em sua totalidade, tem sempre seus maiores problemas com poluição de efluentes domésticos, existe ainda a poluição industrial, a de drenagem urbana, a oriunda do uso do solo, da atividade agrícola, entre outas, cujas características demandam o estudo de diferentes parâmetros, tais como fósforo e metais.

Esses pontos aliados às questões já apontadas no *Item 2.1:* limites de classe baseados apenas em concentrações na Resolução CONAMA 357/05, falta de especificidades para rios intermitentes, conflitos entre os usuários representados nos comitês, divergência temporal na definição e aplicação dos instrumentos, bem como a demora na aprovação dos mesmos demonstram as dificuldades para a implementação e efetivação do enquadramento.

Tais pontos precisam ser solucionados o quanto antes, pois o desenvolvimento e a implementação dos planos e propostas de enquadramento deve ser o foco dos gestores, uma vez que ele é, ou pelo menos deveria ser, a base para o desenvolvimento das demais atividades ligadas à gestão de recursos hídricos de uma bacia hidrográfica.

2.4 SÍNTESE DO CAPÍTULO

Historicamente existe uma preocupação com a qualidade da água dos corpos hídricos, principalmente dos localizados em áreas urbanas, onde necessita-se de água para os mais diversos usos, que por sua vez podem trazer perda de qualidade para os mesmos. Embora a PNRH, tenha sido estabelecida pela Lei Federal 9.433 em 1997, leis anteriores a ela buscavam estabelecer limites de poluição, e alguns estados já haviam enquadrado seus corpos hídricos, de maneira simplificada, entre os anos 70 e 80. Contudo, embora se perceba que a legislação progrediu e ficou mais específica com o decorrer dos anos, nota-se que ainda há muita dificuldade em implantar os instrumentos de gestão e garantir qualidade da água apropriada para cada uso.

No que se refere ao enquadramento, além da PNRH, Lei 9.433/97 têm-se as resoluções CONAMA 357/05 e CNRH 91/2008 para seu embasamento. Contudo, nas próprias legislações existem definições e pontos falhos que podem dificultar a implantação do instrumento.

Cabe ainda refletir se, apesar da lei defini-lo como um instrumento de planejamento é essa a forma que vem sendo aplicado pelas instituições gestoras e principalmente pelos Comitês de Bacia. Para que o enquadramento seja de fato uma ferramenta de planejamento, ele precisa ter muito bem definidas, em seu programa para efetivação, ações e metas a serem alcançadas que juntamente com a aplicação dos outros instrumentos de gestão, principalmente a outorga e a cobrança, vão permitir tornar o enquadramento proposto ou desejado, real.

A implantação do enquadramento nos diferentes estados brasileiros ocorre de forma desigual e embora um pequeno número de bacias tenha conseguido aprovar suas propostas de enquadramento, nem sempre levou-se em consideração o que é previsto na legislação, como a elaboração de cenários e metas progressivas. Isso pode ser resultado do despreparo das instituições que propõem, elaboram e aprovam as propostas de enquadramento, além da falta de adoção de metodologias desenvolvidas exclusivamente para esse fim e que buscam integrar, ao menos de forma simplificada, o que é desenvolvido no meio científico.

"O começo de todas as ciências é o espanto de as coisas serem o que são".

Aristóteles

3 REFERENCIAL TEÓRICO E BASES TÉCNICAS

A FIGURA 3.1 ilustra a posição do enquadramento dos corpos hídricos em relação aos instrumentos de gestão, onde são destacadas 8 atividades que se considera essenciais para o desenvolvimento de uma proposta de classificação baseada nos usos. Pode-se que dizer que cada uma dessas etapas enfrenta dificuldades intrínsecas em seu desenvolvimento, seja por falta de dados, pela escolha da metodologia adequada, pela complexidade envolvendo as variáveis, entre outros.



FIGURA 3.1 - PROCESSO DO ENQUADRAMENTO

FONTE: Adaptado de Fernandes et al., 2008.

No que se refere ao monitoramento qualidade x quantidade, a base de dados do Hidroweb (ANA, 2017a), apesar de cobrir boa parte do Brasil não

apresenta informações de quantidade e qualidade da água em número semelhante, há muito mais dados de quantidade do que qualidade. Ao se fazer, por exemplo, um filtro de estações fluviométricas para o estado do Paraná, resultam 942 estações, dessas, 301 apresenta informações de vazão e 250 de qualidade da água, sendo que apenas 150 possuem os dois tipos de dados. Isso sem analisar em detalhes as datas e parâmetros monitorados. Esse cenário dificulta a articulação de informações quali-quanti que juntas podem permitir um diagnóstico da bacia mais completo.

Na construção da matriz de fontes de poluição e de usos, a falta de cadastro de outorgas e licenças ambientais desatualizadas, bem como ausência de informações em meio digital são alguns dos problemas comuns encontrados. No estado do Paraná, por exemplo, ao se baixar as informações de outorgas disponível no site do AGUASPARANÁ (2017), nota-se licenças sem todas as informações preenchidas, algumas duplicadas e até mesmo vencidas. Ainda tratando-se deste estado, o sistema de emissão de licenças ambientais não é em meio digital, dessa forma, ao se elaborar um plano de recursos hídricos ou proposta de enquadramento, onde se queira inserir a localização das atividades poluidoras, que nem sempre precisam de outorgas mas que pode trazer algum impacto hídrico, é necessário ir até o arquivo do Instituto Ambiental, procurar quais empreendimentos podem interessar e aí então copiar as informações disponíveis apenas em meio físico. Isso demonstra que nem mesmo dentro da mesma esfera de trabalho há facilidade em obter essas informações. Isso adicionado ao curto espaço de tempo que se tem para elaborar planos de bacia e propostas de enquadramento faz com que muitas informações sejam deixadas de lado.

Além disso, para a construção de matrizes eficientes é essencial que a mesma seja construída sobretudo em uma base georreferenciada, o que nem sempre é realizado. É comum obter coordenadas erradas no cadastro de outorgas, uma vez que é o próprio requerente que preenche a solicitação, muitas vezes não se tem arquivos de uso do solo atualizados e utiliza-se o mais recente existente ou os mapas do IBGE, que nem sempre são compatíveis com a escala de uma bacia hidrográfica de pequeno porte. Por exemplo, o Plano da Bacia Hidrográfica do Paraná 3 (AGUASPARANÁ, 2014), apesar de finalizado em 2014 utilizou como base para definir o uso do solo bases cartográficas que variam de 2005 a 2009, o mesmo mapa foi utilizado na elaboração da proposta de enquadramento da bacia (AGUASPARANÁ, 2016). Portanto há cerca de 10 anos de defasagem nos dados

utilizados, o que para uma bacia que se encontra em expansão, principalmente na agropecuária, pode representar uma diferença significativa.

No que se refere à hidrologia, além da comum falta de dados, encontrar uma maneira de preencher falhas, bem como escolher o método de interpolação mais adequado para determinação das vazões de cada área de drenagem são tarefas pouco discutidas. Recentemente a ANA, por meio de seu portal de metadados disponibilizou informações de vazão regionalizada na Q95%, numa escala de 1:1.000.000, o que pode ajudar, contudo para bacias de pequeno porte pode não ser suficiente. Além disso, há a questão da determinação da vazão de referência mais adequada para cada bacia hidrográfica. Utilizar a mesma vazão da outorga é interessante do ponto de vista de articulação dos instrumentos de gestão, porém, isso pode não representar a condição mais crítica de qualidade do corpo hídrico. Brites (2010) debateu essa questão, destacando que as variáveis envolvidas no processo de enquadramento, vazão e concentrações apresentam caráter dinâmico e são influenciados por diferentes aspectos, tal como o comportamento pluviométrico, os usos da água e do solo, o que as caracteriza como variáveis de comportamento aleatório, tornando complexa a adoção de uma única vazão de referência.

Um modelo de qualidade da água capaz de realizar a análise de cargas poluidoras em diferentes vazões se torna, dessa forma, interessante, porém escolher ou criar o modelo mais adequado dentro da realidade de coeficientes e informações disponíveis na bacia também é uma tarefa complexa. Analisando os enquadramentos aprovados, APÊNDICE A, nota-se que para os poucos casos em que se identificou a utilização de modelos matemáticos, a adoção do QUAL2K e QUAL2E é recorrente.

Apesar de a primeira vista eles parecerem semelhantes, possuem algumas características distintas que podem influenciar as decisões tomadas a partir dos resultados gerados por meio de um ou de outro, conforme Knapik *et al* (2011). Além disso, o processo de calibração e definição de seus coeficientes á algo bastante complexo e podem ser bastante diferentes entre as bacias e necessitaria de estudo específicos para determinação dos mesmos de forma mais precisa, conforme Corrêa (2013). Dessa forma, a aplicação desses modelos de forma bastante simplificada, o que acredita-se estar ocorrendo na elaboração dos planos de bacia e propostas de enquadramento, uma vez que os relatórios não detalham a aplicação dos mesmos, pode estar ocorrendo de forma pouco precisa.

A proposição de medidas de despoluição hídrica precisa estar atrelada à análise de custos, porém nem sempre é fácil determinar com precisão os custos com remoção de cargas. Por exemplo, no caso de cargas domésticas, o custo é calculado com base em valores *per capita*, porém, é um custo de responsabilidade do município, que precisa construir ou melhorar seu sistema de coleta e tratamento de efluentes. Conforme Pacheco (2015), o Brasil ainda é carente de informações no que diz respeito aos custos de implantação de sistemas de esgotamento sanitário. Dessa forma, é difícil determinar um custo global com base em várias localidades, com número de populações distintas para cada realidade de coleta e tratamento de esgoto, sabendo-se que o investimento inicial em obras de saneamento é muito elevado. Isso que das cargas existentes em uma bacia, a oriunda de esgotamentos sanitários é mais estudada, se formos estimar os custos relacionados à remoção da carga difusa, por exemplo, essa incerteza torna-se ainda maior.

O estabelecimento de metas progressivas é, ou pelo menos deveria ser, crucial para a implantação do enquadramento. Pois, conforme colocado por Brites (2010) elas representam o desenvolvimento do objetivo por meio de realizações físicas e atividades de gestão a partir de unidades de medidas e cronograma préestabelecidos, que por sua vez são de caráter obrigatório. Porém é difícil determinar essas metas analisando-se de forma conjunta a quantidade de carga a ser reduzida, os investimentos necessários para isso e os recursos disponíveis. Estabelecer metas factíveis é um grande desafio e ao mesmo tempo a essência de uma proposta de enquadramento.

Nesse sentido, acredita-se que discutir e estudar ferramentas estatísticas e de geoprocessamento, aliadas à análise de cargas poluidoras são essenciais para a compreensão de metodologias capazes de auxiliar no processo de definição de propostas de enquadramento possíveis de serem implantadas.

3.1ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA

A Análise Estatística Multivariada (AEM) é útil para problemas envolvendo muitas variáveis que se relacionam entre si, tal como os referentes à qualidade das águas. Na AEM, as múltiplas variáveis podem ser observadas simultaneamente, revelando assim uma visão mais geral do conjunto de dados. De acordo com

Ferreira (2008), essa análise integrada de todas as variáveis permite que as interrelações sejam exploradas em sua máxima profundidade e as soluções obtidas sejam mais consistentes e úteis.

Uma vez que normalmente os dados de monitoramento de qualidade da água são conseguidos a partir de altos custos referentes aos equipamentos de medição, análises laboratoriais, deslocamento, profissionais envolvidos, etc. Além da estrutura da base de dados ser geralmente complexa, sendo difícil a interpretação das relações existentes entre as variáveis bem como o que a variação de uma ou mais delas pode estar interferindo na qualidade da água. Essas duas questões destacadas por França (2009) acabam interferindo negativamente na aplicação de técnicas e ferramentas para a gestão dos recursos hídricos. Dessa forma, torna-se interessante o uso da estatística multivariada para análise das relações entre as variáveis de qualidade da água bem como dos pontos de monitoramento.

Entre os objetivos da análise multivariada estão: medir, explicar e prever o grau de relação entre variáveis estatísticas, definida por Hair Jr. et al. (2009) "como uma combinação linear de variáveis com pesos determinados empiricamente pela técnica multivariada para atingir um objetivo específico". Em estudos da qualidade da água, o objetivo geralmente é utilizar as técnicas para identificar variáveis chaves que tem relação significativa nas mudanças de qualidade. Segundo Pinto e Maheshwari (2011) a identificação dessas variáveis chaves possibilita diminuir gastos com monitoramento sem perder a eficiência.

A AEM pode ser dividida basicamente em dois grupos: um primeiro, consistindo de técnicas exploratórias de sintetização de dados e um segundo consistindo de técnicas de inferência estatística (MINGOTI, 2005). Dentre as principais técnicas da análise multivariada do primeiro grupo estão: análise de agrupamentos, análise fatorial, análise de componentes principais e análise de correlações canônicas. Os métodos de estimação de parâmetros, testes de hipóteses, análise de variância e de regressão multivariadas são as técnicas pertencentes ao segundo grupo.

Três dessas técnicas vêm mostrando bons resultados e se destacando em estudos de qualidade da água: análise de componentes principais, análise fatorial e análise de agrupamentos, conforme detalhado por ALMEIDA (2013).

Análise de Componentes Principais (ACP) foi introduzida por Karl Pearson em 1901 e é basicamente uma técnica utilizada para reduzir a dimensão de bancos de

dados com muitas variáveis inter-relacionadas através da criação de um conjunto que contenha as variáveis mais representativas do problema estudado. Johnson e Wichern (1998) afirmam que embora sejam necessárias "p" componentes para reproduzir a variabilidade total de um sistema, muito dessa variabilidade pode ser explicada por um pequeno número "k" de componentes principais (CPs). Os principais objetivos da ACP de acordo com Barroso e Artes (2003) são: redução da dimensionalidade do banco de dados; obtenção de combinações interpretáveis das variáveis; e descrição e entendimento da estrutura de correlação das variáveis. A maior parte dos estudos de qualidade de água em rios realiza a ACP a fim de buscar uma forma de entender a relação entre os parâmetros, os locais de monitoramento e as variações sazonais (ALMEIDA, 2013).

Análise Fatorial (AF) foi introduzida por Sperman em 1904 e assim como a ACP tem como objetivo diminuir bancos de dados com muitas variáveis relacionadas, o que é feito através da criação de fatores, chamados fatores comuns, que são não correlacionados entre si e que supostamente medem aspectos comuns do conjunto de dados. Os fatores são obtidos a partir da estrutura de dependência entre as variáveis e com eles é possível saber o quanto cada fator está associado a cada variável e quanto o conjunto de fatores explica a variabilidade total dos dados (BARROSO e ARTES, 2003).

Análise de agrupamentos, também conhecida como análise de *cluster* (AC) é um grupo de técnicas multivariadas cuja finalidade principal é agregar objetos com base nas suas características intrínsecas e assim separar os que são dissimilares. Portanto, objetivo básico é descobrir agrupamentos naturais dentro do conjunto de variáveis de forma que os semelhantes sejam agrupados em um mesmo grupo (FERREIRA, 2008; JOHNSON e WICHERN, 1998). De acordo com Cieszynska et al. (2011), ao contrário da ACP que faz algumas simplificações na informação da variância, a análise de agrupamentos representa a variação total do conjunto de dados

Estas três técnicas são de sintetização de dados, o que permite identificar os parâmetros e os locais de monitoramento que melhor traduzem o efeito do aporte de poluentes na bacia. A partir disso é possível reestruturar o monitoramento de forma que os parâmetros e locais menos representativos sejam monitorados com menos frequência ou até mesmo excluídos. Com isso é possível reduzir custos sem perda de qualidade de monitoramento, o que no cenário atual brasileiro, em que a RNQA

está sendo formada, definir os parâmetros de qualidade da água e os pontos de monitoramento mais representativos podem contribuir para a redução de custos e minimizar a falta de dados para a elaboração e acompanhamento de enquadramentos.

Em estudos da qualidade da água, quando o intuito é identificar quais são as variáveis mais importantes no monitoramento, a técnica de estatística multivariada mais adequada, é o da análise fatorial. Esta técnica é frequentemente utilizada em estudos desse tipo, como os realizados por França (2009) para a bacia do Alto Iguaçu, Pinto e Maheshwari (2011) para o rio Hawkesbury-Nepean na Austrália, Bu et al. (2010) para o Rio Jinshui e Zhao e Cui (2009) para o Rio Luan, ambos na China. Contudo, a análise fatorial é precedida pela aplicação da ACP.

Além da análise fatorial, pode-se fazer uso da análise de agrupamentos, que é uma técnica útil quando se quer observar, por exemplo, quais as coletas de amostras mais significativas, como fez França (2009), ou quando se quer agrupar locais de amostragem que apresentam parâmetros parecidos, como fez Singh et al. (2004).

Para que os resultados obtidos pelo emprego de técnicas multivariadas sejam confiáveis, é necessário que alguns requisitos sejam atendidos previamente. As variáveis devem ser aleatórias e inter-relacionadas, pois assim elas não podem ser interpretadas separadamente. Isso usualmente ocorre com as variáveis envolvidas em monitoramento de qualidade da água. Além disso, o número de variáveis "p" precisa ser inferior ao número de observações "n", apesar de não se ter um consenso sobre de quanto deve ser essa relação. Esta é uma exigência importante da análise multivariada, que é deixada de lado por muitos pesquisadores. França (2009) fez uma análise crítica muito interessante sobre esta questão, destacando as implicações de se não obedecer aos critérios estatísticos para a aplicação dessas técnicas em qualidade da água.

Segundo Ouyang (2005), quando o número de parâmetros de qualidade da água é maior que as observações, as soluções obtidas pela aplicação das análises de componentes principais e fatorial são instáveis.

A maioria dos métodos multivariados exige ainda que os dados apresentem distribuição normal, pois, segundo Hair Jr *et al.* (2009), a densidade normal é uma aproximação útil para a distribuição real da população. A densidade normal multivariada é uma generalização da densidade normal univariada para $p \ge 2$ e

segundo Winter e Sganzerla (2009) é a distribuição de probabilidade mais importante para descrever variáveis aleatórias contínuas.

Neste trabalho serão adotadas letras minúsculas em negrito e sublinhadas para vetores; letras maiúsculas e em negrito para matrizes; o apóstrofo (') para indicar matriz ou vetor transposto; e –1 para indicar matriz inversa.

Um vetor aleatório de variáveis independentes p, representado por $\underline{\mathbf{x}}' = [x_1, x_2, ..., x_p]$ tem uma distribuição normal p-variada denotada por $\underline{\mathbf{X}} \sim N_p(\underline{\boldsymbol{\mu}}, \Sigma)$ e é definida pela seguinte função densidade:

$$f(\underline{\mathbf{x}}) = \frac{1}{(2\pi)^{p/2} |\mathbf{\Sigma}|^{1/2}} exp\left\{-\frac{1}{2} \left(\underline{\mathbf{x}} - \underline{\boldsymbol{\mu}}\right)^{'} \boldsymbol{\Sigma}^{-1} \left(\underline{\mathbf{x}} - \underline{\boldsymbol{\mu}}\right)\right\},\tag{1}$$

onde $\underline{\boldsymbol{\mu}}$ '= [μ_1 , μ_2 ,..., μ_p] é o vetor de médias, \sum é a matriz de covariância representada por $\begin{bmatrix} \sigma_{11} & ... & \sigma_{1p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{p1} & ... & \sigma_{pp} \end{bmatrix}$ e - ∞ < x_i < ∞ para i=1, 2,..., p.

Uma explicação detalhada de como se chega à Equação 1, a partir da função densidade normal univariada encontra-se em Johnson e Wichern (1998).

Existem distintos testes e procedimentos gráficos para avaliar a normalidade do conjunto de dados. Para o caso multivariado, o gráfico de probabilidade quiquadrado, baseado no quadrado da distância generalizada é o mais formal de acordo com Johnson e Wichern (1998) e é o mais observado em estudos sobre qualidade da água. Essa distância, representada pela variável d²_j pode ser calculada pela Equação 2:

$$d_j^2 = \left(\underline{\mathbf{x}}_i - \overline{\underline{\mathbf{x}}}\right)^{'} \mathbf{S}^{-1} \left(\underline{\mathbf{x}}_i - \overline{\underline{\mathbf{x}}}\right) \operatorname{com} j = 1, 2, ..., n$$
 (2)

onde $x_1, x_2, ..., x_n$ representam os valores observados das p-variáveis, $\overline{\mathbf{x}}$ é o vetor das médias amostrais e $\underline{\mathbf{S}}^{-1}$ é o estimador de Σ^{-1} . Depois de calculados, os quadrados das distâncias devem ser ordenados de forma crescente $(\mathbf{d}^2_{(1)} \leq \mathbf{d}^2_{(2)} \leq \mathbf{d}^2_{(n)})$ e então os pares $\left[d_{(j)}^2, X_p^2 \frac{(j-\frac{1}{2})}{n}\right]$ colocados em um gráfico, sendo X_p^2 obtido pela tabela de distribuição qui-quadrado com p graus de liberdade. Se o gráfico resultante for aproximadamente uma reta, assume-se então a normalidade.

A formulação da ACP, item *3.1.1*, a ser aplicada no presente estudo, descrita a seguir e é parte integrante do estudo de Almeida (2013).

3.1.1 Análise de componentes principais

A ideia geométrica por trás dessa técnica é realizar uma rotação rígida no sistema de eixos coordenados original $x_1, x_2, ..., x_p$ de forma que os novos eixos $y_1, y_2, ..., y_p$ (representados pelas combinações lineares) sejam posicionados no sentido de maior variabilidade.

De acordo com Johnson e Wichern (1998), a análise de componentes principais revela relações que não poderiam ser previamente suspeitadas, resultando em interpretações diferentes das que seriam feitas originalmente.

Para a aplicação da ACP não é necessário que os dados possuam distribuição normal, caso haja normalidade os resultados obtidos pela análise são mais precisos. A obtenção das componentes principais depende somente da matriz de covariância \sum ou da matriz de correlação ρ de X_1 , X_2 , ..., X_ρ . Utiliza-se ρ quando as unidades e escalas de medidas são diferentes ou no caso de uma variável apresentar variância muito maior do que as das outras, o que usualmente ocorre com os parâmetros de qualidade da água.

De acordo com Ouyang (2005), a ACP envolve cinco etapas principais:

- 1. Padronização das medidas para que as variáveis tenham o mesmo peso na análise.
 - 2. Cálculo da matriz de covariância.
 - 3. Obtenção dos autovalores e autovetores correspondentes.
- 4. Descarte de componentes que representem uma pequena porção da variação no conjunto de dados.
 - 5. Rotação de eixos no sentido de maior variabilidade.

A primeira etapa normalmente não é realizada quando se utiliza a matriz de correlação, que é o caso das aplicações em qualidade da água, contudo ela pode ser realizada para a obtenção de melhores resultados, conforme demonstrado por Pinto e Maheswari (2011), que realizaram análise para os dados brutos, normalizados pela média e pelo logaritmo.

Dessa forma, no presente estudo, optou-se por padronizar os dados pela média e também utilizando a transformação Box-Cox, que tem como objetivo obter a normalidade do banco de dados. De acordo com Samohyl (2009), a aplicação da função Box-Cox, Equação 3, proporciona a transformação ótima para dada variável não normal.

$$Y_i(\lambda) = \begin{cases} \ln(X_i), se \ \lambda = 0 \\ \frac{X_i^{\lambda} - 1}{\lambda}, se \ \lambda \neq 0 \end{cases}$$
 (3)

onde, Y_i é o dado transformado, X_i é o dado original e λ o fator de transformação estimado com base no método da máxima verossimilhança, conforme discutido por Velilla (1993):

$$L(Y_i(\lambda), \mu, \sigma^2) = \frac{1}{(2\pi)^{n/2} \sigma^n} exp\left\{\frac{-\sum_{i=1}^n (Y_i(\lambda) - \mu)^2}{2\sigma^2}\right\} J(\lambda, Y)$$
 (4)

onde $Y_i(\lambda)$, com i=1, ..., n é uma função monótona tal que sua variação é máxima para um λ fixo. $J(\lambda, Y)$ é o Jacobiano da transformação:

$$J(\lambda, Y) = \prod_{i=1}^{n} \left| \frac{\partial Y_i(\lambda)}{\partial Y_i} \right| = \prod_{i=1}^{n} Y_1^{\lambda - 1}$$
 (5)

Para um λ fixo, os estimadores de máxima verossimilhança é definido por:

$$\hat{\mu} = \overline{Y}(\lambda) = \sum_{i=1}^{n} Y_i(\lambda) \tag{6}$$

$$\hat{\sigma}(\lambda) = \sum_{i=1}^{n} \frac{(Y_i(\lambda) - \bar{Y}(\lambda))^2}{n}$$
 (7)

Substituindo os estimadores na Equação (4) obtemos o logaritmo da função de máxima verossimilhança dependendo somente de λ :

$$l(\lambda) = \log[L(\lambda|Y_i, \hat{\mu}, \widehat{\sigma^2})] = -\frac{n\pi}{2} - \frac{1}{2}\log\widehat{\sigma^2}(\lambda) + (1 - \lambda)\log(Y_i))$$
 (8)

Encontrar um λ que maximiza $I(\lambda)$ por meio da adoção da estimativa normalizada da transformação $Z(\lambda)$ para que o Jacobiano de (λ, Z) seja igual a 1:

$$Z_i(\lambda) = \frac{Y_i(\lambda)}{[J(\lambda, Y)]^{1/n}} \tag{9}$$

De forma similar a Equação (8) se transforma em:

$$l(\lambda) = \log[L(\lambda|Z_i, \hat{\mu}, \widehat{\sigma^2}] = -\frac{n\pi}{2} - \frac{1}{2}\log\widehat{\sigma^2}(Z, \lambda)$$
 (10)

Portanto, maximizar $I(\lambda)$ é equivalente a encontrar o mínimo de $\widehat{\sigma^2}(Z, \lambda)$ em relação a λ .

As componentes principais são conjuntos de variáveis não correlacionadas originadas pela ACP a partir do banco original de dados com *p* variáveis correlacionadas entre si. As CPs são combinações lineares dessas variáveis, e em número igual ao número de variáveis originais presentes no estudo (FERREIRA, 2008).

De acordo com Cieszynska *et al.* (2011), a identificação das CPs baseia-se no fato de algumas das variáveis correlacionadas se sobrepor, tornando algumas informações contidas nas variáveis originais redundantes.

Em notação vetorial as componentes são definidas pela Equação 11 e é baseada na maximização da variância.

$$\underline{\mathbf{Y}} = \mathbf{A}' \underline{\mathbf{X}} ,$$
 (11)

onde **Y** é o vetor coluna formado pelas componentes principais, $\underline{\mathbf{X}}$ é o vetor aleatório p-dimensional formado pelas variáveis originais e $\mathbf{A}=$ \vdots \vdots é a_{p1} ... a_{pp} formada pelos coeficientes denominados pesos ou carregamentos (loadings) das variáveis e correspondem aos autovetores da matriz de covariância ou de correlação, dependendo do caso.

A partir disso, tem-se definido a seguir o valor esperado de Y_i , Equação 12, a variância pela Equação 13 e a covariância entre Y_i e Y_k , pela Equação 14.

$$E(Y_i) = E\left(\underline{\mathbf{a}}, \underline{\mathbf{X}}\right) = \underline{\mathbf{a}}, E(\underline{\mathbf{X}}) = \underline{\mathbf{a}}, \underline{\mu} \quad \text{com } i = 1, 2, ...p$$
 (12)

$$Var(Y_i) = V\left(\underline{a'}_i\underline{X}\right) = \underline{a'}_iV(\underline{X})\underline{a}_i = \underline{a'}_i\underline{\Sigma}\underline{a}_i \quad \text{com } i=1,2,...p$$
 (13)

$$Cov(Y_i, Y_k) = V\left(\underline{\underline{\mathbf{a}}_i \mathbf{X}, \underline{\underline{\mathbf{a}}_k \mathbf{X}}}\right) = \underline{\underline{\mathbf{a}}_i \mathbf{\Sigma}} \underline{\underline{\alpha}}_k \quad \text{com } i \neq k = 1, 2, ...p$$
 (14)

A variância total é igual para as CPs e para as variáveis originais, portanto, se a maior parte da variabilidade for explicada pelas primeiras k componentes principais, elas podem ser usadas para estimar a variabilidade total sem perda de muita informação. As primeiras componentes principais são as responsáveis pela maior parte da variabilidade contida nos dados originais, enquanto que as últimas são responsáveis por direções que não estão associadas a muita variabilidade (FERREIRA, 2008; BARROSO e ARTES, 2003).

