



Universidade Federal de Pernambuco

Centro de Tecnologia e Geociências

Departamento de Oceanografia

Bacharelado em Oceanografia

**Modelagem da demanda bioquímica de
oxigênio (DBO) no alto estuário do Rio
Goiana**

Luís Henrique Bezerra Alves

Trabalho de Conclusão de Curso

Recife-PE

Setembro de 2015

Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Tecnologia e Geociências
Departamento de Oceanografia

Luís Henrique Bezerra Alves

**Modelagem da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) no
alto estuário do Rio Goiana**

Trabalho apresentado ao Curso de Bacharelado em Oceanografia do Departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia.

Orientadora: Profa. Dra. Monica Ferreira da Costa

Co-orientador: Prof. Dr. Mário Barletta

Recife-PE

Setembro de 2015

Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4 / 1469

A474m Alves, Luís Henrique Bezerra.
Modelagem da demanda bioquímica de oxigênio (DBO)
no alto estuário de Rio Goiana / Luís Henrique Bezerra Alves.
- Recife: O Autor, 2015.
34 folhas, il.

Orientadora: Profa. Dra. Monica Ferreira da Costa.
Coorientador: Prof. Dr. Mário Barletta
TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco.
CTG. Departamento de Oceanografia, 2015.
Inclui Referências.

1. Oceanografia. 2. Qualidade da água. 3. Bacia hidrográfica. 4.
Variáveis físico-químicas. 5. Estuário. I. Costa, Monica Ferreira da
(Orientadora). II. Barletta, Mário (Coorientador). III. Título.

551.46 CDD (22. ed.) UFPE/BCTG/2015-254

LUIS HENRIQUE BEZERRA ALVES

Modelagem da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) no alto estuário do Rio Goiana

Trabalho de conclusão de curso, apresentado a Universidade Federal de Pernambuco, como parte das exigências para a obtenção do título de Graduação em Oceanografia.

Recife, 10 de Setembro de 2015.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Monica F. Costa
(Orientador/Presidente/Titular Interno - UFPE)

Prof. Dr. Moacyr Cunha de Araújo Filho
(Titular Interno-UFPE)

Prof. Dr. Francisco José de Azevêdo Cysneiros
(Titular Externo-UFPE)

*A Professora Monica F. Costa, companheira de caminhada
ao longo do Curso de Oceanografia. Eu posso dizer que a
minha formação, inclusive pessoal, não teria sido a mesma
sem a sua pessoa.*

Agradecimentos

Agradeço acima de tudo a minha orientadora, Profa. Monica Costa, e meu co-orientador, Prof. Mário Barletta, que sempre me incentivaram a ir um pouco mais além do ordinário, me mostraram os possíveis caminhos para um futuro oceanógrafo, me trataram sempre de forma igualitária, juntamente com os alunos da pós-graduação (mestrado e doutorado), assim fazendo crescer minha capacidade científica e sempre me apoiaram nas minhas escolhas.

Ao Laboratório de Ecologia e Gerenciamento de Ecossistemas Costeiros e Estuarinos (LEGECE), que sempre foram solícitos uns aos outros e dispostos a ajudar quando preciso.

À Oceanógrafa Dra. Juliana Assunção Ivar do Sul, uma amiga e um exemplo que adquiri nesses anos de oceanografia e que levarei para a vida profissional. À Dra. Jacqueline Silva Cavalcanti, que no início de minha caminhada me fez por a "mão-na-massa" com suas *Anomalocardia brasiliiana* no início do meu estágio e desde então, mesmo formada, tem sempre estado presente.

Ao estatístico Edijan Cavalcanti de Assis Júnior, que esteve presente no início da produção desse modelo e muito me ajudou.

A Universidade Federal de Pernambuco, pela oportunidade de fazer o curso. E as suas pró-reitorias que ao longo desses anos me proporcionaram experiências internacionais e financiaram meus trabalhos com bolsas e auxílios.

Agradeço todos os professores por me proporcionar o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter afetividade da educação no processo de formação profissional, por tanto que se dedicaram mim, não somente por terem me ensinado, mas por terem me feito aprender. palavra mestre, nunca fará justiça aos professores dedicados aos quais sem nominar

terão os meus eternos agradecimentos.

E aos inúmeros colegas que fiz ao longo dessa longa caminhada. Desde a minha turma até as turmas que foram incorporando o corpo discente, tornando a caminhada menos dolorosa e, sempre, divertida. Muito obrigado a cada um de vocês!

Agradeço, acima de tudo, a minha mãe Maria José, que me apoio no início dessa vida universitária que desde o início necessitou sacrifícios, mas que no fim os louros serão obtidos. Mãe, hoje sou o que sou por conta da senhora.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, meu muito obrigado.

"No water, no life. No blue, no green."

—SYLVIA EARLE (TED - My wish: Protect our oceans, 2009)

Resumo

Este trabalho propõe um modelo explicativo das variações temporais da demanda bioquímica de oxigênio (DBO mg L^{-1}) na porção superior do estuário do Rio Goiana (Pernambuco-Brasil). Foi utilizado como ferramenta computacional o ambiente R. O modelo proposto é uma regressão polinomial de 3o grau, e teve seu ajuste testado com um conjunto de dados obtido do programa de monitoramento das bacias hidrográficas realizado pela Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH) no período de 1992 à 2011. Foram utilizados os 3 pontos do programa de monitoramento mais próximos ao estuário, onde já existe influência das marés e quando todo o escoamento da bacia se junta em um único canal principal. Efetivamente, as covariadas mais importantes do modelo foram a temperatura, o oxigênio dissolvido, a salinidade, a precipitação total mensal (chuva), os coliformes termotolerantes e o fósforo total, nessa ordem. As implicações da utilização do modelo em tomada de decisão gerencial da bacia são de grande potencial em face ao crescimento socio-econômico recente da região e o conseqüente aumento da demanda por recursos hídricos superficiais de qualidade. Ainda, o modelo aponta as variáveis que mais influenciam a DBO como sendo justamente aquelas mais sensíveis as mudanças globais. Sendo assim tem também implicações na conservação de ambientes aquáticos, sobretudo estuários tropicais como é o caso do local de estudo.

Palavras-chave: Qualidade da água. Bacia hidrográfica. Variáveis físico-químicas. Estuário. Conservação aquática. Recursos hídricos

Abstract

The present work suggests an explanatory model to elucidates which environmental variables most influence the Biological Oxygen Demand (BOD mg L^{-1}) at the headwaters of Goiana Estuary (Pernambuco-Brazil). The region is, at present, a focus of development of numerous industrial estates and consequently socio-economic changes. The R environment was elected as the computational tool. The resulting model is a polynomial regression of 3rd degree, and its adjustment was tested with a data set cut-off from the Pernambuco State Environmental Agency (CPRH) water quality monitoring program. Data span from 1992 to 2011. The sampling sites chosen were the three closest to the upper estuary, where tide effects are already present and the river flow converges to a single main channel that flows out to sea. The most important covariates were water temperature, dissolved Oxygen, salinity, total monthly rainfall, thermotolerant coliforms and total Phosphorous, respectively. Implications of the use of this model can be its use in managerial actions aimed at water conservation, understanding of ecosystem resilience to global changes and advances in tropical estuarine ecology.

Keywords: Water quality. Hydrographic basin. Physical-chemistry variables. Estuary. Aquatic conservation. Water resources

Sumário

1 Introdução	1
1.1 Monitoramento de Bacias Hidrográficas em Pernambuco	1
1.2 Modelagem	6
1.3 Justificativas e Objetivo	7
2 Materiais e Métodos	9
2.1 Bacia Hidrográfica do Rio Goiana (BHRG) e seu estuário	9
2.2 Organização dos dados	13
2.3 Análises estatísticas	14
3 Resultados - Modelo	18
4 Discussão e Conclusões	23
5 Referências Bibliográficas	26
A Script do Envelope Gamma do <i>Normal Q-Q Plot</i>	32

Lista de Figuras

1.1	Mapa da Bacia do Rio Goiana identificando os pontos monitorados atualmente pela CPRH para determinação da qualidade da água. Fonte: CPRH (AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE, 2014)	4
1.2	Modelo Unifilar, criado e usado pela CPRH para posicionar as estações de coleta em relação às prováveis fontes poluidoras à época do início dos trabalhos, na década de 90. Fonte: CPRH (AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE, 2014)	5
2.1	Localização de Goiana (PE), no nordeste do Brasil, e sua situação em relação à confluência dos rios Tracunhaém e Capibaribe-Mirim, onde se forma o Rio Goiana propriamente dito	11
2.2	Média da precipitação total mensal para o período de 1992 à 2011. Fonte: CPRH (AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE, 2014)	14
2.3	Matriz de dispersão das variáveis do banco de dados.	16
2.4	Histograma de distribuição da variável resposta DBO (mg L^{-1})	17
3.1	Gráfico normal dos resíduos componente do desvio padronizado com envelope do modelo ajustado	20
3.2	Comparação entre todos os valores observados e os calculados pelo modelo. (a) Todos os valores e (b) com uma aproximação nos valores entre 0 e 15 mg L^{-1}	22

Lista de Tabelas

1.1	Principais parâmetros analisados pela CPRH (AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE, 2014) nas águas das bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco e suas respectivas unidades de medida.	2
2.1	Variáveis disponíveis para explicar a DBO (mg L^{-1}) e seus respectivos códigos utilizados para o modelo.	15
2.2	Resumo das variáveis utilizadas no modelo. Valores mínimos, máximos e médios.	17
3.1	Estimativas de máxima verossimilhança e erro padrão assintótico e seus respectivos valor P. * (0,05); ** (0,01); *** (0,001)	19

Introdução

1.1 Monitoramento de Bacias Hidrográficas em Pernambuco

No estado de Pernambuco existe, desde 1984, um sistema de coleta e análises de águas das bacias hidrográficas para fins de monitoramento ambiental. Esse monitoramento é de responsabilidade da Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH). Inicialmente, as bacias monitoradas eram apenas aquelas que faziam parte ou recebiam influência direta da Região Metropolitana do Recife (RMR). Mas, desde 1990, todas as bacias hidrográficas do estado passaram a ser monitoradas em pontos de coletas estratégicos (ALVES; COSTA, 2011; ALVES; COSTA; BARLETTA, 2012; AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE, 2014).

