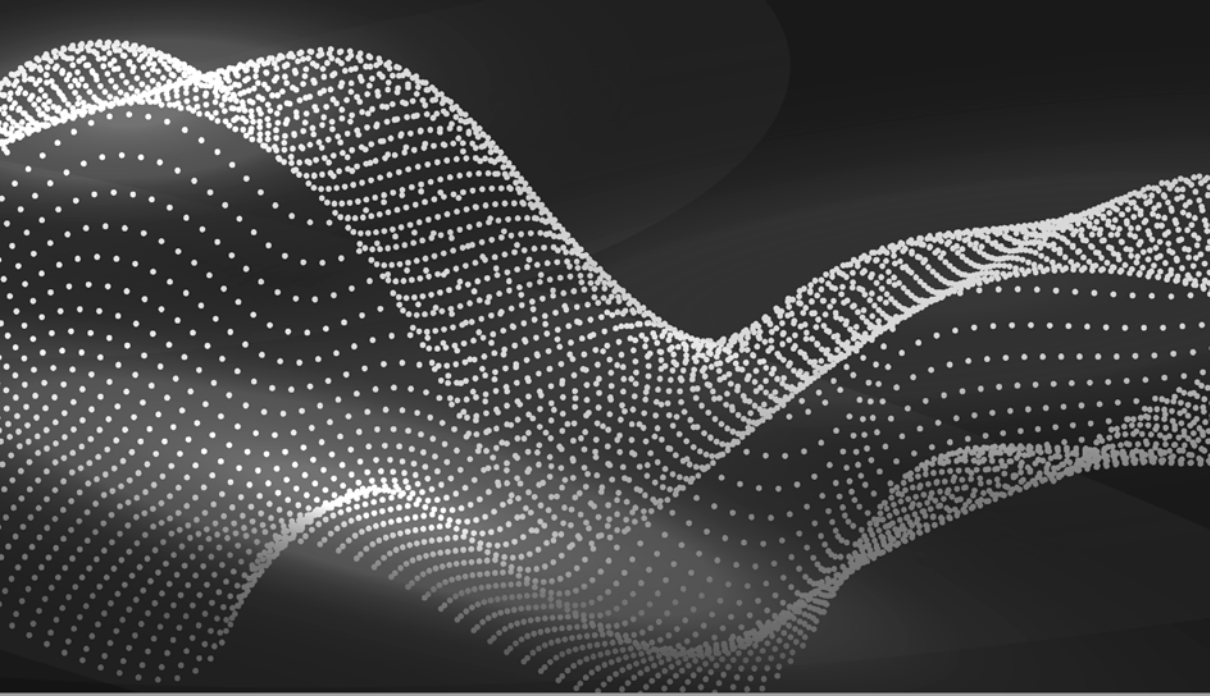


# **Avanços em Computação Aplicada e Fluidodinâmica Computacional**

**Marcelo Marques**  
(Organizador)



# **Avanços em Computação Aplicada e Fluidodinâmica Computacional**

**Marcelo Marques**  
(Organizador)

**Editora Chefe**

Marcia A. A. Marques

**Editora Adjunta**

Isabela Arantes Ferreira

**Coordenador Editorial**

Lucas Batista Cunha

**Bibliotecária**

Maria Alice Ferreira

**Diagramação**

Marcos Antonio Ribeiro Pereira

**Arte da Capa**

Matheus Lacerra

**Imagem da Capa**

Freepik

**Revisão**

Os autores

O conteúdo deste livro está licenciado sob uma licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição-Não-Comercial Não Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).



2021 by Bookerfield Editora

Copyright © Bookerfield Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Bookerfield Editora

Os autores cedem à Bookerfield Editora os direitos para esta edição

Esta obra é de natureza digital (e-book). Versões impressas são permitidas, não tendo a Bookerfield Editora qualquer responsabilidade pela confecção e distribuição de exemplares físicos deste conteúdo.

Todos os manuscritos da obra passaram por rigorosa avaliação cega pelos pares, baseadas em critérios científicos e imparciais, recebendo a aprovação após atender os critérios técnicos estabelecidos pelo Conselho Editorial.

Todo o conteúdo do livro e de artigos individuais é de responsabilidade exclusiva de seus respectivos autores, não sendo a Bookerfield Editora responsável por quaisquer eventuais irregularidades.

Situações como plágio, má conduta ética/científica ou dados e resultados fraudulentos são de responsabilidade do autor, comprometendo-se a Bookerfield Editora em investigá-las rigorosamente e tomar as ações cabíveis.

O download, compartilhamento e referência da obra são permitidos mediante atribuição de crédito aos autores e à Editora. A comercialização desta obra é expressamente proibida.

## CONSELHO EDITORIAL

### **Ciências Agrárias**

Afrânio Silva Madeiro  
Alirya Magda Santos do Vale Gomes  
Ana Luiza Trovo Marques de Souza  
Carlos Eugenio Fortes Teixeira  
Daniela Kunkel  
Daniele Cristina Ficanha  
Elson Barbosa da Silva Junior  
Fabiana Schiochet  
Fernando Rezende da Costa  
Flávio José Rodrigues Cruz  
Heiriane Martins Sousa  
João Francisco Severo Santos  
Joelma Leão Buchir  
Kleber Fernando Pereira  
Marden Manuel Rodrigues Marques  
Maria Cristina Bueno Coelho  
Monyck Jeane dos Santos Lopes  
Pablo Daniel Freitas Bueno

### **Ciências Biológicas**

Cesar Augusto Cunha Cervantes  
Débora Cristina Damasceno  
Érika Alves Tavares Marques  
Fabíola Aliaga de Lima  
Flávio José Rodrigues Cruz  
Heiriane Martins Sousa  
Jaqueline Rocha Borges dos Santos  
Joelma Leão Buchir  
José Amorim  
José Maria Ferraz Filho  
Jussara Gonçalves Fonseca  
Kleber Fernando Pereira  
Mário César de Oliveira  
Morgana do Nascimento Xavier  
Nathália Sayuri Yamamoto  
Noemi Mendes Fernandes  
Patricia Köster e Silva  
Rafael Mesquita Stoque

Renato Luís Veiga Oliveira Júnior  
Veronica Gabriela Ribeiro da Silva

### **Ciências da Saúde**

Adriano José Barbosa Junior  
Alexandre Daré de Almeida  
Ana Irene Coelho Nunes  
Ana Luiza Trovo Marques de Souza  
Andrea Borges Gaia  
Andressa Ribeiro Contreira  
Camila Gemin R. Locatelli  
Carlos Vinícius Pagani Vieira  
Machado  
Débora Cristina Damasceno  
Elisângela Rodrigues Carrijo  
Fabiana Leticia Sbaraini  
Fabio José Antonio da Silva  
Fabrício Casanova  
Gisela da Costa Mascarenhas  
Greicielle Pereira Arruda  
Ivonete Aparecida Alves Sampaio  
Janaina da Câmara Zambelli  
Jandira Maria do Amarilho Silveira  
Jaqueline Rocha Borges dos Santos  
João Francisco Severo Santos  
Jogilmira Macedo Silva Mendes  
José Aderval Aragão  
José Maria Ferraz Filho  
José Roberto Zaffalon Júnior  
Juliane Campos Inácio  
June Fernanda Maria Teixeira  
Katia Fernanda Forti Porcaro  
Kilvia Paula Soares Macedo  
Líncon Bordignon Somensi  
Luciane Cristina Arantes  
Marcello Alberton Herdt  
Marcelo Benedet Tournier  
Marcelo de Oliveira Pinto  
Marcos Guimarães de Souza Cunha



Marcos Roberto Brasil  
Maria Cristina C Nepomuceno  
Carvalho  
Nara Michelle Moura Soares  
Nillianne Charles Ribeiro  
Rafael Mesquita Stoque  
Randson Souza Rosa  
Renato Carlos Machado  
Rogério Wagner da Silva  
Sheila Moura Amaral  
Simone Mattos do Nascimento  
Sofia Banzatto  
Suzana Silva Lira  
Taíza Fernanda Ramalhais  
Thaís Mendonça Resende  
Thiago Luciano Rodrigues da Silva  
Valéria Rodrigues da Conceição  
Veronica Gabriela Ribeiro da Silva  
Vivian Victoria Vivanco Valenzuela

### **Ciências Exatas e da Terra**

Andrea Sartori Jabur  
Cláudia Hitomi Watanabe Rezende  
Dalvani Fernandes  
Duany Dreyton Bezerra Sousa  
Edfram Rodrigues Pereira  
Evandro Preuss  
Gisane Aparecida Michelin  
Henrique Mariano Costa do Amaral  
Henrique Pereira Oliveira Neves  
Hermam Vargas Silva  
Isidro ihadua  
João César Abreu de Oliveira Filho  
Lívia Sancho  
Luiz Eduardo da Silva Gomes  
Manolo Cleiton Costa de Freitas  
Marco Aurélio Schünke  
Marcos do Carmo Pereira  
Rodolfo Lucas Bortoluzzi  
Sonia Tomie Tanimoto  
Vagner Marques de Moura  
Valdecir Alves dos Santos Júnior

### **Ciências Humanas**

Adailton Pereira de Melo  
Alberto Carlos de Souza  
Ana Margarida Theodoro Caminhas  
Breno Henrique Ferreira Cypriano  
Bruna Pacheco de Almeida  
Bruno Cezar Silva  
Camila Bueno Grejo  
Camila de Vasconcelos Tabares  
Carlos Eduardo Mauricio  
Dalvani Fernandes  
Dayane Cristina Guarnieri  
Deiziane Pinheiro Aguiar  
Eduardo Henrique Assis Cidade  
Elisângela Rodrigues Carrijo  
Eulalia Fabiano  
Fernando Cesar Mendes Barbosa  
Guilherme Camara Meireles  
Guilherme William Udo Santos  
Isadora Vianna Sento-Sé  
João César Abreu de Oliveira Filho  
João Francisco Severo Santos  
Josael Jario Santos Lima  
Josiane Nascimento Andrade  
Luana Mayer de Souza  
Marcos Pereira dos Santos  
Marcos Pereira Magalhães  
Maria Cristina C Nepomuceno  
Carvalho  
Marlon Nantes Foss  
Miguel Rodrigues Netto  
Oscar Yecid Bello Bello  
Rebecca Bianca de Melo Magalhães  
Sandra das Dores Souza  
Silvio Santiago-Vieira  
Susan Audrey Bueno dos Santos  
Taíza Fernanda Ramalhais  
Tatiane dos Santos Duarte  
Vanderlei Frari  
Vânia Maria Carvalho de Sousa  
Vinícius Dantas Silveira