É necessário estabelecer o número k de componentes que deverão ser mantidas no sistema, sendo que esse número não pode ser muito pequeno e nem muito grande. Barroso e Artes (2003) afirmam que se o número de componentes é muito pequeno, pode haver muita perda de informação; já se o número é grande, os objetivos da análise não serão completamente atendidos.

Os dois procedimentos mais comuns para a determinação de *k* são:

- Scree Plot: coloca-se em um gráfico os autovalores da matriz de variância ou correlação em ordem crescente e se procura um ponto em que acontece uma queda repentina, que representa um decréscimo de importância em relação à variância total, então, o valor de k é igual ao número de autovalores anteriores a este ponto.
- Critério de Kaiser: em que *k* é o número de autovalores maiores que 1 na matriz de variância ou correlação.

Barroso e Artes (2003) ainda destacam que qualquer que seja o critério adotado, deve-se sempre fazer uso do bom senso e avaliar se alguma componente principal com contribuição importante está sendo descartada.

3.2MODELAGEM MATEMÁTICA

A modelagem matemática é parte importante no processo de elaboração de propostas de enquadramento, seguindo Tucci (1998), modelos matemáticos são técnicas que podem representar alternativas propostas e simular condições reais que poderiam ocorrer dentro de um limite de incertezas inerentes ao conhecimento científico. Dessa forma, destacam-se como ferramentas que representam a realidade de forma simplificada e assim permitem o entendimento de determinados fenômenos de acordo com as alterações das características dos mesmos.

De acordo com Von Sperling (2007), modelos matemáticos são compostos por uma estrutura teórica, valores numéricos dos coeficientes das equações e dados de entrada e saída. A estrutura teórica compreende as equações matemáticas que governam o fenômeno a ser modelado, os coeficientes alteram-se de acordo com objetivo do que se quer modelar e os dados de entrada e de saída compreendem normalmente medições de campo ou laboratório que são confrontados com as respostas do sistema.

Existem diferentes tipos de modelo: modelo para pesquisa, modelo para gerenciamento, modelo para controle, modelo distribuído, modelo agrupado, modelo mecanístico, modelo caixa preta, modelo no estado estacionário, modelo no estado dinâmico, modelo estocástico, modelo determinístico, entre outros. Para se escolher o mais adequado em cada situação é preciso saber o objetivo a ser alcançado e quais simplificações podem ser adotadas sem que elas interfiram de forma significativa no resultado final e nas consequentes conclusões. Gomes e Simões (2014) destacaram o fato de que o conhecimento do comportamento dos processos envolvidos numa simulação é essencial para que os resultados sejam representativos.

A necessidade de compreender e prever o comportamento de corpos aquáticos do ponto de vista físico, químico e biológico é de fundamental relevância para a engenharia de recursos hídricos (FERREIRA; FERNANDES e KAVINSKI, 2016). Dessa forma, diversos modelos foram elaborados para compreender os fenômenos ligados à quantidade e qualidade da água, de forma conjunta ou não.

De acordo com Rangel-Peraza et al. (2016), a utilização de modelos de qualidade da água é estabelecido pela sua capacidade de reproduzir com precisão

as séries de dados observados e sua predição de situações sem a necessidade de ajustar os parâmetros calibrados, embora haja uma certa incerteza envolvida nessa adoção, que precisa ser considerada.

A modelagem unidimensional é uma consideração bastante adotada em qualidade da água e é bastante razoável sua utilização tendo em vista o predomínio do fluxo longitudinal da água em rios, conforme exposto por Tucci (1998). Essa simplificação é bastante útil quando se quer simular a malha hidrográfica ottocodificada, conforme aplicado no modelo do Atlas Esgotos (ANA, 2017b). Contudo, existem também modelos bi e tridimensionais, que são mais complexos e consideram processos de advecção, difusão e dispersão num escoamento.

As equações dominantes em qualidade da água são as que simulam o decaimento de certas substâncias, essas por sua vez podem ser de ordem zero, primeira ordem, segunda, terceira, etc. A taxa de reação pode variar com a concentração de algumas ou de todas as substâncias envolvidas. Essa dependência vai determinar a ordem da reação, conforme exposto por Von Sperlling (2007). A maior parte desses modelos baseia-se no entendimento das variáveis OD e DBO, em que a formulação base foi dada por Streeter-Phelps, ainda na década de 20, conforme destacado por Knapik et al.(2011). Esse foi o início da modelagem de qualidade da água segundo Hellweger (2015) e desde então cresceu o uso de modelos para relacionar descargas pontuais e não pontuais para simular condições ambientais. O autor considera ainda que houve um grande e significativo progresso nos modelos de qualidade da água, contudo com a maior parte deles ocorrendo nas variáveis físicas da simulação.

Nesse sentido, cabe destacar ainda a recente busca por modelos capazes de avaliar a contribuição da fontes difusas de poluição de forma efetiva. Segundo Liu *et al.* (2014) isso pode ser facilitado por meio de uma ferramenta GIS, que permite o gerenciamento, consulta, visualização e análise de informações de forma a auxiliar a visão integrada dos usos do solo com o corpo hídrico.

3.3 GEOPROCESSAMENTO E A BASE DE OTTOCODIFICAÇÃO

Uma facilidade para a modelagem matemática de recursos hídricos é a utilização da codificação de bacias hidrográficas, onde seja possível a definição de

uma hierarquia da malha hídrica, de forma fácil e padronizada, para que se possa trabalhar com informações de montante e jusante. Diversos métodos vêm sendo desenvolvidos no mundo inteiro nesse sentido, sendo que um dos destaques é a codificação desenvolvida pelo brasileiro Otto Pfafstetter na década de 80. Conforme Silva *et al.* (2008), a ottocodificação destaca-se pela representação fidedigna da estruturação inerentemente recursiva das bacias hidrográficas, por meio de utilização de códigos.

Nesse método, a divisão e codificação das bacias são hierarquizadas por meio de algarismos que variam de 1 a 9, sempre no sentido jusante-montante (da foz para a nascente), dessa forma, quanto mais longe da foz maior o código do tributário.

A metodologia desenvolvida foi inicialmente aplicada na América do Sul. Foi atribuído um código numérico às quatro maiores bacias hidrográficas identificadas, todas drenando para o oceano, utilizando-se os algarismos pares 2, 4, 6 e 8, em sentido horário. As demais bacias do continente foram agrupadas em regiões hidrográficas, às quais foram atribuídos os algarismos ímpares 1, 3, 5, 7 e 9. Para equacionar a codificação da região hidrográfica que drena para o lago Titicaca, foi atribuído a ela o algarismo 0. Com isso, consolidou-se a divisão de Nível 1 para o continente (GALLEGO, 2014).

A partir de então a metodologia foi replicada para outros níveis, por subbacias, aonde o número de caracteres do código otto vai aumentando conforme o número de afluentes presentes num rio principal, porém, os códigos das bacias originais são mantidos. Dessa forma, o primeiro algarismo do código sempre será referente à localização da bacia hidrográfica em uma das dez regiões hidrográficas da América do Sul. Outra característica do método é o fato de que as maiores bacias recebem códigos pares e as demais códigos ímpares, conforme a FIGURA 3.2.



FIGURA 3.2 – EXEMPLO DA OTTOCODIFICAÇÃO

FONTE: Adaptado de GALLEGO, 2014.

Furnans e Oliveira (2001) destacam que por meio dessa estratégia utilizam-se menos dígitos que os sistemas similares e que os códigos são infinitamente replicáveis, podendo ser aplicado para qualquer nível de detalhamento de uma subbacia.

A ANA vem trabalhando para que os dados geoespaciais da hidrografia brasileira estejam todos disponíveis com referência à ottocodificação, dessa forma a base vem sendo aprimorada a cada ano e utilizada em seus processos internos de gestão. O banco de dados ottocodificado da ANA é composto por arquivos de ottobacias, que representam de forma simplificada as áreas de drenagem das bacias hidrográficas, e de ottotrechos associados a cada uma delas. Conforme supracitado, essa foi a base utilizada no Atlas Esgotos (ANA, 2017b) para simulação do efeito das cargas poluidoras domésticas urbanas sobre os corpos hídricos. O que, segundo Bitencourt *et al.* (2017) demonstraram resultados bastante satisfatórios, por permitir a análise em diferentes recortes estratégicos, por limites hidrográficos e políticos.

A partir da ottocodificação é possível de forma fácil identificar quais são as bacias de montante e jusante da estudada, facilitando a modelagem matemática

quali-quantitativa, pois é possível identificar as fontes de poluição ligadas à cada trecho comprometido, mesmo se ela não estiver localizada diretamente nele. Inclusive no que diz respeito às características de uso do solo e a poluição difusa associada, conforme já citado Liu *et al.* (2014).

3.4 CENARIZAÇÃO

A elaboração de cenários constitui uma ferramenta de planejamento, utilizada para reunir possibilidades e probabilidades e assim, dar coerência a uma série de elementos difusos na busca de traçar ações para resolver situações antes mesmo que elas aconteçam. O planejamento, por meio da construção participativa de cenários, generalizou-se no âmbito das empresas, dos governos e das organizações da sociedade civil e passou a fazer parte de políticas públicas (ANA, 2006).

A complexidade e a imprevisibilidade inerentes aos processos de decisão levaram à utilização dos cenários como instrumentos para ordenar as percepções acerca dos contextos nos quais certas decisões devem ser tomadas, reduzindo a variabilidade das possibilidades e explicitando a imprevisibilidade. Carvalho *et al.* (2011) destacaram que o planejamento de cenários é uma parte do planejamento estratégico e portanto ajuda a definir quais as melhores decisões a serem tomadas. Sendo que o que foi planejado nem sempre é implementando, precisando ocorrer mudanças na estratégia formulada, conforme se perceba a necessidade.

A construção do futuro se dá por meio de diversos setores, dessa forma, é preciso considerar as expectativas e posicionamento de cada um deles, bem como a interação que ocorre entre um e outro. Buarque (2013) destaca que a criação dos cenários é livre, porém precisa ser coerente e ordenada, levando em consideração as tendências observadas nos diversos setores e as previsões elaboradas por cada um deles.

De acordo com ANA (2006):

Os principais atributos dos cenários são: visão sistêmica da realidade; ênfase em aspectos descritos em termos qualitativos; explicitação das relações entre variáveis e atores como estruturas dinâmicas; visão de futuro como construção social e não como fatalidade.

Uma vez que cada cenário demanda uma ação diferente, o conjunto das ações comuns entre eles constituem uma estratégia robusta, a ser a base do planejamento de longo prazo, conforme a FIGURA 3.3.

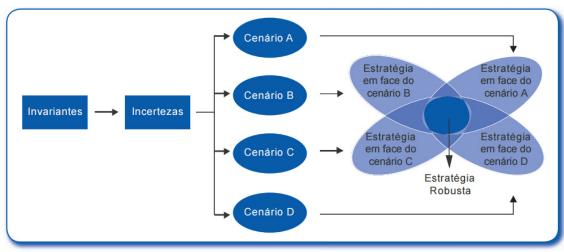


FIGURA 3.3 – CENÁRIOS E ESTRATÉGIAS

FONTE: ANA, 2006.

Conforme destacado por Buarque (2013), os sistemas complexos, envolvidos na análise dos cenários, caracterizam-se por processos de retroalimentação que estabelecem condições de auto-organização e de mudança. Portanto, pode-se dizer que a definição de cenários não encerra o processo de planejamento, pelo contrário, é uma etapa na busca de definição de uma estratégia que defina todas as decisões cabíveis a se tomar.

De acordo com Dong, Schoups e Giesen (2013), em gestão de recursos hídricos, os cenários são utilizados para explicar incertezas associadas ao clima, condições socioeconômicas e gerenciais que afetam o desempenho desse recurso e podem assim prejudicar os diversos usos da água com o decorrer do tempo.

No Plano Nacional de Recursos Hídricos (ANA, 2006) os cenários foram elaborados de forma a conjugar hipóteses distintas das incertezas críticas que configuram os futuros aceitáveis dos recursos hídricos no Brasil. Além dos cenários mundiais e nacionais, ganharam destaque os grandes usuários (agricultura irrigada, pecuária, indústria, energia elétrica e saneamento), os montantes possíveis dos investimentos de proteção dos recursos hídricos e os tipos de gestão mais plausíveis tendo em consideração as características econômicas, políticas e sociais do Brasil. Os enredos prospectivos permitiram identificar as invariâncias dos

cenários juntamente com suas implicações em termos de desafios e oportunidades vigentes em qualquer situação e tecer as considerações para elaboração de uma estratégia robusta na gestão dos recursos hídricos do Brasil.

Nesse aspecto, ganha destaque o fato de que qualquer que seja o cenário o componente de gestão é decisivo para amenizar problemas e conflitos e melhorar a racionalidade no uso das águas. O objetivo foi garantir a disponibilidade e qualidade de água necessárias para o desenvolvimento do pais, tanto no curto quanto no longo prazo, mas de forma igualitária para todas as gerações. Dessa forma, o Plano Nacional de Recursos Hídricos definiu três cenários: Água para Todos, Água para Alguns e Água para Poucos, que constituem a base da etapa do prognóstico dos planos e enquadramento dos estados e de bacias hidrográficas. Contudo, esses cenários quase sempre não vêm sendo considerados, nem mesmo nos planos elaborados sobre a supervisão da própria ANA.

3.5 SÍNTESE DO CAPÍTULO

Para a definição do enquadramento de corpos hídricos, além de todos os aspectos políticos e sociais que precisam de alguma forma estar envolvidos e que não foram abordados no presente estudo, é ideal que se leve em conta aspectos técnicos capazes de atender ao que é previsto na legislação do CNRH nº 91/2008.

Procurou-se destacar como ferramenta para auxílio na definição do Diagnóstico, a estatística multivariada, por permitir exprimir de um banco de dados complexo, como o de qualidade da água, informações de forma mais abrangente do que a estatística básica. Além disso, por meio das técnicas de sintetização de dados, mais especificamente a análise de componentes principais, é possível obter os parâmetros de qualidade da água que mais influenciam a variância do banco de dados como um todo, podendo ser esses parâmetros os escolhidos para a definição e acompanhamento das classes mais adequadas em cada trecho de rio estudado.

Foram apontados também pontos relevantes sobre a modelagem de qualidade das águas, que são ferramentas capazes de exprimir o que acontece em um corpo hídrico, por meio de adoção de simplificações do meio físico, químico e biológico sintetizadas em forma de equações. Embora haja muitos modelos já desenvolvidos e outros em processo de aprimoramento, como os ligados à poluição

difusa, acredita-se que a adoção de um modelo simplificado já seria capaz de subsidiar propostas de enquadramento de forma mais realística.

O geoprocessamento e mais especificamente a ottocodificação também são técnicas capazes de facilitar a gestão de recursos hídricos, por permitir reunir informações geoespaciais dos mais variados tipos que podem ser trabalhadas e analisadas sobre diferentes escalas de trabalho, tornando a análise dos fatores que influenciam a qualidade e a quantidade das águas de forma integrada.

A elaboração de cenários é uma etapa chave dos planos de recursos hídricos e consequentemente do enquadramento. Contudo, a maneira como os mesmos devem ser construídos ainda é pouco discutida na área de recursos hídricos e, embora a Agência Nacional de Águas tenha cenários bases a serem trabalhados nas bacias hidrográficas, nota-se que eles quase não são aplicados. Notou-se ainda uma certa carência sobre esse assunto também na literatura estrangeira, sendo portanto um assunto interessante a ser desenvolvido em trabalhos futuros.

Procurou-se dessa forma compreender os aspectos básicos que devem ser levados em consideração na elaboração de um enquadramento.

"Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar.

Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota".

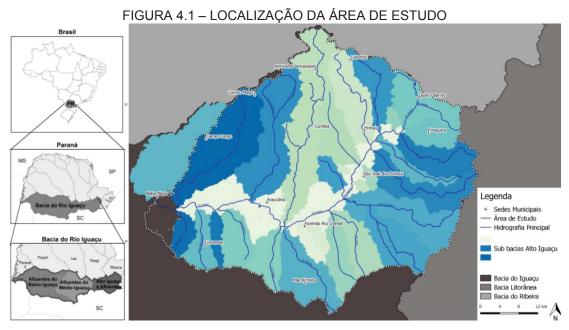
Madre Teresa de Calcutá

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são descritos a área de estudo, a base de dados e os métodos de análise, composto basicamente pela ferramenta de estatística e de geoprocessamento, que serão desenvolvidos no presente estudo de caso.

4.1 ÁREA DE ESTUDO

A área desse estudo localiza-se na Bacia do Rio Iguaçu, majoritariamente no que é definida como Alto Iguaçu e com uma pequena porção no Médio Iguaçu, conforme FIGURA 4.1. A motivação para esta análise deveu-se à necessidade de analisar os pontos de monitoramento existentes e suas áreas de montante, que foram definidas pelo agrupamento de ottobacias da rede hidrográfica do AGUASPARANÁ (2016a). Além da oportunidade de se avaliar criticamente as especificidades de uma bacia tipicamente urbana.



FONTE: Adaptado de AGUASPARANÁ, 2016a.

Com uma área equivalente a 2.746,62 km², engloba 18 municípios (IBGE, 2010) da Região Metropolitana de Curitiba, capital do estado do Paraná. A população residente na bacia, da ordem de 3,6 milhões de pessoas, passou por um aumento de aproximadamente 500 mil pessoas em menos de 7 anos (IBGE, 2017).

A distribuição por tipo de uso das águas na bacia, de acordo com os dados de outorga para captação e lançamento de efluentes do AGUASPARANÁ (2017a) é apresentada na FIGURA 4.2 e FIGURA 4.3. A atividade industrial é destaque tanto em captação quanto diluição, sendo que no caso de efluentes, o maior uso em termos de vazão é para saneamento, destacando a vocação urbana da bacia.

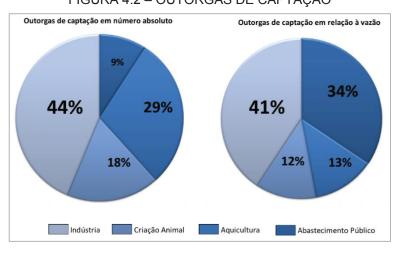


FIGURA 4.2 – OUTORGAS DE CAPTAÇÃO

FONTE: Adaptado de ÁGUASPARANÁ, 2017.

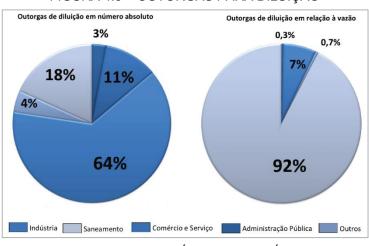
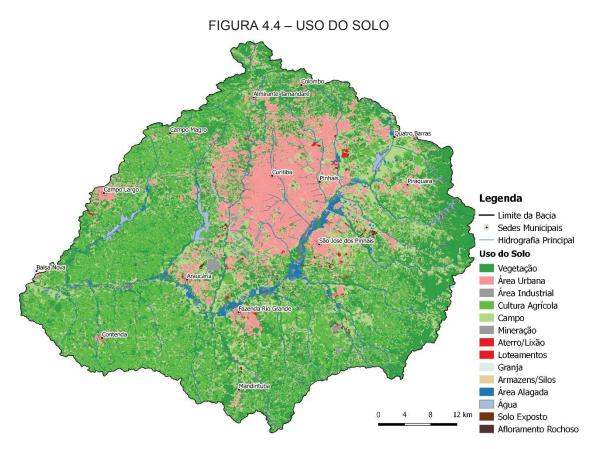


FIGURA 4.3 – OUTORGAS PARA DILUIÇÃO

FONTE: Adaptado de ÁGUASPARANÁ, 2017.

De acordo com Knapik (2014), as sub-bacias localizadas do lado direito da bacia foram inicialmente colonizadas, refletindo na maior área de maior urbanização

da bacia, como pode ser observado na FIGURA 4.4. França (2009) e Knapik (2009) também destacaram o fato dos afluentes da margem direita contribuírem de forma mais efetiva para a poluição do rio Iguaçu dos que os da margem esquerda, que junto à área leste, próximo às nascentes, apresentam características mais preservadas. A porção mais a oeste da bacia, por sua vez, é a menos urbanizada, mas conta com uma área considerável destinada à cultura agrícola que pode contribuir para a perda de qualidade da água por poluição difusa.



FONTE: Adaptado de ÁGUASPARANÁ, 2016b.

O enquadramento atual, aprovado pelo Comitê de Bacia no ano de 2013, pode ser sintetizado na FIGURA 4.5, onde 36% dos trechos estão na Classe 3, 32% na 2, 30% na 4 e 2% na Classe 1. Além do rio Iguaçu, os rios Atuba, Belém, Barigui, Cambuí, dos Patos, Faxinal, Moinho, Arroio Mascate, Ribeirão dos Padilhas e alguns trechos sem nome na hidrografia do AGUASPARANÁ (2016a) estão classificados na Classe 4. Foi adotado como concentração máxima de DBO nesta classe, muito embora a Resolução CONAMA 357/05 não defina limites específicos, o valor de 25 mg/L, na tentativa de manter condições razoáveis para a população, conforme

consta no Plano de Bacias (AGUASPARANÁ, 2013). Esse enquadramento foi definido utilizando-se como base o parâmetro DBO e a vazão de referência Q_{70%}.

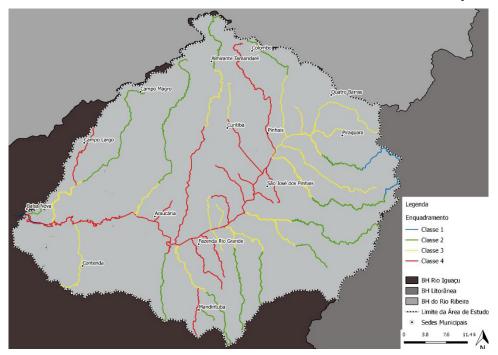


FIGURA 4.5 – ENQUADRAMENTO VIGENTE NA BACIA DO ALTO IGUAÇU

Fonte: Adaptado de AGUASPARANÁ, 2013.

4.2BASE DE DADOS

A base de dados principal do presente estudo está vinculada aos Projetos:

- "Bacias Críticas: Bases Técnicas para a definição de Metas Progressivas para seu Enquadramento e a Integração com os demais Instrumentos de Gestão" (PORTO et al., 2007), desenvolvido em parceria entre a UFPR e a USP, durante o período de 2005 a 2007;
- INTEGRA 1: Disponibilidade Hídrica para Aplicação dos Instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos. Quantidade e Qualidade de Água. Desenvolvido em parceria com a USP entre 2008 e 2012;
- Caracterização e Modelagem da Matéria Orgânica em rios da Bacia do Alto Iguaçu. Desenvolvido em 2013
- INTEGRA 2: Bases Técnicas para a Integração de Instrumentos de Gestão de Recursos Hídrico (em andamento), desenvolvido em parceria entre a UFPR, UTFPR e USP, iniciado em 2014.

Dessa forma, o banco de dados utilizado tem como base 57 campanhas ocorridas entre 2005 e 2016 em 21 pontos de monitoramento, conforme TABELA 4.1. Através desses pontos, foram estudados 107 km do rio Iguaçu e alguns de seus efluentes, desde a sua nascente na junção dos rios Iraí e Palmital, até a foz do rio Verde, incluindo 26 afluentes principais.

TABELA 4.1 – DESCRIÇÃO DOS PONTOS DE MONITORAMENTO

	RIO	4.1 - DESCRIÇÃO DOS	UTM			RÉGUA*
PONTO		MUNICÍPIO	Latitude	Longitude	CÓDIGO ANA	(S/N)
AT 1		Colombo	-25,3419	-49,2374	-	N
AT 2	Atuba	Pinhais	-25,3903	-49,1935	-	N
AT 3		Curitiba	-25,4649	-49,1904	-	N
AT 4		Curitiba	-25,4738	-49,1855	65008000	N
BL 1	Belém	Curitiba	-25,3788	-49,2666	65011000	N
BL 2		Curitiba	-25,4478	-49,2511	65011400	S
BL 3		Curitiba	-25,5074	-49,2151	65012000	N
PA 1	Palmital	Colombo	-25,3227	-49,1627	65006040	S
PA 2		Colombo	-25,3931	-49,1739	65006047	N
PA 3		Pinhais	-25,4413	-49,1685	65006055	S
BA 1	Barigui	Curitiba	-25,3125	-49,2953	65019600	S
BA 2		Curitiba	-25,3883	-49,3047	65019640	S
BA 3		Araucária	-25,6136	-49,3566	65019700	S
Olaria	Iraí	Pinhais	-25,4408	-49,1183	-	N
Piraquara	Piraquara	Piraquara	-25,1172	-49,1211	-	N
IG 1	Iraí	Piraquara	-25,4433	-49,1406	-	N
IG 2A/B	Iguaçu	São José dos Pinhais	-25,4833	-49,1892	65009000	S
IG 3		São José dos Pinhais	-25,5989	-49,2608	65017006	S
IG 4		Araucária	-25,6003	-49,3978		S
IG 5		Araucária	-25,6003	-49,5133	65025000	S
IG 6		Balsa Nova	-25,5872	-49,6317	65028000	S

^{*}Para medição de nível.

FONTE: Fernandes et al., 2017.

Para esses pontos, foram medidos parâmetros de qualidade da água cuja determinação foi realizada conforme a TABELA 4.2 para os parâmetros determinados em campo e conforme a TABELA 4.3 para os determinados em laboratório.

TABELA 4.2 – PARÂMETROS DE QUAI IDADE DA ÁGUA DETERMINADOS EM CAMPO

TABELA 4.2 – PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA DETERMINADOS EM CAMPO								
PARÂMETRO	SENSOR	MARCA	ESPECIFICAÇÕES	COLETAS UTILIZADAS				
	Handylab OX	SCHOTT	Escala: 0 a 19,99 Resolução: 0,01					
	12/SET - membrana		Precisão: ± 0,5% do valor medido (5° a 30°C)	Até coleta 35				
OD		HACH	Escala: 0.1 a 20.0 mg/L (1 to 200% of saturação);	A partir da coleta 36				
	LDO101 - luminescência		Precisão: ± 0.1 mg/L para 0 a 8 mg/L e ± 0.2 mg/L quando > 8 mg/L.					
	Tarrii Tooodii Gid		Temperatura de operação: 0 a 50°C Profundidade mínima necessária: 25 mm					
		WTW	Escala: -2,000 a +19,999	Até coleta 35				
	pH 330i/SET		Resolução: 0,001					
			Precisão: ± 0,003 (15° a 35°C)					
рН		HACH	Inclinação: -59mV/pH (90 a 110% para 25°C (77 F))	A partir da coleta 36				
·	pHC101		Precisão temperatura: ± 0.3 °C (± 0.54 °C)					
			Temperatura de operação 0 a 50°C					
_			Profundidade mínima necessária: 20 mm					
		SCHOTT	Escala: 0,0 a +199,9					
	Handylab LF1		Resolução: 0,1 μS	Até coleta 35				
			Precisão: ± 1% do valor medido (15° a 35°C)					
Condutividade		HACH	Escala: 0.01 ìS/cm a 200.0 mS/cm;	A partir da coleta 36				
			TDS (sólidos totais dissolvidos): 0 a 50,000 mg/L como NaCl;					
	CDC401		Temperatura de operação: 10 a 110°C					
			(14 to 230 F)	Colota 30				
			Profundidade mínima necessária: 45 mm					
-	WQ770	Global Water	Escalas: 0 a 50 ou 0 a 1000	Até coleta 35				
	Turbidimeter		Precisão: ± 2%					
Turbidez		НАСН	Escala: 0 to 1000 NTU;	A partir da coleta 36				
	2100Q		Precisão: ± 2%;					
			Temperatura de operação 0 a 50°C					
	* sensor	HACH	Escala:-10.0 to 110.0;					
Temperatura	acoplado a pH		Precisão: ± 0.3 °C					
	ou OD		Resolução: 0.01 °C					

FONTE: Fernandes et al., 2017.