Existem atualmente 124 estações de monitoramento da qualidade da água cobrindo todas as 14 bacias hidrográficas do estado. O objetivo da CPRH, seguindo orientações da Agência Nacional de Águas (ANA), é que em até 2020 sejam realizadas coletas e análises em 204 pontos, incluindo-se as bacias hidrográficas e reservatórios de água para abastecimento. O objetivo da ANA é o de, tanto quanto possível, padronizar o monitoramento da qualidade da água para todas as unidades federativas seguindo alguns requisitos (CETESB, 2015) a fim de que coletas, metodologias e análises sejam idênticas, e assim comparáveis.

Atualmente em Pernambuco, as coletas são realizadas a cada dois meses e os parâmetros analisados são os exigidos em regulamentação nacional (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2005, 2008) (Tabela 1.1). Juntamente aos dados coletados pela CPRH, nos relatórios de qualidade de águas das bacias é adicionado o total mensal de precipitação obtido junto à Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) (AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO

AMBIENTE, 2014). Esses parâmetros físico-químicos são de grande importância pois através deles é possível enquadrar a qualidade dos corpos hídricos e descrever as condições do ambiente aquático. A localização de cada ponto de coleta também é importante para poder determinar se algum corpo d'água, ou segmento, tem uma maior tendência a impactos negativos em curto, médio ou longo prazos. Assim, pode-se localizar as fontes poluidoras e aplicar-se as providências cabíveis (AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE, 2014).

Tabela 1.1 Principais parâmetros analisados pela CPRH (AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE, 2014) nas águas das bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco e suas respectivas unidades de medida.

Parâmetro	Unidade
Temperatura	°C
pH	–
Oxigênio Dissolvido	mg L ⁻¹
Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg L ⁻¹
Turbidez	UNT
Cor	Pt Co ⁻¹
Amônia	mg L ⁻¹
Fósforo Total	mg L ⁻¹
Coliformes Termotolerantes	NMP 100mL ⁻¹
Condutividade Elétrica	µS cm ⁻¹
Salinidade	–
Saturação de Oxigênio Dissolvido	%

Na bacia hidrográfica do Rio Goiana são monitorados 7 cursos d'água e 3 reservatórios para o abastecimento, um total de 10 pontos de coleta (Figura 1.1). Os pontos coletados são vinculados a prováveis fontes poluidoras, tais como: matadouros, lixões, fábricas, usinas de cana, etc. (Figura 1.2). Atualmente, a identificação das prováveis fontes poluidoras é uma ação do âmbito da CPRH no ato do licenciamento dos empreendimentos. Mas nem sempre foi assim. Antes da obrigatoriedade do licenciamento ambiental, muitos empreendimentos funcionaram

sem qualquer acompanhamento ou critério de qualidade ambiental e/ou de segurança. Esse levantamento, também realizado pela CPRH, reveste os resultados do monitoramento de cada ponto amostrado em uma realidade e importância ímpares.

Os métodos analíticos utilizados pela CPRH na obtenção dos dados estão descritos em seus relatórios publicados *on line* (AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE, 2014), e seguem basicamente o *Standard Methods for the Examination of Water Wastewater* (EATON; FRANSON, 2005).

1.2 Modelagem

A modelagem é uma ferramenta matemática que consegue equacionar o comportamento de um grupo aleatório de dados (CAMPOS; WODEWOTZKI, 2007). Existem diversos modelos na área ambiental que auxiliam no entendimento das alterações das condições naturais, e assim possibilitam entender suas causas e efeitos (MATHEW et al., 2011; NORIEGA; ARAÚJO, 2011; LESTER; FAIRWEATHER, 2009; TROLLE et al., 2011). Para se criar um modelo conciso é preciso um banco de dados consistente, com uma riqueza de dados temporais e, se o caso for, espaciais.

Dados de monitoramento de qualidade de água são de grande importância, pois através deles é possível adquirir-se um grande número de informações de forma contínua e, por muitas vezes, com espalhamento espacial em diferentes escalas. Esses dados, geralmente, são dados públicos e acessíveis, obtidos por órgãos governamentais (AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE, 2014). Por serem de ordem pública, as coletas tendem a ser regulares e a metodologia bem definida. Isso é imprescindível para que os dados sejam confiáveis e comparáveis. No entanto, muitas vezes esses dados são subutilizados. Se usados unicamente para a publicação de relatórios (AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE, 2014), não são completamente explorados, mesmo podendo ter maior aplicação em ciência (MATHEW et al., 2011; NORIEGA; ARAÚJO, 2011) e finalmente na gestão dos recursos hídricos para o benefício da população e do meio ambiente.

Devido a natureza e tamanho das matrizes de dados geradas pelos programas de monitoramento de qualidade da bacia (diversas variáveis, distribuição espacial e temporal), são interessantes para a modelagem ambiental (DO et al., 2012; ECOUTIN et al., 2010). Além disso, no caso das bacias hidrográficas especialmente, são uma informação interessante para estudar as interações do continente com o oceano (NEWTON; ICELY, 2008; RESTREPO, 2008).

Dessa forma, modelar dados de programas públicos de monitoramento da qualidade da água

dá um novo, e necessário, uso para essas informações (CETESB, 2015).

1.3 Justificativas e Objetivo

Com a atual atenção que a região de Goiana vem recebendo do Governo do Estado, é importante que existam estudos voltados à questão ambiental na água. Criar um cenário de *background* para que os gestores possam comparar com a conjuntura futura e poder gerir os espaços naturais, inclusive os recursos hídricos, é essencial no que se refere à conservação da natureza. Ainda mais que na região estuarina existe uma Reserva Extrativista (RESEX) que, ao ser criada, presume uma série de regulamentações previstas por lei (SNUC, 2000).

Por esses fatores é importante entender a dinâmica espacial e temporal dos parâmetros físico-químicos da água no Rio Goiana. Uma das variáveis que requer uma atenção especial é a DBO, uma variável físico-química utilizada na avaliação de qualidade da água de bacias hidrográficas e seus corpos d'água, inclusive estuários. Por pertencer à família das variáveis ligadas ao oxigênio dissolvido, é ainda de maior relevância em estuários tropicais onde a temperatura da água é sempre elevada. Valores de DBO muito altos indicam corpos hídricos com sérios problemas de eutrofização e hipóxia, podendo chegar a uma provável anóxia (RABALAIS et al., 2010; SOMERFIELD et al., 2003). Mesmo sendo de conhecimento geral que naturalmente pode-se desenvolver ambientes eutrofizados, hipóxicos ou anóxicos, o fator humano é quase sempre o responsável por essa situação (GIOSAN et al., 2012; DIAZ; ROSENBERG, 2008; DIAZ, 2001). A escassez ou ausência de oxigênio dissolvido na água podem gerar "zonas mortas" em um ecossistema (DIAZ; ROSENBERG, 2008), onde as condições de vida aquática se tornam inviáveis para a maioria das comunidades (FULWEILER; RABALAIS; HEISKANEN, 2012), sobretudo aquelas compostas por recursos vivos de interesse social e econômico.

O banco de dados organizado apresentou três variáveis com potenciais para serem modeladas, sendo estas a DBO, o Fósforo Total e os Coliformes Termotolerantes, respectivamente

(ASSIS JR, 2012). Como a DBO era a variável que apresentou maior probabilidade de ser explicada pelas co-variadas disponíveis, a mesma foi priorizada nesse trabalho.

O objetivo deste trabalho é de modelar a DBO em relação as outras variáveis físico-químicas (1.1), e assim determinar como cada uma delas e suas interações atuam no ambiente para conferir-lhe qualidade, resiliência e possibilidade de conservação. Além disso, pretende-se demonstrar que dados públicos de monitoramento são excelentes para o desenvolvimento científico de modelos robustos e coesos (MATHEW et al., 2011).