## **Ciências Sociais Aplicadas**

Aline De Souza Lima Barbaroto  
Ana Margarida Theodoro Caminhas  
Bruna Pacheco de Almeida  
Bruno Cezar Silva  
Camila Nathalia Padula de Godoy  
Cassio Rene Duminelli  
Daniel Nascimento e Silva  
Eduardo Henrique Assis Cidade  
Elisângela Rodrigues Carrijo  
Érika Rigotti Furtado  
Eulalia Fabiano  
Fernando Cesar Mendes Barbosa  
Gisela da Costa Mascarenhas  
Hermam Vargas Silva  
Horácio Monteschio  
Isabel das Mercedes Costa  
Isadora Vianna Sento-Sé  
João Clécio de Sousa Holanda  
João Francisco Severo Santos  
João Vitor Gomes Pinto  
Josael Jario Santos Lima  
Josiane Nascimento Andrade  
Marco Aurelio de Jesus Mendes  
Maria Cristina C Nepomuceno  
Carvalho  
Miguel Rodrigues Netto  
Nelson Calsavara Garcia Junior  
Renato Obikawa Kyosen  
Rodolfo Lucas Bortoluzzi  
Sandra Couto Barbosa  
Solange Kileber  
Susan Audrey Bueno dos Santos  
Vanessa Paiva Costa Vale  
Vinícius Dantas Silveira

## **Engenharias**

Alejandro Victor Hidalgo Valdivia  
Andrea Sartori Jabur  
Andréia Monique Lermen  
Cristhiane Michiko Passos Okawa  
Daniele Cristina Ficanha

Elaine Patricia Arantes  
Fernando Oliveira de Andrade  
Henrique Mariano Costa do Amaral  
Israel Henrique Ribeiro Rios  
Jaime Andres Castaneda Barbosa  
Marcelo Henrique da Silva  
Marcelo Marques  
Marcos Guimarães de Souza Cunha  
Rafael Gonçalves Mafra  
Rodolfo Lucas Bortoluzzi  
Thiago Averaldo Bimestre  
Valdecir Alves dos Santos Júnior  
Vanessa Paiva Costa Vale

## **Linguística, Letras e Artes**

Alberto Carlos de Souza  
Geison Araujo Silva  
Guilherme William Udo Santos  
José Edson Barros Correia  
Luciano de Oliveira Costa  
Márcia Donizete Leite-Oliveira  
Marlon Nantes Foss  
Silvio Santiago-Vieira  
Thiago Blanch Pires  
Vera Regiane Brescovici Nunes

## **Multidisciplinar**

Alejandro Victor Hidalgo Valdivia  
Aline De Souza Lima Barbaroto  
Ana Margarida Theodoro Caminhas  
Andrea Sartori Jabur  
Andréia Monique Lermen  
Cláudia Hitomi Watanabe Rezende  
Érika Alves Tavares Marques  
Fernanda Imada de Lima  
Fernando Oliveira de Andrade  
Guilherme Camara Meireles  
Isidro ihadua  
José Amorim  
Marcelo Marques  
Vanessa Paiva Costa Vale

# Avanços em Computação Aplicada a Fluidodinâmica Computacional

**Editora Chefe** Marcia A. A. Marques  
**Editora Adjunta** Isabela Arantes Ferreira  
**Coordenador Editorial** Lucas Batista Cunha  
**Bibliotecária** Maria Alice Ferreira  
**Diagramação** Marcos Antonio Ribeiro Pereira  
**Revisão** Os Autores

## Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Avanços em computação aplicada e fluidodinâmica  
computacional [livro eletrônico] / Marcelo  
Marques, Rocio Luz Fernandez (organizadores). --  
São Paulo : Bookerfield, 2021.  
PDF

Vários autores.  
ISBN 978-65-89929-34-5

1. Física matemática 2. Fluidodinâmica  
computacional 3. Simulação computacional I. Marques,  
Marcelo. II. Fernandez, Rocio Luz.

21-93033

CDD-530.15

### Índices para catálogo sistemático:

1. Fluidodinâmica computacional 530.15

Maria Alice Ferreira - Bibliotecária - CRB-8/7964

**DOI 10.53268/BKF21120500**

**Bookerfield Editora**  
São Paulo – Brasil  
Telefone: +55 (11) 98441-4444  
[www.bookerfield.com](http://www.bookerfield.com)  
[contato@bookerfield.com](mailto:contato@bookerfield.com)



## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores declaram não haver qualquer interesse comercial ou irregularidade que comprometa a integridade desta obra; declaram que participaram da elaboração e revisão da obra, atestando a confiabilidade dos dados e resultados; declaram que a obra está livre de plágio acadêmico; declaram que a publicação desta obra não fere qualquer outro contrato por eles firmados; declaram ter atendido eventuais exigências de outras partes, como instituições financiadoras, para a publicação desta obra.

## APRESENTAÇÃO

O desenvolvimento contínuo da computação permite à ciência e a engenharia realizarem análises cada vez mais representativas da realidade física.

Neste contexto, pela presente obra são reunidas comunicações de pesquisas científicas e tecnológicas que trazem avanços relacionados à aplicação de técnicas computacionais.

O livro é dividido em duas seções: fluidodinâmica e computação aplicada.

Por meio do primeiro capítulo são demonstrados os campos simulados de energia das ondas no reservatório da usina hidrelétrica de Tucuruí, uma das maiores do mundo em potência instalada. As simulações demonstram, por meio de 64 mapas de simulação, avanços na determinação, quantificação e representação de campos de energia de ondas para quatro condições de campos de vento soprando em dezesseis direções.

No segundo capítulo é verificada a aplicação de simulação computacional na obtenção da distribuição espacial das alturas de ondas geradas pela ação de ventos severos sobre o reservatório da barragem de Jurumirim. Os avanços são evidenciados pela aplicação da técnica de modelagem paramétrica bidimensional (MPB) demonstrando o mapeamento dos campos de ondas neste que se constitui em um dos mais importantes reservatórios do sudeste do Brasil.

Pelo terceiro capítulo foi realizada a análise de três importantes métodos de determinação do fetch com uma importante contribuição original, a comparação dos resultados no espaço bidimensional. O estudo é aplicado ao reservatório de San Roque, a principal fonte de água para a cidade de Córdoba, a segunda maior cidade da Argentina. O estudo permitiu afirmar que a localização do maior fetch não é condicionada pelo método adotado, como se pensava antes do estudo.

No quarto capítulo foram apresentadas análises de dimensionamento de canais de navegação relacionadas ao raio de curvatura e ângulo de deriva. Os avanços atingidos pelo estudo foram motivados pela importância da movimentação de commodities agrícolas na região amazônica, sob critérios de segurança da navegação e economicidade.

Por meio do quinto capítulo foi realizada uma pesquisa aplicada abordando um dos grandes desafios ambientais da atualidade, que é a utilização sustentável dos sistemas aquáticos. Foram avaliadas as concentrações de fósforo e nitrogênio nos sedimentos nas épocas seca e chuvosa e os parâmetros de adsorção de fósforo em importante rio estado do Piauí, demonstrando que o período seco durante a amostragem e consequente baixa

capacidade de diluição do rio contribuíram para o aumento nas concentrações de fósforo e nitrogênio total em sedimentos no corpo hídrico.

No sexto capítulo foi realizada uma abordagem abrangente contemplando os estágios da semantificação de dados, desde a coleta até a publicação na Web, possibilitando a adição de significado aos dados de forma a serem compreendidos, tanto por máquinas como por pessoas. O estudo é aplicado às rotas urbanas de linhas de ônibus e, por ser escalável, demonstra potencial de extrapolação para outras localidades.

Boa leitura!

# SUMÁRIO

## SEÇÃO 1: FLUIDODINÂMICA

### **CAPÍTULO 1** ..... 14

#### **ANÁLISE HIDRODINÂMICA DOS CAMPOS DE ENERGIA DAS ONDAS GERADAS PELO VENTO NO RESERVATÓRIO DE TUCURUÍ**

Marcelo Marques

Alejandro Victor Hidalgo Valdivia

Fernando Oliveira de Andrade

Elaine Patricia Arantes

Isabela Arantes Ferreira

DOI 10.53268/BKF21120501

### **CAPÍTULO 2** ..... 23

#### **SIMULAÇÃO NUMÉRICA DOS CAMPOS DE ONDAS GERADAS POR VENTOS SEVEROS NO RESERVATÓRIO DE JURUMIRIM**

Marcelo Marques

Fernando Oliveira de Andrade

Elaine Patricia Arantes

Cristhiane M. Passos Okawa

DOI 10.53268/BKF21120502

### **CAPÍTULO 3** ..... 33

#### **ANÁLISE BIDIMENSIONAL DE MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DO FETCH NO RESERVATÓRIO DE SAN ROQUE, ARGENTINA**

Marcelo Marques

Alejandro Victor Hidalgo Valdivia

Rocio Luz Fernandez

Alexandre Kolodynskie Guetter

Elaine Patricia Arantes

Fernando Oliveira de Andrade

DOI 10.53268/BKF21120503



## SEÇÃO 2: COMPUTAÇÃO APLICADA

### **CAPÍTULO 4** ..... 43

#### **CARACTERIZAÇÃO E SORÇÃO DE FÓSFORO NOS SEDIMENTOS DO RIO CORRENTE DOS MATÕES, PIAUÍ**

Fernanda Benício Coelho de Araújo

Marcio Cleto Soares de Moura

Gláucia Viana dos Santos

DOI 10.53268/BKF21120504

### **CAPÍTULO 5** ..... 58

#### **DESENVOLVIMENTO DE INTERFACE WEB PARA PUBLICAÇÃO DE ROTAS DE ÔNIBUS QUE TRAFEGAM ENTRE AS IES EM UMA CIDADE DO PARANÁ USANDO LOD**

Matheus Minski dos Santos

Milena Bastos Ribas

Lucélia de Souza

Gisane Aparecida Michelin

Josiane Michalak Hauagge Dall'Agnol

DOI 10.53268/BKF21120505

### **CAPÍTULO 6** ..... 70

#### **ANÁLISE DA LARGURA ADICIONAL DOS ESTREITOS DE BREVES E BOIUÇU**

Munik Holanda de Oliveira

DOI 10.53268/BKF21120506

### **ÍNDICE REMISSIVO** ..... 86

### **SOBRE O ORGANIZADOR** ..... 90



# FLUIDODINÂMICA

SEÇÃO 1

## ANÁLISE HIDRODINÂMICA DOS CAMPOS DE ENERGIA DAS ONDAS GERADAS PELO VENTO NO RESERVATÓRIO DE TUCURUÍ

**Marcelo Marques**

[lattes.cnpq.br/0855863872309532](https://lattes.cnpq.br/0855863872309532)

Universidade Estadual de Maringá

**Alejandro Victor Hidalgo Valdivia**

[lattes.cnpq.br/5538035382284444](https://lattes.cnpq.br/5538035382284444)

Universidad Catolica de Santa Maria

**Fernando Oliveira de Andrade**

[lattes.cnpq.br/5175699449525205](https://lattes.cnpq.br/5175699449525205)

Universidade Tecnológica Federal  
do Paraná

**Elaine Patricia Arantes**

[lattes.cnpq.br/5673783965584352](https://lattes.cnpq.br/5673783965584352)

Universidade Estadual de Maringá

**Isabela Arantes Ferreira**

[lattes.cnpq.br/7252508396222629](https://lattes.cnpq.br/7252508396222629)

Universidade Estadual de Maringá

base em na combinação de uma equação paramétrica denominada JONSWAP e da equação de energia fundamentada no conhecimento de mecânica das ondas. Pela técnica empregada denominada Modelagem Paramétrica Bidimensional (MPB), a energia da onda é condicionada exclusivamente por informações de vento (intensidade e direção) e o comprimento do fetch no ponto de interesse. A técnica de modelagem foi aplicada pelo modelo computacional ONDACAD. As maiores quantidades de energia de onda resultaram de ventos provenientes das direções W e WNW, de energia correspondente a  $656 \text{ J/m}^2$  ( $U=5\text{ms}^{-1}$ );  $2624 \text{ J/m}^2$  ( $U=10\text{ms}^{-1}$ );  $5904 \text{ J/m}^2$  ( $U=15\text{ms}^{-1}$ );  $10496 \text{ J/m}^2$  ( $U=20\text{ms}^{-1}$ ).