TOC-VCPH SHIMADZU

CORPORATION, 2003

Standard methods

(APHA, 1998)

TABELA 4.3 – PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA DETERMINADOS EM LABORATÓRIO PARÂMETRO MÉTODO ANALÍTICO FAIXA DE DETECÇÃO REFERÊNCIA DBO - Demanda Oxitop - Respirométrico 0 - 4.000 mg/LManual WTW bioquímica de Winkler Titulométrico 2-9 mg/L5210-B (APHA, 1998) oxigênio 420 nm: 0 - 90 mgO₂/L Refluxo fechado 5220 D - Standard DQO - Demanda colorimétrico Methods (APHA, 1998) química de 600 nm: 100 - 900 mgO₂/L oxigênio Refluxo aberto 10 - 500 mg/L (CaCO3) Alcalinidade Método titulométrico 2320 A (APHA, 1998) Clorofila-a 10200 H (APHA, 1998) Espectofotométrico 5.0 µg/L Fenato/ Digestão com 4500 – N C (APHA, < 2.9 mg N/LNitrogênio total persulfato de potássio 1998) $(=N_{orgt} = N_T - \sum N_{INORG)}$ Nitrogênio $(=\sum N_{INORG} = [N-NH_3] +$ orgânico total $[N-NO_{2}^{-}] + [N-NO_{3}^{-}])$ Nitrogênio Fenato/azul de 4500 - NH3 F (APHA, $10 - 2000 \mu g NH_3/L$ amoniacal indofenol 1998) Método da 4500 - NO2- B (APHA, Nitrito 5 - 1000 µg NO₂/L sulfanilamida/n-1-naftil 1998) Redução pela coluna 4500 - NO3- E (APHA, Nitrato 0,01 - 1,0 mg NO₃/L de cádmio/colorimétrico 1998) Ortofosfato Ácido ascórbico 5 - 1500 μgPO₄-3/L 4500-P E (APHA, 1998) Digestão alcalina/ácido $5 - 1500 \mu g/L$ 4500-P E (APHA, 1998) ascórbico Fósforo total Digestão ácida/ ácido (Prado (2015) apud $25 - 1500 \mu g/L$ ascórbico Kozak (2016)) Digestão alcalina/ácido Fósforo dissolvido $5 - 1500 \mu g/L$ 4500-P E (APHA, 1998) ascórbico (=Fósforo total dissolvido - Ortofosfato) Fósforo orgânico dissolvido (Prado (2015) apud Digestão ácida/ ácido $25 - 1500 \mu g/L$ ascórbico Kozak (2016)) Fósforo (=Fósforo total -Fósforo dissolvido) particulado Sólidos: totais, fixos e voláteis Adaptação de 2540 F, B, E (frações total, Gravimétrico (sSED dissolvida e cone Imhoff) Standard methods (APHA, 1998) suspensa) e sedimentáveis Combustão a alta TC<25000, IC<30000 (mg/L)

FONTE: Fernandes et al., 2017.

Carbono orgânico

dissolvido

Coliformes total e

fecal

temperatura, método

de detecção

infravermelho não dispersivo

Colilert®

Serão utilizados ainda dados de qualidade da água do Hidroweb (ANA, 2017a), base de informações normalmente utilizada na elaboração de propostas de enquadramento. Identificou-se que na área de estudo encontram-se 130 estações

Limite: TC:4, IC:4 (µg/L)

de monitoramento, porém somente 71 possuem informações de qualidade da água, conforme localização na FIGURA 4.6.

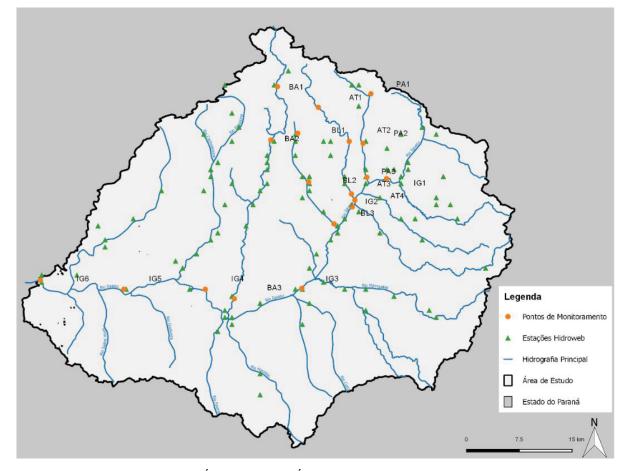


FIGURA 4.6 – ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO

FONTE: Adaptado de ÁGUASPARANÁ, 2016b; ANA, 2017; Fernandes et al., 2017.

Dessas 71 estações, foram selecionadas para o estudo apenas as que estão localizadas no rio Iguaçu ou nos seus afluentes da margem direita e que possuem informações disponíveis entre 2005 e 2017, para ficar compatível com os dados dos projetos da universidade, resultando em apenas 21 estações.

Os dados de geoprocessamento são constituídos da base de dados ottocodificada do AGUASPARANÁ (2016a), do uso do solo (AGUASPARANÁ, 2016b) e dos setores censitários do Censo 2010 (IBGE, 2010), além dos dados de outorgas do AGUASPARANÁ (2017).

4.3 MÉTODOS DE ANÁLISE

Os dados descritos serão analisados por meio da aplicação da Análise de Componentes Principais, técnica da estatística multivariada, com o intuito de identificar se existem parâmetros de qualidade da água mais significativos no banco de dados e se os mesmos são iguais para as duas fontes de informações – uma baseada em dados de monitoramento específico (Fernandes et al., 2017) realizada com periodicidade e métodos mais controlados e outra, proveniente de banco de dados oficial, que não há muita constância no monitoramento e nem nos métodos analíticos, mas que são utilizadas a nível nacional como suporte na gestão de recursos hídricos. Adicionalmente, será observado se a utilização dos dados de qualidade em forma de carga poluidora dá diferentes resultados dos de concentrações.

Os resultados estatísticos obtidos foram analisados com as informações de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica em estudo, com o intuito de verificar a possível relação entre eles. Tal cruzamento será realizado por meio de técnicas de geoprocessamento, que além de dar informações precisas quanto à localização de pessoas, atividades e uso do solo, permitirá ainda uma análise quanto ao enquadramento vigente na bacia. A FIGURA 4.7 resume o procedimento experimental.

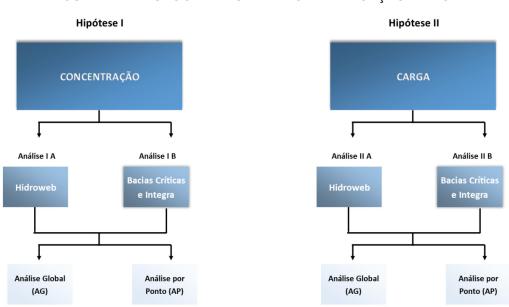


FIGURA 4.7 – FLUXOGRAMA UTILIZADO NA APLICAÇÃO DA ACP

FONTE: O autor (2018).

4.3.1 Análise estatística multivariada

A técnica de estatística multivariada escolhida para ser aplicada e estudada de forma mais detalhada foi a análise de componentes principais, por ela permitir a sintetização de banco de dados e por ser a primeira etapa da aplicação de outras técnicas de AEM, como a análise fatorial.

Um dos requisitos para aplicação da AEM é que o número de variáveis (colunas) seja inferior ao número de observações (linhas), dessa forma, foi realizado esse filtro nos bancos de dados, retirando-se da análise os parâmetros de qualidade da água com número de observações (linhas) inferiores ao número de parâmetros (colunas) na análise. Por esse motivo, a análise por pontos pode ser realizada apenas para as estações de monitoramento localizados no rio Iguaçu, que são há mais tempo monitorados na UFPR. A fim de dar coerência na comparação, o mesmo critério foi adotado para as estações do Hidroweb.

Para as estações com informação de vazão, a ACP foi realizada também utilizando-se os dados de carga, calculado pelo produto da concentração (mg/L) com a vazão (L/s) medida no mesmo dia da coleta de amostras para determinação dos parâmetros qualitativos.

Para o desenvolvimento da ACP utilizou-se o *software* R Core Team (2017), que é um programa livre e gratuito e que serve para análises estatísticas e gráficas. Com relação às análises estatísticas, o R Core Team (2017), tem muitas funções e bibliotecas definidas que permitem calcular diversas características de um conjunto de dados, além de uma infinidade de pacotes que foram criados para análises específicas, como estatística multivariada.

Uma vez que há uma grande variação na ordem de grandeza dos parâmetros de qualidade da água, a ACP foi realizada a partir da matriz de correlação, conforme sugere a literatura, para evitar essa diferença de amplitude se refletisse nos resultados. Utilizou-se o pacote *stats* e a função *princomp* para cálculo das componentes principais, cujo código está no Apêndice B.

De forma a complementar e explorar melhor a técnica da ACP, decidiu-se utilizar dois tipos de normalização de dados, para diminuir as discrepâncias dos resultados. Dessa forma, a análise foi realizada a partir de três tipos de dados de entrada para cálculo da matriz de correlação:

- Análise Preliminar (AP): onde foram utilizados os dados brutos, sem a retirada de parâmetros de qualidade da água que se inter-relacionam, tal como nitrogênio total e nitrogênio amoniacal, por exemplo;
- Normalização pela Média (ANM): foram utilizados os dados dos parâmetros de qualidade da água com padrões definidos pela CONAMA 357/05 normalizados pela média; e
- Power Transform (PTA): Dados dos parâmetros de qualidade da água com padrões definidos pela CONAMA 357/05 transformados com o resultado da aplicação da função Power Transform do pacote car do software R Core Team (2017), conforme resolução matemática descrita no Item 3.1.1.

A TABELA 4.4 resume o número de informação utilizada para cada tipo de dados de entrada na Hipótese I e a TABELA 4.5 para a Hipótese II. A FIGURA 4.8 ilustra a seleção final de estações utilizadas.

TABELA 4.4 – DADOS UTILIZADOS NA HIPÓTESE I - CONCENTRAÇÃO

	ANÁ	LISE PREI	IMINAR	NORMALIZAÇ	ÇÃO PELA MÉDIA E POWER TRANSFORM				
	Nº DE ESTAÇÕES	Nº DE DADOS	Nº DE PARÂMETROS	Nº DE ESTAÇÕES	Nº DE DADOS	Nº DE PARÂMETROS			
Hidroweb – AG	21	4.212	11	21	4.212	9			
Dados UFPR – AG	21	523	29	21	523	9			
	65028000	57	12	65025000	61	5			
	65025000	63	11	65019980	30	5			
	65019980	31	9	65017006	55	9			
Hidroweb - AP	65017006	56	12	65013005	23	9			
7 (1	65013005	24	20						
	65009000	66	11						
	65006075	55	18						
	IG1	56	26	IG1	56	9			
	IG2D	27	24	IG2D	27	8			
UEDD 4.D	IG2E	56	25	IG2E	56	9			
UFPR - AP	IG3	56	26	IG3	56	9			
	IG4	56	25	IG4	56	9			
	IG5	56	25	IG5	55	9			
	IG6	54	25	IG6	53	9			

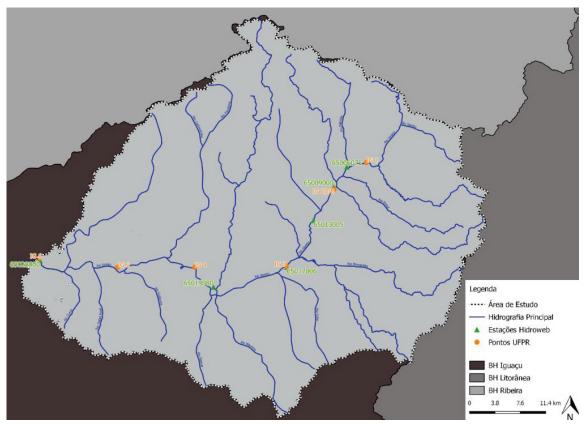
FONTE: O autor (2018).

TABELA 4.5 – DADOS UTILIZADOS NA HIPÓTESE II

	ANÁ	MÉDIA E POWER RM				
	N° DE ESTAÇÕES	Nº DE DADOS	N° DE PARÂMETROS	N° DE ESTAÇÕES	N° DE DADOS	N° DE PARÂMETROS
HIDROWEB – AG	20	619	17	20	619	9
DADOS UFPR – AG	21	523	29	21	523	9
	65028000	49	13	65025000	53	5
	65025000	65	12	65019980	24	6
	65019980	25	9	65017006	45	6
HIDROWEB - AP	65017006	45	20	65013005	20	9
- 71	65013005	22	20			
	65009000	54	11			
	65006075	45	18			
-	IG1	56	25	IG1	56	9
	IG2D	27	23	IG2D	27	9
	IG2E	56	24	IG2E	56	9
UFPR - AP	IG3	56	25	IG3	56	9
	IG4	56	24	IG4	54	9
	IG5	56	24	IG5	55	9
	IG6	54	24	IG6	52	9

FONTE: O autor (2018).

FIGURA 4.8 – ESTAÇÕES FINAIS UTILIZADAS NA APLICAÇÃO DA ACP POR PONTO



FONTE: Adaptado de ÁGUASPARANÁ,2016b; ANA, 2017; Fernandes et al., 2016.

4.3.2 Geoprocessamento

Foi utilizado o *software* QGIS Development Team (2017) para organização e manipulação dos dados de geoprocessamento, bem como para o cruzamento de informações. Dentre as principais funções utilizadas estão o *join*, o *intersect* e o *merge*. A primeira serve para fazer relação entre uma planilha do Microsoft Excel (2010) com informações vetoriais do *software*, a segunda para cruzar arquivos vetoriais no formato *shape* e a última para unir *shapes* e polígonos vetoriais. Além das funções de cálculo e estatística.

Essa etapa foi importante para a organização dos dados de uso e ocupação do solo, população e também dos usuários de água cadastrados no AGUASPARANÁ para que assim se associasse essas fontes aos pontos de monitoramento e suas relações com o resultado da AEM. A FIGURA 4.9 ilustra como o cruzamento de informações pode simplificar a manipulação e análise dos dados, pois reúne-se todas as informações relevantes em uma única tabela e base georreferenciada.

Por meio da manipulação desse *shapefile*, é possível atribuir ainda a cada uma dessas áreas a estimativa da carga gerada pelas diferentes fontes de poluição para seus parâmetros representativos. Como exemplificação, no presente estudo de caso, foi realizada a estimativa da carga gerada de nitrogênio pela população. Para tanto foi calculado o produto da população residente em cada uma dessas áreas pela carga per capita de 8g N/hab.dia (VON SPERLING, 2005).

Outorgas FIGURA 4.9 – CRUZAMENTO DE INFORMAÇÕES DA BACIA POR MEIO DE GEOPROCESSAMENTO Setores Censitários Uso do Solo 0 Ottobacias

38.73049503680 39.50452847970 PR 48.90394528310 49.88129631110 PR 5.92511906718 0.12123158095 PR 12.91975679190 13.17795963240 PR 86.67410555120 88.40629762020 PR 2.25782959235 0.04619658236 PR 1.01998511618 775117983 1.01998511618 775117986 0.02046061515 775118213 0.02046061515 775118211 800 784.32517034500 800 784.32517034500 800 784.32517034500 800 784.32517034500 658 32159.34590370... 658 32159.34590370... CELULAS :: Features total: 2683, filtered: 2683, selected: 0 METROPOLITAN.. METROPOLITAN. NM_MESO METROPOLITAN. PARANAGU?

FONTE: O autor (2018).

"Sem evidência, não há ciência". Edmund Husserl

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o intuito de simplificar a visualização dos resultados das diferentes hipóteses e análises da aplicação da ACP, conforme apresentado no Capítulo 4, e das informações sobre as áreas de drenagem obtidas por geoprocessamento, foram elaboradas figuras que integram essas informações. Dessa forma, são 32 figuras com um mapa síntese do uso do solo em relação a bacia de estudo para cada área de montante ao ponto analisado, um gráfico com a distribuição do uso do solo, a área em km², a população residente, a estimativa da carga de nitrogênio gerada para essa população e os dados de outorgas de captação e de lançamento concedidas na área. Adicionalmente, é apresentada a matriz de correlação em escala de cores, o gráfico das duas primeiras componentes principais e os pesos dos parâmetros nas componentes principais que seriam retidas pelo critério de Kaiser.

5.1 GEOPROCESSAMENTO

O cruzamento da base hidrográfica do AGUASPARANA (2016a) com o uso do solo (AGUASPARANÁ, 2016b), setores censitários (IBGE, 2010), dados de outorgas (AGUASPARANÁ, 2017) e o enquadramento vigente (AGUASPARANÁ, 2013), resultou em um *shapefile* com 49.267 linhas. Cada linha representa um polígono, ou área, que foi nomeado por um código oriundo da junção do código do setor censitário do IBGE com o da ottobacia nível 14 do AGUASPARANA (2016a). Para cada uma dessa área têm-se a informação da população, se ela é urbana ou rural, o uso do solo, as outorgas existentes e a classe do enquadramento vigente.

Outorgas Enquadramento: Classe 3 Carga doméstica de nitrogênio: 5,58 kg/dia Rio: Barigui População: 697 Tipo: Urbano Uso do Solo (ha): 2,22 água; 7,22 industrial; 13,08 urbana; 6,30 campo; 23,23 vegetação Código: 41069020505008184286715 Captação: 1 usuário, 100 m³/h Setores Censitários Área: 52,05 ha Efluente: -Uso do Solo П Ottobacias

FIGURA 5.1 – EXEMPLO DO RESULTADO DO CRUZAMENTO DAS INFORMAÇÕES DA ÁREA DE ESTUDO

FONTE: O autor (2018).

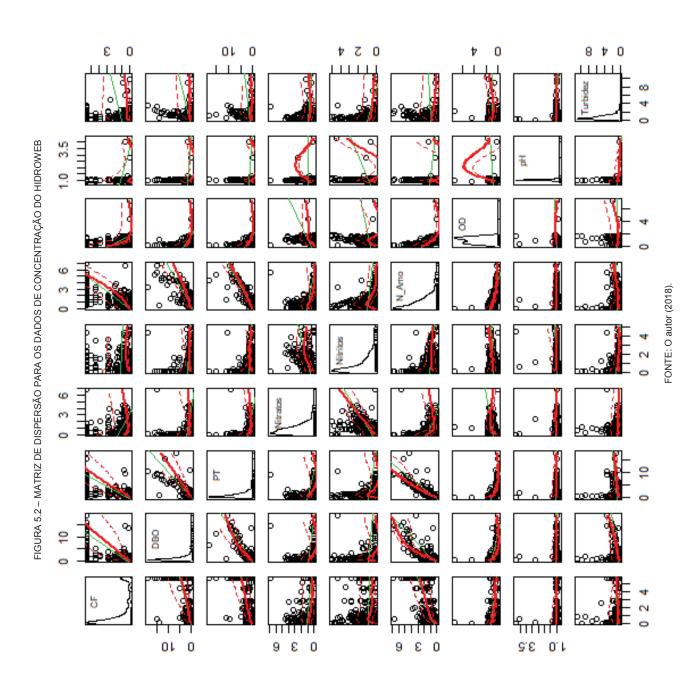
Dessa forma, foram organizadas essas informações para a área de estudo como um todo e depois separadas por áreas de montante para cada ponto e estação de monitoramento da base de dados da UFPR e do Hidroweb. Essas informações serão apresentadas a seguir, juntamente com os resultados da análise estatística multivariada.

Cabe ressaltar que a partir dessa base de dados pode-se trabalhar muitas outras informações, como por exemplo, incluir a vazão regionalizada de cada ottotrecho associada às ottobacias, os índices de coleta e tratamento de esgoto da população, manipular essas informações por meio da modelagem matemática baseada na ottocodificação e assim aferir o impacto dessas cargas nos corpos hídricos por meio da estimativa de concentrações, entre outras análises que podem subsidiar a gestão de recursos hídricos.

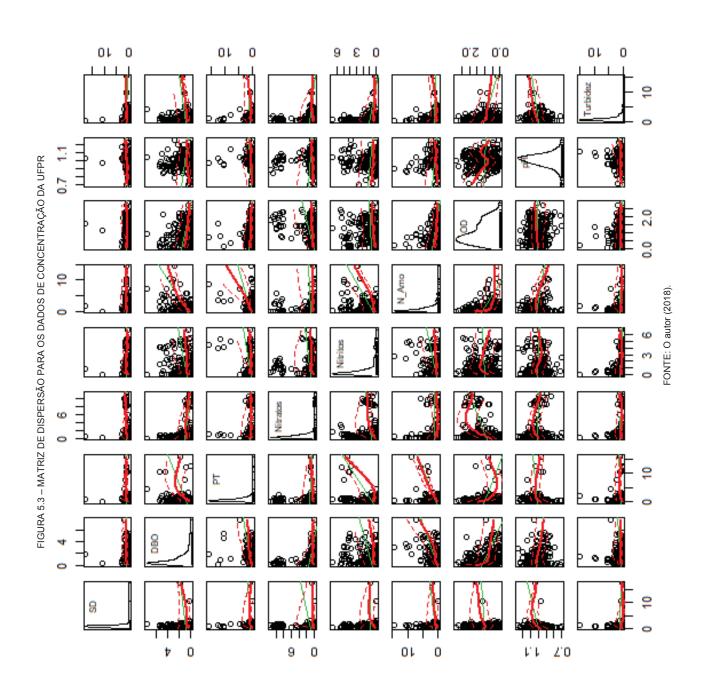
5.2 AVALIAÇÃO CRÍTICA DE PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA GLOBAL DO ALTO IGUAÇU

Esse tópico tem como intuito avaliar a distribuição do banco de dados da bacia do alto Iguaçu por meio da apresentação de gráficos de dispersão em uma única matriz. Na diagonal, apresenta-se a distribuição de cada parâmetro, a linha vermelha representa a tendência dos dados, a vermelha pontilhada a flutuação em torno da linha de tendência (intervalo de confiança) e a verde a média.

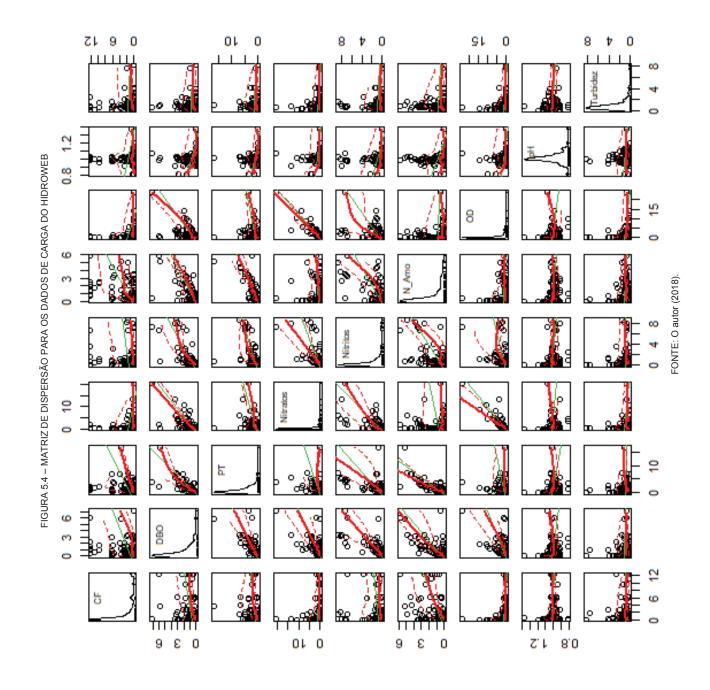
Pela FIGURA 5.2 notou-se que todos os parâmetros apresentaram uma distribuição mais à esquerda, com pequenas flutuações, nenhum com distribuição próxima a normal. O pH é um parâmetro que não apresenta relação significativa com as demais variáveis, o que ocorreu também para a turbidez. Relações positivas e intensas foram encontradas entre os parâmetros coliformes fecais (CF) e DBO, CF e fósforo total (PT), nitritos e nitratos e um pouco menos intensa entre DBO e PT e PT e nitrogênio amoniacal. Apenas nitrato x pH e OD x pH apresentaram relação quadrática, contudo as médias apresentaram tendência linear. Nenhuma relação foi do tipo linear negativa.

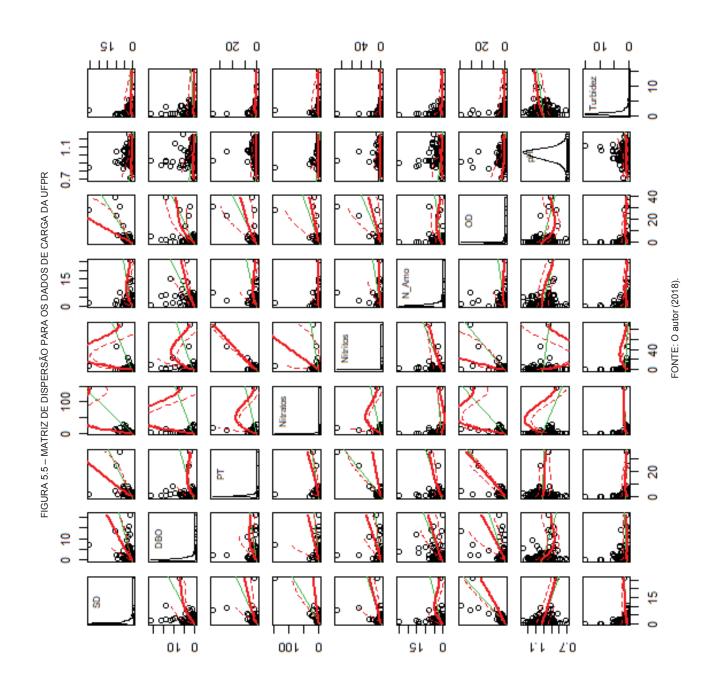


Para os dados oriundos da UFPR, FIGURA 5.3, o pH foi o parâmetro que mais se aproximou de uma distribuição normal e as relações entre os parâmetros foram mais dispersas, com poucas relações lineares fortes, comparado à base de dados do Hidroweb. Pode-se considerar que as relações foram pouco mais significativas entre PT e nitritos, PT e nitrogênio amoniacal, nitritos e nitrogênio amoniacal, sendo esta também destacada na figura anterior. No caso da série de dados da UFPR, Coelho (2013) demonstrou que a mesma possui tendência à aleatoriedade de heterogeneidade, o que pode estar novamente sendo destacado nesses gráficos.



A FIGURA 5.4 apresenta a matriz de dispersão para os dados de carga do Hidroweb, notou-se que ocorrem mais dados com relação linear forte, o mesmo pode ser observado na FIGURA 5.5. Contudo ainda há bastante dispersão entre os dados, mostrando o quão complexo é a inter-relação entre as variáveis de qualidade da água.



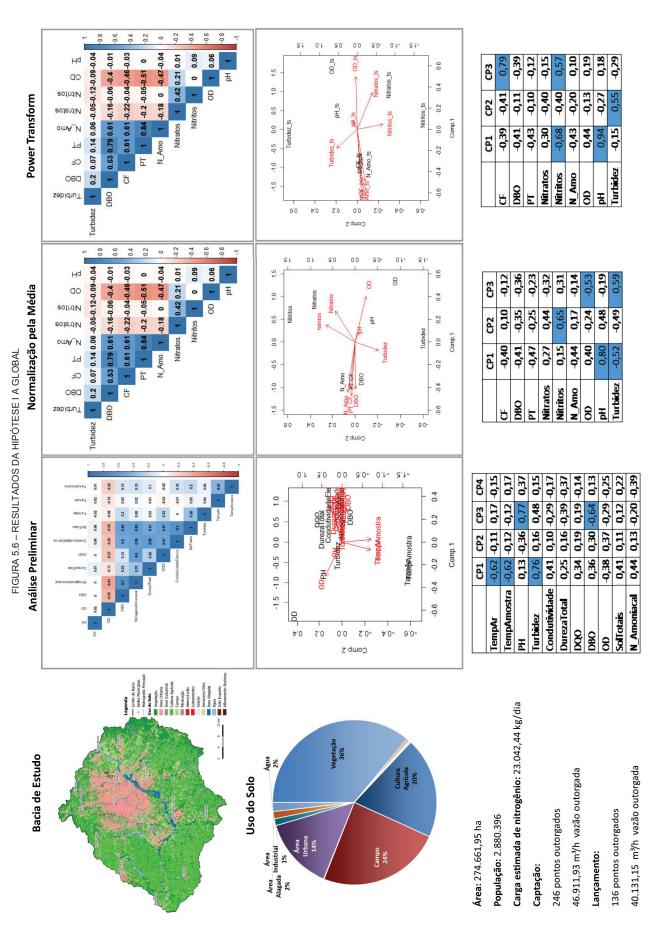


5.3 HIPÓTESE I – CONCENTRAÇÃO

As informações compiladas para a análise global da bacia com os dados do Hidroweb são apresentadas na FIGURA 5.6. De maneira geral, pode-se dizer que as correlações foram mais significativas na Análise com Normalização (ANM) e na *power transform* (PTA). Além disso, os resultados oriundos da PTA são melhores quanto ao número de componentes principais retidas pelo critério de Kaiser, 3 componentes explicando 97% da variância dos dados, contra 4 componentes com 86% da variância explicada na Análise Preliminar (AP) e 3 componentes com 90% na ANM.