Materiais e Métodos

2.1 Bacia Hidrográfica do Rio Goiana (BHRG) e seu estuário

A bacia hidrográfica do Rio Goiana compreende 25 municípios do Agreste e Zona da Mata pernambucanos, sendo sete sedes cortadas pelos rios que a compõe (BARBOSA et al., 2011, 2007). Essa bacia possui uma área de drenagem de 2.817 km² (FIDEM, 1987). Ela é formada por diversos pequenos rios e posteriormente pelos rios Tracunhaém e Capibaribe Mirim (Figura 2.1). Esses rios são, quantitativamente e qualitativamente, influenciados diretamente pela chuva. O que torna esse um dos fatores mais importantes para o controle da qualidade da água superficial para essa região (BARLETTA et al., 2012).

Através das variações do índice de precipitação entre as estações do ano, há variação da vazão nos rios (CAI; COWAN; THATCHER, 2012; XU; WU, 2006; BARLETTA; COSTA, 2009) da capacidade de diluição de poluentes (BECK; BIRCH, 2012), do carreamento dos lançamentos de esgotos domésticos das cidades ribeirinhas (BARLETTA; COSTA, 2009; COSTA et al., 2009) e dos nutrientes que naturalmente deveriam fluir para o mar (DAVIS III et al., 2001). Desde as regiões mais interiores, a chuva é necessária para que a água da bacia escoe até às cidades mais próximas ao litoral. A última cidade a receber as águas dessa bacia é a própria cidade de Goiana, a 17 km do mar.

Na cidade de Goiana forma-se o Rio Goiana, um canal único que reúne toda a drenagem da bacia e que por fim deságua no mar. Os rios que compõem a BHRG são de extrema importância para todos os municípios que cortam. Servindo como fonte de água e de sustendo para diversas atividades (AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE, 2014) inclusive em comunida-

des tradicionais (SILVA-CAVALCANTI; COSTA, 2009). Além de se situar a jusante da bacia hidrográfica e na cabeça do estuário, a cidade de Goiana é o principal centro produtivo da região (AGÊNCIA EESTADUAL DE PLANEJAMENTO E PESQUISAS DE PERNAMBUCO, 2012) da Zona da Mata Norte-PE.

Goiana sempre foi um dos 5 maiores PIBs de Pernambuco (Recife, Ipojuca, Goiana, Caruaru e Petrolina) então o desenvolvimento econômico nunca foi movido para lá. A novidade no momento é que a região saiu dos ciclos da agroindústria e da indústria de base (papel/celulose, plantio e moagem de cana de açúcar, cimento, etc.) para indústrias mais modernas e do setor secundário e terciário.

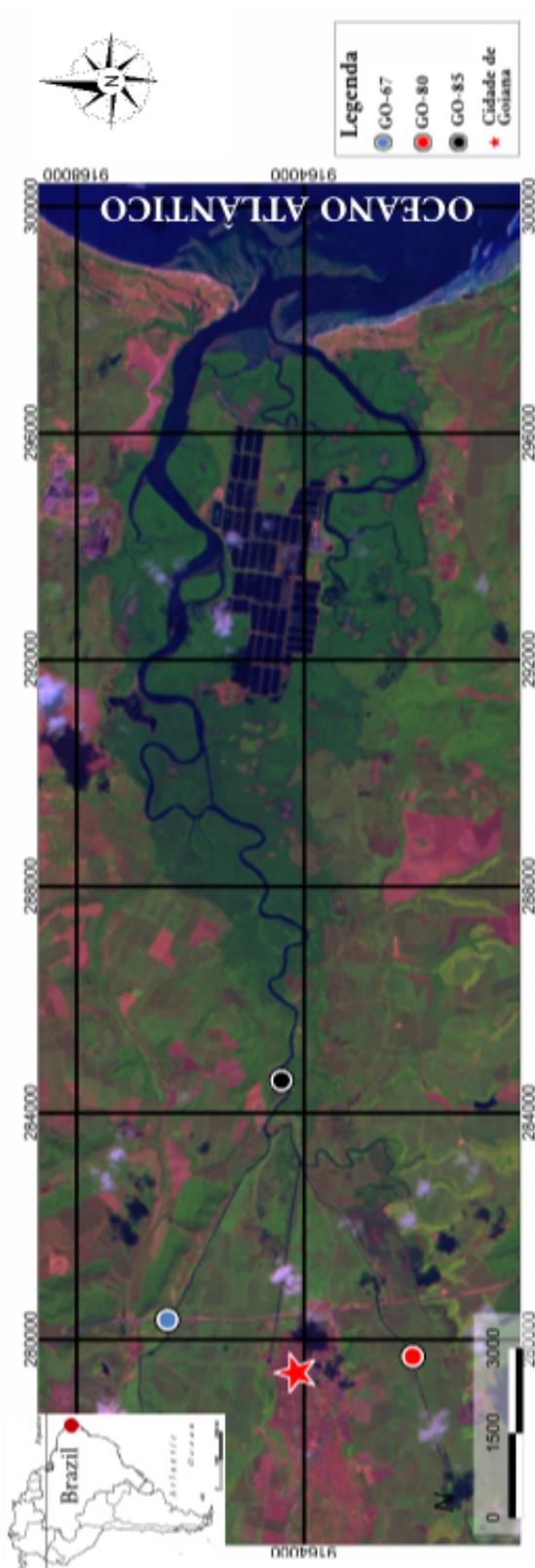


Figura 2.1 Localização de Goiana (PE), no nordeste do Brasil, e sua situação em relação à confluência dos rios Tracunhaém e Capibaribe-Mirim, onde se forma o Rio Goiana propriamente dito

A cidade de Goiana (Figura 2.1), que fica próxima a divisa entre Pernambuco e Paraíba, é considerada como um Centro de Zona A, por ter influencia econômica direta sobre outras cidades vizinhas (AGÊNCIA EESTADUAL DE PLANEJAMENTO E PESQUISAS DE PERNAMBUCO, 2012) no estado de Pernambuco e até na Paraíba. O seu centro político encontra-se a cerca de 19 km da costa pernambucana e tem área territorial de 446 km² (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2010). O município de Goiana tem 75 mil habitantes residentes (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2010), a maioria deles vivendo junto à sede municipal, mas vem recebendo um grande incentivo econômico do Governo do estado o que deve aumentar consideravelmente sua população (88,86 mil em 2020). A implementação de uma montadora de automóveis, um polo vidreiro e um polo farmacológico e de hemoderivados tende a aumentar o seu destaque político-econômico. Além do atual ciclo de desenvolvimento econômico, Goiana possui um importante talento na área da pesca e conservação costeira. Sua zona estuarina abriga cinco núcleos de comunidades ribeirinhas que dependem de recursos pesqueiros estuarinos e marinhos para sobreviver (GERHARDINGER; GODOY; JONES, 2009; SILVA-CAVALCANTI; COSTA, 2009).

A importância dos estuários para a sociedade se manifesta através de um grande número de serviços ecológicos (GUEBERT-BARTOLO et al., 2011; DANTAS et al., 2010). Dentre eles, podemos citar como sendo de fundamental importância a fertilização das águas costeiras (NORIEGA; ARAÚJO, 2009) e a produtividade dela resultante (ALVES; COSTA, 2013). A maior parte territorial da área estuarina do Rio Goiana é uma Reserva Extrativista (RESEX Acaú-Goiana). Essa área é uma área bem delimitada, e que está protegida por lei (DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO, 2007). Além da importância natural de um ambiente estuarino e seus serviços ecológicos para a população em geral (COAT et al., 2011; CRAIN et al., 2009; MARQUES et al., 2004), comunidades tradicionais retiram dessa área recursos vivos animais e vegetais para seu sustento (SILVA-CAVALCANTI; COSTA, 2009). Porém, mesmo essa área sendo protegida, todo o impacto sofrido pela bacia, na nascente dos rios ou no decorrer deles, acaba

chegando a esse ambiente (MEYBECK, 2003) ao ser transmitido na forma de perda da qualidade da água. Infelizmente, as mesmas propriedades biogeoquímicas que fazem dos estuários a principal fonte de matéria e energia para os ecossistemas costeiros e marinhos (ADAME et al., 2010), também contribuem para que eles sejam fontes de poluentes para o mar (DONEY, 2010; BARTLEY et al., 2012).

2.2 Organização dos dados

Os dados coletados pela CPRH, nos 10 pontos de coleta de 1990 à 2011, sendo uma coleta por bimestre (tendo ao menos uma coleta acompanhada pessoalmente pelo autor), foram agrupados em uma única planilha eletrônica. Após a organização básica dos dados foi percebido que os anos de 1990 à 1992 possuíam muitas informações faltando, assim esses anos foram descartados. Logo, a matriz de dados iniciou-se com 345 amostragens e com 16 colunas, totalizando 5.520 entradas de dados. Algumas das linhas de dados não encontravam-se completas. Para corrigir isso, os dados foram agrupados por estação do ano através de médias (*pooling*).