**PALAVRAS-CHAVE:** Onda; ONDACAD; Fetch.

### 1. INTRODUÇÃO

O vento transfere parte da sua energia para as ondas ao exercer uma força resultante de diferenças de pressão, provocadas por flutuações na velocidade do vento próximo à interface ar-água. A superfície perturbada é restabelecida por ação da gravidade. A interação cíclica entre a força de pressão exercida

**RESUMO** - A simulação da distribuição espacial da energia das ondas geradas pela ação de ventos severos sobre o reservatório de Tucuruí constitui-se no objetivo deste trabalho. Os campos de energia das ondas foram simulados com

pelo vento e a força da gravidade, faz com que as ondas se propaguem, se distanciando progressivamente de sua zona de geração (Marques, 2013).

Os estudos dos campos de energia das ondas geradas por ventos severos são úteis em diversas aplicações, como o transporte de sedimentos e erodibilidade das margens que são, muitas vezes, agravados por oscilações de níveis de água e das ondas do reservatório (Fernandez, 1990), assim como a deposição dos sedimentos no interior do reservatório (Solera, 2010); o dimensionamento da crista de barragem, que deve ser calculada de acordo com os níveis máximos que as ondas podem atingir; o transporte aquaviário que pode ser alterado devido às ações das ondas; fazendas aquícolas que necessitam de condições específicas para o cultivo; a emissão de gases de efeito estufa, presos no fundo do reservatório, onde a onda pode propagar uma perturbação que os faça chegar à atmosfera (Mannich, 2013); e o estudo de ecossistemas aquáticos continentais onde há presença de macrófitas que absorvem o impacto das ondas, reduzindo o processo erosivo nas margens e, conseqüentemente, a turbidez, que afeta a produtividade do corpo d'água e a viabilidade dos ovos de peixes (Thomaz, 2013).

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A ocorrência de ondas é acompanhada de correntes, acelerações e variações de pressão.

A energia das ondas é resultado de uma combinação igualitária entre energia cinética e potencial.

A energia das ondas é resultado de uma combinação igualitária entre energia cinética e potencial, esta condição é descrita pela equação (1), onde se encontra a soma das energias potencial e cinética para as partículas situadas em uma unidade de área, com mesmo comprimento de onda e em um mesmo tempo (Young, 1999):

$$E=(1/8)\rho g H^2 \quad (1)$$

sendo  $\rho$  a massa específica da água,  $g$  a aceleração da gravidade e  $H$  a altura significativa da onda.

O fetch é definido como um comprimento que representa a superfície do espelho d'água sob a ação do vento em uma determinada direção (Marques, 2013). Portanto, apesar de representar uma área, o fetch possui dimensão de comprimento. A altura da onda é função da estimativa do fetch. Neste trabalho, para a determinação do fetch foi utilizado o método de JONSWAP, o qual descreve as ondas em fase de crescimento limitado pelo fetch, demonstrado pela equação 2 (Laing, 1998):

$$(gH/U^2)=0,0016(gF/U^2)^{0,5} \quad (2)$$

sendo que  $U$  representa a velocidade do vento e  $F$ , o fetch.

Ao substituir (2) em (1), tem-se a energia das ondas em função do

fetch e da velocidade do vento, considerando a massa específica da água como  $1000 \text{ kg/m}^3$  e a aceleração da gravidade como  $9,8 \text{ m/s}^2$ , tem-se a equação 3, onde a energia será apresentada em  $\text{J/m}^2$ .

$$E=0,00032FU^2 \quad (3)$$

A técnica de modelagem adotada para simular os campos de energia das ondas é denominada Paramétrica Bidimensional. Foi desenvolvida por Marques (2013) e aplicável a águas continentais de grande superfície como lagos, reservatórios, baías e estuários. A técnica está fundamentada na capacidade de converter um campo de fetch em um campo de energia de ondas por meio de uma equação de transformação, gerando resultados semelhantes aos produzidos por um modelo numérico de base física como o módulo de ondas SWAN do modelo Delft3D.

A técnica de modelagem será aplicada pelo modelo ONDACAD, validado por Marques (2013) pelas aplicações aos reservatórios de Jurumirim, Salto Caxias, Itaipu, Vossoroca, Molinos (Argentina), lagoa Mangueira e os lagos Michigan (EUA/Canadá) e Superior (EUA/Canadá).

Pelo modelo ONDACAD os mapas são gerados por um processo de discretização da superfície do reservatório através da geração de uma malha com resolução de 15 mil nós pela qual os campos de fetch são transformados em campos de ondas pela aplicação de uma equação paramétrica (equação 3).

Os campos de vento são considerados uniformes e de longa duração. Prescinde-se de dados referentes à batimetria do reservatório pois considera-se por hipótese que os campos de ondas são gerados em águas profundas.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pela aplicação do modelo ONDACAD, foram gerados 16 mapas de campo de energia das ondas para cada intensidade do vento (5, 10, 15 e 20 m/s), totalizando 64 mapas. Os mapas de campo de energia de onda para cada direção e para as quatro condições de vento são representados pela Figuras 1 a 4.

As maiores quantidades de energia de onda resultaram de ventos provenientes das direções W e WNW, de energia correspondente a  $656 \text{ J/m}^2$  ( $U=5\text{ms}^{-1}$ );  $2624 \text{ J/m}^2$  ( $U=10\text{ms}^{-1}$ );  $5904 \text{ J/m}^2$  ( $U=15\text{ms}^{-1}$ );  $10496 \text{ J/m}^2$  ( $U=20\text{ms}^{-1}$ ).