Ainda na FIGURA 5.6, no gráfico da ACP da análise preliminar, nota-se que os parâmetros temperatura do ar e temperatura da água são os que tem maior peso no sentido contrário das demais variáveis de qualidade da água, o que indica que eles contribuem de forma significativa para a variação dos dados. O mesmo pode-se dizer para turbidez nas demais abordagens. Esse é o parâmetro comum com peso significativo nas 3 aplicações, assim como o pH.

Interessante o fato desses resultados indicarem parâmetros físicos com alta relevância, pois são parâmetros de qualidade da água consideravelmente fáceis de serem medidos em campo e que dificilmente são levados em consideração na elaboração de propostas de enquadramento.



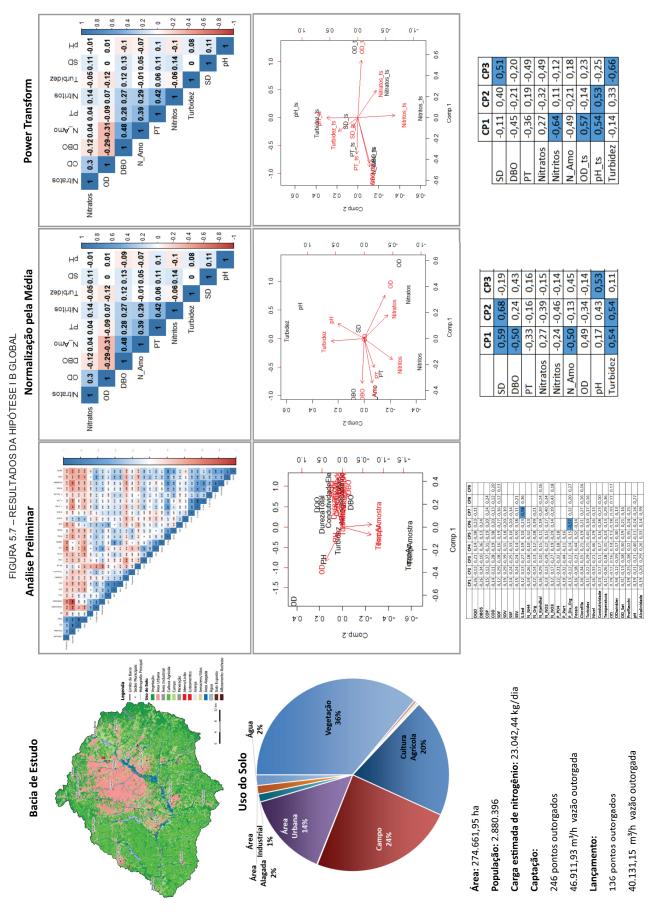
FONTE: O autor (2018).

A FIGURA 5.7 apresenta os resultados integrados para a análise global a partir dos dados de concentração da UFPR. O número de componentes principais de significância para explicar a variação dos dados, tendo como base o critério de Kaiser, reduziu-se de 9 para 3, com variâncias explicadas de 93%, 74% e 81%, para a AP, ANM e PTA, respectivamente.

Assim como visto na Hipótese I A Global, a utilização da função PTA mostrouse mais satisfatória, uma vez que explica com menos componentes principais que a AP, porém com mais significância a variância do que os dados da ANM. Além disso, nas componentes principais dos dados transformados identificou-se parâmetros de qualidade da água com pesos mais significativos do que na análise preliminar.

Contudo, esses parâmetros não foram coincidentes. Na normalização destacaram-se sólidos dissolvidos, DBO, nitrogênio amoniacal e turbidez, enquanto que na PTA foram o nitrito, OD e pH. Comparando-se ainda à Hipótese I A Global, o pH e a turbidez apareceram novamente, porém em abordagens distintas. O nitrito, por sua vez, na hipótese anterior mostrou-se significativo apenas para a abordagem da PTA e nesse caso destacou-se ainda na ANM.

Analisando-se esses resultados com a distribuição do uso do solo na bacia, que apesar de ter uma mancha urbana bastante densa, não possui um uso principal, mas sim parcelas significativas e consideravelmente parecidas de vegetação, agricultura e campo pode-se admitir que os parâmetros físicos se destaquem em comparação com parâmetros mais específicos. Isso porque, a variação da turbidez, por exemplo, pode estar associada além de lançamentos pontuais das áreas urbanas à poluição difusa dos diversos usos do solo



FONTE: O autor (2018).

A TABELA 5.1 resume as principais informações da aplicação da ACP na Hipótese I de montante para jusante. Notou-se que em todas as estações a análise preliminar foi a que teria mais componentes principais retidas pelo critério de Kaiser, mas que em 5 casos essa abordagem não foi a que possuiu maior representatividade da variância explicada. O número de componentes principais a serem retidas, pelo mesmo critério, nas outras duas aplicações foi igual na maioria dos casos, 6 estações, nas demais a PTA foi a que teve menos CPs retidas.

Admitindo-se que uma explicação de pelo menos 75% da variância nos dados já seria suficiente para a definição dos parâmetros mais significativos de qualidade da água em cada ponto, o máximo de componentes principais retidas foram 5, explicando em média 80% da variância.

Em 12 casos não se obteve parâmetros de qualidade da água com peso superior a 0,5 ou -0,5, sendo que em 10 estações isso ocorreu na abordagem preliminar. Tal fato demonstra que em qualidade da água, mesmo se trabalhando com a matriz de correlação ao invés da de covariância, é interessante padronizar os dados a fim de que a diferença de dimensões métricas dos dados não interfiram nos resultados.

Das duas primeiras componentes extraiu-se em média 3 parâmetros de qualidade da água, sendo os mais recorrentes o pH e o nitrogênio amoniacal. No máximo teve-se 5 parâmetros, obtidos na abordagem da normalização pela média nas estações IG1, 65006075 e 65025000.

TABELA 5.1 – RESUMO DOS RESULTADOS DA ACP PARA A HIPÓTESE I

continua	PARÂMETROS COM MAIOR PESO NAS DUAS CPS		DBO, PT, N_Amo, OD, pH	DBO, PT, Nitratos		PT, N_Amo, OD, pH, Turbidez	PT, OD, pH	T_Amo, T_Ar,			CF	N_Amo, pH, SD	N_Amo, OD	CF	PT, N_Amo, OD, pH	Nitritos, N_Amo, SD, Turbidez	Turbidez		pH, Turbidez	T_Amo, T_Ar,	
	EXPLICAÇÃ O DA 1ª CP	35	45	44	89	78	86	40	40	43	62	62	22	92	48	49	70	89	72	53	43
	% EXPLICADA PELO ITEM ANTERIOR	78		80	81			80	80	75	83	82		92	83	78	86	98	85	87	92
	N° DE CP QUE EXPLICA PELO MENOS 75% DA VARIÂNCIA	5		3	2			3	4	3	2	2		1	3	2	2	2	2	ю	3
	% EXPLICAÇÃO DA VARIÂNCIA	94	82	88	86	91	94	94	97	96	98	96	81	94	66	88	86	66	86	96	98
	AUTOVALORES >1	10	n	4	9	2	2	5	6	8	4	4	3	3	4	3	5	4	4	Ω	8
	ABORDAGEM	Análise Preliminar	Normalização pela Média	Power Transform	Análise Preliminar	Normalização pela Média	Power Transform	Análise Preliminar - 65009000	Análise Preliminar - IG2D	Análise Preliminar - IG2E	Normalização pela Média - 65009000	Normalização pela Média - IG2D	Normalização pela Média - IG2E	Power Transform - 65009000	Power Transform - IG2D	Power Transform - IG2E	Análise Preliminar	Normalização pela Média	Power Transform	Análise Preliminar - 65017006	Análise Preliminar - 1G3
	UFPR		161			ı						IG2D /E						,		163	
	HIDROWEB					65006075						65009000						65013005		65017006	_

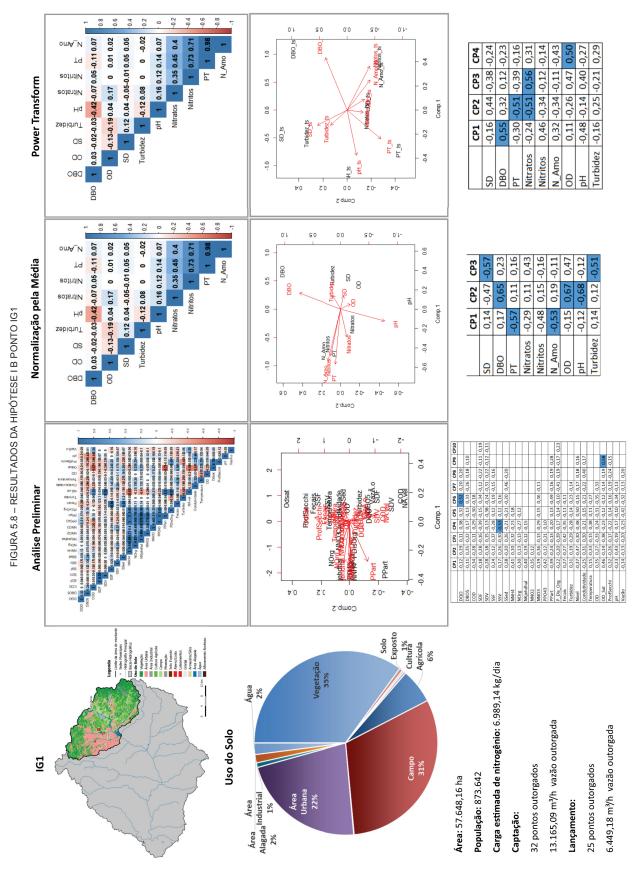
TABELA 5.1 – RESUMO DOS RESULTADOS DA ACP PARA AS HIPÓTESES I

- 700	1750					-		conclusão
HIDROWEB	UFPR	ABORDAGEM	AUTOVALORES >1	% EXPLICAÇÃO DA VARIÂNCIA	N° DE CP QUE EXPLICA PELO MENOS 75% DA VARIÂNCIA	% EXPLICADA PELO ITEM ANTERIOR	EXPLICAÇÃO DA 1ª CP	PARÂMETROS COM MAIOR PESO NAS DUAS CPS
		Normalização pela Média - 65017006	3	94	2	85	72	pH, CF, Turbidez
65017006	163	Normalização pela Média - IG3	4	92	3	77	42	SD, PT, pH
		Power Transform - 65017006	3	96	2	83	61	CF, pH
		Power Transform - IG3	3	87	2	77	53	OD, SD, Nitritos, pH
		Análise Preliminar	3	92	2	82	47	
65019980		Normalização pela Média	2	88			54	N_Amo, OD, pH
		Power Transform	2	06			69	N_amo, OD, pH
		Análise Preliminar	8	86	2	81	30	
ı	164	Normalização pela Média	4	86	3	80	41	N_Amo, pH, SD
		Power Transform	4	87	3	81	43	Nitritos, OD, SD, pH
		Análise Preliminar - 65025000	4	88	3	62	36	DBO, OD
		Análise Preliminar - 1G5	6	96	4	81	38	
85025000	צל	Normalização pela Média - 65025000	3	66	2	83	58	DBO, N_Amo, OD, pH, Turbidez
000000000000000000000000000000000000000	<u> </u>	Normalização pela Média - IG5	5	86	3	77	36	N_Amo, pH, Turbidez
		Power Transform - 65025000	2	68			29	DBO, N_Amo, pH
		Power Transform - IG5	4	68	3	62	40	PT, Turbidez
		Análise Preliminar - 65028000	5	92	3	92	36	
		Análise Preliminar - IG6	10	96	4	22	38	
65028000	991	Normalização pela Média - 65028000	4	86	3	85	51	DBO, pH, Turbidez
		Normalização pela Média - IG6	4	84			40	DBO, рН,
		Power Transform - 65028000	3	88			20	
		Power Transform - IG6	3	62			42	DBO
			FO	FONTE: O autor (2018)	8).			

Na FIGURA 5.8 apresenta-se o resumo dos resultados para o IG1, esse ponto é o que possui maior área de vegetação e em teoria apresenta as melhores características de qualidade da água, embora nos últimos anos têm-se observado uma maior intervenção antrópica nessa área. É ainda o ponto com menor população de montante e menor outorgas de lançamento. A DBO e o fósforo total foram os parâmetros que se repetiram em duas abordagens como mais representativos, aparecendo ainda o nitrogênio amoniacal, o OD e o pH na ANM e nitrato na PTA. Notou-se pelos gráficos das duas componentes principais que o agrupamento dos parâmetros foram bem diferentes, bem como algumas das direções que eles apontam.

Considerando que entre as duas abordagens a que explicou maior variância com 3 componentes principais foi a ANM, 5 parâmetros foram os mais representativos entre os 9 analisados. Esses cinco parâmetros exprimem características da decomposição da matéria orgânica, DBO e OD; dos nutrientes, fósforo e nitrogênio; e também físicas, pH.

A estação 65006075, FIGURA 5.9, tem a área urbana com 5% mais de representatividade que o ponto IG1, localizado à sua jusante, com um acréscimo de aproximadamente 225 mil habitantes. Os parâmetros mais representativos obtidos pela normalização foram bastante parecidos com os encontrados pela mesma abordagem para o IG1, trocando-se apenas a DBO pela Turbidez. Contudo na estação do Hidroweb os parâmetros de entrada eram apenas 6, dessa forma, ficou de fora apenas a DBO. Os gráficos da ACP para as abordagens dos dados modificados foram um pouco mais parecidos que no ponto anterior, porém com pesos apontando em sentidos opostos, em sua maioria. Comparando-se os resultados da abordagem da normalização com a da PTA, a maior variância com menos componentes ocorreu na última abordagem, onde destacaram-se 3 parâmetros: fósforo total, OD e pH, que apareceram dentre os de maior peso nos resultados da normalização.



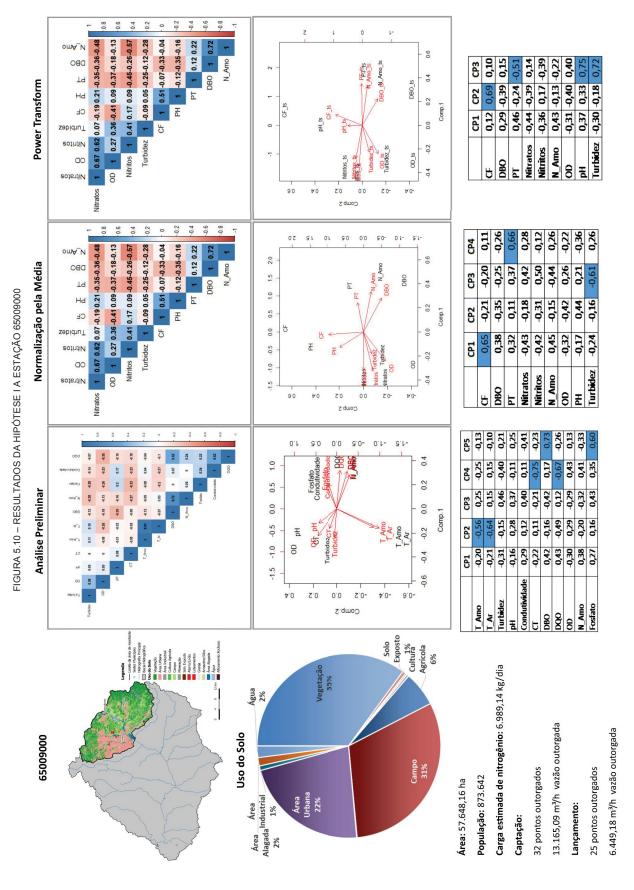
FONTE: O autor (2018).

9.0--0.8 -0.2 0.24 0.05 0.11 0.03 0.8 0,27 -0,26 0,14 0,36 -0,17 0.2 0.32 9.0 Power Transform Н 0.4 0.54 -0,10 -0,28 -0,39 -0,49 CP1 0,50 0,52 Comp.1 0.2 0.58 N Amo 0.0 N_Amo OD pH Turbidez DBO_ts DBO -0.2 DBO OD OD 2.0 Comp.2 -0.2 9.0 9.0 0.4 -0.2 -0.4 9.0--0.8 0.1 **G.0** 0.0 g:0-0.11 00 8.0 0.03 0.24 0,21 -0,29 0,16 0,15 Normalização pela Média 1.5 9.0 0.05 0.2 0.32 **Furbidez** 0.4 FIGURA 5.9 – RESULTADOS DA HIPÓTESE I A ESTAÇÃO 65006075 H -0,38 omA_N CP1 0.0 0.2 Comp.1 0.58 N Amo Id 0.0 OD PH Turbide N Amo -0.2 -0.5 N_AMPBO DBO DBO -0.4 -1.0 DBO -1.5 OD 4.0 8.0 9.0 2.0 0.0 2.0-0,15 -0,16 -0,24 -0,39 -0,12 0,30 0,17 0,24 0,22 -0,21 -0,30 0,16 2-0.4 0,26 0,20 -0,20 0.2 T_Amo Turbidez ST **Análise Preliminar** 0.0 CT 0,39 -0.2 0,23 OD Mitritos -0.4 N Total
N Amo
N KI
Nitritos
Nitratos
Fosfato
Fosforo 2.0 0.0 2.0**p**.0-Comp.2 Solo Exposto 1% Vegetação 39% Água Carga estimada de nitrogênio: 2.784,62 kg/dia 13.124,80 m³/h vazão outorgada 65006075 Uso do Solo 301 m³/h vazão outorgada Urbana Área Campo 34% 26 pontos outorgados Área Área Alagada Industrial 1% 1% 4 pontos outorgados População: 348.077 Área: 39.741,47 ha Lançamento: Captação:

FONTE: O autor (2018).

A FIGURA 5.10 resume os resultados da estação 65009000, ela é coincidente com os pontos IG2D, IG2E, resultados nas FIGURA 5.11 e FIGURA 5.12, respectivamente. Esses pontos estão localizados à jusante de uma estação de tratamento de efluentes domésticos e embora as amostras sejam coletadas no mesmo local, notou-se resultados diferentes, inclusive comparando-se apenas as coletas em margens distintas, IG2D e IG2E. Essa ocorrência foi interessante e corrobora o fato da complexidade associada à interpretação de dados de monitoramento de qualidade da água. Comparando-se os gráficos das duas CPs entre as abordagens estatísticas em cada estação notou-se certa semelhança na direção dos vetores e agrupamento dos parâmetros, o que não ocorreu comparando-se entre as estações.

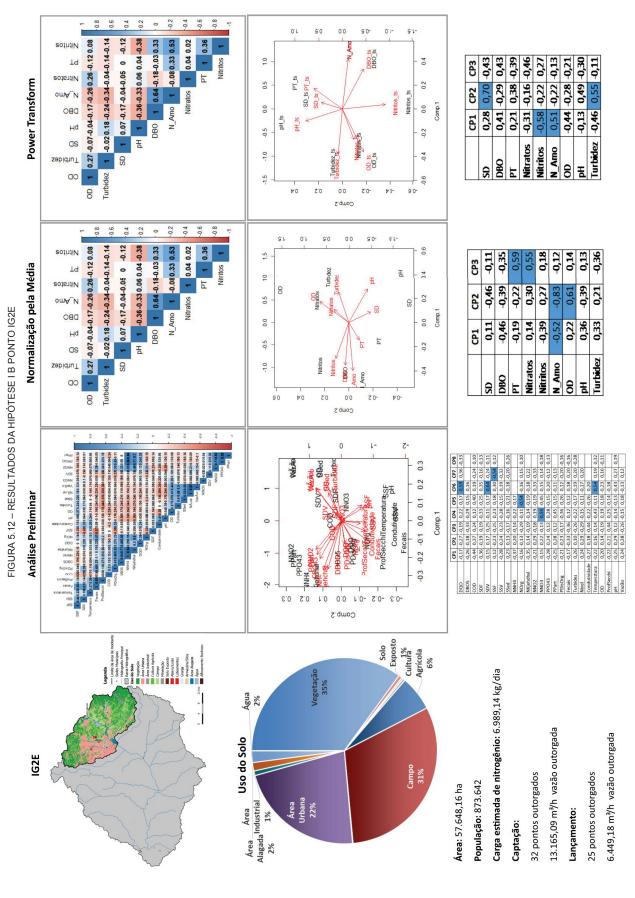
Considerando a maior variância explicada, para a estação 65009000 o melhor resultado seria a ANM com 4 CPs explicando 95% da variância e o parâmetro de maior peso foi coliformes fecais, que exprimiu bem a localização da estação. Para o ponto IG2D, foi a AP com 97% da variância, porém sem parâmetros com peso mais significativo. A normalização pela média apresentou uma explicação próxima, 96%, com 4 CPs e os parâmetros mais representativos sendo o nitrogênio amoniacal, pH e sólidos dissolvidos. No caso da análise preliminar dos resultados do IG2E, ocorreu o mesmo em relação ao IG2D, contudo a abordagem PTA obteve menos CPs, 3, explicando maior variância, 88% que a abordagem da normalização. Os parâmetros que se destacaram foram nitritos, nitrogênio amoniacal, sólidos dissolvidos e turbidez. Infelizmente para os dados da UFPR não havia dados de coliformes, porém, os mesmos podem estar associados ao SD e turbidez encontrados para o ponto IG2.



FONTE: 0 autor (2018).

0.4 0,13 0.0 -0,16 -0,19 **3.1** 0.1 6.0 g.0-0,21 -0,12 1 0.76 0.62 -0.1 -0.06 -0.08 -0.47 -0.27 -0.39 0.26 -0.07 -0.15 -0.06 0.11 -0.05 -0.01 0.04 0.11 0.2 1.5 -0,39 -0,27 -0,20 0,11 -0,15 1.0 0.4 SD Power Transform 0.5 0.5 0,38 -0,36 -0,24 Nitritos 0,49 -0,23 -0,45 -0,17Comp.1 CP2 Ιd 0.0 0.0 0,12 PT -0,11 0,12 -0,21 CP1 -0.5 -0.2 N Amo OD -1.0 pH Turbidez OD Nitratos Nitratos Nitritos N_Amo 9.0 4.0 2.0 0.0 2.0 9 -0.2 -0.4 9.0--0.8 0.4 0.33 -0.1 -0.47 -0.27 -0.39 0.26 -0.07 -0.15 1 0.76 0.62 -0.1 -0.06 -0.08 -0.06 0.11 -0.05 -0.01 0.04 0.11 0.2 -0,20 -0,16 0,58 -0,49 0,43 0,48 -0,16 -0,13 0,14 -0,16 -0,47 0,43 0,46 0,46 0,39 0,38 -0,36 -0,46 -0,37 -0,13 -0,13 9.0 -0,14 -0,18 -0,21 Normalização pela Média 1.0 0.4 Turbidez -0,20 0,16 -0,67 SD 0.5 0.2 Nitritos Turbidez FIGURA 5.11 – RESULTADOS DA HIPÓTESE I B PONTO IG2D CP2 Comp.1 0.0 0.0 Nitritos 0,41 CP1 PT -0.2 -0.5 N Amo OD 4.0-Nitritos Nitratos N_Amo -1.0 00 00 표 9.0 **b**.0 2.0 0.0 2.0-0 PHSDF -0.1 0.0 0.1 0.2 0.3 **Análise Preliminar** 0 SSF -0.3 5.0 5.0 1.0 0.0 Comp.2 Solo Exposto Cultura Agrícola Carga estimada de nitrogênio: 6.989,14 kg/dia Vegetação 35% Água 2% 13.165,09 m³/h vazão outorgada 6.449,18 m³/h vazão outorgada Uso do Solo IG2D Campo 31% 32 pontos outorgados 25 pontos outorgados População: 873.642 Área: 57.648,16 ha Alagada Industrial 2% 1% Área Urbana 22% Lançamento: Captação:

FONTE: O autor (2018).



FONTE: O autor (2018).

Os resultados da FIGURA 5.13 são para a estação 65013005, essa é a estação com a maior proporção de sua área classificada como urbana e possui uma população a montante de mais de 1,5 milhão habitantes. Os melhores resultados obtidos para ACP, em termos de variância foram para os dados da ANM, com 99% de explicação por meio de 4 componentes principais, porém parâmetros com peso significativo apareceram apenas na 3ª e 4ª CP, sendo eles, pH, turbidez e nitrogênio amoniacal.

A FIGURA 5.14 apresenta os resultados para a estação 65017006, coincidente com o IG3, FIGURA 5.15, estão localizados no meio da grande mancha urbana da região metropolitana de Curitiba. Os resultados entre as diferentes fontes de dados não foram muito coincidentes, bem como para uma mesma fonte dentre as diferentes abordagens estatísticas realizadas, podendo-se destacar como parâmetro mais recorrente o pH.

Os resultados da estação 65019980 podem ser observados na FIGURA 5.16. A AP foi a que teve maior variância explicada pelo critério de Kaiser, com 3 componentes principais, porém, apenas na 3ª CP apareceu um parâmetro com peso mais significativo, a turbidez. Os resultados dos dados normalizados e da PTA foram bastante parecidos, com os mesmos parâmetros em destaque (pH, nitrogênio amoniacal e OD), denotando a importância de tratar os dados de qualidade da água para a aplicação da ACP. Este ponto está localizado logo após a maior área urbana condensada da bacia em estudo, comparando-se essa estação com as demais localizadas na área mais urbanizada, observou-se a recorrência dos parâmetros nitrogênio amoniacal, pH e sólidos dissolvidos.

0,16 -0,13 -0,45 -0,23 -0,12 -0,171 0.74 0.5 0.36 -0.14 0.05 0.2 -0.35-0.23-0.35-0.51-0.06 1 0.61 -0.17 -0.59 -0.6 0.15 -0.24 1 0.79 0.33 0.23 0.26 0.15 1 0.64 0.41 -0.09 -0.2 -0.34 -0.5 -0.42 -0.64 1 -0.08-0.19-0.41-0.02 0.23 -0,15 -0,47 -0,24 0,19 0,22 0,38 -0,33 0,37 CF Power Transform oD_ts 0,30 N Amo Turbidez_ts 0,23 -0,11 -0,35 -0,29 -0,18 0,64 -0,22 0.2 CP2 Comp.1 DBO 0.0 DBO 0 Turbidez -0,16 -0,25 -0,44 0,43 0,41 0,44 0,23 0,12 -0,31 CP1 pH_ts Nitritos Turbidez CF_ts_ -0.2 Nitritos DBO_t OD pH Turbidez Nitratos N Amo Nitritos OD Nitratos 9 2.0 Nitratos 9.0 0.0 -0.4 -0.2 -0.4 9.0--0,18 0,39 0,13 0,30 0,27 -0,12 0,31 0.74 0.5 0.36 -0.14 1 0.64 0.41-0.09-0.2 -0.34-0.5-0.42-0.64 0.05 0.2 -0.35-0.23-0.35-0.51-0.06 1 0.61 -0.17 -0.59 -0.6 0.15 -0.24 -0.08-0.19-0.41-0.02 0.23 1 0.79 0.33 0.23 0.26 0.15 1.5 C Normalização pela Média F CE 0, 0,28 -0,48 0,44 -0,45 -0,46 -0,28 -0,17 0. <u>6</u> 0,71 SF 0.2 FIGURA 5.13 – RESULTADOS DA HIPÓTESE I A ESTAÇÃO 65013005 0.5 N_Amo 0,43 -0,17 -0,21 -0,41 -0,20 0,46 0,38 0,32 -0,27 CP2 Comp.1 DBO 0.0 0.0 DBO -0.5 Ŧ 0,35 -0,45 -0,42 0,39 0,32 -0,19 -0,31 0,21 -0.2 -0,26 Nitritos CP1 Turbidez -1.0 DBO OD Nitritos AH: PH Turbidez -0.4 -1.5 N_Amo OD Nitratos OD Nitratos Nitritos 2.0 0.0 2.0-**Z-**0 0.2 **Análise Preliminar** 0.0 0 -0.2 -2 Nitratos OD N Total N M KI Dureza Fosfato Fosforo Nitratos IQA 0.4 5 2.0-2.0 0.0 4.0-Comp.2 Solo Exposto Cultura 1% Agrícola **%9** Carga estimada de nitrogênio: 12.406,24 kg/dia Vegetação 32% Água 2% Campo 28% 26.696,08 m³/h vazão outorgada 26.485,19 m³/h vazão outorgada **Uso do Solo** 65013005 36 pontos outorgados População: 1.550.779 43 pontos outorgados **Área:** 82.682,44 ha Área Área Alagada Industrial Lançamento: 1% Captação: 7%

FONTE: O autor (2018).