Conforme estudos prévios (COSTA et al., 2009; BARLETTA; COSTA; DANTAS, ; BARLETTA; COSTA, 2009), e uma média mensal dos anos obtidos (Figura 2.2), fica claro que nessa região o ano pode ser dividido em pelo menos duas estações: estação seca (Setembro a Fevereiro) e chuvosa (Março a Agosto).

Logo, seguindo o índice de pluviometria, os dados foram agrupados nessas duas estações. Como o objetivo é a modelagem da DBO da água que chega ao Rio Goiana, ou seja, a montante, foram selecionado os pontos de coleta mais a jusante dos Rios Capibaribe-Mirim e Tracunhaém, GO-67 e GO-80, respectivamente e o único ponto no Rio Goiana, GO-85 (Figura 2.1). Esses grupo de pontos também era o que apresentava maior número de dados ao longo do tempo e, por terem muito próximos um aos outros, puderam ser considerados como réplicas amostrais do alto estuário.

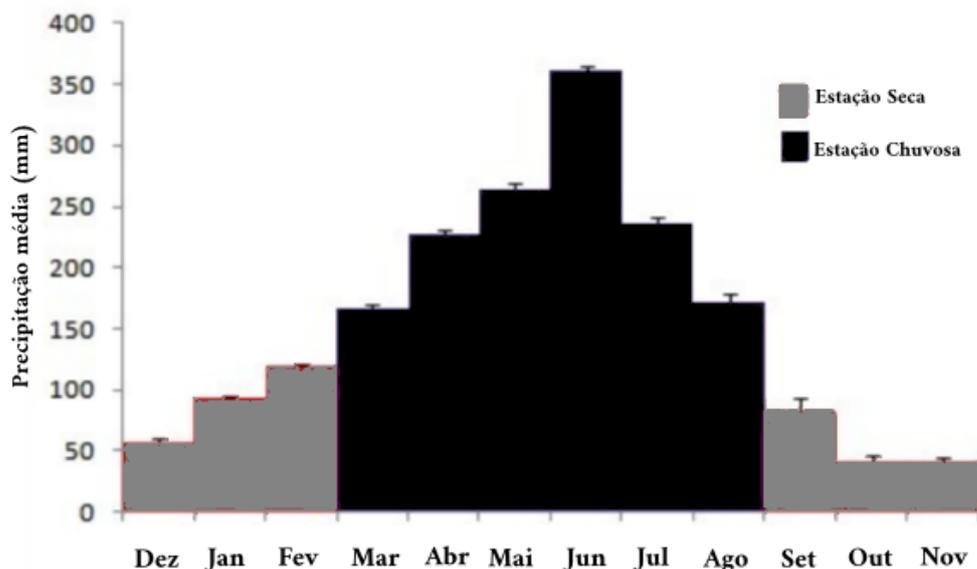


Figura 2.2 Média da precipitação total mensal para o período de 1992 à 2011. Fonte: CPRH (AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE, 2014)

Os valores das variáveis explicativas que foram utilizadas para elaboração do modelo (Tabela 2.1) foram extraídas dos relatórios das análises do monitoramento da CPRH (AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE, 2014) e os dados de precipitação total mensal da APAC.

2.3 Análises estatísticas

Após a organização e filtragem, os mesmos foram processados no software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2011) como uma matriz de dados temporais.

Para verificar a existência de variáveis multicolineares tal como Saturação de Oxigênio com Oxigênio Dissolvido e Condutividade Elétrica com Salinidade, foram retiradas. As variáveis não-colineares (Tabela 2.1), como apresentadas na matriz de dispersão (Figura 2.3) procedemos no banco de dados de entrada para a geração do modelo.

Foram feitas análises exploratórias para descrever os dados utilizados no modelo, pois é

Tabela 2.1 Variáveis disponíveis para explicar a DBO (mg L^{-1}) e seus respectivos códigos utilizados para o modelo.

Parâmetro	Sigla usada no modelo
Temperatura	Temp
pH	pH
Oxigênio Dissolvido	OD
Turbidez	Turb
Cor	Cor
Amônia	Am
Fósforo Total	FT
Coliformes Termotolerantes	CT
Condutividade Elétrica	CE
Salinidade	S
Saturação de Oxigênio	O%
Precipitação	P

necessário conhecer o comportamento geral das variáveis. Analisando as medidas descritivas das variáveis em estudo (Tabela 2.2) percebe-se que todos os dados possuem o mesmo N amostral. E que as variáveis como Demanda bioquímica de oxigênio, Fósforo totais e Coliformes termotolerantes possuem grandes variações entre os valores mínimos e máximos, conforme observado pelo alto desvio padrão. Variáveis como Temperatura, pH e Salinidade apresentam as variações devido a relação da água do rio com a água do mar, por se tratar de um estuário, a área possui uma grande dinâmica.

Sendo a DBO variável resposta construímos o histograma (Figura 2.4) em que indica um forte assimetria dos dados. Pela natureza da variável resposta tem um suporte positivo e uma assimetria.

Sendo a variável resposta positiva e com a finalidade de modelar o DBO médio segundo um conjunto de variáveis explicativas propomos um modelo linear generalizado com distribuição

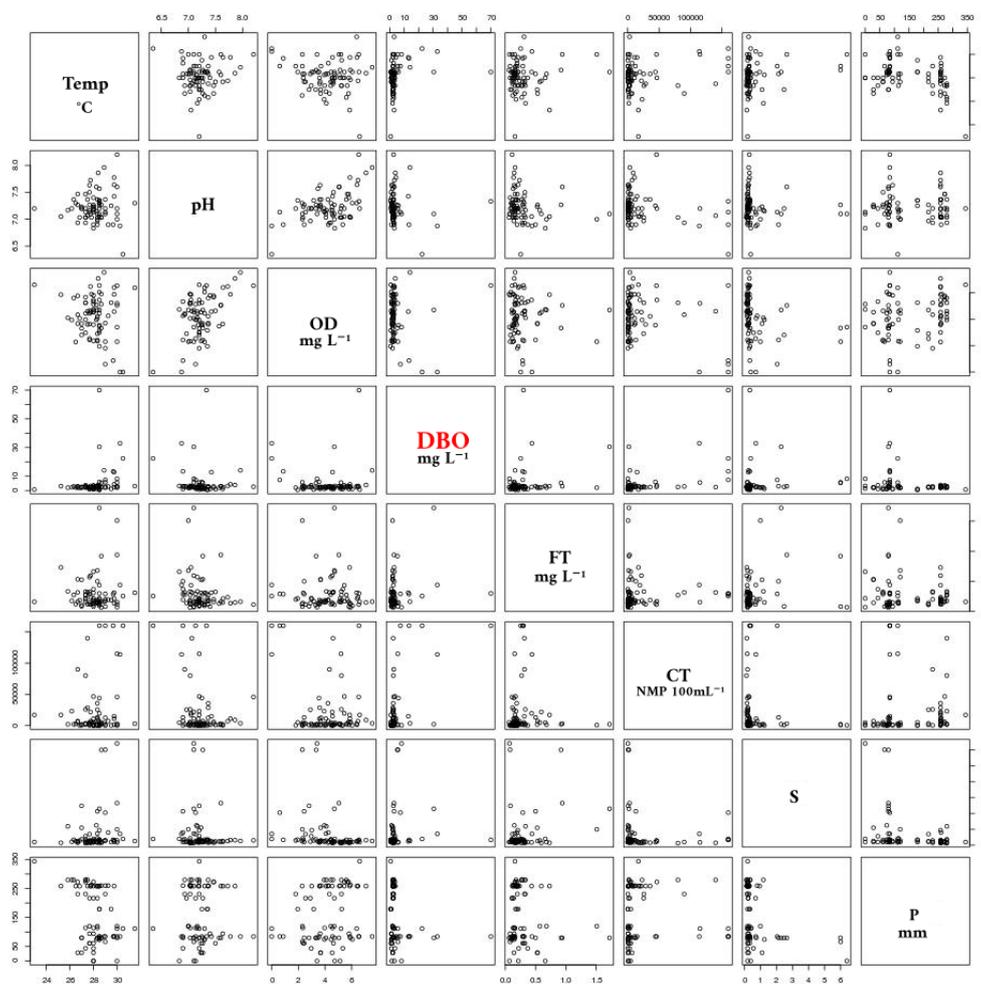
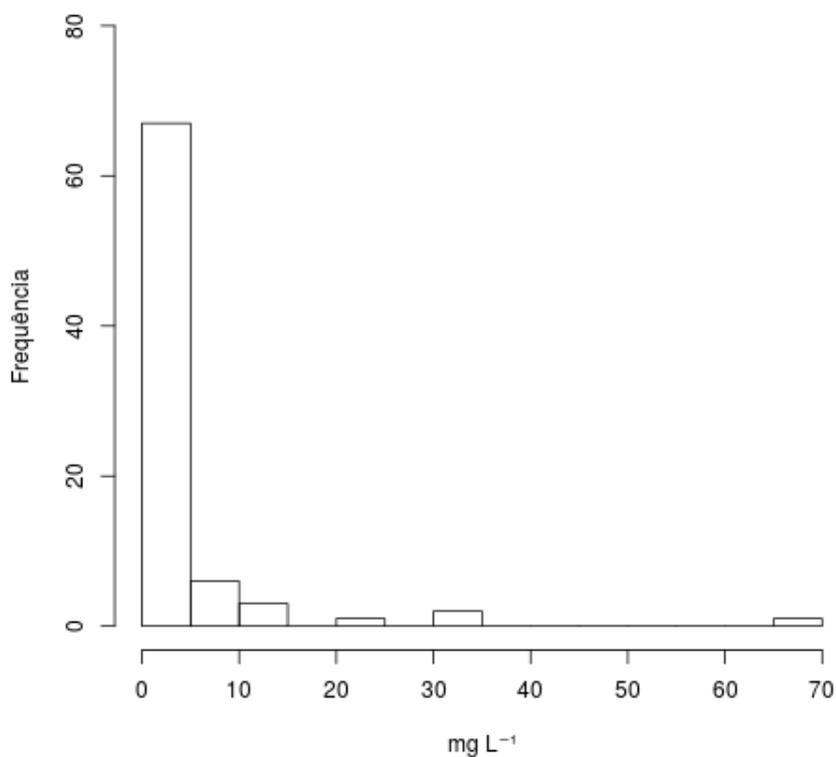


Figura 2.3 Matriz de dispersão das variáveis do banco de dados.