Figura 1: Campos de energia das ondas geradas por ventos de 5m/s

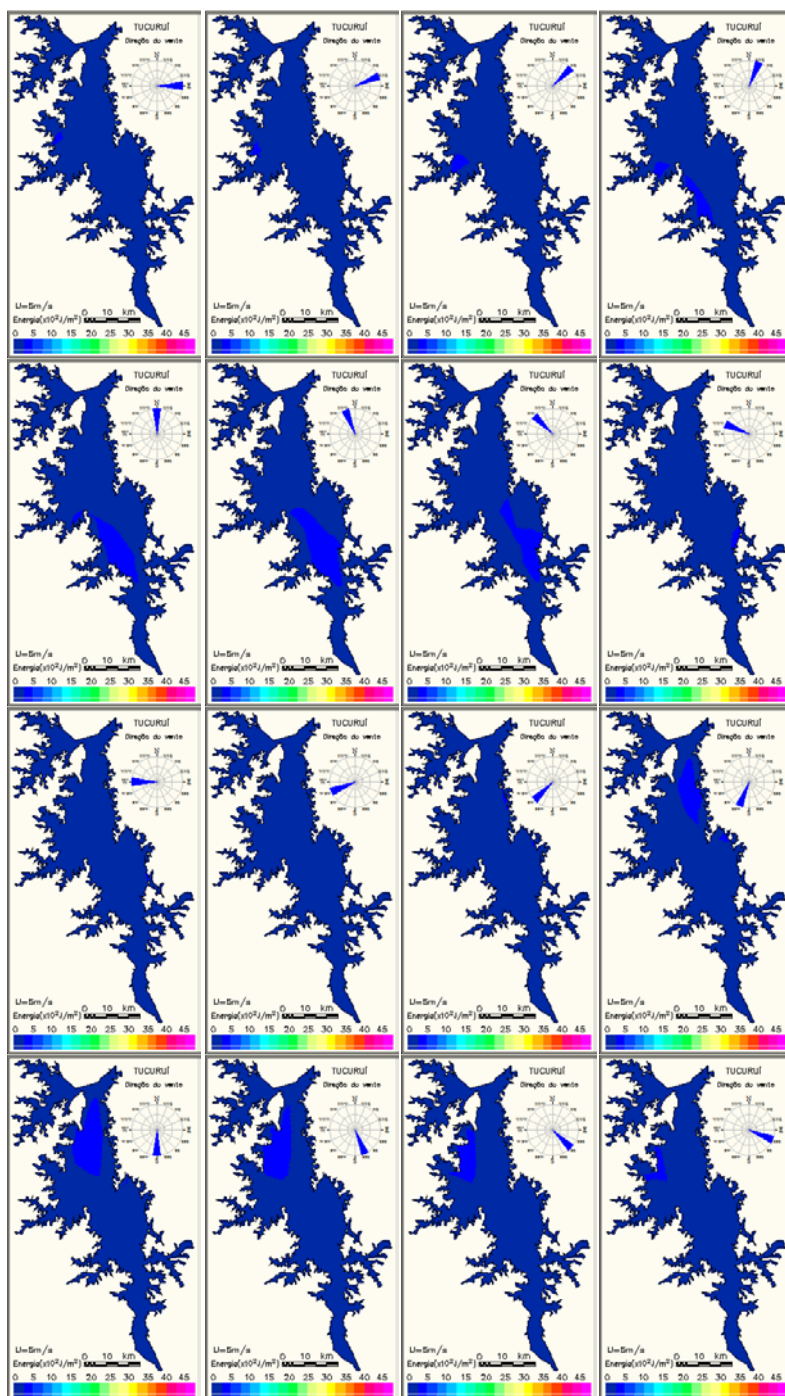


Figura 2: Campos de energia das ondas geradas por ventos de 10m/s

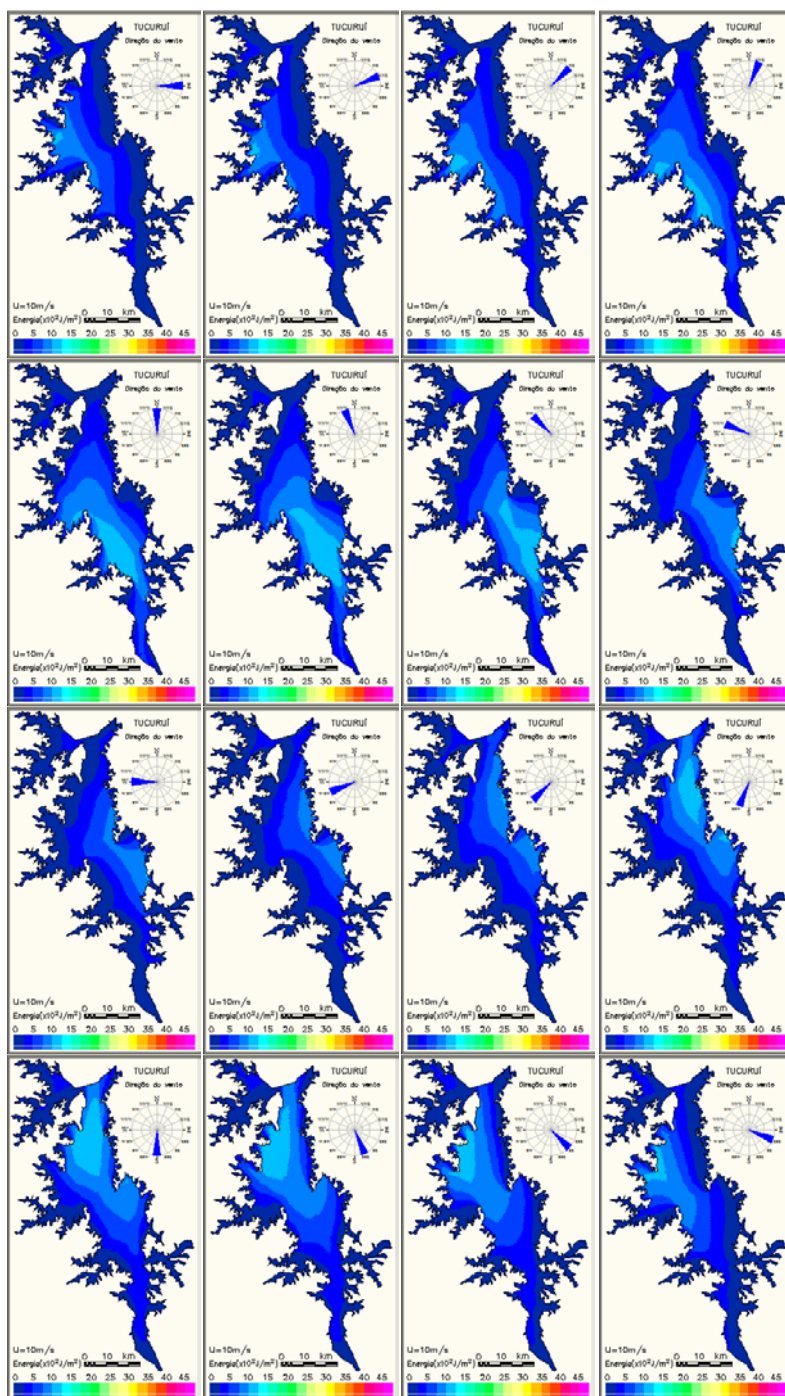




Figura 3: Campos de energia das ondas geradas por ventos de 15m/s

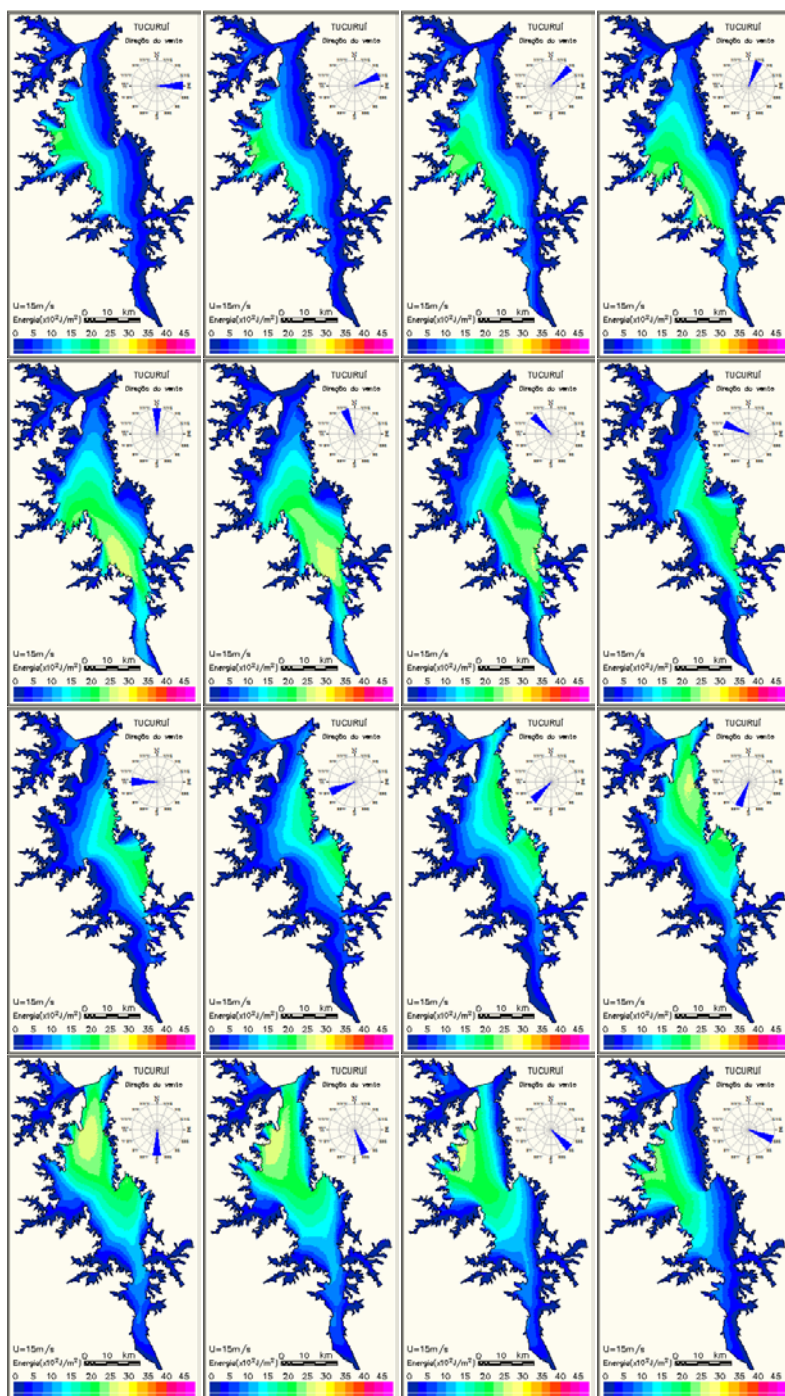
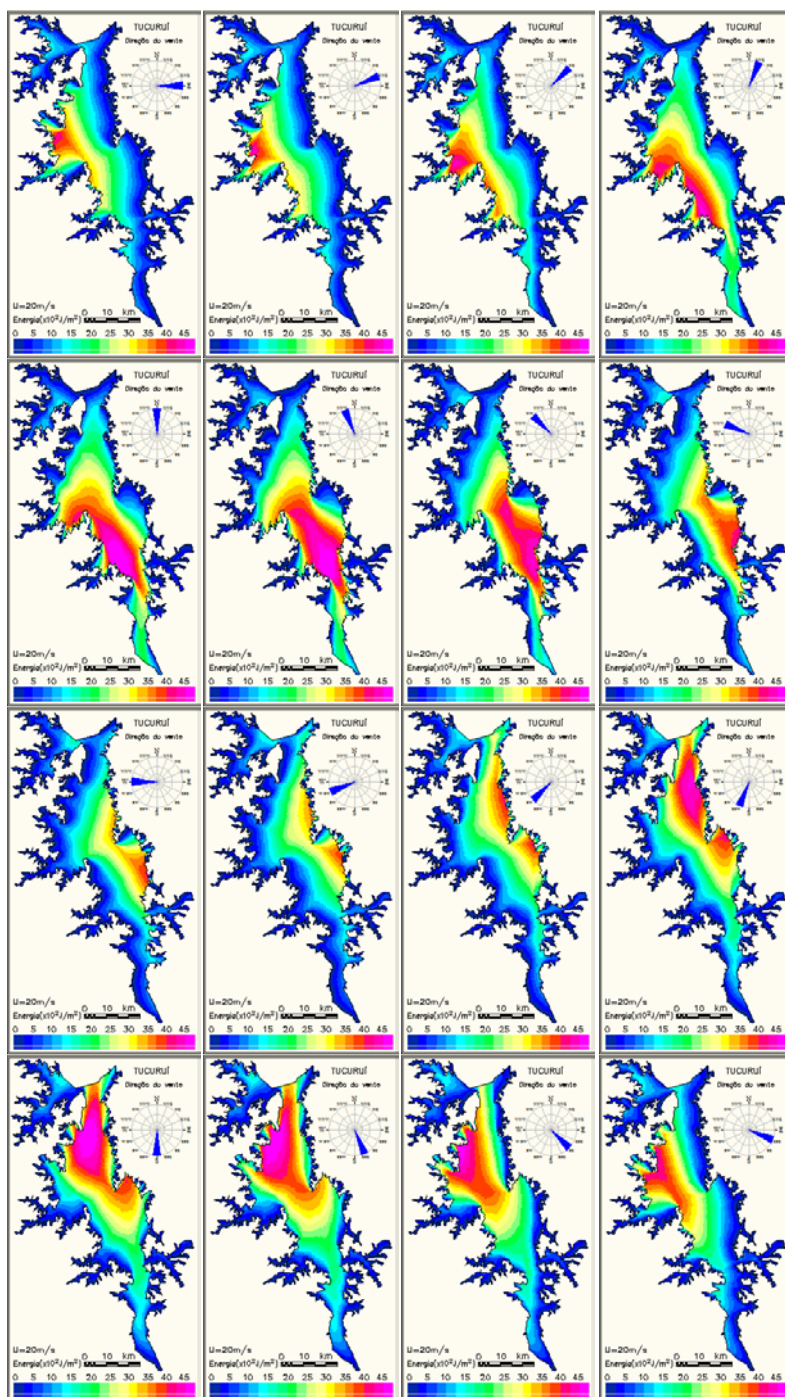


Figura 4: Campos de energia das ondas geradas por ventos de 10m/s



#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar do aspecto irregular do reservatório de Tucuruí e da maior porção do reservatório tender a voltar-se para a direção dos quadrantes pares trigonométricos, verifica-se que as maiores quantidade de energia de onda para certa intensidade do vento mostraram uma fraca dependência com a direção do vento.

Pelo presente estudo fica comprovada a viabilidade de representação da energia das ondas como um campo, pelo emprego da técnica de modelagem Paramétrica Bidimensional.

A generalização dessas conclusões e a validação do modelo JONSWAP para simulação de energia das ondas, demandam estudos complementares, mas demonstra a importância que pode assumir a utilização da técnica de modelagem paramétrica bidimensional na análise de fenômenos gerados pela ação do vento em águas continentais.