FIGURA 5.14 – RESULTADOS DA HIPÓTESE I A ESTAÇÃO 650170006

-0.8 0.5 -0.2 -0.4 9.0-1 0.16 -0.02-0.14-0.23 1 0.28 0.53 0.23 1 0.09 0.3 0.28-0.36-0.52-0.32-0.38-0.3 1 0.57 0.83 -0.24 -0.02 -0.27 -0.41 -0.29 -0.24-0.06-0.26-0.32-0.31 0.3 0.04-0.25-0.4-0.39 Turbidez 1 0.31 0.49 OD -0,45 -0,39 -0,31 -0,17 -0.18Nitratos OO 9.0 2 Nitratos Nitritos_ts Nitritos_ts 0.4 -0,20 Power Transform -0,21 -0,34 -0,12 OD_ts Vitritos 0.2 Comp.1 Nitritos -0,43 0,39 -0,18 -0,39 0,35 표 CP1 Тd 0 0.0 Ы CF_ts CF_ts -0.2 DBO Nitratos Nitritos N_Amo -0.4 CF DBO CE F) 9.0 ₽.0 2.0 0.0 2.0-S.qmoD 0.2 -0.2 -0.4 9.0--0.8 0.1 **G**.0 **G**:0-0.r-0.0 1 0.16 -0.02 -0.14 -0.23 1 0.09 0.3 0.28-0.36-0.52-0.32-0.38-0.3 1 0.57 0.83 -0.24 -0.02 -0.27 -0.41 -0.29 -0.24-0.06-0.26-0.32-0.31 0.3 0.04-0.25-0.4-0.39 1 0.28 0.53 0.23 Turbidez 1 0.31 0.49 9.0 OD 1.5 1 0.8 -0,19 -0,43 -0,10 NitratosOD 0,30 0,41 Normalização pela Média OO 0.4 1.0 Nitratos -0,24 -0,29 -0,38 -0,38 0.2 0.5 CP2 Nitritos 0.0 H 0.0 Comp.1 Nitritos -0,38 -0,42 0,41 -0,29 0,22 H Ιd -0.5 -0.2 DBO Ы N Amo -1.0 DBO -0.4 R DBO Nitritos omA_N Nitratos -1.5 DBO Ы N_Amo 9.0-CE ĸ 0.0 2.0 2.0-9.0-9.0 4.0 ₽°0-S.qmo 0,27 0,27 0,24 0,15 0,16 0,33 0,15 0,11 0,12 0,25 0,34 -0,31 0,50 0,28 0,28 0,39 0,17 0,42 -0,17 -0,22 CP5 0.1 8.0 0.0 0.1-0.2-0.08 -0.14 0.11 0.37 90'0 10'0 0.4 0,15 -0,56 -0,40 0,13 CP4 0,15 0,23 0,22 N_Amo DBG 0.25 90'0 0.0 0.5 1.0 DBO 0.2 CP2 CP3 **Análise Preliminar** 0.0 T Amo Comp.1 -0.2 -1.0 9 -04 -2.0 Condutividade 9.0-Turbidez 2.0 0.0 2.0-4.0-9.0-4.0 I_Amo I Ar Comp.2 핊 Solo Exposto 1% Legenda

— Limite de ser de receptor de ser de receptor de ser de receptor de Cultura Agrícola 10% Carga estimada de nitrogênio: 15.118,41 kg/dia Água 2% /egetação 35% Uso do Solo 65017006 Campo 27% irea Urbana 22% População: 1.889.801 80 pontos outorgados Área: 116.739,04 ha Área Alagada Área 2% Industrial 1% Captação:

FONTE: 0 autor (2018).

-0,22 -0,19 0,28

-0,27 0,39

-0,41 0,31

N_Amo

9

-0,17 0,24 -0,24

-0,49 0,40

-0,37

N Amo

0,21 -0,15 0,18 -0,76 -0,31 0,31 0,33 0,36 0,25 0,32

> DBO DOO

28.321,34 m³/h vazão outorgada

0,26

0,39

OO

Ы

-0,85

0,30

Turbidez

0,41 0,24 0,11 0,13 0,26 0,25 0,19 0,48 -0,20 0,21

N Amo

GO

Fosfato

29.439,33 m³/h vazão outorgada

53 pontos outorgados

Lançamento:

0,37 -0,21 0,46 -0,22

0,34 -0,23 -0,51 -0,25 -0,5

-0,15

0,67

-0,38 0,32

pH Turbidez

FIGURA 5.15 – RESULTADOS DA HIPÓTESE I B PONTO IG3

9.0-0.2 -0.2 -0.4 -0.8 0.1 SD 1 0.04 0.01 1 0.42 -0.1 0.27 -0.26 N_Amo 1 0.11 0.1 -0.2 0.03 0.22 -0.03-0.16-0.27-0.15 0.02 0.11 0.03 -0.35 -0.34 -0.1 -0.4 -0.14 1 0.28 0.14 0.02 -0.16 -0.2 0.26 0.04 -0.1 -0.1 -0.05 0.03 0 60 -0,328 -0,170,378 -0,326 -0,491 0,275 -0,322 0,115 0,157 -0,411 -0,211 -0,61 H 0.4 1.0 Turbidez_ts -0,337 Power Transform 0,162 0,759 0.2 CP2 0.5 Comp.1 0.0 0.0 -0,363 -0,373 0,261 -0,103 CP1 pH_ts DBO Nitritos -0.5 -0.2 Nitritos pH Turbide DBO_ts Nitratos N Amo Nitritos -1.0 Nitratos OO -0.4 DBO 00 Nitratos -1.5 Turbidez ٥.4 2.0 0.0 2.0-Þ.O-S.qmoD 0.2 -0.2 -0.4 9.0--0.8 **9**.0 0.1 0.0 **3**.0-0. r-PT 1 0.25 1 0.42 -0.1 0.27 -0.26 SD 1 0.04 0.01 0.03 0.22 -0.03-0.16-0.27-0.15 0.02 0.11 0.03 -0.35 -0.34 -0.1 -0.4 -0.14 0.28 0.14 0.02-0.16 -0.2 1 0.11 0.1 -0.2 9.0 0.26 0.04 -0.1 -0.1 -0.05 0.03 0 0,25 0,16 0,17 -0,22 **CP3** Normalização pela Média 1.0 0.4 -0,14 -0,15 -0,12 -0,47 -0,14 -0,35 0,58 0,51 0.5 CP2 0.2 N Amo Comp.1 DBO 0.0 0.0 -0,49 0,49 0,16 0,50 -0,24 0,22 -0,14 DBO CP1 -0.2 -0.5 pH Turbidez Nitratos OD Nitratos Nitritos N_Amo OD -0.4 SD DBO -1.0 Nitratos 9.0 ₽0 0.0 S.0-Þ.O-Turbidez 2.0 S.qmoD 0 L-0.4
 0,15
 0,21
 0,15
 0,29

 0,22
 0,20
 0,19
 0,16

 0,14
 0,13
 0,49
 0,12

 0,21
 0,10
 0,33
 0,49
 0,12

 0,21
 0,10
 0,33
 0,31
 0,41
 0.2 **Análise Preliminar** SDV SDT Comp.1 0.0 COD 0 -0.2 -0.4 2.0 0.0 2.0-4.0-4.0 Comp.2 Solo Exposto 1% Cultura Agrícola 10% Carga estimada de nitrogênio: 15.118,41 kg/dia Água 2% egetação 35% 28.321,34 m³/h vazão outorgada Uso do Solo rea Urbana 22% População: 1.889.801 80 pontos outorgados Área: 116.739,04 ha Área Alagada Área 2% Industrial 1% Lançamento: Captação:

FONTE: O autor (2018).

29.439,33 m³/h vazão outorgada

53 pontos outorgados

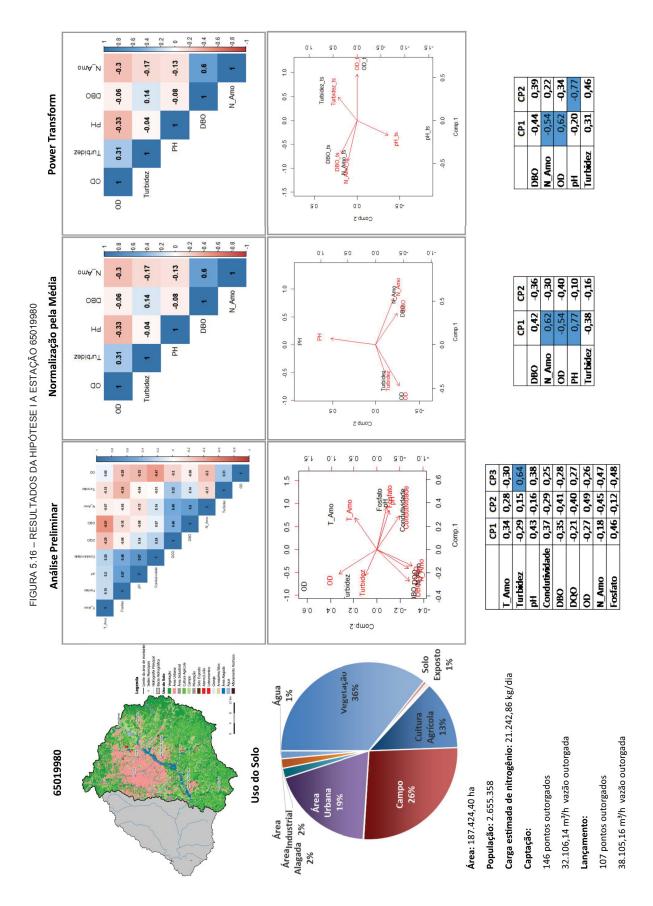
0,43 -0,238

0,219

-0,46

-0,42

0,33



FONTE: O autor (2018).

A FIGURA 5.17 apresenta os resultados do ponto IG4, até esse ponto a bacia de estudo sofria aumento de população e/ou área urbana de forma significativa, à sua montante está localizada 93% da população total. Notou-se uma certa coincidência nos mapas da ACP para os dados da ANM e os transformados. Pode-se dizer que os resultados da PTA foram melhores estatisticamente, com 4 CPs explicando 87% da variância dos dados com destaque para os parâmetros nitrito, OD, SD e pH nas duas primeiras componentes principais e turbidez, DBO e nitratos nas duas últimas CPs de relevância pelo critério de Kaiser.

Os resultados da estação 65025000 e do ponto IG5, estão na FIGURA 5.18 e FIGURA 5.19, respectivamente. Para os dados do Hidroweb, 99% da variância foi explicada pelos dados da ANM, por meio de 3 componentes principais onde destacaram-se os parâmetros DBO, nitrogênio amoniacal, OD, pH e turbidez. Para os dados da UFPR, destacou-se a AP com 96% da variância explicada por meio de 9 componentes principais, com o primeiro parâmetro mais significativo sendo o carbono orgânico dissolvido na 4ª CP, nitrato na 6ª CP e temperatura na 8ª.

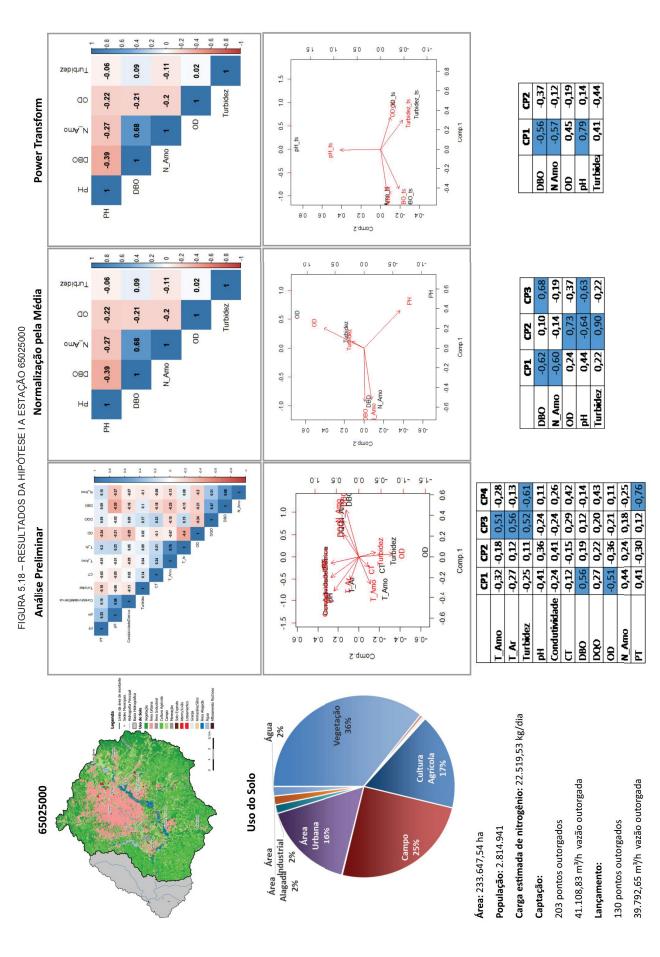
A estação 65028000, cujos resultados estão na FIGURA 5.20, tem localização coincidente com o IG6, FIGURA 5.21 e suas áreas de montante representam toda a bacia de estudo e esperava-se que seus resultados fossem mais parecidos com as análises globais. Para os dados do Hidroweb foi possível obter resultados mais satisfatórios para a abordagem da ANM, com 93% da variância explicada por 4 CPs e três parâmetros mais significativos: DBO, pH e turbidez. Para o IG6, a análise preliminar explicou 95% da variância por meio de 10 CPs, mas sem parâmetros com pesos significativos, que apareceram nos dados transformados, DBO, nas duas abordagens e pH, somente na ANM.

Dessa forma, na Hipótese I por pontos, os parâmetros relativos à matéria orgânica, representados pela DBO, OD e carbono orgânico dissolvido, voltaram a aparecer como significativos mais para o final da bacia, o que havia acontecido nos dois primeiros pontos de análise. O peso do pH mostrou-se significante ao longo de toda a bacia e na região mais central, mais próxima da área urbana, destacou-se ainda o nitrogênio amoniacal.

FIGURA 5.17 – RESULTADOS DA HIPÓTESE I B PONTO IG4 W.

Power Transform	108 Nitrios 1 0.06 0.07 0.02 0.02 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00	21 01 20 00 20- 01- 24 01 20 00 20- 01- 25 00 00 20- 01- 26 00 00 20- 01- 27 00 00 20- 01- 28 00 00 20- 01- 29 00 02 04 06 01- 20 00 02 04 01- 20 00 02 04 01- 20 00 02 04 01- 20 00 02 04 01- 20 00 02 04 06 01- 20 00 02 04 01- 20 00 04 01- 20 00 05	SD -0,29 0,69 0,16 -0,43 DBO -0,35 -0,14 -0,36 0,53 PT 0,48 0,49 0,34 -0,18 Nitratos 0,38 0,46 0,21 0,54 Nitritos -0,61 0,24 0,31 0,15 DH 0,05 0,18 -0,15 0,15 DH 0,15 0,13 DH 0,15 0,37 -0,46 -0,62 0,22
Normalização pela Média	Turbidez 1 0.16 0.18 0.03 0.02 0.06 0.03 0.09 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00	Oomp S S S S S S S S S S S S S S S S S S S	SD 0,12 0,76 0,24 0,47 DBO 0,12 0,76 0,24 0,47 DBO 0,38 0,24 0,28 0,50 PT 0,15 0,45 0,15 0,63 Nitratos 0,26 0,30 0,26 0,26 Nitritos 0,48 0,30 0,30 0,69 N Amo 0,56 0,12 0,20 0,21 OD 0,38 0,42 0,33 0,22 PH 0,62 0,13 0,25 0,34 Turbidez 0,27 0,23 0,51 0,47
Análise Preliminar	## COLOR PROPERTY OF THE PROPE	O O O O O O O O O O O O O O O O O O O	COL COT COT
164	Uso do Solo	Area Industrial 1% Alagada 2% Area Urbana 19% Campo Campo Campo Campo Campo Campo Caltura Solo Agua 1% Area 1% 19% 19% 19% 19% 19% 19% 19% 19% 19% 1	Area: 192.799,41 ha População: 2.675.364 Carga estimada de nitrogênio: 21.402,91 kg/dia Captação: 149 pontos outorgados 33.189,14 m³/h vazão outorgada Lançamento: 110 pontos outorgados 59.904,49 m³/h vazão outorgada

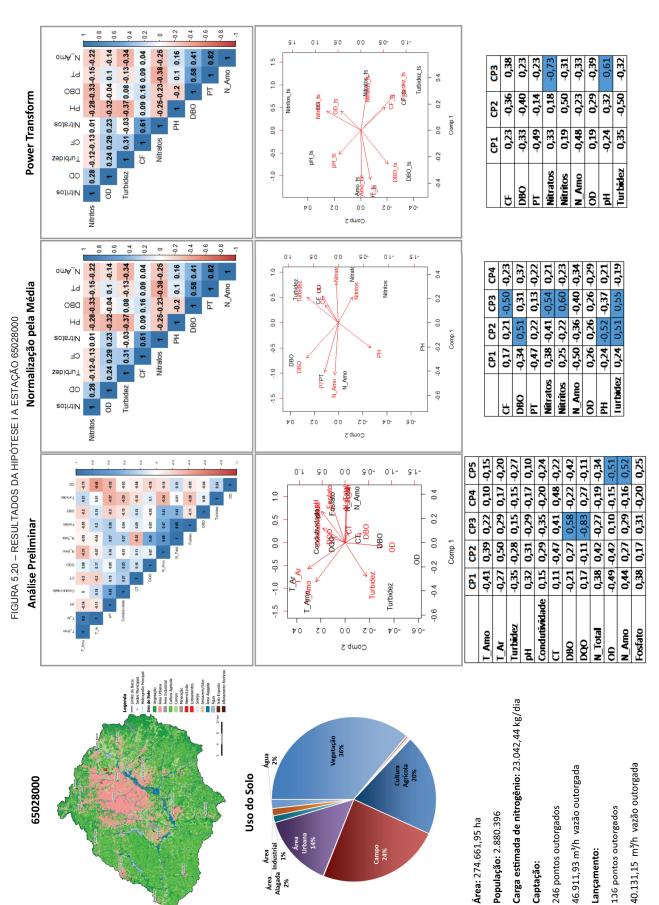
FONTE: O autor (2018).



FONTE: O autor (2018).

0.2 -0.2 -0.4 9.0-0 0.1 5.0 g:0-0.0 1 0.07 -0.08 0,37 0,66 -0,31 0,31 0.38 0.3 -0.17-0.34-0.1 0.03-0.14 0.02 -0.25-0.14-0.04-0.19 1 0.32 0.03 -0.02 -0.11 -0.1 -0.23-0.18 0,19 0,38 0,73 0,15 0,34 -0,45 0,27 -0,22 0,51 0,12 0,12 0,29 0,44 0,16 0,61 0,13 -0,39 -0,46 0,21 -0,36 0,22 | -0,48 | -0,32 | -0,17 -0,36 0,22 -0,32 -0,12 0,32 0,34 -0,36 0,41 0.22 0.26 0.12 -0.12 0.07 0.03 0.18 -0.03 1 0.51 0.39 -0.1 0.09 -0.08 -0.23 OD PT_t 1.0 OD N Amo BBO ts CP2 CP3 Nitratos 0.5 Power Transform 0.2 Turbidez Comp.1 H 0.0 0.0 CP1 Ы -0.2 -0.5 DBO pH Turbidez Nitratos N_Amo DBO Nitritos Nitritos -0.4 DBO -1.0 O as SD 4.0 2.0 0.0 Z.0-Þ.O. Comp.2 0.2 0.1 5.0 0.0 g.0--0,12 0,49 -0,45 0,42 -0,31 -0,48 0,35 0,26 0,15 CP5 -0,52 -0,27 0,65 0,22 -0,14 1 0.51 0.39 -0.1 0.09 -0.08 -0.23 0.22 0.26 0.12 -0.12 0.07 0.03 0.18 -0.03 0.02 -0.25-0.14-0.04-0.19 1 0.32 0.03 -0.02 -0.11 -0.1 -0.23-0.18 Turbidez 1 0.07 -0.08 0.38 0.3 -0.17-0.34-0.1 0.03-0.14 1 0.37 OD Normalização pela Média 00 1.0 0,17 -0,13 -0,16 -0,26 0,11 -0,26 CP4 0,20 -0,43 -0,14 0,60 0,37 -0,41 0,16 -0,34 0.4 H Nitratos Nitratos 0,15 -0,12 0,26 0.5 CP3 0,86 0,29 0,39 0.2 Comp.1 Hd FIGURA 5.19 – RESULTADOS DA HIPÓTESE I B PONTO IG5 0.0 0.0 CP2 PT N Amo -0,49 -0,47 0,26 -0.2 -0.5 CP1 DBO Nitritos pH Turbidez -0.4 Nitratos Nitritos N_Amo OD -1.0 DBO SD 0.0 Comp.2 3.1 O.1 3.0 0.0 3.0-3.1-0.4 1.0 1.5 ProfSecchi **Análise Preliminar** 0.2 -0.5 0.0 0.5 Comp. 1 0.0 NNH4 -1.5 4.0 2.0 0.0 2.0-Comp.2 /egetação Carga estimada de nitrogênio: 22.519,53 kg/dia 36% Água 2% Uso do Solo 39.792,65 m³/h vazão outorgada 41.108,83 m³/h vazão outorgada 165 130 pontos outorgados 203 pontos outorgados Urbana População: 2.814.941 Área: 233.647,54 ha 16% Área Área Alagadyndustrial 7% Lançamento: Captação:

FONTE: O autor (2018).



FONTE: O autor (2018).

FIGURA 5.21 – RESULTADOS DA HIPÓTESE I B PONTO IG6

0.5 -0.2 9.0 9.0 0.1 0.0 **3.0-**-0.02 -0.2 -0.04-0.22 -0.01 -0.1 -0.17 0.27 -0.03 pH 1 -0.21 0.22 -0.09 0.08 -0.13-0.44-0.06-0.18 1 0.44 0.03 0.19 0.31 0.03 0.01 0.02 -0.14-0.05 -0.1 DBO 1 0.35 PH.E. -0,20 0,15 -0,39 0,38 -0,12 0,46 -0,28 -0,38 -0,18 -0,40 0,13 N Amo ts -0,33 0,33 -0,41 0,40 0,34 0,30 1.0 -0,29 -0,26 -0,5 0.12 0.11 0.1 -0.02-0.12-0.01-0.06 DBO 0.4 0,14 0,24 0,16 0,58 0,45 -0,27 CP2 Power Transform 0.5 DBO_ts DBO_ts 0.2 CP1 Comp.1 0.0 0.0 N_Amo OD pH Turbidez PT Nitratos Nitritos Nitritos OD -0.2 SD -0.5 Nitratos OD as Nitratos SD 4.0 0.0 2.0-Comp.2 S.0-**G**.0 0.5 -0.2 -0.8 1.0 OD OD 0,32 0,20 -0,22 0,53 -0,38 -0,64 -0,27 0,44 -0,48 -0,39 0,26 -0,16 -0,24 0,29 0,22 0,30 0,26 -0,37 -0,32 0,25 -0,31 0,48 0,16 0,17 -0,42 0,24 0,14 -0,73 0,14 -0.02 -0.2 -0.04-0.22 0.31 0.03 0.01 0.02 -0.14-0.05 -0.1 0.09 0.08 -0.13 -0.44 -0.06 -0.18 -0.01 -0.1 -0.17 0.27 -0.03 1 0.44 0.03 0.19 1 -0.21 0.22 DBO 1 0.35 0,11 -0,47 0,44 0,5 0.4 Nitratos 1 0.12 0.11 0.1 -0.02-0.12-0.01-0.06 Normalização pela Média Turbidez 0.5 0.2 0,16 0,50 Hd CP1 CP2 0.0 0.0 DBO PT SOILLIN -0.2 -0.5 Nitratos N Amo Turbidez Nitritos GO -0.4 Nitratos SD 00 0.1 H Ы Nitratos HO 9.0-SD 4.0 2.0 0.0 2.0-4.0-9.0 0 7-2 1-0,16 0,18 0,11 0,12 0,44 0,16 0,16 0,11 0,14 0,16 0,15 0,31 0,22 0,18 0,26 0,30 0,29 0.4 0,15 0,40 0,12 0,12 0,16 0,18 0,17 0,10 0,25 0,24 0,27 0.2 **Análise Preliminar** Comp. 1 0.0 0 -0.2 2.0 2.0-4.0-4.0 0.0 Comp.2 Carga estimada de nitrogênio: 23.042,44 kg/dia getação 36% Cultura Agrícola 20% 40.131,15 m³/h vazão outorgada 46.911,93 m³/h vazão outorgada Uso do Solo 991 136 pontos outorgados 246 pontos outorgados População: 2.880.396 **Área:** 274.661,95 ha Área Área Alagada Industrial 2% 1% Lançamento: Captação:

FONTE: O autor (2018).

5.4 HIPÓTESE II - CARGA

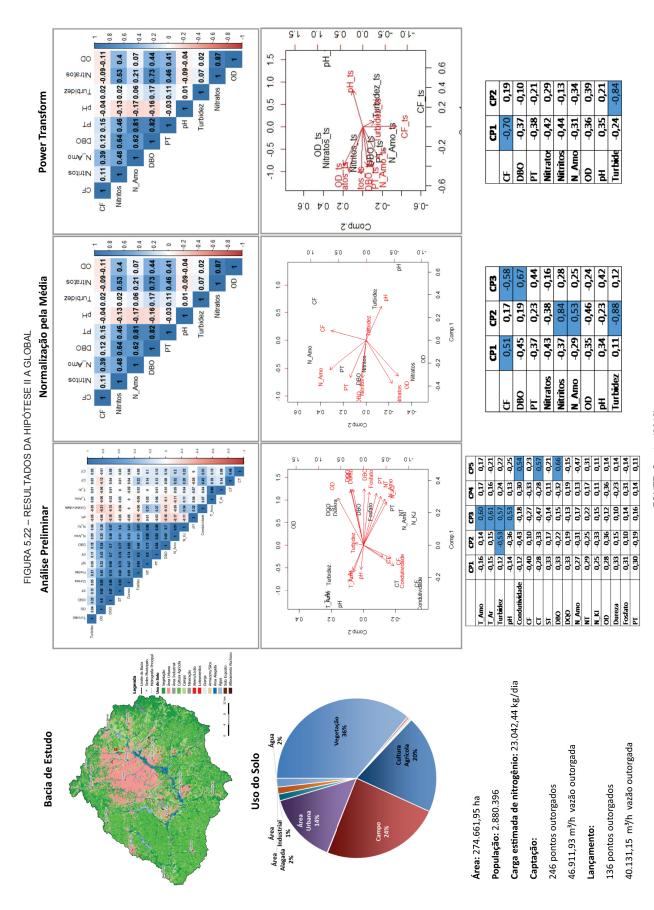
Comparando-se as correlações obtidas nas análises globais da Hipótese II com a Hipótese I, notou-se que como esperado, obteve-se mais coeficientes indicando forte correlação entre os parâmetros para os dados de carga do que para concentração, sendo que esses em sua maioria, na Hipótese II, foram positivos. Ainda de maneira geral, a abordagem da ANM foi a única que teve a variância explicada diminuída em parte dos dados, as demais mantiveram ou melhoraram a porcentagem. O número geral de componentes principais que explicam ao menos 75% da variância dos dados também foi menor para a Hipótese II do que para a I. Novamente os parâmetros de maior ocorrência foram pH, turbidez e nitrogênio amoniacal, um pouco mais presente que anteriormente.

Adotando-se o critério de Kaiser para determinar o número de componentes principais a serem analisadas para a Hipótese Global II A, foram retidas 5 componentes explicando 96% da variância dos dados para a análise preliminar, 3 CPs com 89% da variância explicada para os dados normalizados pela média e 2 com 92% para a PTA. A FIGURA 5.22, representa as informações compiladas para os dados do Hidroweb, visualmente os gráficos da ACP obtidos foram bastante distintos aos obtidos para concentração, Hipótese I A. Comparando-se notou-se que os parâmetros com peso significativo nas componentes principais foram em partes coincidentes, sendo que na AP a turbidez ocorreu nas duas hipóteses, o que na ANM aconteceu para nitritos e turbidez e na PTA para turbidez. Adicionalmente apareceram ainda coliformes fecais e nitrogênio amoniacal como parâmetros mais relevantes na Hipótese II A.