Gama com função de ligação logarítmica (log) (CHATTERJEE; HADI, 2006). Para propor um modelo parcimonioso, utilizamos o critério de Akaike (WEISBERG, 2013) selecionando um modelo final. Após algumas análises, uma regressão polinomial de terceiro grau foi sugerida.

Tabela 2.2 Resumo das variáveis utilizadas no modelo. Valores mínimos, máximos e médios.

	N	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
DBO (mg L ⁻¹)	80	4,83	9,23	0,50	70,00
Temperatura (°C)	80	28,15	1,26	23,00	31,50
pH	80	7,23	0,27	6,35	8,20
OD (mg L ⁻¹)	80	4,22	1,59	0,00	7,54
Fósforo (mg L ⁻¹)	80	0,29	0,28	0,06	1,72
Coliformes (NMP 100 mL ⁻¹)	80	21.578,19	41.866,60	200	160.000
Salinidade	80	0,68	1,21	0,13	6,4
Precipitação (mm)	80	155,80	94,21	0,00	344,00

**Figura 2.4** Histograma de distribuição da variável resposta DBO (mg L⁻¹)

Resultado - Modelo

O modelo que melhor se ajustou aos dados foi o modelo de regressão polinomial de terceiro grau (Equação 3.3). Utilizando um *Generalized model linear* (GLM).

Considerando o nível de significância de 5%, observamos pelos p-valores dos testes marginais (Tabela 3.1) que as variáveis *Temp*, *CT*, *P*, *S*, *FT* e *OD* são significativas (CHATTERJEE; HADI, 2006). Utilizando o critério Akaike (AIC) (WEISBERG, 2013), obteve-se um valor de 101,7.

$$DBO_i = \Gamma(\mu_i, \phi) \quad (3.1)$$

em que

$$\log(\mu_i) = \eta_i \quad (3.2)$$

$$\eta_i = \text{intercepto} + \sum \beta X_i^k \quad (3.3)$$

Onde:

intercepto é uma constante 3.1

β é o vetor das estimadas desconhecidas 3.1;

X_i^k são as variáveis explicativas que variam de *i* e elevadas em *k*, (*i*= 1,...,6 ; *k*= 1,2,3);

$$\hat{\mu}_i = \exp(\hat{\eta}_i) \quad (3.4)$$

Tabela 3.1 Estimativas de máxima verossimilhança e erro padrão assintótico e seus respectivos valor P.
* (0,05); ** (0,01); *** (0,001)

Covariada	Estimado	Erro Padrão	valor <i>t</i>	valor p	Nível de significância
Intercepto	221,3	85,12	2,6	0,012	*
<i>Temp</i> ³	-5	2,92	-5,22	3,6 x 10 ⁻⁶	***
<i>Temp</i> ²	20,5	1,14	-3,88	0,0003	***
Temp	24,3	465	-2,75	0,008	**
<i>CT</i> ²	-4,4	24,58	-2,82	0,006	**
CT	-15,2	0,17	3,85	0,0003	***
<i>P</i> ²	-69,5	6,25	3,88	0,0003	***
P	-1279	6,02	3,41	0,0013	**
<i>S</i> ²	0,7	1,64	-3,04	0,0038	**
FT	-39,1	6,62	-5,91	3,16 x 10 ⁻⁷	***
OD	68,4	23,89	2,86	0,0061	**
Temp × P	2081	21,65	4,72	2 x 10 ⁻⁵	***
Temp × S	113,9	884,7	2,35	0,023	*
Temp × OD	-142	8,06	5,63	8,6 x 10 ⁻⁷	***
CT × S	45,4	30,13	5,39	2 x 10 ⁻⁶	***
P × OD	102,1	32,31	-4,4	5,9 x 10 ⁻⁵	***
S × FT	18,7	4,15	4,51	4 x 10 ⁻⁵	***
FT × OD	162,5	29,82	3,82	0,0003	***
<i>Temp</i> ² × P	-2 x 10 ⁻³	1,36 x 10 ⁻⁵	-4,5	4,24 x 10 ⁻⁵	***
<i>Temp</i> ² × S	-0,01	1,63 x 10 ⁻⁵	3,5	0,001	**
<i>CT</i> ² × OD	7,2 x 10 ⁻¹¹	1,88 x 10 ⁻¹¹	3,86	0,00033	***
<i>P</i> ² × Temp	5,1 x 10 ⁻⁵	0,3	-4,54	3,6 x 10 ⁻⁵	***
<i>P</i> ² × OD	-6,1 x 10 ⁻⁵	0,002	5,3	3 x 10 ⁻⁶	***
<i>S</i> ² × CT	-5,6 x 10 ⁻⁵	3,76 x 10 ⁻⁷	-3	0,0044	**
<i>S</i> ² × P	-2,5 x 10 ⁻³	0,07	5,35	2,32 x 10 ⁻⁶	***
<i>S</i> ² × OD	-0,2	0,55	-5,18	4,1 x 10 ⁻⁶	***
<i>FT</i> ² × Temp	0,4	0,0007	-2,83	0,007	**
<i>FT</i> ² × OD	-2,9	0,003	-4	0,0002	***
<i>OD</i> ² × Temp	0,01	9,8 x 10 ⁻⁶	-5,67	7,55 x 10 ⁻⁷	***
<i>OD</i> ² × CT	-1,1 x 10 ⁻⁶	8,64 x 10 ⁻⁴	-2,9	0,0055	**
<i>OD</i> ² × FT	-1,3	0,05	-3,58	0,0007	***

em que

$$\hat{\eta} = 221,3 + \hat{\varphi} + \hat{\vartheta} + \hat{\zeta} \tag{3.5}$$

$$\hat{\varphi} = -5Temp^3 + 20,5Temp^2 + 24,3Temp - 4,4CT^2 - 15,2CT - 69,5P^2 - 1279P + 0,7S^2 -$$

$$39,1FT + 68,4OD$$

$$\hat{\vartheta} = 2081Temp \times P + 113,9Temp \times S - 142Temp \times OD + 45,4CT \times S + 102,1P \times OD + 18,7S \times FT + 162,5FT \times OD$$

$$\hat{\xi} = -2 \times 10^{-3}Temp^2 \times P - 0,01Temp^2 \times S + 7,2 \times 10^{-11}CT^2 \times OD + 5,7 \times 10^{-5}P^2 \times Temp - 6,1 \times 10^{-5}P^2 \times OD - 5,6 \times 10^{-5}S^2 \times CT - 2,5 \times 10^{-3}S^2 \times P - 0,2S^2 \times OD + 0,4FT^2 \times Temp - 2,9FT^2 \times OD + 0,01OD^2 \times Temp - 1,1 \times 10^{-6} \times OD^2 \times FT - 1,3OD^2 \times FT$$

O gráfico normal de probabilidades com envelope é uma técnica utilizada para verificar afastamentos da suposição distribucional do modelo (Figura 3.1) (PAULA, 2013).