#### REFERÊNCIAS

LAING, A. K. (1998). An Introduction to Ocean Waves In: Guide to Wave Analysis and Forecasting. Geneva: Suíça. Cap. 1, p. 1-14.

MANNICH, M. (2013). Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Reservatórios e Lagos - Contribuições para o Monitoramento e Modelagem 1D-Vertical. Tese de doutorado pelo Programa de Pós-Graduação Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. Curitiba: Universidade Federal do Paraná.

MARQUES, M. (2013). Modelagem paramétrica bidimensional para simulação de ondas em águas continentais. Tese de doutorado pelo Programa de Pós-Graduação Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. Curitiba: Universidade Federal do Paraná.

SOLERA, M. L. (2010) Avaliação de Técnicas da Bioengenharia de solos para proteção de taludes: estudo de caso para aplicação nas encostas do reservatório da barragem da UHE Engo Sergio Motta, Rio Paraná, SP/MS. Dissertação de mestrado. Instituto de pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. São Paulo.

THOMAZ, S. M. & BINI, L. M. (2000). A expansão das macrófitas aquáticas e implicações para o manejo de reservatórios: um estudo na represa de Itaipu. In: HENRY, R. (Ed.). Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais. Botucatu: FUNDIBIO; São Paulo: FAPESP. Cap. 20, p. 597-626.

YOUNG, I. R (1999). Wind Generated Ocean Waves. ELSEVIER Adelaide, Austrália, 16 p.

## HYDRODYNAMIC ANALYSIS OF THE WAVES ENERGY FIELDS GENERATED BY THE WIND IN THE TUCURUÍ RESERVOIR

**ABSTRACT** - The simulation of the spatial distribution of wave energy generated by the action of severe winds over the Tucuruí reservoir constitutes the objective of this work. The energy wave fields were simulated based on the combination of a parametric equation called JONSWAP and the energy equation based on knowledge of mechanical waves. The technique used called two-dimensional parametric modeling (MPB), wave energy is conditioned solely by wind information (intensity and direction) and the fetch length of the point of interest. The modeling technique was applied by the ONDACAD computer model. The largest energy quantities are resulting from the wind W and WSW directions and corresponding energy of  $656 \text{ J/m}^2$  ( $U=5\text{ms}^{-1}$ );  $2624 \text{ J/m}^2$  ( $U=10\text{ms}^{-1}$ );  $5904 \text{ J/m}^2$  ( $U=15\text{ms}^{-1}$ );  $10496 \text{ J/m}^2$  ( $U=20\text{ms}^{-1}$ ).

**KEYWORDS:** Wind waves; ONDACAD; Fetch.

## CAPÍTULO 2

# SIMULAÇÃO NUMÉRICA DOS CAMPOS DE ONDAS GERADAS POR VENTOS SEVEROS NO RESERVATÓRIO DE JURUMIRIM

**Marcelo Marques**

[lattes.cnpq.br/0855863872309532](https://lattes.cnpq.br/0855863872309532)

Universidade Estadual de Maringá

**Fernando Oliveira de Andrade**

[lattes.cnpq.br/5175699449525205](https://lattes.cnpq.br/5175699449525205)

Universidade Tecnológica Federal  
do Paraná

**Elaine Patricia Arantes**

[lattes.cnpq.br/5673783965584352](https://lattes.cnpq.br/5673783965584352)

Universidade Estadual de Maringá

**Cristhiane M. Passos Okawa**

[lattes.cnpq.br/1268747202598728](https://lattes.cnpq.br/1268747202598728)

Universidade Estadual de Maringá

**RESUMO** - A simulação da distribuição espacial das ondas geradas pela ação de ventos severos sobre o reservatório da barragem de Jurumirim constituiu-se no objetivo desse trabalho. Por situarem-se próximos à divisa com o Estado do Paraná, os ventos severos foram estimados através da análise de frequência regional de dados provenientes das estações anemométricas do Instituto Meteorológico do Paraná (SIMEPAR).

A análise considerou os registros horários das rajadas medidas nas estações do SIMEPAR para o período de 1998 a 2005. Os testes estatísticos produziram estimativas de ventos severos que variaram entre  $14,6 \text{ ms}^{-1}$  (período de retorno de 10 anos) a  $27,6 \text{ ms}^{-1}$  (período de retorno de 100 anos). As alturas de ondas foram simuladas com base em uma equação paramétrica concebida especificamente para esse reservatório pela aplicação da técnica de modelagem Paramétrica Bidimensional. Por essa técnica, a altura da onda é condicionada exclusivamente por informações de vento (intensidade e direção) e o comprimento do fetch no ponto de interesse. A técnica de modelagem foi aplicada pelo modelo computacional ONDACAD. As maiores alturas de onda resultaram de ventos severos provenientes da direção WNW, produzindo ondas de alturas correspondentes a 1,16m ( $Tr=10$  anos), 1,41m ( $Tr=20$  anos), 1,97m ( $Tr=50$  anos) e 2,67m ( $Tr=100$  anos).

**PALAVRAS-CHAVE:** Onda; Vento; ONDACAD.

## 1. INTRODUÇÃO

Nos ambientes de águas

continentais de grandes espelhos d'água como lagos, reservatórios e estuários, o vento constitui-se no principal forçante da geração dos fenômenos de circulação e perturbação da superfície livre.

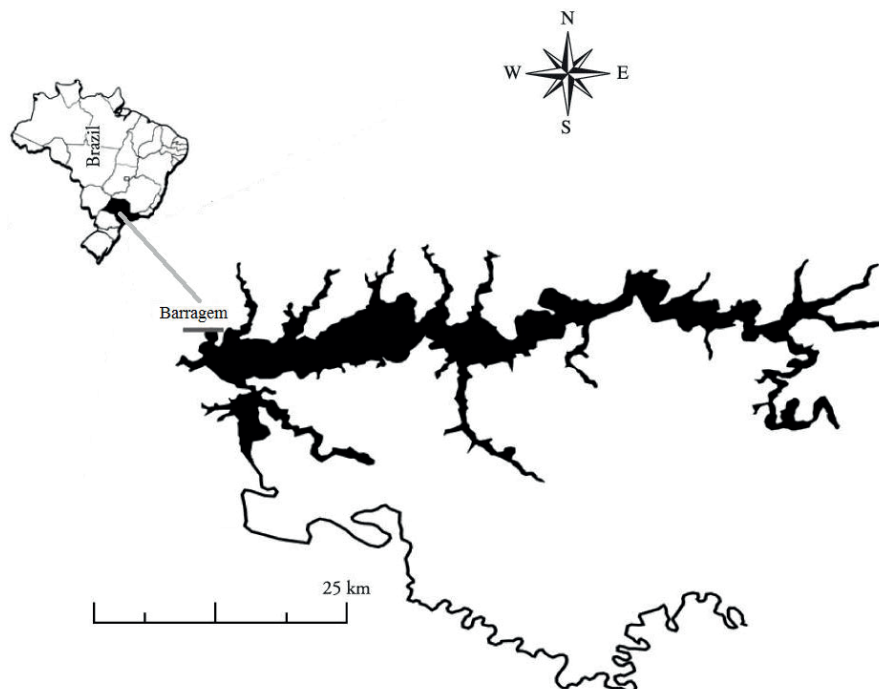
Esses fenômenos podem ser simulados através da quantificação da transferência de energia do vento para um ponto específico da superfície do reservatório pela utilização de equações paramétricas.

Pelos estudos de Marques (2013) foi desenvolvida uma técnica denominada Paramétrica Bidimensional. A técnica é aplicável em águas continentais e está fundamentada na capacidade de transformar um campo de fetch em um campo de ondas pela aplicação de uma equação paramétrica, possibilitando a geração de resultados semelhantes aos produzidos por um modelo numérico de base física. Esta técnica é aplicada ao reservatório de Jurumirim, no rio Paranapanema, no estado de São Paulo, no Brasil.

## 2. ÁREA DE ESTUDO

A represa de Jurumirim fica no estado de São Paulo e é formada pelo represamento pela Barragem de Jurumirim, no rio Paranapanema, conforme mostrado na Figura 1.

Figura 1: Localização do reservatório de Jurumirim



O reservatório de Jurumirim é o primeiro de uma sucessão de reservatórios em cascata no rio Paranapanema, sucedido pelos reservatórios das seguintes usinas hidrelétricas: Piraju I, Piraju II, Chavantes, Ourinhos, Salto Grande, Canoas II, Canoas I, Capivara, Taquaruçu e Rosana.

É considerado um reservatório tipo de acumulação, perfil dendrítico e multi-compartimentado, diferenciando-se em três grandes zonas longitudinais: desembocadura do rio Paranapanema, transição e lântico (TUNDISI, 1993; HENRY et al. 1999).

O reservatório possui as seguintes características morfológicas e hidrológicas (na cota 568 m): área inundada de 484 km<sup>2</sup>, perímetro de 1.115 km, volume de 7,9 x 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>, profundidade máxima de 40 m, profundidade média de 12,90 m, comprimento livre máximo de 30,75 km e largura máxima de 10,50 km, vazão total de 315 m<sup>3</sup>/s e tempo médio de residência, 334 dias, com grandes variações sazonais (HENRY, 1990; NOGUEIRA et al., 1999).

### 3. DETERMINAÇÃO DOS VENTOS SEVEROS

Para estimar a magnitude e frequência dos vendavais no reservatório de Jurumirim, foram analisados dados de rajadas provenientes de 26 estações meteorológicas do (SIMEPAR) registrados no período de 1997 a 2005. Nessas estações, o vento horário é definido como a média dos dez registros de vento medidos nos dez últimos segundos de cada hora. Os anemômetros constituem-se em equipamentos no modelo YOUNG 05103-11, instalados a dez metros de altura. O percentual de falhas e dados espúrios foi de 2,8%.

### 4. MODELO INTERPLOT

Por localizar-se muito próximo à divisa com o estado do Paraná, decidiu-se pela determinação dos ventos severos sobre o Reservatório através de um processo de interpolação com base nos dados históricos de intensidade do vento proveniente das Estações do SIMEPAR. Com vistas a automatizar este processo foi concebido um modelo computacional denominado INTERPLOT, idealizado com vistas a obter a distribuição dos ventos severos sobre o reservatório em estudo.

O modelo foi concebido de modo a fornecer valores intermediários de intensidade e direção do vento, com base nos dados fornecidos por estações meteorológicas de localização conhecida. O modelo assume as seguintes condições: (1) todas as estações estão localizadas a um mesmo nível e, portanto, os vetores gerados por interpolação são coplanares; (2) o efeito no vento, provocado pelo uso e ocupação do solo no local de instalação da estação, é igualmente interpolado.