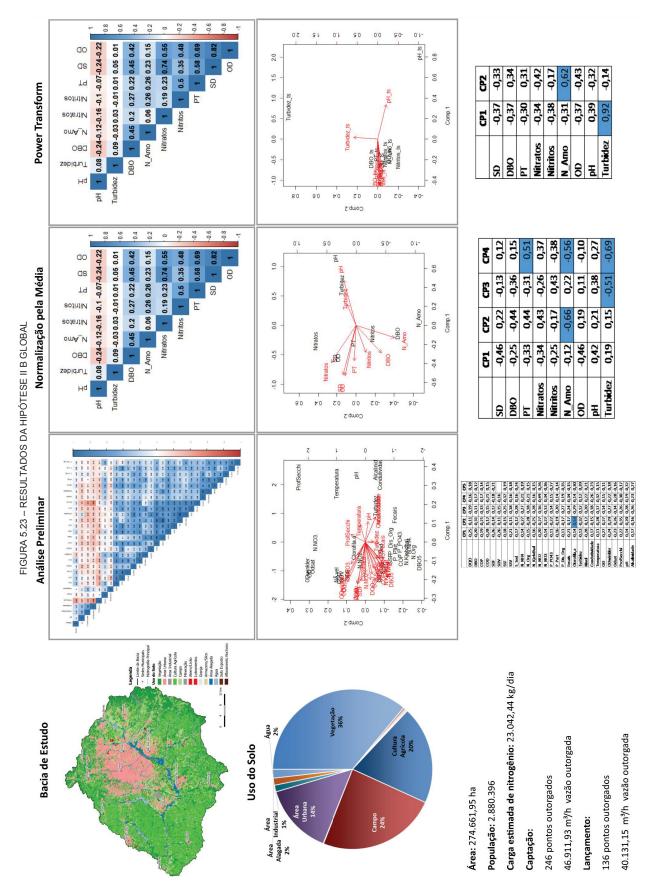
A FIGURA 5.23 apresenta um resumo dos resultados para a Hipótese II B, assim como no caso dos dados do Hidroweb, as diferenças nos gráficos de ACP foram bastante significativas no que se refere, principalmente ao agrupamento dos parâmetros. A única ocorrência repetente de parâmetro de qualidade foi na abordagem da ANM. Para a Hipótese II B foram retidas, pelo critério de Kaiser, 5 componentes principais na AP, 4 na normalizada pela média e duas na PTA com variância explicada de 96%, 93% e 92%, respectivamente. Os parâmetros de maior significância foram, para a mesma ordem: clorofila; nitrogênio amoniacal; turbidez e nitrogênio amoniacal. Comparando-se as figuras 5.8 e 5.9 também notou-se

diferenças significativas nos resultados, mostrando mais uma vez a grande distinção nos dois bancos de dados.

A TABELA 5.2 apresenta um resumo dos resultados da ACP para a Hipótese II por ponto, 3 das 7 estações do Hidroweb tiveram dados disponíveis apenas para aplicação da AP. Comparado à Hipótese I por ponto, a variância média explicada aumentou para um mesmo número médio de componentes, principais a serem retidas pelo critério de Kaiser. Observou-se que o aumento da variância ocorreu mais significativamente para a abordagem PTA. Ainda tratando-se de valores médios, continuou-se identificando 3 parâmetros, sendo os mais recorrentes o pH e a turbidez.



FONTE: O autor (2018).



FONTE: O autor (2018).

TABELA 5.2 – RESUMO DOS RESULTADOS DA ACP PARA A HIPÓTESE II

continua	PARÂMETROS COM MAIOR PESO NAS DUAS CPS	Nível	PT, Nitratos, SD, DBO, pH, Turbidez	DBO, N_Amo,				CF	OD, Nitratos, Nitritos, pH	PT, Nitratos	pH, Turbidez, CF	PT, pH, Turbidez, Nitratos	Turbidez, pH e condutivifdade	DBO, N_Amo, Turbidez	Turbidez			CF, pH, Turbidez	SD, PT, pH	CF, pH, Turbidez	OD, SD, Nitritos, pH	T_Amo
	EXPLICAÇÃO DA 1ª CP	30	40	46	69	22	09	89	47	09	42	55				85	55	84	42	84	53	55
	% EXPLICADA PELO ITEM ANTERIOR	92	77	78	81	22	84	82	06	82	96	84	82	80	84		62		78		77	75
	N° DE CP QUE EXPLICA PELO MENOS 75% DA VARIÂNCIA	4	3	3	2	2	3	2	3	2	3	1					3		3		2	2
	% EXPLICAÇÃO DA VARIÂNCIA	36	98	92	26	92	26	96	96	92	94	06	66	97	26	86	98	96	86	96	87	92
	AUTO VALOR >1	10	4	4	9	4	7	9	4	3	4	3	2	3	3	2	7	2	4	2	3	4
	ABORDAGEM	Análise Preliminar	Normalização pela Média	Power Transform	Análise Preliminar	Análise Preliminar - 65009000	Análise Preliminar - IG2D	Análise Preliminar - IG2E	Normalização pela Média - IG2D	Normalização pela Média - IG2E	Power Transform - IG2D	Power Transform - IG2E	Análise Preliminar	Normalização pela Média	Power Transform	Análise Preliminar - 65017006	Análise Preliminar - 1G3	Normalização pela Média - 65017006	Normalização pela Média - IG3	Power Transform - 65017006	Power Transform - IG3	Análise Preliminar
	UFPR	161					IG2D/E								[93	163						
	HIDROWEB	- 65006075					0200000							65013005			65017006					

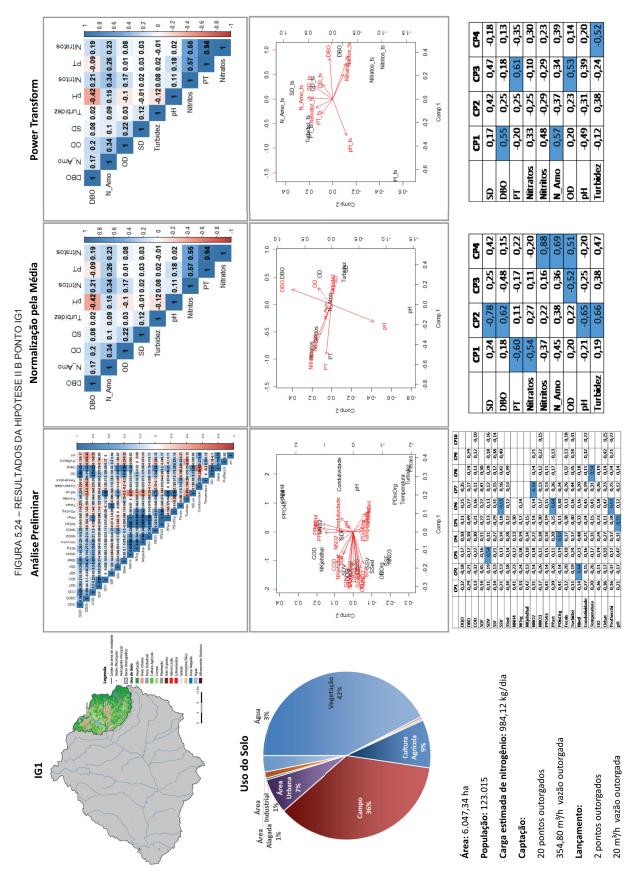
TABELA 5.2 – RESUMO DOS RESULTADOS DA ACP PARA A HIPÓTESE II

conclusão	PARÂMETROS COM MAIOR PESO NAS DUAS CPS	pH, N_Amo, OD, Turbidez	Fosfato, pH	N_Amo, N_KJ	pH, PT, Nitratos, Turbidez	pH, PT, Nitratos, Turbidez	T_Amo	Hd	DBO, N_Amo, OD, pH, Turbidez	Turbidez	DBO, N_Amo, OD, pH, Turbidez	pH, Turbidez	СТ		Nitratos, pH, DBO	Nitratos, Turbidez				
	EXPLICAÇÃO DA 1ª CP			09	47	55	62	44	25	57	58	06	29	49		99				
	% EXPLICADA PELO ITEM ANTERIOR	23	08	08		22	92	62	84	83			82	82	49	80				
	N° DE CP QUE EXPLICA PELO MENOS 75% DA VARIÂNCIA	1	1	3		2	2	3	2	2			2	4	1	2	018).			
	% EXPLICAÇÃO DA VARIÂNCIA	87	96	96	82	87	96	94	66	93	91	98	96	96	84	88	FONTE: O autor (2018)			
	AUTO VALOR >1	2	2	2	3	3	9	2	3	3	2	2	2	6	3	3	P			
	ABORDAGEM	Normalização pela Média	Power Transform	Análise Preliminar	Normalização pela Média	Power Transform	Análise Preliminar - 65025000	Análise Preliminar - IG5	Normalização pela Média - 65025000	Normalização pela Média - IG5	Power Transform - 65025000	Power Transform - IG5	Análise Preliminar - 65028000	Análise Preliminar - IG6	Normalização pela Média - IG6	Power Transform - IG6				
	UFPR		lG4		IG5							991								
	HIDROWE B 65019980				ı		65025000							65028000						

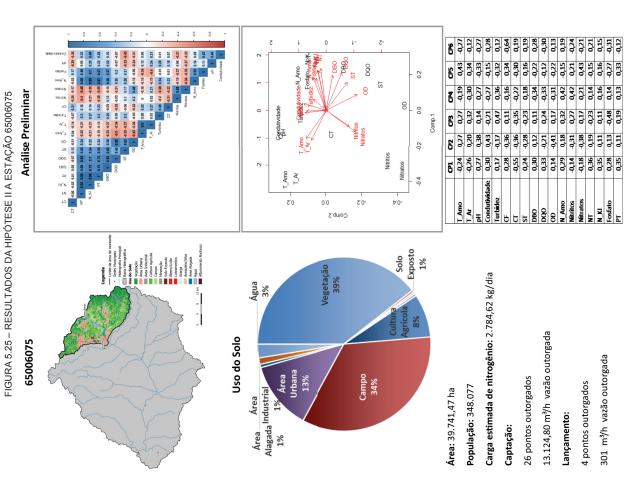
A FIGURA 5.24 apresenta o resumo dos resultados para o IG1, onde a maior variância explicada foi para a AP com 95% a partir de 10 componentes principais, onde o nível foi identificado com peso significativo na segunda CP, os sólidos dissolvidos voláteis na terceira, o fósforo dissolvido orgânico, sólidos suspensos voláteis, fósforo particulado, profundidade, nitrito e temperatura nas demais. A abordagem PTA explicou uma variância de 92% a partir de 4 componentes principais com os parâmetros DBO e nitrogênio amoniacal na primeira componente principal, que sozinha explicou quase metade da variância do banco de dados, 46%. Nessa mesma abordagem ainda tiveram destaque os parâmetros fósforo total, OD e turbidez. A DBO e o OD aparecerem também na análise da concentração.

Os resultados da estação 65006075 estão na FIGURA 5.25, essa foi uma das estações para a qual foi possível calcular apenas a AP cujo resultado foi bastante similar, em termos de número de componentes principais e variância com o obtido para concentração. Os gráficos, reflexo dos pesos dos parâmetros foram mais distintos, embora no que se refere à temperatura, do ar e da amostra, nitratos e nitritos a tendência foi a mesma.

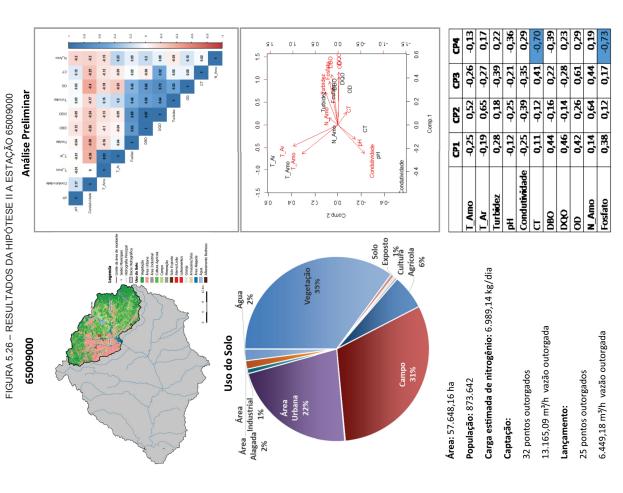
Os resultados das estações 65009000, IG2D e IG2E estão, respectivamente, na FIGURA 5.26, FIGURA 5.27 e FIGURA 5.28. A estação do Hidroweb só teve dados para a análise preliminar, nas 4 componentes principais retidas pelo critério de Kaiser, teve-se apenas os parâmetros coliformes totais e fosfato com pesos significativos, porém nas últimas componentes principais. Considerando-se os dados do IG2D, a análise preliminar foi a que explicou maior parte da variância, porém também não se teve parâmetros com pesos significativos nas primeiras componentes principais, que são as que explicam a maior parte da variância. A abordagem da ANM, explicou 95% da variância com 4 componentes principais, nas quais se destacaram os parâmetros OD, nitratos, nitritos e pH. Portanto, só o pH foi coincidente com o encontrado para o mesmo ponto na Hipótese I. Comparando-se com o resultado de carga do IG2E, na presente hipótese, o parâmetro nitrato foi o coincidente, tendo-se ainda o fósforo total como representativo nas duas primeiras componentes principais, que juntam explicaram 82% da variância dos dados.



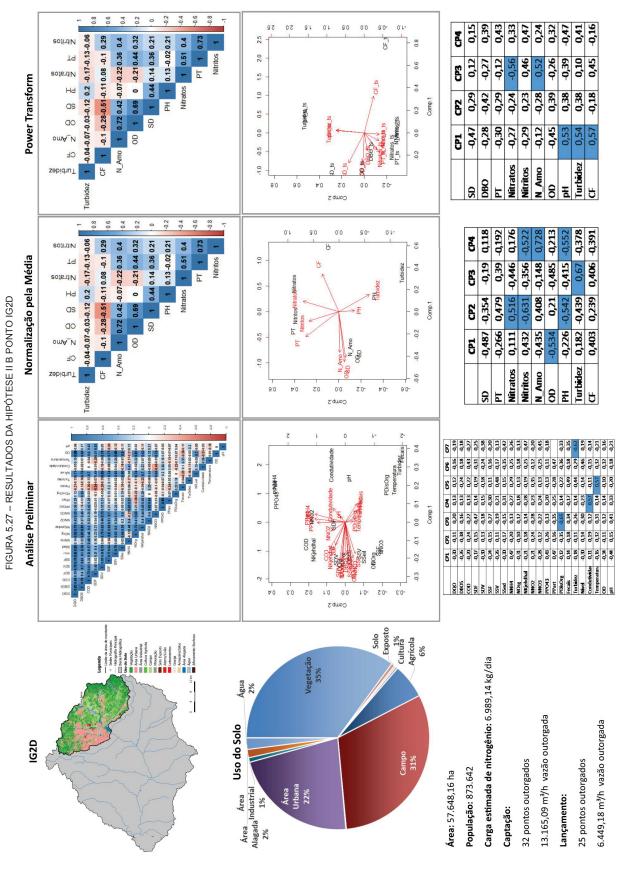
FONTE: O autor (2018).



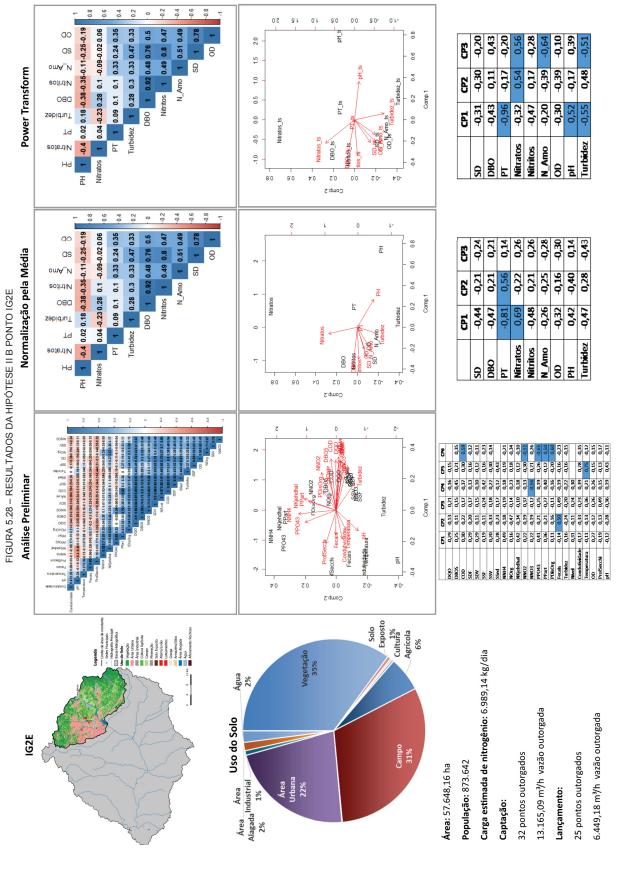
FONTE: O autor (2018).



FONTE: O autor (2018).



FONTE: 0 autor (2018).



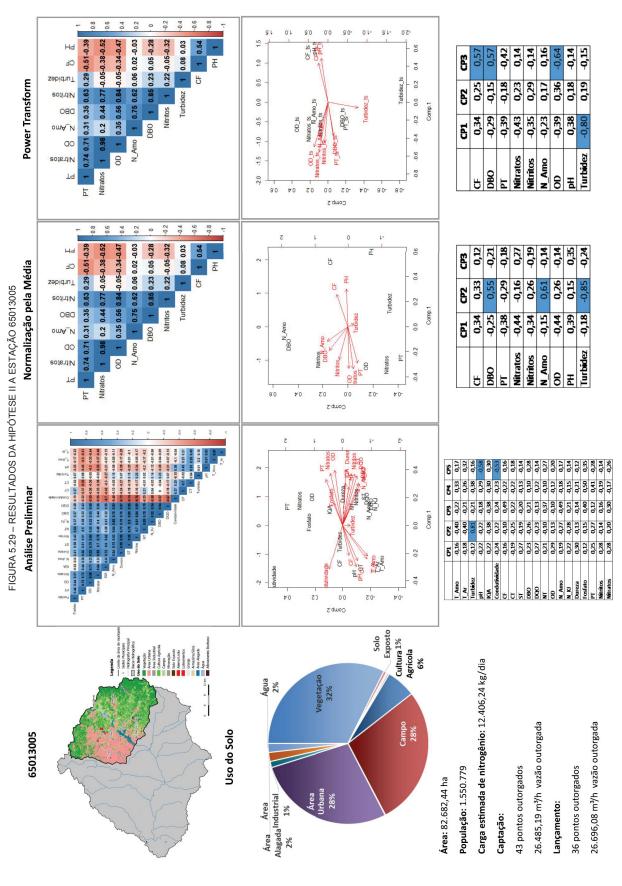
FONTE: O autor (2018).

A FIGURA 5.29 apresenta os resultados para a estação 65013005, onde 5 CPs explicaram 99% da variância dos dados, com apenas parâmetros de características físicas da qualidade da água com peso significativo: pH, turbidez e condutividade. O mesmo aconteceu para esse mesmo ponto na Hipótese I, contudo a condutividade foi a primeira vez que apareceu como parâmetro significativo.

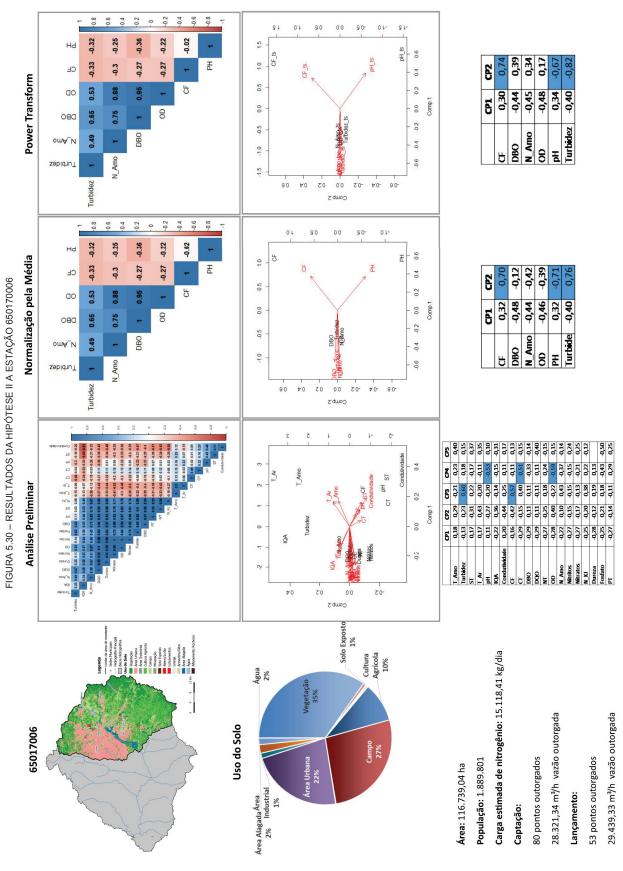
Os resultados para a estação 65017006 e o ponto IG3 estão na FIGURA 5.30 e FIGURA 5.31, onde notou-se que o resultado entre as diferentes bases de dados não foram coincidentes, contudo é interessante notar que para os dados do Hidroweb, as duas abordagens nas quais os dados originais foram transformados deram resultados bastante parecidos, com destaque para os parâmetros coliformes, pH e turbidez. Esses parâmetros foram resultantes na Hipótese I para os dados da mesma estação na abordagem da ANM.

Para a estação 65019980 o resumo dos resultados estão na FIGURA 5.32, cuja abordagem com maior variância explicada foi a PTA Pelo critério de Kaiser, 2 componentes principais foram retidas e explicaram 95% da variância, tendo os parâmetros fosfato e pH como mais representativos. O pH foi o único parâmetro comum, comparado à análise dos dados de concentração dessa estação.

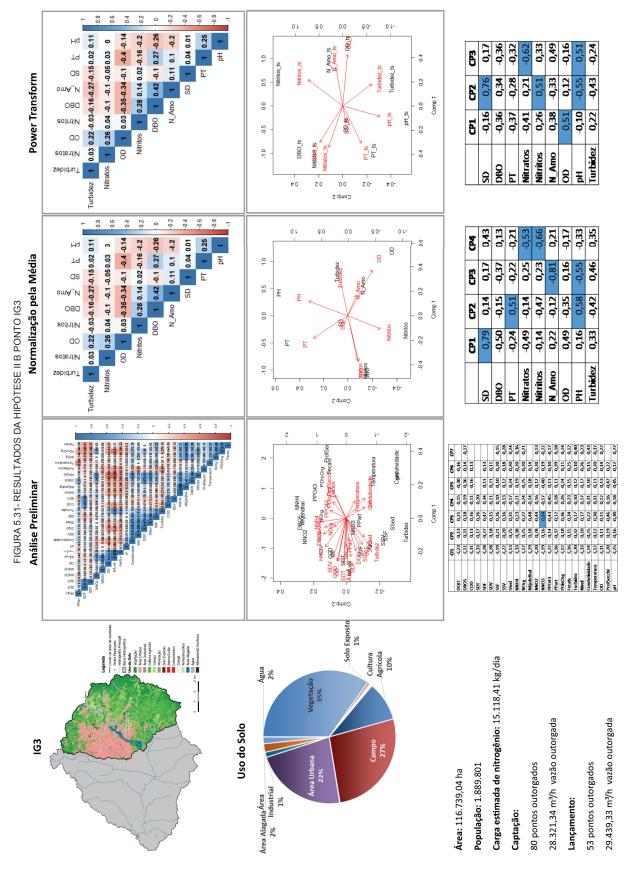
Os resultados do IG4 estão apresentados na FIGURA 5.33, onde notou-se certa semelhança nos gráficos da ACP para as três abordagens e os mesmos parâmetros como mais significativos nas abordagens NMA e PTA: fósforo total, nitratos, pH e turbidez. Na estação 65025000, FIGURA 5.34 também notou-se parâmetros iguais nessas duas abordagens, sendo eles a DBO, nitrogênio amoniacal, OD, pH e turbidez, exatamente os mesmos parâmetros encontrados para a Hipótese I. De forma similar, o IG5 apresentou os parâmetros pH e turbidez como mais representativos nas duas hipóteses. Interessante o fato de que para a mesma localização do rio, os dados da UFPR remeteram apenas a parâmetros físicos, enquanto que os do Hidroweb incluiu ainda os relacionados à matéria orgânica e nutrientes.



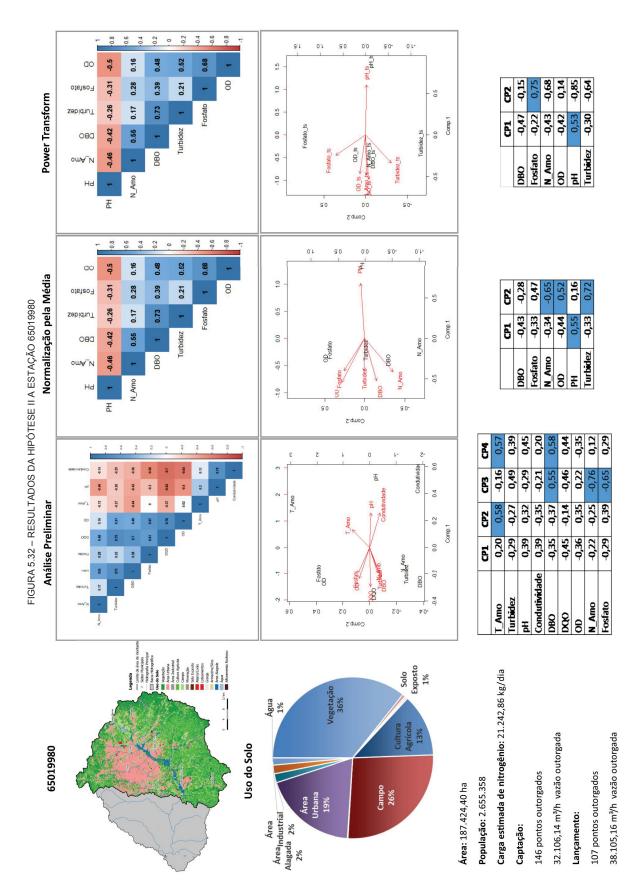
FONTE: 0 autor (2018).



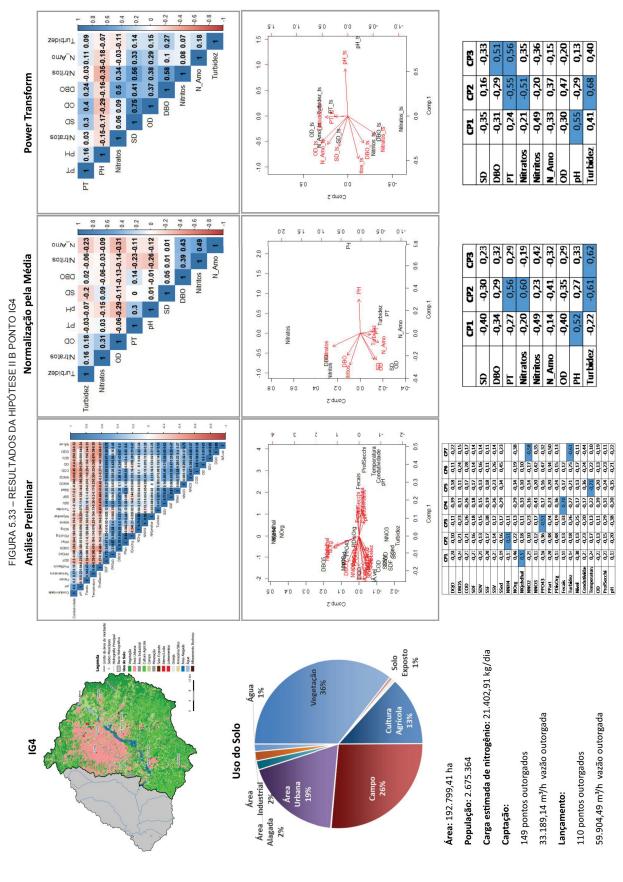
FONTE: 0 autor (2018).