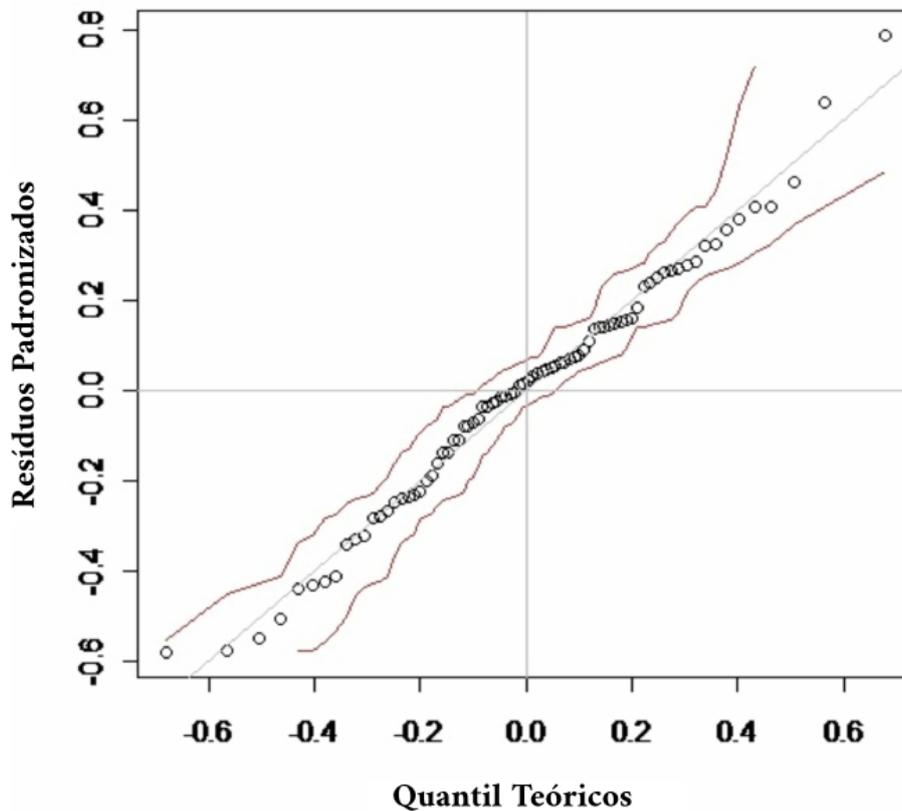
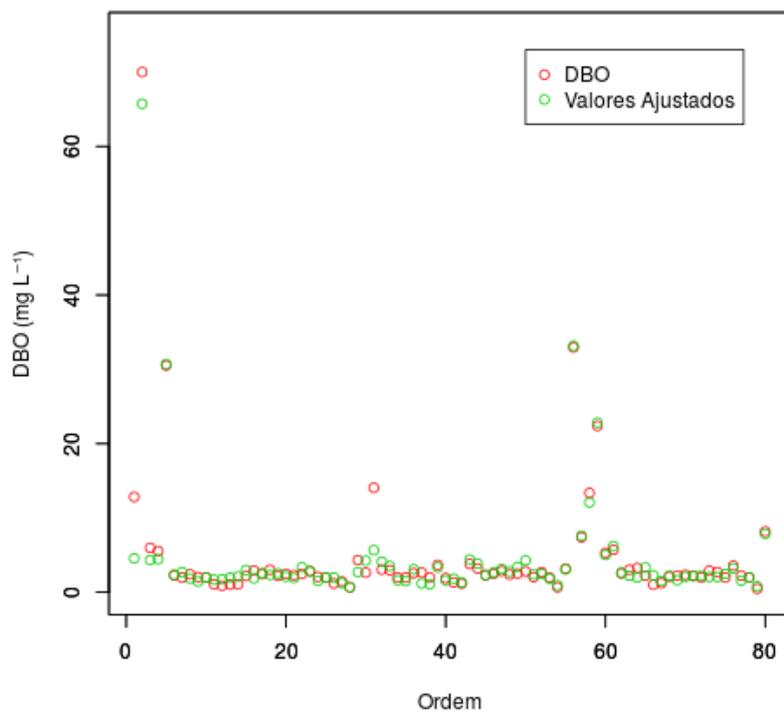


Figura 3.1 Gráfico normal dos resíduos componente do desvio padronizado com envelope do modelo ajustado

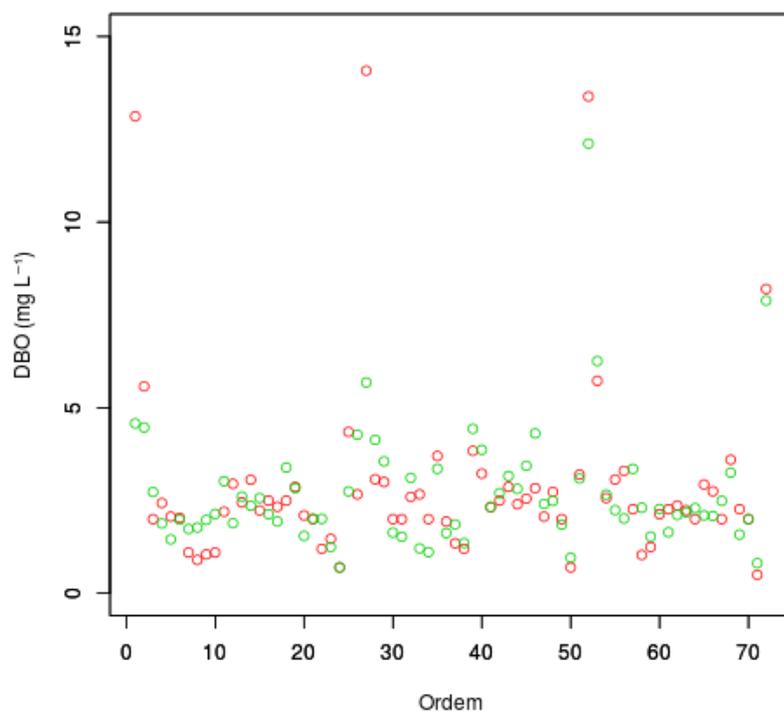
Pela figura 3.1 não foi observado nenhum comportamento não usual. Sendo assim a suposições do modelo sugerido é verificada.

Pela Figura 3.2, observamos um boa concordancia entre os valores ajustados e observados.

Apresentando respostas do modelo bem próximas as amostras coletadas. Inclusive nos pontos mais destacados dos agrupamentos, que são os pontos mais difíceis de modelar (Figura 3.2 a), sem interferir na qualidade dos pontos mais agrupados (Figura 3.2 b). Utilizando a regulamentação do CONAMA (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2005), os dados observados foram 84 % entre 0 e 5 mg L⁻¹ e os calculados pelo modelo ficaram 87 %, entre essa faixa.



(a)



(b)

Figura 3.2 Comparação entre todos os valores observados e os calculados pelo modelo. (a) Todos os valores e (b) com uma aproximação nos valores entre 0 e 15 mg L⁻¹

Discussão e Conclusões

A importância ecológica da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) faz com que a capacidade de explicar como ela varia pela influência de outras variáveis muito importante. O modelo utiliza como respostas, quantitativas, variáveis puramente naturais, tais como a temperatura, precipitação, salinidade e oxigênio dissolvido, assim como variáveis que podem ter suas quantidades alteradas pela ação antrópica, que é o caso dos coliformes termotolerantes e do fósforo total.

Os dados apresentaram alguns pontos bem superiores a maioria e esses valores foram acompanhados pelo modelo. Esses altos valores podem ser explicados com ações antrópicas, agindo em conjunto com as variações ambientais naturais, já que esse altos valores estão atrelados ao aumento de Precipitação e Coliformes termotolerantes, além das variações sazonais observadas (Figura 3.2 b).

É possível perceber que o modelo proposto descreve bem a variação da DBO, e que algumas covariadas interagem entre si e com outras covariadas para influenciar a DBO. Essa interação demonstra a importância de se obter mais informações sobre os parâmetros físico-químicos para estudos ambientais. Se um parâmetro físico-químico se correlaciona com outros, eles podem vir a aumentar ou diminuir a ação e efeitos de poluentes dispostos nos ambientes aquáticos.

A covariável mais importante para o modelo explicativo da variação da DBO foi a Temperatura da água superficial. A Temperatura, além de ser, por si só, fortemente influente no modelo, interage significativamente com todas as outras covariadas, exceto coliformes termotolerantes. Isso é coerente com o esperado e observado no ambiente. Também existe o fato

que as maiores temperaturas registradas, ocorrem na estação seca. Nessa estação, é quando a vazão do rio diminui permitindo uma maior penetração da maré sobre a bacia. Já a interação da Temperatura \times Oxigênio Dissolvido é inversa, já que com o aumento da temperatura diminuí a solubilidade do gás na água.

A segunda covariada mais importante foi o Oxigênio Dissolvido, e as relações foram condizentes com o esperado. Já que o Oxigênio Dissolvido é relacionado diretamente do DBO. Por exemplo, a relação da Chuva com o Oxigênio Dissolvido também é direta, quando chove aumenta a vazão e a coluna de água fica mais turbulenta, o que tende a dissolver mais gases por difusão.

A terceira covariada mais importante do modelo foi a salinidade, seguida pela precipitação. Finalmente, Coliformes Termotolerantes e Fósforo Total foram igualmente importantes.

A DBO é o quanto é utilizado do oxigênio no ambiente pelos processos bioquímicos (i.e. reações químicas da matéria orgânica ou a própria respiração). Seguindo esse princípio, a variação da temperatura (que altera a concentração do oxigênio na água), deveria realmente ser o fator mais importante juntamente com o Oxigênio Dissolvido, que é a concentração de Oxigênio disponível. A salinidade como terceira é entendida por ser esse parâmetro responsável por alterar as características da água em relação à dissolução de gases e de calor específico da água. Os Coliformes termotolerantes e o Fósforo Totais são fortes indicadores de contaminação com esgoto doméstico e/ou outros efluentes ricos em matéria orgânica (ex. fezes de animais) e nutrientes (ex. ferti-irrigação). Deveriam ter a tendência de aumentar a DBO, pois são, juntamente com a própria DBO, variáveis que aumentam em um ambiente eutrofizado.