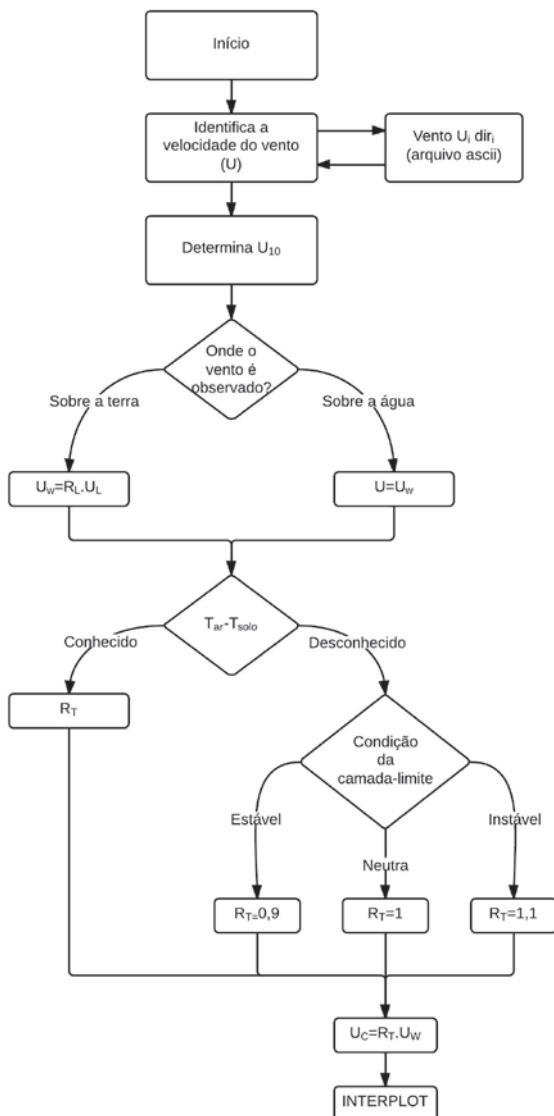
Os dados recebidos são corrigidos por questões de localização da estação (se instalada sobre a terra ou sobre a água), altura da estação (altura de referência de 10 m), variação de temperatura entre o ar e o solo e condição



atmosférica da camada limite.

A localização da estação e a altura são elementos estáticos e recebem um coeficiente de correção para cada estação. A correção pela variação de temperatura entre o ar e o solo é automaticamente realizada quando o registro está presente no arquivo de entrada. Uma estrutura esquemática do módulo de correção do arquivo é mostrada na Figura 2.

Figura 2: Fluxograma de ajuste do dado de vento



O modelo INTERPLOT obtém o campo de vento para as direções  $i$  e  $j$ , perpendiculares entre si, através de interpolação pelo método do inverso ponderado da distância, conforme equações 1 e 2.

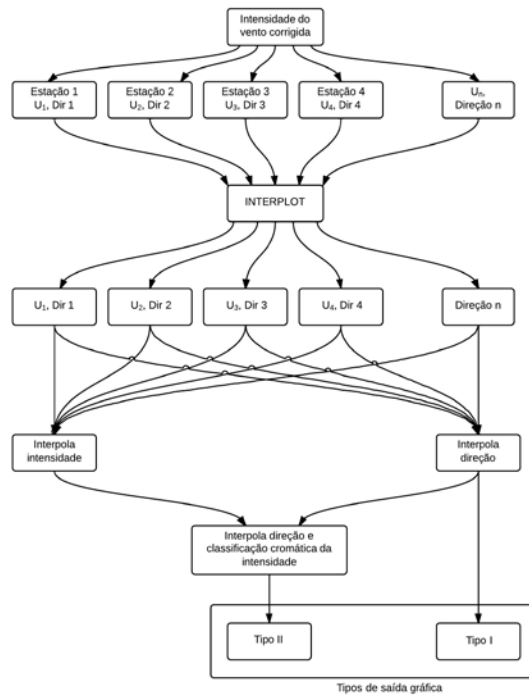
$$u_i = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{u_i}{r_i^\beta}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{r_i^\beta}} \quad [1]$$

$$u_j = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{u_j}{r_j^\beta}}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{r_j^\beta}} \quad [2]$$

O valor interpolado para o nó do reticulado ( $Z$ ) é obtido com base na distância ( $h_{ij}$ ) entre o nó da grade e  $Z_i$ ;  $\beta$  é o expoente de ponderação e  $n$  o número de estações anemométricas envolvidas.

O fluxograma esquemático do processo de interpolação é mostrado na Figura 3.

Figura 3: Obtenção dos campos de vento por meio dos dados das estações



## 5. CAMPOS DE VENTO

Os dados de vento foram descritos e analisados por Gonçalves (2007), que processou as séries de vento horário proveniente das estações meteorológicas do Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR) de 1997 a 2005. Nestas estações, o vento horário é definido como a média dos dez registros de vento medidos nos dez últimos segundos de cada hora.

Na geração da distribuição das ondas, as informações sobre intensidade e direção do vento foram obtidas pela geração dos mapas temáticos representados pela Figura 4. Os períodos de retorno são mostrados pela Tabela 1.

Figura 4: Distribuição espacial da intensidade do vento relacionada a períodos de retorno de 10, 20, 50 e 100 anos

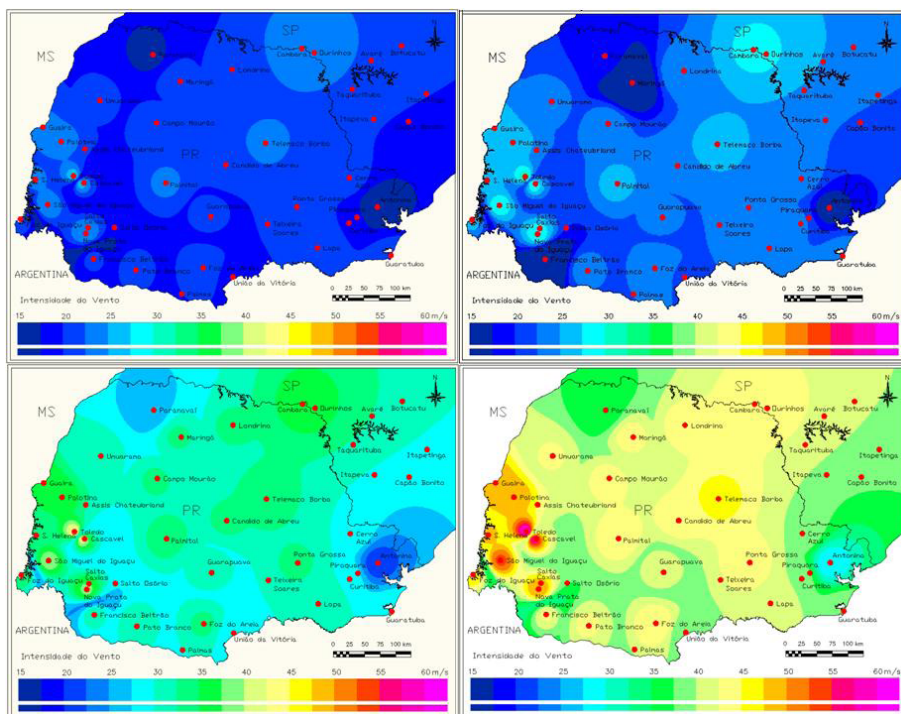


Tabela 1: Intensidade de vento horário severo para o reservatório de Jurumirim

TR (anos)	10	20	50	100
U (m/s)	14,6	16,9	21,9	27,6

## 6. MATERIAIS E MÉTODOS

As alturas de ondas sob campo de vento uniforme no reservatório de Jurumirim foram simuladas pela aplicação de uma equação paramétrica desenvolvida especificamente para esse corpo de água. A equação 3 foi aplicada pelo modelo computacional ONDACAD.

$$H = 0,0064 \frac{U^2}{g} \left[ \frac{gF}{U^2} \right]^{0,3481} \quad [3]$$

sendo H a altura significativa da onda (m), g a aceleração da gravidade ( $\text{ms}^{-2}$ ) e F o *fetch* (m).

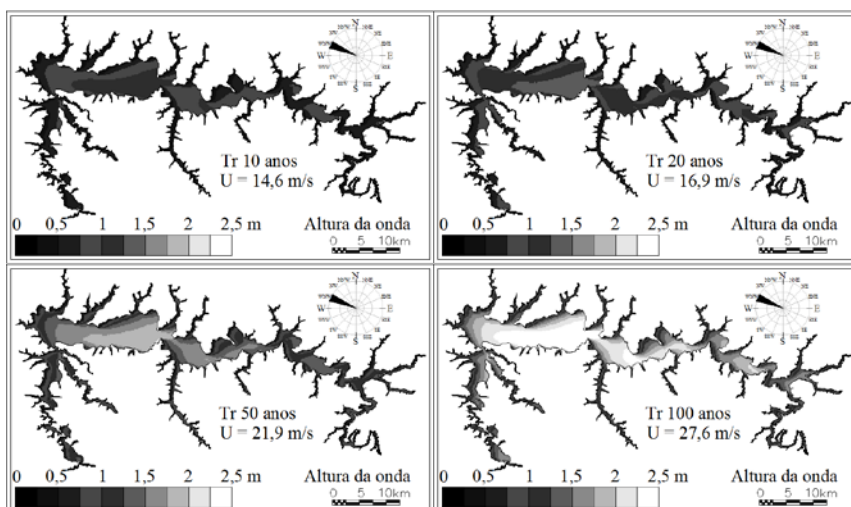
A equação foi obtida por Marques et al. (2014) através de uma análise de regressão envolvendo os campos de *fetch* obtidos pelo modelo ONDACAD e os campos de onda obtidos pela aplicação do modelo SWAN, um modelo numérico de base física amplamente difundido no meio técnico.

O *fetch* foi determinado pelo método de Saville em alta resolução, tratado por Marques (2013). Os ventos severos foram estimados através da análise de frequência regional.

## 7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pela aplicação do modelo ONDACAD, foram gerados 16 mapas de campo de ondas para cada intensidade do vento, totalizando 64 mapas. Na direção WSW é verificada a ocorrência das maiores alturas de onda. Os quatro mapas de campo de onda para essa direção são apresentados de modo ilustrativo na Figura 5.

Figura 5: Campos de ondas gerados por ventos WNW



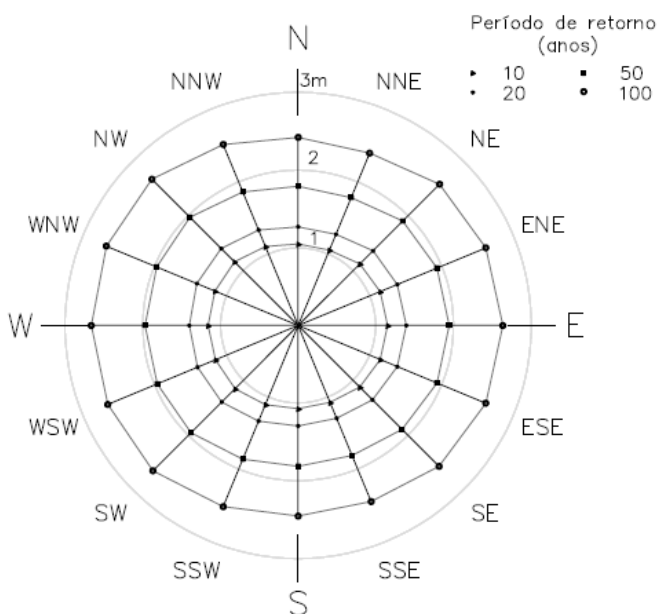
A maior altura de onda correspondente a cada intensidade do vento foi reunida na Tabela 2, a partir da qual foi gerada a Figura 6.