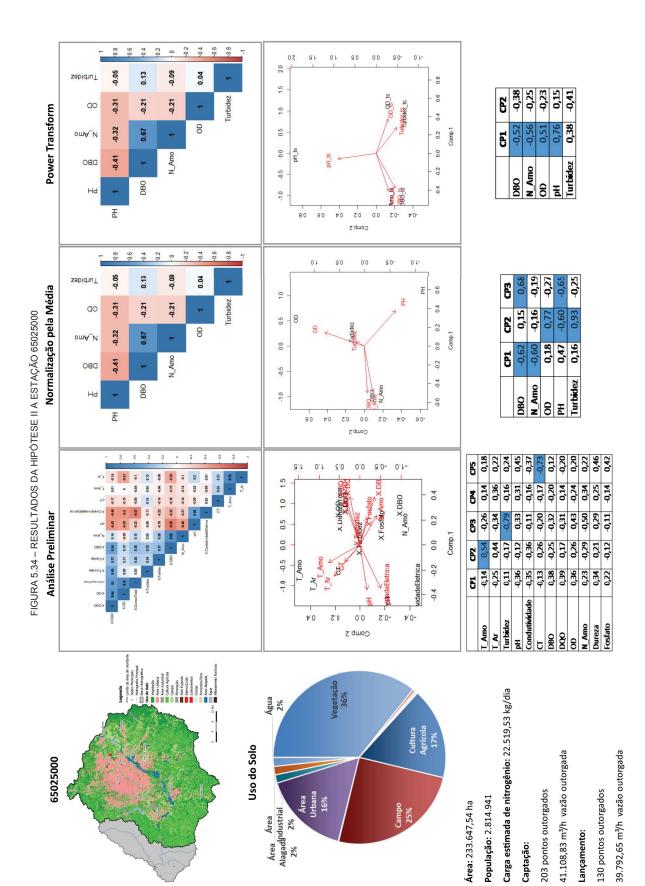
FONTE: 0 autor (2018).



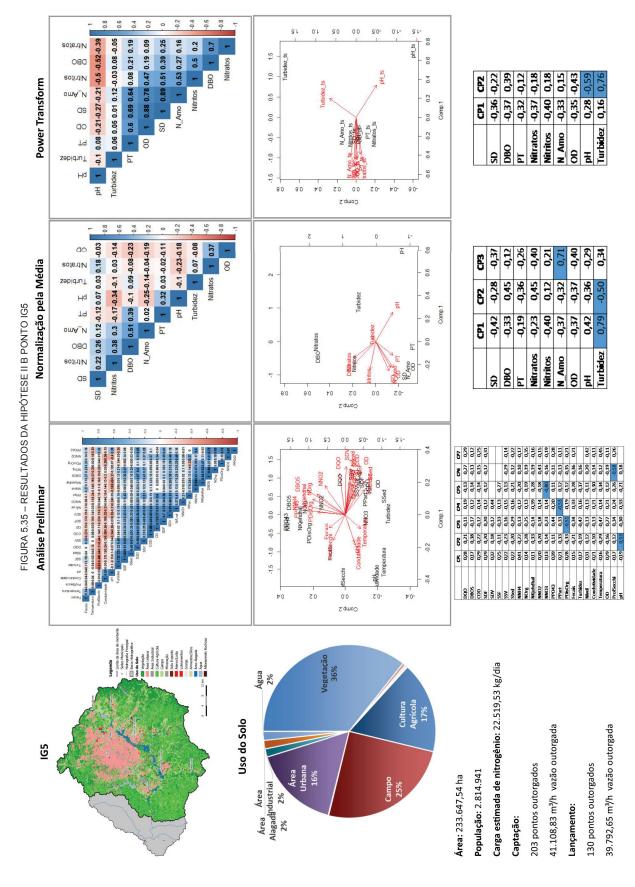
FONTE: O autor (2018).



FONTE: O autor (2018).



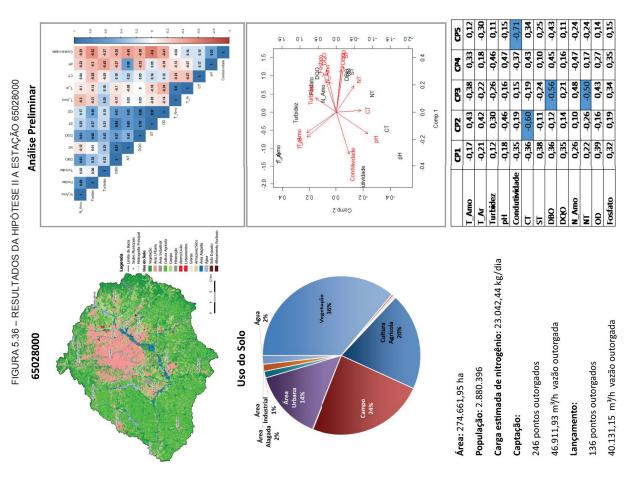
FONTE: O autor (2018).



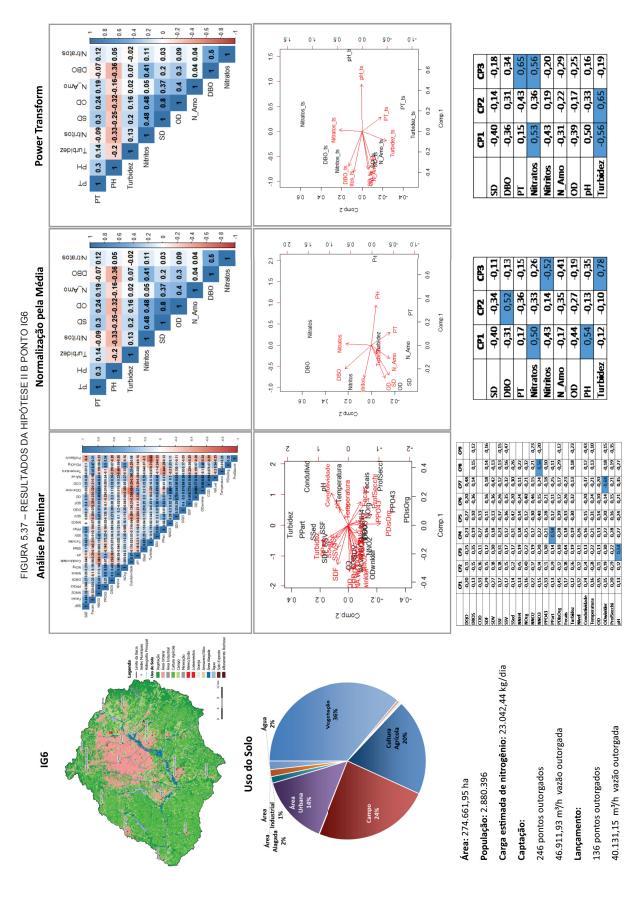
FONTE: O autor (2018).

A FIGURA 5.36 apresenta os resultados da estação 65028000, cujos dados foram possíveis de serem analisados apenas pela análise preliminar, onde obteve-se 5 componentes principais pelo critério de Kaiser, explicando 96% da variância e os parâmetros coliformes totais, DBO, nitrogênio total e condutividade como mais representativo. Até então, o parâmetro coliforme havia aparecido como representativo apenas nos pontos de monitoramento com maior influência de área urbana, mais especificamente no IG2 e IG3, tanto para os dados de concentração quanto para carga.

Os resultados do ponto IG6, localizado no mesmo lugar, FIGURA 5.37, para a análise preliminar, explicou 95% da variância, a partir de 9 CPs com os parâmetros nitrato, fósforo particulado, OD e pH destacando-se dos demais.



FONTE: O autor (2018).



FONTE: O autor (2018).

5.5 DISCUSSÃO

A análise de componentes principais é uma técnica de estatística multivariada que permite a sintetização de dados e é bastante utilizada em estudos nacionais e internacionais de qualidade da água. Ela é ainda a base para a aplicação da análise fatorial e análise de agrupamentos, que também podem ser bastante úteis para o planejamento de monitoramento de corpos hídricos superficiais. Dessa forma, o entendimento e aprimoramento da aplicação da mesma, conforme buscou-se realizar desde França (2009), Almeida (2013) e o presente estudo pode contribuir para resultados mais consistentes.

A comparação de resultados obtidos para concentração e carga, desenvolvido para a mesma bacia por Almeida (2013) e no presente estudo mostram que quando a variável quantitativa, vazão, é envolvida pode-se ter um outro diagnóstico da bacia, contribuindo para uma visão mais abrangente e que pode trazer propostas de gestão diferenciadas.

Foram utilizados dois bancos de dados na tentativa de identificar se os mesmos dariam resultados similares na aplicação da ACP, contudo, sendo os mesmos bem diferentes, não foi possível identificar tantas semelhanças. Apesar de não se analisar exatamente os mesmos parâmetros, Bacias Críticas e Integra x Hidroweb, esperava-se que as correlações entre os parâmetros coincidentes fossem similares. O que ocorreu em alguns poucos casos, podendo-se citar DBO e OD, que apresentam o mesmo valor nas duas análises globais de concentração, -0,33, a relação negativa atende a expectativa, pois quanto mais matéria orgânica no corpo hídrico, maior o valor de DBO e consequentemente menor o oxigênio disponível. Alguns pontos contrastantes, no entanto, podem ser destacados entre as duas bases de dados, a relação entre DBO x DQO, por exemplo, enquanto no caso do Hidroweb a correlação é fraquíssima, 0,13, na outra base de dados é bastante significativa, 0,71. França (2009) e Almeida (2013) estudando a mesma base de dados do Alto Iguaçu, mas com menos dados, também encontraram relação significativa para esses dois parâmetros, sendo igual a 0,57 e 0,61, respectivamente.

Pelos conceitos da estatística, quanto mais dados disponíveis mais consistentes são os resultados, dessa forma, comparando-se os resultados para o Bacias Críticas e Integra dos três trabalhos em que há um aumento do número de dados entre um e outro, foi-se encontrando fatores de relações maiores para DBO e DQO, o que denotaria que a relação entre os dois parâmetros é bastante forte, conforme esperado pelo conhecimento científico. Contudo, o Hidroweb, banco de dados bem maior resulta em um fator de coeficiente baixo, tal resultado leva a reflexões sobre o quanto um banco de dados maior realmente representa melhor uma bacia hidrográfica, se há inconsistência em alguma das bases de dados ou se simplesmente os processos que ocorrem em um corpo hídrico de uma bacia urbana é tão complexa que ao se aplicar as técnicas estatísticas os resultados não são satisfatórios.

Além de duas hipóteses (concentração x carga) e de diferentes bancos de dados, decidiu-se abordar ainda duas análises: global e por ponto. A análise global, de maneira geral, teve como destaque parâmetros físicos, principalmente pH e turbidez, que também se destacaram de alguma forma na análise por ponto. Contudo, um resultado bastante interessante, obtido por meio da abordagem dos pontos, foi o fato da DBO ser considerada parâmetro de relevância apenas nos pontos com características de menos poluição. Pode-se dizer que na análise por pontos se sobressai os parâmetros de qualidade da água que representam as atividades predominantes em sua área de drenagem, enquanto que na bacia como um todo, por terem regiões bastante distintas misturadas num único banco de dados, isso não se evidencia.

O estudo de caso, a Bacia do Alto Iguaçu, embora tenha boa porcentagem de seu uso definido como de vegetação é uma área com características urbanas predominantes, com uma alta densidade populacional. A aplicação da ACP demonstrou que os parâmetros mais representativos foram pH, turbidez e nitrogênio, de características muito diferentes da DBO, parâmetro utilizado no desenvolvimento da proposta de enquadramento aprovada em 2013. Esse parâmetro é o mais recorrente nas propostas de enquadramento aprovadas nacionalmente. Na análise por pontos, notou-se que os que possuem áreas de montante com características

similares os parâmetros mais representativos apontados pela ACP foram também semelhantes, embora tenha-se analisado de forma simplificada tal relação.

"O futuro pertence àqueles que acreditam na beleza de seus sonhos."

Elleanor Roosevelt

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desse estudo demonstraram que os uso integrado de geoprocessamento e AEM permite uma visão distinta de uma bacia hidrográfica. Por meio dessas técnicas foi possível identificar os parâmetros de qualidade da água mais representativos dentre um conjunto monitorado e agrupar de forma organizada as informações inerentes à bacia hidrográfica que podem influenciar na disponibilidade hídrica qualitativa e quantitativa.

O levantamento das propostas de enquadramento aprovadas no Brasil apontou que as mesmas são realizadas de forma mais intuitiva com as informações disponíveis para a bacia. Poucas levaram em consideração modelos matemáticos e não se observou a adoção de técnicas de estatística que fossem além da análise de mínimas, médias e máximas. Além disso, observou-se que pouco se explora a capacidade de reunir, organizar e processar dados por meio de ferramentas de geoprocessamento. Dessa forma, a abordagem integrada realizada no presente estudo é única e pode contribuir para a elaboração de propostas de enquadramento mais realísticas.

O presente estudo demonstrou ainda que a análise envolvendo dados de qualidade e quantidade da água de forma conjunta, por meio da carga, permite uma abordagem distinta das condições de um corpo hídrico, podendo complementar de forma bastante enriquecedora as conclusões obtidas olhando-se as informações de vazão e concentrações de forma separada. Contudo, para que isso seja possível é necessário uma base de dados consistente para os dois tipos de informações, o que não ocorre normalmente.

Ainda tratando-se da base de dados, análise de duas fontes distintas para uma mesma bacia demonstrou a importância da padronização da frequência de amostragem e de métodos de determinação dos parâmetros de qualidade da água, pois os mesmos podem influenciar nos resultados obtidos. O monitoramento é essencial não só para a determinação do enquadramento, mas também para o

acompanhamento das ações propostas no mesmo, o que permite um replanejamento, caso necessário.

Uma etapa importante nos planos de recursos hídricos e propostas de enquadramento é a elaboração de cenários, que devem ir muito além da análise do histórico da bacia hidrográfica. Notou-se que nesse sentido também há uma certa deficiência na definição do mesmo e poucos estudos propõem de forma mais direta metodologias para a sua elaboração, especialmente em recursos hídricos. Dessa forma, acredita-se que esse é um ponto importante a ser explorado em trabalhos futuros. O mesmo pode-se dizer sobre modelos matemáticos, que precisam estar de acordo com as proposições científicas já comprovadas e ao mesmo tempo serem práticos para a aplicação simplificada em planos de bacia e propostas de enquadramento. Acredita-se que a ottocodificação pode ser um caminho a ser melhor explorado.

O ponto chave do enquadramento, que o torna um instrumento de planejamento, é o Programa para Efetivação do Enquadramento, onde é realizado um plano de ações e metas, a serem realizadas idealmente em períodos de curto, médio e longo prazo, com o intuito de se manter e/ou alcançar as classes de qualidade propostas. O mesmo precisa estar associado a redução de cargas poluidoras, à restrição de uso, a um programa de monitoramento e a um plano de investimentos na bacia, incluindo os fundos arrecadados por meio da cobrança pelo uso da água. Contudo, tal etapa não é colocada em prática o que pode ser reflexo de interesses políticos ou mesmo de falta de interesse em se investir de forma concreta na bacia hidrográfica.

Dessa forma, conclui-se que muito precisa ser feito para que os instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, em especial o enquadramento seja colocado em prática de forma eficaz. É necessário mais estudos para embasar suas metodologias de definição, a implantação de uma rede de monitoramento qualiquantitativa representativa, a capacitação das instituições gestoras e membros do Comitê, a aplicação simultânea dos diversos instrumentos políticos existentes e principalmente o interesse em investir nas ações capazes de melhorar as condições dos corpos hídricos superficiais.

REFERÊNCIAS

AGUASPARANÁ – Instituto das Águas do Paraná. **Dados de Outorgas do Estado do Paraná. 2017.** Disponível em http://www.aguasparana.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=79. Último acesso em nov. 2017.

AGUASPARANÁ – Instituto das Águas do Paraná. **Hidrografia do Alto Iguaçu** (1:10.000). Disponível em < http://www.aguasparana.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=80>. 2016a. Último acesso em março 2017.

AGUASPARANÁ – Instituto das Águas do Paraná. **Uso do Solo Bacia do Alto Iguaçu** (1:20.000). Disponível em < http://www.aguasparana.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=80>. 2016b. Último acesso em março 2017.

AGUASPARANÁ – Instituto das Águas do Paraná. **Proposta de Atualização do Enquadramento da Bacia do Paraná – BP3.** Disponível em < http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/Parana_3/P02_Levantamento_de_u sos_atuais_e_futuros_Rev1.pdf>. 2016.Último acesso em jan 2017.

AGUASPARANÁ – Instituto das Águas do Paraná. **Finalização do Plano das Bacias do Alto Iguaçu e Afluentes do Alto Ribeira.** Disponível em < http://www.aguasparana.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=158>. Curitiba, 2013. Último acesso em jan. 2016.

AGUASPARANÁ – Instituto das Águas do Paraná. **Plano da Bacia Hidrográfica do Paraná 3: Uso e Ocupação do Solo (Produto 6).** Disponível em < http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/Parana_3/plano_de_bacia/Produto_06_Uso_e_Ocupacao_do_Solo_BP3_2014_v06_Final.pdf>. Cascavel, 2014. Último acesso em jan 2017.

ALMEIDA, C. C. Análise Crítica de Parâmetros de Qualidade da Água – Estudo de Caso da Bacia do Alto Iguaçu na Região Metropolitana de Curitiba. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Águas para o Futuro: Cenários para 2020 in** Plano Nacional de Recursos Hídricos. vol 2. ANA, 2006.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: 2009**. Brasília: ANA, 2009a. 204 p.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Implementação do Enquadramento em Bacias Hidrográficas. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos – SNIRH. Arquitetura computacional e Sistemática. In Caderno de Recursos Hídricos. vol. 6. ANA, 2009b.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: 2010.** Brasília: ANA, 2010. 112 p.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: 2011**. Brasília: ANA, 2011. 76 p.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: 2012.** Brasília: ANA, 2012. 215 p.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Panorama da Qualidade das Águas Superficiais do Brasil: 2012**. Brasília: ANA, 2012. 264 p.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Cadernos de Capacitação em Recursos Hídricos – V. 5: Planos de recursos hídricos e enquadramento de corpos de água. Brasília: ANA, 2013a. 68p.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: 2013b**. Brasília: ANA, 2013b. 432 p.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: 2014**. Brasília: ANA, 2015. 103 p.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: informe 2015. Brasília: ANA, 2015.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Metadados**. Disponível em < http://metadados.ana.gov.br/>. Último acesso em 16 nov 2016.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **HidroWeb – Sistema de Informações Hidrológicas**. 2017a. Disponível em < http://hidroweb.ana.gov.br/>. Último acesso em 20 jan 2017.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Atlas Esgotos: Despoluição de Bacias Hidrográficas. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília, 2017b.

BARROSO, L. P.; ARTES, R. **Análise Multivariada: minicurso do 10º Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agronômica.** Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2003.

BITENCOURT, C. C. A. de; JESUS, J. A. O. de; CORREA, G. P.; PEREIRA, C. B.; BURNETT, J. A. B. Integração de Ferramentas de Geoprocessamento e Modelagem Matemática para Avaliação da Qualidade da Água dos Corpos Receptores, a partir do Cálculo e Espacialização das Cargas Domésticas dos Esgotos Urbanos – Parte 2. Congresso ABES Fenasan 2017. São Paulo, 2017. Disponível em < http://www.evolvedoc.com.br/aesabesp/detalhes-3044_integracao-de-ferramentas-de-geoprocessamento-e-modelagem-matematica-para-avaliacao-da-qualidade-da-agua-dos-corpos-receptores-a-partir-do-calculo-e-espacializacao-das-cargas-domesticas-dos-esgotos-urbanos-parte-2>. Último acesso em jan.2018

- BRASIL. **Lei Federal 9.433 de 08 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília. DF. 1997.
- BRITES, A. P. Z. *Enquadramento dos corpos de água através de metas progressivas: probabilidade de ocorrência e custos de despoluição hídrica.* Tese (Doutorado) Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.
- BU, H.; TAN, X.; LI, S. Water quality assessment of the Jinshui River (China) using multivariate statistical techniques. Environmental Earth Sciences, 60, p. 1631-1639, 2010.
- BUARQUE, S.C. **Metodologia e Técnicas de Construção de Cenários Globais e Regionais.** Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Brasília, 2013.
- CALMON, A. P. S.; SOUZA, J. C.; REIS, J. A. T. dos; MENDONÇA, A. S. F. **Uso** combinado de curvas de permanência de qualidade e modelagem da autodepuração como ferramenta para suporte ao processo de enquadramento de cursos d'água superficiais. Revista Brasileira de Recursos Hídricos RBRH. Vol. 21. nº 1. Porto Alegre. jan.mar/2016. p. 118 133.
- CARVALHO, D. E. de; SUTTER, M. B.; POLO, E. F.; WRIGHT, J. T. C. Construção de Cenários: Apreciação de Métodos Mais Utilizados na Administração Estratégica. XXXV Encontrto da ENANPAD. Rio de Janeiro. 2011.
- CIESZYNSKA, M.; WESOLOWSKI, M.; BARTOSZEWICZ, M. **Assessment of river water quality in the South Baltic coast by multivariate techniques.** Central European Journal of Chemistry, Vol. 9, N° 2, p. 265-274, 2011.
- COELHO, M. Estratégia de Monitoramento da Qualidade da Água para a Gestão de Recursos Hídricos em Bacias Urbanas. 163 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2013.
- CONAMA CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 357 de 17 de março de 2005.** Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de águas superficiais, bem como estabelece as condições e padrões de lançamentos de efluentes. Brasília. DF. 2005.
- CORRÊA, G. P. Aplicação do modelo de qualidade da água SisBaHiA® no reservatório do rio verde, RMC/PR. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2013.
- CNRH CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Resolução nº 91 de 5 de novembro de 2008**. Dispõe sobre os procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos d'água superficiais e subterrâneos. Brasília. DF. 2008.

- DONG, C.; SCHOUPS, G.; GIESEN, N. van de. **Scenario development for water resource planning and management: A review.** Technological Forecasting & Social Change. 80, p. 749-761. 2013.
- FACIOLI, M da C.; BEZERRA, G. Bacia do Rio Paraíba do Sul: Conflitos no Processo Pré-Enquadramento de Rios Federais em Classes de Uso. XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Brasília, 20015.
- Fernandes, C. V. S. Relatório Parcial Projeto Integra I. Curitiba, 2008.
- FERNANDES, C.V.S.; AZEVEDO, J.C.R.; KNAPIK. H.G. Relatório Parcial Projeto Integra II. Curitiba, 2017.
- FERREIRA, D. M.; FERNANDES, C. V. S.; KAVINSKI, E. Curvas de permanência de qualidade da água como subsídio para o enquadramento de corpos d'água a partir de modelagem matemática em regime não permanente. Revista Brasileira de Recursos Hídricos RBRH. Vol. 21. nº 3. Porto Alegre. jul.set/2016. p. 479 492.
- FERREIRA, D. F. **Estatística Multivariada.** Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2008.
- FRANÇA, M. S. Análise multivariada dos dados de monitoramento de qualidade de água da Bacia do Alto Iguaçu: uma ferramenta para a gestão dos recursos hídricos. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.
- FURNANS, F.; OLIVERA, F. Watershed topology: The Pfafstetter system. In: ESRI USER CONFERENCE. San Diego. Proceedings. San Diego: 2001.
- GALLEGO, C. E. C. Nova visão sobre o uso integrado de instrumentos para o aumento da efetividade da gestão de recursos hídricos. Tese (Doutorado) Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2014.
- GOMES, F.C.; SIMÕES, S.J.C. Simulação de Modelagem Qualitativa para Avaliação Preliminar da Qualidade da Água na Bacia do Ribeirão das Perdizes em Campos do Jordão/Sp, como subsídio ao enquadramento. RBRH Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol 19, n.3.jul.set/2014. p. 309 326.
- HAIR JR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise Multivariada de Dados.** 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.
- HELLWEGER, F.L. **100 Years since Streeter and Phelps: It is Time To Update the Biology in Our Water Quality Models.** Environmental Science & Technology, 49, p. 6372-6373. 2015.
- IBGE INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Populacional 2010**. Disponível em: < http://www.ibge.gov.br/censo/>. Último acesso em nov. 2016.

- IBGE INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estimativa Populacional 2017**. Disponível em: < https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?&t=resultados/>. Último acesso em jan. 2018.
- JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied Multivariate Statistical Analysis.** 4. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1998.
- KANPIK, H.G. Reflexões sobre Monitoramento, Modelagem e Calibração na Gestão de Recursos Hídricos: Estudo de Caso da Qualidade da Água da Bacia do Alto Iguaçu. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2009.
- KNAPIK, H.G.; FERNANDES, C.V.S.; BASSANESI, K.; PORTO, M.F.A. Qualidade da Água na Bacia do Alto Iguaçu: Diferenças Conceituais entre os Modelos QUAL2E e QUAL2K. RBRH Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol 16, n.2.abr.jun/2011. p. 75 88.
- KNAPIK, H. G. Organic Matter Characterizatio and Modeling in Polutted Rivers for Water Quality Planning and Management. Tese (Dourado em Engenharia) Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2014.
- KOZAK, C. Water Quality Assessment and Its Effects on Diffuse Pollution Considering a New Water Quality and Quantity. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Universidade Federal do Paraná.
- LANNA, A. E. **Uso de Instrumentos Econômicos na Gestão de Águas no Brasil.** Bahia Análises & Dados. v. 13. n especial, p. 441-451. Salvador, 2003.
- LIU, S.; BRAZIER, R.E.; HEATHWAITE, A.L.; LIU, W. Fully integrated approach: an alternative solution of coupling a GIS and diffuse pollution models. Frontiers of Environmental Science & Engineering, 8, p.616-623. 2014.
- MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada.** Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.
- OECD Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico. **Governança dos Recursos Hídricos no Brasil**. OECD Publishing. Paris, 2015. http://dx.doi.org/10.1787/9789264238169-pt.
- PACHECO, R.P.; GALLEGO, C.E.C.; FERNANDES, C.V.S.; AISSE, M.M. Estimativas de custos visando orientar a tomada de decisão na implantação de redes, coletores e elevatórias de esgoto. RBRH Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol 20, n.2.jan.mar/2015. p. 73 81.
- PESSOA, Z. B.; FONTES, A. S.; MEDEIROS, Y. D. P. Enquadramento de corpos d'água para fins de consumo humano em regiões semiáridas: avaliação conforme Resolução CONAMA 357/2005 e Portaria MS 2914/2011. Revista Brasileira de Recursos Hídricos RBRH. Vol. 20. nº 2. Porto Alegre. abr.jun/2015. p. 496 506.

- PINTO, U.; MAHESWARI, B. L. River health assessment in peri-urban landscapes: An application of multivariate analysis to identify the key variables. Water Research, 45,p. 3915-3924, 2011.
- PORTO, M. F. A.; FERNANDES, C. V. S.; KNAPIK, H. G.; FRANÇA, M. S.; BRITES, A. P. Z.; MARIN, M. C. F. C.; MACHADO, F. W.; CHELLA, M. R.; SÁ, J. F.; MASINI, L. Bacias Críticas: Bases Técnicas para a definição de Metas Progressivas para seu Enquadramento e a Integração com os demais Instrumentos de Gestão. Curitiba: UFPR Departamento de Hidráulica e Saneamento, 2007. (FINEP/ CT-HIDRO). Projeto concluído.
- QGIS DEVELOPMENT TEAM, (2017). **QGIS Geographic Information System**. Open Source Geospatial Foundation Project. http://www.qgis.org.
- RANGEL-PERAZA, J.G.; DE ANDA, J.; GONZÁLEZ-FARÍAS, F.A.; RODE, M. Sensitivity and uncertainty analysis on water quality modelling od Aguamilpa reservoir. Journal of Limnology, 75, p.81-92, 2016.
- R CORE TEAM (2017). R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051 07 0, URL http://www.R-project.org/.
- SAMOHYL, R. W. Controle Estatístico de Qualidade. Elsevier. Rio de Janeiro. 2009.
- SILVA, N. dos S.; RIBEIRO, C. A. A. S.; BARROSO, W. R.; RIBEIRO, E. A.; SOARES, V. P.; SILVA, E. **Sistema de Otto-Codificação Modificado para Endereçamento de Redes Hidrográficas**. Revista Árvore. v. 32, n. 5, p. 891-897. Viçosa, 2008.
- SINGH, K. P.; MALIK, A.; MOHAN, D.; SINHA, S. Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India) a case study. Water Research, 38, p. 3980-3992, 2004.
- SNIS Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos 2014.** Disponível em < http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2013>. Ultimo acesso em nov. 2016.
- TORRES, C. J. F.; MEDEIROS, Y. D. P.; FREITAS, I. M. D. P. **Training watershed committee members to aid on the decision-making process for the execution program of the framework of water bodies.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos RBRH. Vol. 21. n° 2. Porto Alegre. abr.jun/2016. p. 314 327.
- TUCCI, C. M. E. Modelos Hidrológicos. Coleção ABRH, Porto Alegre, 1998.
- VELILLA, S. A note on the multivariate Box-Cox transformation to normality. Statistics & Probability Letters, 17, p. 259-263. 1993.