Com isso, concluí-se que mesmo extenso o modelo é condizente com o esperado no ambiente. E que algumas interações entre parâmetros são responsáveis por alterar a condição fisiológica geral desse ambiente. Além disso, observa-se que por esse modelo ser aplicado com dados de águas tropicais e ter o objetivo de explicar o comportamento da DBO ao longo dos 18 anos alguns fenômenos, que tenham maiores durações e em regiões de diferentes variações de

temperatura, não sejam previstos.

Com o incentivo econômico que a área vem recebendo, espera-se que a disponibilidade de recursos hídricos se torne cada vez menor. Esse fator pode ocasionar uma maior intrusão salina ao longo da bacia, se a vazão for muito reduzida. Além disso, espera-se um aumento de efluentes domésticos nessa bacia com o aumento expressivo da população para as cidades que compõem a Bacia Hidrográfica do Rio Goiana (BHRG). Isso pode levar a alterações das propriedades físico-químicas da água. Ainda, a temperatura da água superficial, pode mudar com as alterações globais e mudanças climáticas, assim afetando a qualidade da água da BHRG.

Esse modelo foi gerado com dados de 1992 à 2011. Porém, variações globais, regionais e/ou locais, podem alterar esses padrões. Logo, para que o modelo se mantenha sempre fiel ao comportamento dessas variações é indicado inserir sempre mais anos quanto forem possíveis. Com isso, situações diferentes serão levadas em considerações para descrever novas variações.

Nesse trabalho foi possível utilizar dados públicos, tratados com softwares livres (R, *open office*, Linux) para criar um modelo útil para os tomadores de decisão inferirem sobre as condições de um ambiente natural e assim poder analisar melhor os dados fornecidos por relatórios.

Referências Bibliográficas

ADAME, M. F. et al. Sedimentation within and among mangrove forests along a gradient of geomorphological settings. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 86, n. 1, p. 21–30, 2010. ISSN 0272-7714. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272771409004806>>.

AGÊNCIA ESTADUAL DE PLANEJAMENTO E PESQUISAS DE PERNAMBUCO. *Pernambuco em rede: Caracterização das regiões de influência das cidades pernambucanas*. Recife-PE. Brasil: [s.n.], 2012. 150 p. ISBN 978-85-99590-15-7.

AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE. *Relatório de monitoramento de bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco - 2013*. [S.l.], 2014. 104 p.

ALVES, L. H. B.; COSTA, M. F.; BARLETTA, M. Long term monitoring of a semi-arid climate river basin contributing to a tropical estuary. In: ECSA. *ECSA 50th*. [S.l.]: Elsevier, 2012. p. 193.

ALVES, L. H. B.; COSTA, M. F. da. Qualidade da água da bacia do rio goiana: integração e análise de séries temporais de parâmetros físico-químicos de 1990 a 2009. In: *XIX CONIC*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 4.

ALVES, L. H. B.; COSTA, M. F. da. Material particulado em suspensão ao longo do canal principal do estuário do rio goiana em diferentes condições hidrológicas: final da estação seca e final da estação chuvosa. In: *XXI CONIC*. [S.l.: s.n.], 2013. p. 4.

ASSIS JR, E. C. D. *Aplicação da regressão Gamma no modelo polinomial para explicação da concentração de fósforo total presente no estuário do Rio Goiana PE/PB*. [S.l.: s.n.], 2012.

BARBOSA, S. C. T. et al. Total mercury in the fish *Trichiurus lepturus* from a tropical estuary in relation to length, weight, and season. *Neotropical Ichthyology*, v. 9, n. 1, p. 183–190, 2011. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-79957573285&partnerID=40&md5=1139ad8943778d05e7c2b7d772d1cc98>>.

BARBOSA, S. C. T. et al. TOTAL MERCURY IN *Trichiurus lepturus* (PISCES, TRICHIURIDAE) FROM A TROPICAL SEMI-ARID ESTUARY COAST. In: *XII Congresso Latino-Americano de Ciências do Mar*. [S.l.: s.n.], 2007. p. 17–20.

BARLETTA, M.; COSTA, M. F. Living and Non-living Resources Exploitation in a Tropical Semi-arid Estuary. *Journal of Coastal Research*, SI 56, p. 371–375, 2009.

BARLETTA, M.; COSTA, M. F.; DANTAS, D. V. Inter-annual variations of water physico-chemical parameters in a tropical semi-arid estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*.

BARLETTA, M. et al. The interaction rainfall vs. weight as determinant of total mercury concentration in fish from a tropical estuary. *Environmental Pollution*, v. 167, p. 1–6, 2012. ISSN 0269-7491. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749112001455>>.

BARTLEY, R. et al. A review of sediment and nutrient concentration data from Australia for use in catchment water quality models. *Marine Pollution Bulletin*, v. 65, n. 4–9, p. 101–116, 2012. ISSN 0025-326X. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X11004309>>.

BECK, H. J.; BIRCH, G. F. Metals, nutrients and total suspended solids discharged during different flow conditions in highly urbanised catchments. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 184, n. 2, p. 637–653, 2012. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84857366993&partnerID=40&md5=a64b70d968b2e5650fb20f2a65bb9edb>>.

CAI, W.; COWAN, T.; THATCHER, M. Rainfall reductions over Southern Hemisphere semi-arid regions: the role of subtropical dry zone expansion. *Sci. Rep.*, Macmillan Publishers Limited. All rights reserved, v. 2, p. —, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/srep00702>>.

CAMPOS, C. R.; WODEWOTZKI, M. L. L. A educação estatística, a modelagem matemática e a educação crítica: um projeto. *Rev. Teoria e Prática da Educação*, v. 10, n. 3, p. 321–331, 2007.

CETESB. *CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo*. 2015. <http://www.cetesb.sp.gov.br/> p.

CHATTERJEE, S.; HADI, A. S. *Regression Analysis by Example*. [S.l.: s.n.], 2006. 419 p.

COAT, S. et al. Organochlorine pollution in tropical rivers (Guadeloupe): Role of ecological factors in food web bioaccumulation. *Environmental Pollution*, v. 159, n. 6, p. 1692–1701, 2011. ISSN 0269-7491. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749111001102>>.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. *Resolução CONAMA nº 357, de 17 de Março de 2005*. [S.l.]: CONAMA, 2005. 58 – 63 p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. *Resolução CONAMA nº 397, de 3 de Abril de 2008*. [S.l.]: CONAMA, 2008. 68 – 69 p.

COSTA, M. F. et al. Seasonal differences in mercury accumulation in *Trichiurus lepturus* (Cutlassfish) in relation to length and weight in a Northeast Brazilian estuary. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 16, n. 4, p. 423–430, 2009. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-70349392826&partnerID=40&md5=0ae885da7734f89aec79437506e8263b>>.

CRAIN, C. M. et al. Understanding and Managing Human Threats to the Coastal Marine Environment. *Annals of the New York Academy of Sciences*, Blackwell Publishing Inc, v. 1162, n. 1, p. 39–62, 2009. ISSN 1749-6632. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.04496.x>>.

DANTAS, D. V. et al. Movement patterns of catfishes (Ariidae) in a tropical semi-arid estuary. *Journal of Fish Biology*, v. 76, n. 10, p. 2540–2557, 2010. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-77954733103&partnerID=40&md5=08c75283a48bd3ff91dda6a83912dd6b>>.

DAVIS III, S. E. et al. Nutrient Dynamics in Vegetated and Unvegetated Areas of a Southern Everglades Mangrove Creek. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 52, n. 6, p. 753–768, 2001. ISSN 0272-7714. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272771401907553>>.

DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO. *Decreto de 26 de Setembro de 2007 - Criação da Reserva Extrativista Acaú-Goiana*. 2007. 2–5 p.

DIAZ, R. J. Overview of hypoxia around the world. *Journal of Environmental Quality*, v. 30, n. 2, p. 275–281, 2001. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0035022848&partnerID=40&md5=b759b762d058a81d758c1dc9b0b3e442>>.

DIAZ, R. J.; ROSENBERG, R. Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *Science*, v. 321, n. 5891, p. 926–929, 2008. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-49649095625&partnerID=40&md5=0da5acdc5d2526db966f8c0fc66294d3>>.

DO, H. T. et al. Design of sampling locations for mountainous river monitoring. *Environmental Modelling & Software*, v. 27–28, p. 62–70, 2012. ISSN 1364-8152. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815211002052>>.

DONEY, S. C. The growing human footprint on coastal and open-Ocean biogeochemistry. *Science*, v. 328, n. 5985, p. 1512–1516, 2010. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-77953789217&partnerID=40&md5=fe0d11dbfe0c4f394333f0b810eb04d4>>.

EATON, A. D.; FRANSON, M. A. H. *Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater*. [S.l.: s.n.], 2005. 1200 p.