Por essa Figura nota-se uma discreta tendência das maiores alturas de onda acompanharem a direção do rio Paranapanema, e consequentemente, a direção predominante do reservatório. Essa peculiaridade pode favorecer o desenvolvimento de métodos de estimativa da altura máxima da onda em função da magnitude do reservatório.

Tabela 2: Maiores alturas de onda para cada direção relacionadas aos períodos de retorno do vento

Tr	Direção	E	ENE	NE	NNE	N	NNW	NW	WNW	W	WSW	SW	SSW	S	SSE	SE	ESE
	Fetch máx (km)	9,3	9,1	8,7	7,2	7,3	8,2	9,6	9,7	9,6	9,5	9,4	8,2	7,6	7,6	8,6	9,1
10	14,6	1,15	1,14	1,12	1,05	1,05	1,10	1,16	1,16	1,16	1,15	1,15	1,10	1,07	1,07	1,12	1,14
20	16,9	1,39	1,38	1,36	1,27	1,27	1,33	1,40	1,41	1,40	1,40	1,39	1,33	1,29	1,29	1,35	1,38
50	21,9	1,94	1,93	1,90	1,78	1,79	1,86	1,97	1,97	1,97	1,96	1,95	1,86	1,81	1,81	1,89	1,93
100	27,6	2,63	2,61	2,57	2,40	2,42	2,52	2,66	2,67	2,66	2,65	2,64	2,52	2,45	2,45	2,56	2,61

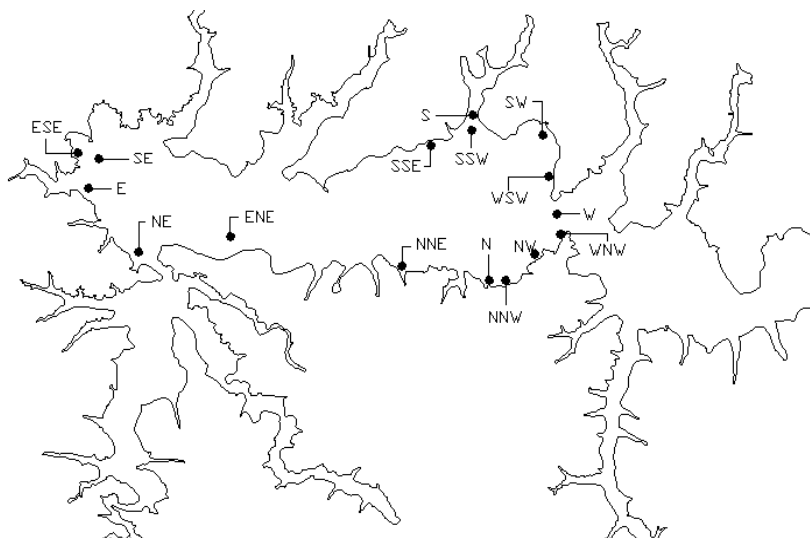
Figura 6: Alturas das maiores ondas para cada direção e período de retorno correspondente



A localização das maiores alturas das ondas é ilustrada na Figura 7. A quase totalidade das ocorrências não foi verificada na margem a sotavento na direção do maior comprimento livre. Esta constatação deve ser levada

em conta quando se tentar determinar de forma gráfica, manualmente, e, portanto, intuitivamente, a posição da ocorrência da maior altura de onda.

Figura 7: Localização das maiores ondas no reservatório de Jurumirim



## 8. CONCLUSÕES

Apesar do aspecto dendrítico do contorno da Represa de Jurumirim, verifica-se que as maiores alturas de onda para certa intensidade do vento mostraram uma fraca dependência com a direção do vento. Isso tem dois motivos principais: a atenuação do fetch pelo método geométrico de Saville e a potência do termo que envolve o fetch na equação paramétrica, por constituir-se em um número menor do que um.

É constatada a independência entre localização das maiores alturas de onda e a intensidade do vento. Ventos de diferentes intensidades não alteraram a localização das maiores ondas.

A generalização dessas conclusões demanda estudos complementares, mas demonstra a importância que pode assumir a utilização da técnica de modelagem paramétrica bidimensional na análise de fenômenos gerados pela ação do vento em águas continentais.

## REFERÊNCIAS

Henry, R.; Nogueira, M. G. (1999). **A represa de Jurumirim: primeira síntese sobre o conhecimento limnológico**. In: HENRY, R. (Ed.). Ecologia de reservatórios: Estrutura, função e aspectos sociais, FUNDIBIO, Botucatu. p. 651-686.

Marques, M. (2013). **Modelagem paramétrica bidimensional para simulação de ondas em águas continentais**. Tese de doutorado pelo Programa de Pós-Graduação Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. Curitiba: Universidade Federal do Paraná.

Marques, M.; Andrade, F. O.; Guetter, A. K. (2012). **A model for wind field generation on the State of Paraná – Brazil**. In: 3rd WMO/WWRP International Symposium on Nowcasting and Very Short Range Forecasting, Rio de Janeiro.

Nogueira, M. G.; Henry, R.; Maricato, F. E. (1999). **Spatial and temporal heterogeneity in the Jurumirim Reservoir**, São Paulo, Brazil. *Lakes Reserv. Manage.*, v.4, p.107-120, 1999.

Saville, T. (1954). **The effect of fetch width on wave generation**. *Journal Technical Memorandum*, n. 70, 1954.

Tundisi, J. G. (1993). **Theoretical basis for reservoir management**. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, Stuttgart, v. 25, 1153-1156, 1993.

## NUMERICAL SIMULATION OF WAVE FIELDS GENERATED BY SEVERE WINDS IN THE JURUMIRIM RESERVOIR

**ABSTRACT:** This work presents the spatial distribution of waves generated by the action of severe winds on the reservoir of Jurumirim. As it is situated near the border with Paraná State, the severe winds were estimated through the analysis of regional frequency for several meteorological stations of the SIMEPAR. The analysis considered the records of severe wind measures in the stations of SIMEPAR for the period of 1998 to 2005. The statistical tests producing estimates of severe winds that ranged from  $14,6 \text{ ms}^{-1}$  (return period of 10 years) to  $27,6 \text{ ms}^{-1}$  (return period of 100 years). The wave heights were estimated by parametric equation designed specifically for this reservoir by applying the technique of dimensional Parametric Modeling. The highest waves resulted from severe winds coming from the WNW direction, producing waves of 1,16 m ( $\text{Tr}=10$  years), 1,41m ( $\text{Tr}=20$  years), 1,97m ( $\text{Tr}=50$  years) and 2,67m ( $\text{Tr}=100$  years).

**KEYWORDS:** Wind Wave; Fetch; ONDACAD.



# ANÁLISE BIDIMENSIONAL DE MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DO FETCH NO RESERVATÓRIO DE SAN ROQUE, ARGENTINA

**Marcelo Marques**

[lattes.cnpq.br/0855863872309532](https://lattes.cnpq.br/0855863872309532)

Universidade Estadual de Maringá,  
Paraná, Brasil

**Alejandro Victor Hidalgo Valdivia**

[lattes.cnpq.br/5538035382284444](https://lattes.cnpq.br/5538035382284444)

Universidade Católica de Santa  
Maria, Arequipa, Peru

**Rocio Luz. Fernandez**

Conselho Nacional de Pesquisa  
Científica e Técnica, Argentina

**Alexandre Kolodynskie Guetter**

[lattes.cnpq.br/4438410083931646](https://lattes.cnpq.br/4438410083931646)

Universidade Federal do Paraná,  
Paraná, Brasil

**Elaine Patricia Arantes**

[lattes.cnpq.br/5673783965584352](https://lattes.cnpq.br/5673783965584352)

Universidade Estadual de Maringá,  
Paraná, Brasil

**Fernando Oliveira de Andrade**

[lattes.cnpq.br/5175699449525205](https://lattes.cnpq.br/5175699449525205)

Universidade Tecnológica Federal  
do Paraná, Paraná, Brasil

**RESUMO** - O reservatório San Roque se constitui na principal fonte de água (70%) para a cidade de Córdoba, a segunda maior cidade da Argentina. Analogamente a muitos corpos hídricos do planeta, a grande superfície do reservatório favorece a ocorrência de fenômenos gerados pelo vento. Estes, por sua vez, são quantificados pela distribuição do fetch. Este é o motivo que torna o campo de fetch inovador: permite quantificar os efeitos no corpo hídricos devido à ação do vento. Estes efeitos se manifestam como altura e energia de ondas, seiches, tensões de fundo, transporte de sedimentos, desestratificação térmica e erosões de margens. Por este capítulo é apresentada a análise bidimensional comparativa entre dois importantes métodos de obtenção do fetch. Os métodos foram recomendados em publicações distintas do *Shore Protection Manual*, sem mencionar as implicações da escolha nas respectivas épocas. A análise comparativa bidimensional foi realizada através da aplicação do modelo computacional ONDACAD. Os mapas de campo de fetch pelos dois métodos revelaram que a localização do maior fetch não é condicionada pelo método adotado.

Por ambos os métodos os maiores valores de fetch ocuparam regiões próximas, junto à margem a sotavento. Quanto à distribuição, por um dos métodos foram gerados campos de fetch mais suaves e sem descontinuidades aparentando, mesmo que intuitivamente, ser mais adequado para representar fenômenos como alturas de ondas e seiches. Esses resultados contribuem para a compreensão do comportamento das respostas geradas pelos métodos no espaço bidimensional em corpos hídricos interiores de grande superfície, como baías, lagos, reservatórios.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fetch; Onda; ONDACAD.