VON SPERLING, M. **Estudos e Modelagem da Qualidade da Água de Rios.** Minas Gerais: DESA / UFMG, 2007.

ZHAO, Z.; CUI, F. Multivariate statistical analysis for the surface water quality of the Luan River, China. Journal of Zhejiang University SCIENCE A, v. 10, n. 1, p.142-148, 2009.

APÊNDICE A- PLANOS DE BACIA E ENQUADRAMENTOS VIGENTES

Tabela A.1 - PLANOS DE BACIA E ENQUADRAMENTO DE BACIAS INTERESTADUAIS

continua	METAS PROGRESSIVAS	,	-	Não	Não	,	Sim
	SITUAÇÃO DO ENQUADRAMENTO	1	Não foi aprovada pelo Comitê	Aprovado	Aprovado	Não passou pela aprovação do Comitê	Aprovado
	PROPOSTA DE ENQUADRAMENTO	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	ALCANCE	2020 (revisão em curso com cenários de até 20 anos)	2013 (Na revisão o alcance será de 20 anos)	2025	2030	2020	2020 e Programa para Efetivação do Enquadramento dos corpos d'água até o ano de 2035
	CONCLUSÃO APROVAÇÃO	2002	2004	2009	2010	2010	2010
	CONCLUSÃO	2002 - Revisado em 2007 - 2013 (Revisão em curso)	2004	2008	2009	2010	2010
	SITUAÇÃO DO PLANO	Elaborado	Em revisão	Elaborado	Elaborado	Em revisão	Elaborado
	PLANO	Plano de recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul	Plano Decenal da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco	Plano Estratégico de Recursos Hídricos da Bacia dos Rios Tocantins e Araguaia	Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce	Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Verde Grande	Plano das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí 2010 - 2020

Tabela A.1 – PLANOS DE BACIA E ENQUADRAMENTO DE BACIAS INTERESTADUAIS

conclusão	METAS PROGRESSIVAS	Não	Sim	Sim			
	SITUAÇÃO DO ENQUADRAMENTO	Aprovado	Aprovado	Em processo de aprovação	Em processo de aprovação		
	PROPOSTA DE ENQUADRAMENTO	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
•	ALCANCE	2030	2030	2032	2030		15 anos
	APROVAÇÃO	2011	2013	2016	2016		
	CONCLUSÃO	2010	2013	2014	2016		Previsão: 2016/2017
	SITUAÇÃO DO PLANO	Elaborado	Elaborado	Elaborado	Elaborado	Em elaboração	Em elaboração
	PLANO	Plano Estratégico de Recursos Hídricos dos Afluentes da Margem Direita do Rio Amazonas	Plano de Recursos Hídricos e do Enquadramento dos Corpos Hídricos Superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba	Plano de Recursos Hídricos da bacia hidrográfica do rio Piranhas-Açu	Plano de Recursos Hídricos da bacia hidrográfica do rio Paranapanema	Plano de Recursos Hídricos da bacia hidrográfica do rio Grande	Plano de Recursos Hídricos da bacia hidrográfica do rio Paraguai

FONTE: ANA, 2016b; Planos de Bacias.

Tabela A.2 – PLANOS DE BACIA E ENQUADRAMENTO DE BACIAS INTERESTADUAIS

					PROPOSTA	-		META	S						BASES TÉCNICAS	S.				
	0.00	i i	0.00	L	ENQUADRAMENTO		APROVADO	PROGRESSIVAS	SIVAS			DIAGNÓSTICO						MODELAGEM MATEMÁTICA	ATEMÁTICA	
	PLANO	SILUAÇAO	CONCLUSAO	ALCANCE	s	σ z	z	S	N PRIM	DADOS PRIMÁRIOS SE	DADOS SECUNDÁRIOS	SÉRIE DE PARÂMETROS	ÍNDICES	FONTES	CENÁRIOS	CARGAS CARGAS POLUIDORAS	QUAL2K OU QUAL2E	HEC-RAS	ESTATÍSTICA	OUTRO
ın ≒	Plano Diretor de recursos Hídricos da Bacia do Rio Piauí	Elaborado	1998	2018		×														
- T	Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Mundaú	Elaborado	1999	2020	×	×		×			×	×			×	×				×
in	Plano Diretor de recursos Hídricos da Bacia do Rio Coruripe	Elaborado	2001	2020																
in 🖰	Plano Diretor de recursos Hídricos da Bacia do Rio São Miguel	Elaborado	2003	2023		×				×	×		×		×					
	Plano Diretor da Região Hidrográfica do Pratagy	Elaborado	2006	2025																
.으	Plano Diretor da Região Hidrográfica do Litoral Norte	Elaborado	2010	2025																
.⊶ .의	Plano Diretor da Região Hidrográfica do Camaragibe	Elaborado	2010	2025																
⊇	Plano Diretor da Bacia Hidrográfica do Rio Jacuípe	Elaborado	2010	2025																
ı <u>~</u>	Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Moxotó nos estados de Alagoas e Pernambuco	Elaborado	1997	2020																
- m	Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Grande	Em elaboração																		
- m	Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Corrente	Em elaboração																		
, v &	Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas do Leste	Em elaboração																		
L 🗠	Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Recôncavo Sul	Em elaboração																		
	Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio das Contas	Em elaboração																		
- ×	Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Recôncavo Norte e Inhambupe	Em elaboração																		
	Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraguaçu	Em elaboração																		
	Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica dos Rios Verde e Jacaré	Em licitação																		

Tabela A.2 – PLANOS DE BACIA E ENQUADRAMENTO DE BACIAS INTERESTADUAIS

Tabela A.2 – PLANOS DE BACIA E ENQUADRAMENTO DE BACIAS INTERESTADUAIS

	PLANO				PROPC			_	AFTAS						BASES TÉCNICAS	S				
		SITUAÇÃO	CONCLUSÃO	ALCANCE		ENQUADRAMENTO	APROVADO	_	PROGRESSIVAS	S		DIAGNÓSTICO				ESTIMATIVADE		MODELAGEM MATEMÁTICA	ATEMÁTICA	
					S	z	o o	o z	z	DADOS	DADOS SECUNDÁRIOS	SÉRIE DE PARÂMETROS	INDICES	FONTES	CENARIOS	CARGAS	QUAL2K OU QUAL2E	HEC-RAS	ESTATÍSTICA	OUTRO
	Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Jucu	Elaborado	2015	2035	×		*	*.			×	×			×					
	Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Benevente	Elaborado	2014	2029	×		×	×		×	×	×	×		×	×	×			
	Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Novo	TR aprovado (em fase de licitação)																		
	Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Litoral Centro Norte	TR																		
	Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Itaúnas	TR																		
	Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio São Mateus	TR																		
	Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Itapemirim	TR																		
	Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru	Elaboraçã o do TR																		
	Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Mearin	Elaboraçã o do TR																		
Joacld	Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Pará - SF2	Elaborado	2008	2016	×		×	×			×	×	×		×	×	×			
MG Hídricos	Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio das Velhas - SF5	Concluído/ Em atualizaçã o	2004 / 2014	2010/2		*					×	×	×		×	×				
MG Hidro	Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográficas dos Rios Jequitaí e Pacuí - SF6	Elaborado	2010	2020		*					×	×	×		×					
Plano D MG Hídricc	Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paracatu - SF7	Elaborado	2006	2015	×		×	×			×	×	×		×					
Plano D MG Hídricos Preto e	Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia dos Rios Preto e Paraibuna - PS1	Elaborado	2006	2020		×														
Plano D MG Hídricos Pomb	Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia dos Rios Pomba e Muriaé - PS2	Elaborado	2006	2020		×														
MG Hídricc	Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Araguari -PN2	Elaborado	2008	2016		*					×		×		×					

Tabela A.2 – PLANOS DE BACIA E ENQUADRAMENTO DE BACIAS INTERESTADUAIS

ão			OUTRO													
continuação		ICA	ESTATÍSTICA													
		MODELAGEM MATEMÁTICA	ESTA													
		MODELAGE	HEC-RAS													
			QUAL2K OU QUAL2E			×				×	×		×		×	×
		ESTIMATIVADE	CARGAS POLUIDORAS			×				×	×	×	×		×	×
	BASES TÉCNICAS	,	CENÁRIOS	×	×	×		×	×	×	×	×	×		×	×
	BA		FONTES													
			INDICES			×	×			×	×	×	×		×	×
		DIAGNÓSTICO	SÉRIE DE PARÂMETROS		×	×	×		×				×		×	×
			DADOS SECUNDÁRIOS				×	×	×	×	×	×	×		×	×
			DADOS PRIMÁRIOS		×	×				×			×			
	As	SSIVAS	z													
	M	PROGRESSIVAS	ø		×	×	×			×	×		×		×	×
		APROVADO	z		×		×			×	×		×		×	×
ŀ			Ø			×										
	OPOSTADE	ENQUADRAMENTO	z	×				×	*			*				
			Ø		×	×	×			×	×		×		×	×
		ALCANCE		2010	2030	2015	2020	2020	2030	2030	2030	2030	2030	2030	3032	2032
		CONCLUSÃO		2008	2010	2010	2010	2010	2010	2013	2013	2013	2013	2013	2013	2013
		SITUAÇÃO		Elaborado	Elaborado	Elaborado	Elaborado	Elaborado	Elaborado	Elaborado	Elaborado	Elaborado	Elaborado	Elaborado	Elaborado	Elaborado
		PLANO		Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia dos Rios Piracicaba e Jaguari - PJ1	o (; i) (ii)	Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Verde - GD4	Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Sapucaí - GD5	ursos Rios 06	sos çuai	Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Alto Rio Grande - GD1	Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio das Mortes - GD2	Plano Diretor de Recursos Hídricos do Entorno do Reservatório de Furnas - GD3		ursos dos São	ursos dos o Rio	ecursos a dos lto JQ1
		J.		MG	M O S	MG	MG	MG	MG	MG	MG	MG	MG	MG	MG	MG

Tabela A.2 – PLANOS DE BACIA E ENQUADRAMENTO DE BACIAS INTERESTADUAIS

ação			OUTRO		×	×	×						×	×			
continuação		ATEMÁTICA	ESTATÍSTICA														
		MODELAGEM MATEMÁTICA	HEC-RAS														
			QUAL2K OU QUAL2E	×													
		ESTIMATIVADE	CARGAS	×	×	×	×						×	×			
	BASES TÉCNICAS	0	CENARIOS	×	×	×	×						×	×			
			FONTES														
			ÍNDICES	×			×						×	×			
		DIAGNÓSTICO	SÉRIE DE PARÂMETROS	×	×	×	×										
			DADOS SECUNDÁRIOS	×	×	×	×						×	×			
			DADOS PRIMÁRIOS (
	METAS	PROGRESSIVAS	z	×	×	×											
		APROVADO	z	×	×	×											
		ENQUADRAMENTO	z				*						*	*			
	PROP		Ø	×	×	×											
		ALCANCE		2032	2033	2033	2035						2029	2029	2013	2013	2020
		CONCLUSÃO		2013	2014	2014	2015						2015	2015	1996	1997	2000
		SITUAÇÃO		Elaborado	Elaborado	Elaborado	Elaborado	A contratar	Em elaboração	Em elaboração	A contratar	A contratar	Elaborado	Elaborado	Elaborado	Elaborado	Elaborado
		PLANO		Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Médio e Baixo Jequitinhonha - JQ3	Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia dos Afluentes do Alto Paranaíba - PN1	Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia dos Afluentes do Baixo Paranaíba PN3	Plano Diretor de Recursos Hídricos do Entorno da Represa de Três Marias - SF4	Plano Diretor de Recursos Hídricos dos Afluentes do Alto São Francisco - SF1	0	0		0		Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Ivinhema	Plano Diretor da Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe	Plano Diretor das Bacias Hidrográficas do Piancó e Alto Piranhas	Plano Diretor da Bacia Hidrográfica do Médio Piranhas, Espinhares e Seridó
		- F		MG	MG	MG /	MG	MG	MG	MG	MG	MG	WS	MS	PB	PB T	PB

Tabela A.2 – PLANOS DE BACIA E ENQUADRAMENTO DE BACIAS INTERESTADUAIS

çao			OUTRO																
continuação	AÁTICA	MAIICA	ESTATÍSTICA																
	MODEI AGEM MATEMÁTICA	AGEMINIALEN																	
	MODEL	MODEL) HEC-RAS																
			QUAL2K OU QUAL2E																
		ESTIMATIVA DE CARGAS	POLUIDORAS																
BASES TÉCNICAS		CENÁRIOS								×	×	×							
			FONTES																
			ÍNDICES							×	×	×							
	DIAGNÓSTICO	JIAGNOS IICO	SÉRIE DE PARÂMETROS							×	×								
		-	DADOS SECUNDÁRIOS F																
		F	DADOS PRIMÁRIOS SE							×	×	×							
	SSIVAS		z							×	×								
	D PROGRESSIVAS		Ø																
	APROVADO		z o							×	×								
	PROPOSTA DE ENQUADRAMENTO		z																
	ENQUAD		Ø							×	×								
	FONACIA	ALCANCE		2020	2020	2030	2018	2018	2018	2025	2025	2018	2020	2020	2017				
	CONCILISÃO	CONCLUSAO		2000	2000	2001	1998	1998	1998	2010	2010	1998	1999	2001	1997				
	OĞOĞILLE	SILUAÇAO		Elaborado	Elaborado	Elaborado	Elaborado	Elaborado	Elaborado	Elaborado	Elaborado	Elaborado	Elaborado	Elaborado	Elaborado	Em elaboração	Elaboraçã o de Edital	Elaboraçã o de Edital	Elaboraçã o de Edital
	Q Q Q	FLANO		Plano Diretor de Recursos hídricos das Bacias dos Rios Jacu e Curimataú	Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Gramame	Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba		a Bacia rígida, 9	u	Plano Hidroambiental da Bacia do Rio Capibaribe		Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Ipanema	ecursos do Rio	Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba, Sumaúma e Remédios	Plano Diretor de Recursos Hídricos da bacia do rio Moxotó - AL/PE	Plano Hidroambiental da Bacia do Rio Una, GL4 e GL5		estão 3L2 (RMR	sestão lo Município 6 (Goiana)
	Щ	5		PB	PB	BB T	PE	BE BE	PE	PE	PE	PE	PE	PE	PE	PE	PE	PE	H .

Tabela A.2 – PLANOS DE BACIA E ENQUADRAMENTO DE BACIAS INTERESTADUAIS

		OUTRO			×		×									×	
	ATEMÁTICA	ESTATÍSTICA		×													
	MODELAGEM MATEMÁTICA	HEC-RAS															
		QUAL2K OU QUAL2E															
	ESTIMATIVA DE	CARGAS		×	×		×							×		×	
BASES TECNICAS	0	CENARIOS		×	×		×							×		×	
=		FONTES															
		INDICES															
	DIAGNÓSTICO	SÉRIE DE PARÂMETROS		×	×		×							×		×	
		DADOS SECUNDÁRIOS		×	×		×							×		×	
	S	DADOS PRIMÁRIOS														×	
METAS	PROGRESSIV,	s s		×	*		×							×		×	
APROVADO		z														×	
		S		×	×		×							×			
PROPOSTADE	NQUADRAME	z s		×	×		×							×		×	
ı	ALCANCE			2036	2030		2030					2020	2018	2025	2020	2032	
	CONCLUSÃO			2012	2014		2015					2005	2006	2006	2007	2013	
	SITUAÇÃO		Elaboraçã o de Edital	Elaborado	Elaborado	Em elaboração (fase final)	Elaborado	Em elaboração	Em elaboração	Em elaboração	Em elaboração	Elaborado	Elaborado	Elaborado	Elaborado	Elaborado	Em
	PLANO		Plano de Gestão Hidroambiental do Município de Goiana e GL6 (GL6)	Plano da UGHRI Alto Iguaçu/Afluentes do Alto Ribeira (RM de Curitiba)	Plano da Bacia Paraná 3 (conjunto de rios que convergem para o lago de Itaipu, rio Paraná)	ordão ireita io	Plano da bacia do rio Tibagi	Plano da UGHRI Norte Pioneiro (rio das Cinzas, Itararé e Paranapanema 1 e 2)	Plano da UGHRI Piraponema (bacias Piquiri e Paranapanema 3 e 4)	e a	ànea	Plano Diretor de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara.	Plano da Bacia Hidrográfica da Região dos Lagos e do Rio São João	Plano Estratégico de RH das Bacias Hidrográficas dos Rios Guandu, da Guarda e Guandu Mirim	Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Paraíba do Sul	Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica Macaé e das Ostras.	Plano de Recursos Hídricos
	UF		PE	H.	PR	P. A	PR F	PR	PR	A.	PR	2	Z &	- A	R	2	-

Tabela A.2 – PLANOS DE BACIA E ENQUADRAMENTO DE BACIAS INTERESTADUAIS

Tabela A.2 – PLANOS DE BACIA E ENQUADRAMENTO DE BACIAS INTERESTADUAIS

					PROPOSTADE	, DE	METAS	φS					BASES TÉCNICAS	S				
JU	PLANO	SITUAÇÃO	CONCLUSÃO	ALCANCE	NQUADRAM.	_		SSIVAS		DIAGNÓSTICO				ESTIMATIVA DE		MODELAGEM MATEMÁTICA	AATEMÁTICA	
					S	σ σ	S	N DADOS PRIMÁRIOS	DADOS	SÉRIE DE PARÂMETROS	INDICES	FONTES	CENÁRIOS	CARGAS POLUIDORAS	QUAL2K OU QUAL2E	HEC-RAS	ESTATÍSTICA	OUTRO
SC	Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí	Elaborado	2008	2012	×	×	×		×				×					
SC	Plano Estratégico de Gestão Integrada da Bacia Hidrográfica do Rio Chapecó	Elaborado	2010	2014		**						×	×	×				×
SC	Plano Estratégico de Gestão Integrada da Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga	Elaborado	2010	2014	^	*						×	×	×				×
SC	Plano Estratégico de Gestão Integrada da Bacia Hidrográfica do Rio Timbó	Elaborado	2010	2014		*						×	×	×				×
SC	Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá	Elaborado	2015	2019		×			×	×			×					
SC	Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú	Em contrataçã o																
SE	Plano das Bacias Hidrograficas dos Rios Japaratuba, Piauí e Sergipe	Em elaboração																
SE	Plano da Bacia Hidrografica das Bacias Costeiras Sapucaia e Caueiras-Abaís	Termo de Referência em elaboração																
SP*	PBH da UGRHI Serra da Mantiqueira - 1	Elaborado	2009	2029														
SP.	PBH da UGRHI Litoral - 3	Elaborado	2009	2016	>	>			>		>		>	>				
SP.	PBH da UGRHI Alt o Tietê - 6	Elaborado	2008	2019	×	<	<		<		<		<	<				
SP*	PBH da UGRHI Baixada Santista - 7	Elaborado	2008	2020														
SP*	PBH da UGRHI Sapucaí/Grande - 8	Elaborado	2009	2019	^	*×			×		×		×	×				
*AS	PBH da UGRHI Mogi-Guaçu - 9	Elaborado	2008	2019														
SP*	PBH da UGRHI Sorocaba/Médio Tietê - 10	Elaborado	2008	2019														
SP*	PBH da UGRHI Ribeira/Litoral Sul - 11	Elaborado	2008	2016	^	**			×				×	×				
SP*	PBH da UGRHI Baixo Pardo/Grande - 12	Elaborado	2008	2019		×						×	×	×				
SP*	PBH da UGRHI Tietê/Jacaré - 13	Elaborado	2008	2019														
SP*	PBH da UGRHI Alto Paranapanema - 14	Elaborado	2011	2016	×	**X						×	×	×				
SP*	PBH da UGRHI Turvo/Grande - 15	Elaborado	2009	2019	^	*			×		×		×	×				

Tabela A.2 – PLANOS DE BACIA E ENQUADRAMENTO DE BACIAS INTERESTADUAIS

são			OUTRO													
conclusão		тем атіса	ESTATÍSTICA													
		MODELAGEM MATEMÁTICA	HEC-RAS													
			QUAL2K OU QUAL2E													
		ESTIMATIVA DE	POLUIDORAS													
	BASES TÉCNICAS	0000	CENARIOS	×	×			×						×		×
			FONTES													
			ÍNDICES	×	×	×		×								
		DIAGNÓSTICO	SÉRIE DE PARÂMETROS											×	×	×
			DADOS SECUNDÁRIOS	×	×	×		×								
			DADOS											×	×	
	METAS	PROGRESSIVAS	z o												×	×
	CdeyCodde	O-PROCEED	z o												×	×
	PROPOSTADE	4QUADRAMENT	z o	*	×	×		*				×	×	*	×	×
-		ALCANCE		2020	2020	2027	2020	2020	2016	2022	2025	2035	2028	2028	2030	2030
		CONCLUSÃO		2008	2008	2015	2008	2008	2008	2002	2004	2007	2008	2008	2011	2011
•		SITUAÇÃO		Elaborado	Elaborado	Elaborado	Elaborado	Elaborado	Elaborado	Elaborado	Elaborado	Elaborado	Elaborado	Elaborado	Elaborado	Elaborado
		PLANO		PBH da UGRHI Tietê/Batalha - 16	PBH da UGRHI Médio Paranapanema - 17	PBH da UGRHI São José dos Dourados - 18	PBH da UGRHI Baixo Tietê - 19	PBH da Unidade GRHI Aguapeí-Peixe - 20-21	PBH da UGRHI Pontal Paranapanema - 22	Plano de RH da Bacia Hidrográfica dos Rios Lontra e Corda	Plano de RH da Bacia Hidrográfica do entorno do Lago de Palmas		Plano de RH da Bacia Hidrográfica do Rio MANUEL ALVES	Plano de RH da Bacia Hidrográfica do Rio PALMAS	Plano de RH da Bacia Hidrográfica do Rio BALSAS	Plano de RH da Bacia Hidrográfica do Rio SÃO VALÉRIO
		H)		SP*	*dS	SP*	SP*	*dS	*dS	ОТ	1 01	10	ТО Н	TO H	TO H	10

FONTE: ANA, 2016b; Planos de Bacias.

APÊNDICE B - SCRIPTS UTILIZADOS NO R CORE TEAM (2017)

A seguir são apresentados os códigos bases utilizados no R Core Team (2017) cujos resultados foram apresentados no Capítulo 5. O símbolo "#" indica comentário, conforme padronização do próprio programa.

Código para gerar matriz de correlação

require (xlsx) ## Carrega o pacote xlsx que permite a conexão com arquivos do Excel require(corrplot) ## Carrega o pacote corrplot que elabora os gráficos

col <- colorRampPalette(c("#BB4444", "#EE9988", "#FFFFFF", "#77AADD", "#4477AA")) ## Determina a escala de cores a ser utilizada na matriz

dados65025000< -read.xlsx

dados_num65025000 <- data.frame(apply(dados65025000, 2, function(x) as.numeric(x))) ##
Transforma os dados em fatores

M65025000=cor(dados_num65025000, use="pairwise.complete.obs") ## Calcula a matriz de correlação

png ("65025000_carga.png", res=50) ##Chama a função PNG para salvar o arquivo que será gerado como imagem

corrplot(M65025000, method="color", order="hclust",col=col(200),type="upper",addCoef.col = "black",tl.col="black") ## Gera a matriz de correlação em forma de figura e com escala de cores

dev.off() ## Fecha a função PNG

Código para elaboração do scatterplot e aplicação da ACP

library (xlsx) ### Carrega o pacote xlsx que permite a conexão com arquivos do Excel library ("car") ### Carrega o pacote car que possui as funções para elaboração do scatterplot

dados <-

read.xlsx("C:\\Users\\Camila\\Documents\\Mestrado\\Dissertação\\R\\Qualificação\\Concentração\\Dados\\Qualificação_Global_UFPR_Conc.xlsx", sheetIndex = 1, header = TRUE) ## Abre o arquivo de dados

head (dados) ## Visão dos dados

dados_num <- data.frame(apply(dados, 2, function(x) as.numeric(x))) ## Transforma os dados em fatores

str (dados num) ## Visão "interna" dos dados

png ("Scatterplot_Global_UFPR_Quali_Conc.png", res=100)) ##Chama a função PNG para salvar o arquivo que será gerado como imagem

scatterplotMatrix(dados_num) ## Gera o gráficomatriz dos dados

dev.off() ## Fecha a função PNG

cor(dados_num, use="pairwise.complete.obs")# calculo das correlações ## Calcula a matriz de Correlação

write.xlsx(cor(dados_num, use="pairwise.complete.obs"), file="Cor_Global_UFPR_Quali_Conc.xlsx") ## salva a matriz como arquivo do Excel

eigen(cor(dados_num, use="pairwise.complete.obs")) # calculo dos autovalores e autovetores ## Calcula os autovalores e autovetores da matriz de correlação

acp<-princomp(x = cor(dados_num, use = "pairwise.complete.obs")) ### Cálculo da Análise de Componentes principais

summary (acp) ## Resumo dos resultados da ACP

loadings(acp) ## Apresenta os pesos dos parâmetros nas componentes principais

acp\$scores ## Apresenta os scores dos parâmetros nas componentes principais

png("ACP_Global_UFPR_Quali_Conc.png", res=100)

biplot\$acp

dev.off()

Código da transformação Box-Cox

library (xlsx) ### Carrega o pacote library ("car") ### Carrega o pacote

dados <- read.xlsx("F:\\Dissertação\\R\\Transformações - Parâmetros CONAMA\\Concentração\\Dados\\Dados_Global_UFPR_CONAMA_Conc.xlsx", sheetIndex = 3, header = TRUE) ## Abre o arquivo de dados

head(dados) ## Visão dos dados

dados_num <- data.frame(apply(dados, 2, function(x) as.numeric(x))) ## Transforma os dados em fatores ## Transforma os dados em fatores

str(dados_num) ## Visão "interna" dos dados

pt <- powerTransform(cbind(dados_num\$SD, dados_num\$DBO, dados_num\$PT, dados_num\$Nitratos, dados_num\$Nitratos, dados_num\$N_Amo, dados_num\$OD, dados_num\$pH, dados_num\$Turbidez)~1) ## Aplica a função powerTransform, baseada em Box Cox para encontrar a melhor transformação para o conjunto dos dados

summary(pt) ## Resumo das informações encontradas pt\$roundlam ## Melhores transformações

Resultados Y1 Y2 Y3 Y4 Y5 Y6 Y7 Y8 Y9 ##### 0.1879487 0.0000000 0.1100833 0.0000000 0.0000000 0.1197928 0.5000000 1.0000000 0.0000000

Transformações

SD_ts <- ((dados_num\$SD ^ pt\$lambda[1])-1)/pt\$lambda[1] ## Muda de acordo com o resultado do λ DBO_ts <- log(dados_num\$DBO) ## Muda de acordo com o resultado do λ

PT_ts <- ((dados_num\$PT ^ pt\$lambda[3])-1)/pt\$lambda[3] ## Muda de acordo com o resultado do λ

Nitratos ts <- log(dados num\$Nitratos) ## Muda de acordo com o resultado do λ

Nitritos ts <- log(dados num\$Nitritos) ## Muda de acordo com o resultado do λ

N_Amo_ts <- ((dados_num\$N_Amo ^ pt\$lambda[6])-1)/pt\$lambda[6] ## Muda de acordo com o resultado do λ

OD_ts <- ((dados_num\$OD ^ pt\$lambda[7])-1)/pt\$lambda[7] ## Muda de acordo com o resultado do λ

pH ts <- ((dados num\$pH ^ pt\$lambda[8])-1)/pt\$lambda[8] ## Muda de acordo com o resultado do λ

Turbidez_ts <- ((dados_num\$Turbidez ^ pt\$lambda[9])-1)/pt\$lambda[9] ## Muda de acordo com o resultado do λ

trs <- data.frame (SD_ts, DBO_ts, PT_ts, Nitratos_ts, Nitritos_ts, N_Amo_ts, OD_ts, pH_ts, Turbidez_ts)

write.xlsx (trs, file = "Conc CONAMA Global UFPR Transf.xlsx") ## Salva a ova matriz em excel