ECOUTIN, J. M. et al. Changes over a decade in fish assemblages exposed to both environmental and fishing constraints in the Sine Saloum estuary (Senegal). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 87, n. 2, p. 284–292, 2010. ISSN 0272-7714. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272771410000156>>.

FIDEM. *LEI Nº 9.990 DE 13 DE JANEIRO DE 1987*. 1987. 13 p.

FULWEILER, R. W.; RABALAIS, N. N.; HEISKANEN, A. S. The eutrophication commandments. *Marine Pollution Bulletin*, v. 64, n. 10, p. 1997–1999, 2012. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84866752285&partnerID=40&md5=f1d046bef7ddd04307273fdeed4ff70d>>.

GERHARDINGER, L. C.; GODOY, E. A. S.; JONES, P. J. S. Local ecological knowledge and the management of marine protected areas in Brazil. *Ocean & Coastal Management*, v. 52, n. 3–4, p. 154–165, 2009. ISSN 0964-5691. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096456910800166X>>.

GIOSAN, L. et al. Early anthropogenic transformation of the Danube-Black sea system. *Scientific Reports*, v. 2, 2012. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84866125793&partnerID=40&md5=1893b70a9d133c320cff963fd0f9ce87>>.

GUEBERT-BARTOLO, F. M. et al. Fishery and the use of space in a tropical semi-arid estuarine region of Northeast Brazil: Subsistence and overexploitation. *Journal of Coastal Research*, SI 64, p. 398–402, 2011. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84856007386&partnerID=40&md5=9587d83813e34a82d14e05856e71f8b5>>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Resultados do CENSO 2010*. 2010.

LESTER, R. E.; FAIRWEATHER, P. G. Modelling future conditions in the degraded semi-arid estuary of Australia's largest river using ecosystem states. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 85, n. 1, p. 1–11, 2009. ISSN 0272-7714. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272771409001905>>.

MARQUES, M. et al. Water environments: Anthropogenic pressures and ecosystem changes in the Atlantic drainage basins of Brazil. *Ambio*, v. 33, n. 1-2, p. 68–77, 2004. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-1642396647&partnerID=40&md5=93dafdf8694d8a32ecd74b580679cb70>>.

MATHEW, M. et al. Anatomy of an urban waterbody: A case study of Boston's Muddy River. *Environmental Pollution*, v. 159, n. 8–9, p. 1996–2002, 2011. ISSN 0269-7491. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749111000923>>.

MEYBECK, M. Global analysis of river systems: From Earth system controls to Anthropocene syndromes. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 358, n. 1440, p. 1935–1955, 2003. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0346651483&partnerID=40&md5=f74d65b027daa5c2834e5f5a2abf2094>>.

NELDER, J.; WEDDERBURN, R. Generalized Linear Models. *Journal of the Royal Statistical Society*, v. 135, n. 3, p. 370–384, 1972.

NEWTON, A.; ICELY, J. Land Ocean Interactions in the Coastal Zone, LOICZ: Lessons from Banda Aceh, Atlantis, and Canute. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 77, n. 2, p. 181–184, 2008. ISSN 0272-7714. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272771407004386>>.

NORIEGA, C. E. D.; ARAÚJO, M. Nutrient budgets (C, N and P) and trophic dynamics of a Brazilian tropical estuary: Barra das Jangadas. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 83, n. 2, p. 441–456, 2011. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-79959295953&partnerID=40&md5=7af618b682f9344f34b64d0b706dfc0b>>.

NORIEGA, C. E. D.; ARAÚJO, M. C. Nitrogen and Phosphorous loading in coastal watersheds in Northeastern Brazil. *Journal of Coastal Research*, SI 56, p. 871–875, 2009. Disponível em: <http://e-geo.fcsh.unl.pt/ICS2009/_docs/ICS2009_Volume_I/871.875_C.Noriega_ICS2009.pdf>.

PAULA, G. A. *Modelos de regressão com apoio computacional*. [S.l.: s.n.], 2013. 440 p.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria, 2011. Disponível em: <<http://www.r-project.org>>.

RABALAIS, N. N. et al. Dynamics and distribution of natural and human-caused hypoxia. *Biogeosciences*, v. 7, n. 2, p. 585–619, 2010. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-77149147414&partnerID=40&md5=4c4abaf9919b5c797d2c015507b6b294>>.

RESTREPO, J. D. Applicability of LOICZ catchment–coast continuum in a major Caribbean basin: The Magdalena River, Colombia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 77, n. 2, p. 214–229, 2008. ISSN 0272-7714. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272771407004477>>.

SILVA-CAVALCANTI, J.; COSTA, M. Fisheries in Protected and Non-Protected Areas: Is it Different? The Case of *Anomalocardia brasiliensis* at Tropical Estuaries of Northeast Brazil. *Journal of Coastal Research*, SI 56, p. 1454–1458, 2009. Disponível em: <http://e-geo.fcsh.unl.pt/ICS2009/_docs/ICS2009_Volume_II/1454.1458_J.S.Silva-Cavalcanti_ICS2009.pdf>.

SNUC. *Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza*. 2000.

SOMERFIELD, P. J. et al. Factors affecting meiofaunal community structure in the Pina Basin, an urbanized embayment on the coast of Pernambuco, Brazil. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, v. 83, n. 6, p. 1209–1213, 2003. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-1042290259&partnerID=40&md5=aca0c069d8021508612b26eb866c4924>>.

TROLLE, D. et al. Predicting the effects of climate change on tropic status of three morphologically varying lakes: Implications for lake restoration and management. *Environmental Modelling & Software*, v. 26, n. 4, p. 354–370, 2011. ISSN 1364-8152. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815210002562>>.

WEISBERG, S. *Applied Linear Regression*. Wiley, 2013. (Wiley Series in Probability and Statistics). ISBN 9781118625958. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=U7FZmOc0nM4C>>.

XU, Y. J.; WU, K. Seasonality and interannual variability of freshwater inflow to a large oligohaline estuary in the Northern Gulf of Mexico. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 68, n. 3–4, p. 619–626, 2006. ISSN 0272-7714. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272771406001107>>.

YAN, X.; SU, X. G. *Linear Regression Analysis: Theory and computing*. [S.l.]: Cingapore: World Scientific,, 2009.

APÊNDICE A

Script do Envelope Gamma do *Normal Q-Q Plot*

```
#-----#
# Para rodar este programa deixe no objeto fit.model a saída
# do ajuste da regressão com erros gama e ligação log. Deixe
# também os dados disponíveis através do comando attach(...).
# Depois use o comando source(...) no R ou S-Plus para executar
# o programa. A sequência de comandos é a seguinte:
#
#     fit.model <- ajuste
#     attach(dados)
#     source("envel_gama")
#
# A saída será o gráfico de envelope para o resíduo componente
# do desvio padronizado. Para colocar um título no gráfico use
# o comando title("..."). Para usar outras ligações mudar no
# programa abaixo o termo family=Gamma(link=log) para family=Gamma
# no caso de ligação recíproca ou por family= Gamma(link=identity)
# no caso de ligação identidade.
#-----#
#
par(mfrow=c(1,1))
```

```

X <- model.matrix(fit.model)
n <- nrow(X)
p <- ncol(X)
w <- fit.model$weights
W <- diag(w)
H <- solve(t(X) %*% W %*% X)
H <- sqrt(W) %*% X %*% H %*% t(X) %*% sqrt(W)
h <- diag(H)
ro <- resid(fit.model, type="response")
fi <- (n-p)/sum((ro/(fitted(fit.model)))^ 2)
td <- resid(fit.model, type="deviance") * sqrt(fi/(1-h))
#
e <- matrix(0, n, 100)
#
for(i in 1:100){
  resp <- rgamma(n, fi)
  resp <- (fitted(fit.model)/fi) * resp
  fit <- glm(resp ~ X, family=Gamma(link=log))
  w <- fit$weights
  W <- diag(w)
  H <- solve(t(X) %*% W %*% X)
  H <- sqrt(W) %*% X %*% H %*% t(X) %*% sqrt(W)
  h <- diag(H)
  ro <- resid(fit, type="response")
  phi <- (n-p)/sum((ro/(fitted(fit)))^ 2)
  e[,i] <- sort(resid(fit, type="deviance") * sqrt(phi/(1-h))) }

```

```
#
e1 <- numeric(n)
e2 <- numeric(n)
#
for(i in 1:n){
  eo <- sort(e[i,])
e1[i] <- (eo[2]+eo[3])/2
e2[i] <- (eo[97]+eo[98])/2}
#
med <- apply(e,1,mean)
faixa <- range(td,e1,e2)
par(pty="s")
qqnorm(td,xlab="Percentis da N(0,1)",
ylab="Componente do Desvio", ylim=faixa, pch=16)
par(new=T)
#
qqnorm(e1,axes=F,xlab="",ylab="",type="l",ylim=faixa,lty=1)
par(new=T)
qqnorm(e2,axes=F,xlab="",ylab="", type="l",ylim=faixa,lty=1)
par(new=T)
qqnorm(med,axes=F,xlab="", ylab="", type="l",ylim=faixa,lty=2)
#-----#
```