## 1. INTRODUÇÃO

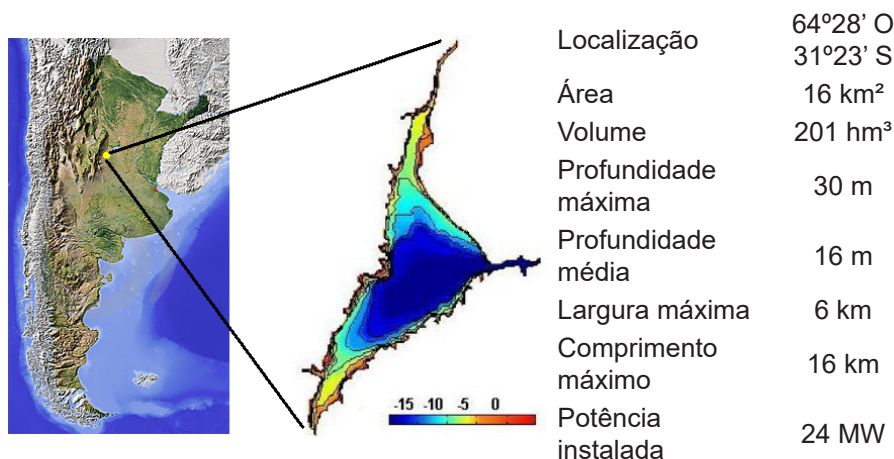
Uma parcela significativa da população mundial vive em áreas próximas a margens de oceanos, lagos e rios. Historicamente, estes sistemas naturais vêm sendo desenvolvidos e manipulados para o benefício da sociedade sem a devida consideração aos impactos gerados. Tratando-se de lagos e reservatórios, importantes impactos ocorrem devido à ação do vento, o forçante de maior influência no processo de circulação hidrodinâmica e na formação de ondas. A energia do vento é transferida para a onda no decorrer da pista de vento ou fetch. É definido como um comprimento que representa a região sobre a superfície livre de um corpo d'água sobre ação do vento em uma determinada direção.

O fetch é determinado através de métodos de natureza geométrica, geralmente de aplicação pontual. O presente trabalho foi motivado pela diversidade de resultados relativos a este tema, verificados em diferentes estudos, os quais trataram da determinação do fetch máximo para o reservatório da barragem de Ilha Solteira, localizado entre os Estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul. Pelos resultados de Lima *et al.* (2003) o fetch determinado pelo método oceânico foi de 48 km, enquanto Marques *et al.* (2007) obteve 12,3 km pelo método proposto por Saville (1954) e chega-se ao comprimento de 34 km pela raiz quadrada da superfície livre do reservatório. Considerando a diversidade de métodos para a determinação do fetch e o desvio entre estes resultados, pelo presente estudo é utilizado o conceito de campo de fetch apresentado por Marques *et al.* (2013) de modo a realizar uma análise comparativa bidimensional entre dois métodos bastante difundidos.

## 2. ÁREA DE ESTUDO

O reservatório San Roque se localiza na província de Córdoba, Argentina, sendo a principal fonte de água (70%) para a cidade de Córdoba (a segunda maior cidade da Argentina). A Figura 1 ilustra a localização e apresenta algumas características físicas do reservatório.

Figura 1: Localização do Reservatório San Roque



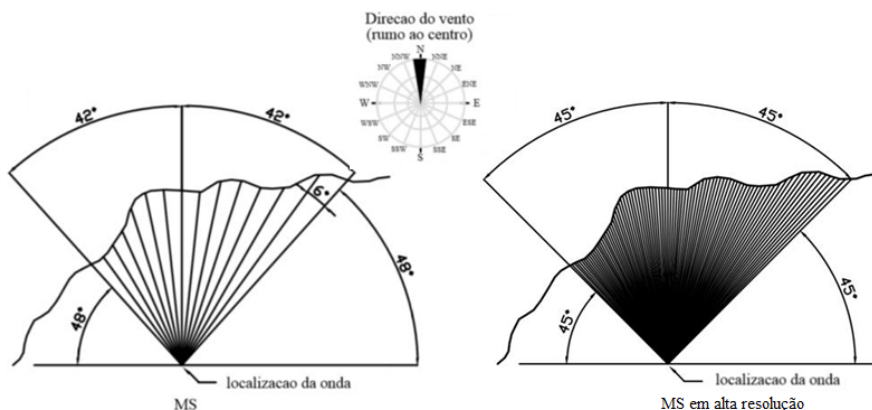
### 3. MÉTODOS

Por tratar-se de métodos geométricos, a determinação do fetch passa a ser fortemente influenciada pelo formato das margens. Os métodos aqui comparados constituem-se em métodos de aplicação pontual. São convencionalmente aplicados utilizando-se planilha eletrônica e um programa de desenho assistido por computador. Conforme exposto por Marques (2005), métodos desse tipo são de aplicação trabalhosa ao projetista, por exigir uma excessiva quantidade de operações gráficas através do emprego simultâneo de planilha eletrônica. Este aspecto incita o projetista a determinar o fetch para poucos pontos, inserindo um fator de subjetividade à aplicação do método. Apesar de constituir-se em métodos amplamente empregados, a quantificação dos desvios entre os resultados gerados passou a ser possível pela utilização do conceito de campo de fetch, explorado com profundidade por Marques (2013), permitindo a determinação dos desvios relativos relacionados a estes métodos. Entende-se como desvio relativo a razão entre valores de fetch em uma mesma posição geográfica ou referentes ao um mesmo nó da malha. Os mapas temáticos de distribuição do fetch bem como os mapas de desvios relativos foram obtidos pelo modelo computacional ONDACAD, o qual vem sendo aperfeiçoado desde Marques (2005). Para o presente estudo o modelo ONDACAD foi adaptado de modo a permitir a distribuição do fetch por dois métodos descritos a seguir.

O primeiro método é apresentado por Saville (1954), recomendado por *U.S. Army Coastal Engineering Research Center* (1966) e aperfeiçoado por Marques (2013) que passou a considerar uma resolução angular de um segmento de reta a cada grau, ao invés de um segmento a cada seis graus como originalmente proposto por Saville (1954). É aqui denominado de método MS e determinado pela equação [1]. Pela imagem da esquerda na

Figura 2 é mostrado o traçado do método originalmente proposto por Saville (1954) e pela imagem da direita é mostrado o aspecto do traçado após o aumento da resolução angular apresentado por Marques (2013).

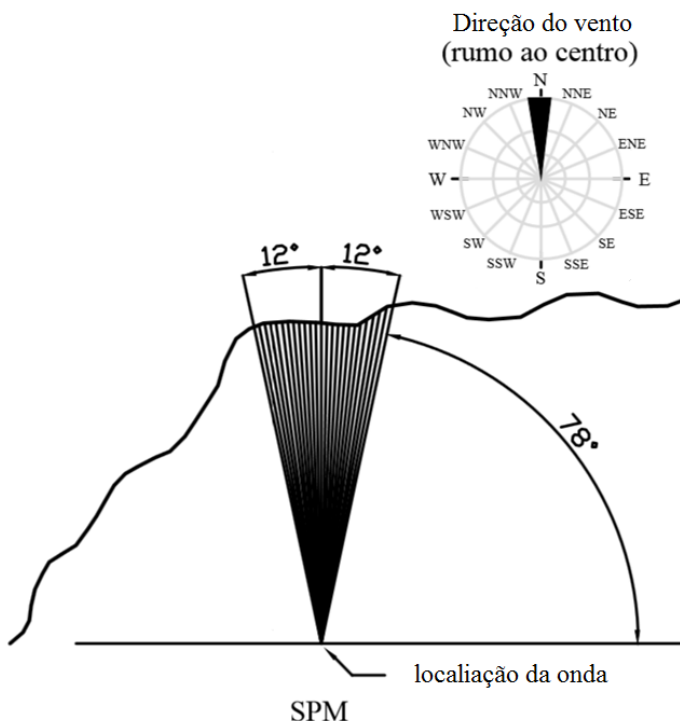
Figura 2: Aplicação esquemática do método de Saville (esquerda) e do método de Saville em alta resolução (direita)



$$F = \frac{\int_{-45}^{45} x_i \cos \phi d\phi}{\int_{-45}^{45} \cos \phi d\phi} \quad [1]$$

O segundo método foi recomendado por *U.S. Army Coastal Engineering Reserch Center* (1984) e determina a extensão do fetch pela construção de 24 radiais em intervalos de 1 grau. Esse método é aqui denominado de SPM. Pelo método, o fetch é determinado pela média aritmética dos comprimentos das linhas auxiliares. O traçado esquemático para a aplicação dos métodos é mostrado pela Figura 3 para vento norte.

Figura 3: Aplicação esquemática do método SPM para vento norte



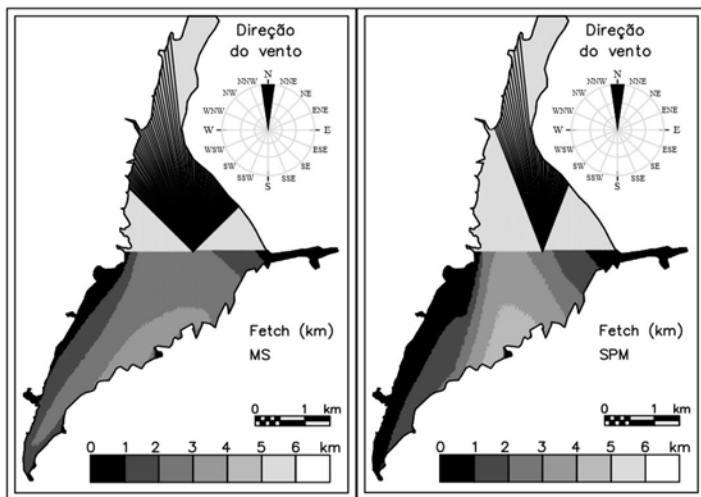
A distribuição dos maiores valores de fetch foi realizada por Marques *et al.* (2013). Com base naquele estudo decidiu-se pela adoção do vento norte por tratar-se de uma direção representativa de valores de *fetch* elevados.

#### 4. MODELO ONDACAD

A distribuição do fetch de modo automatizado é realizada por um programa concebido em linguagem LISP denominado ONDACAD podendo ser interpretado por programas de projeto assistido por computador, como o AutoCAD, zwcAD e CorelCAD.

Um dos módulos do modelo ONDACAD gera a distribuição do fetch com base na discretização da superfície do corpo de água pela geração de uma malha estruturada quadrangular. Os nós da malha são percorridos respeitando-se a direção do vento fornecida e aplicando o método de Saville em alta resolução (Figura 4a) e o método SPM (Figura 4b).

Figura 4: Processamento propositalmente interrompido para ilustrar a aplicação do conceito do campo de fetch pelos métodos MS (esquerda) e SPM (direita)



A análise comparativa entre os métodos será obtida pela geração de um mapa resultante da razão entre os comprimentos de fetch em cada nó da malha pelos métodos SPM e MS, respectivamente.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação do modelo ONDACAD com base nos métodos MS e SPM resultou nos campos de fetch mostrados pela Figura 5. Comparativamente, quanto ao aspecto da distribuição do *fetch*, o método SPM apresentou uma distribuição com variações maiores em pequenas distâncias. Já o método MS gerou um campo com aspecto mais próximo do esperado para um campo de ondas, mesmo que intuitivamente, devido à maior atenuação, quando comparado com o método SPM.

Quanto aos maiores valores de *fetch*, independentemente da localização, verifica-se que o *fetch* máximo foi de 3,6 km pelo método MS e de 4,8 km pelo método SPM. Portanto, em termos de comprimentos extremos, o fetch máximo pelo método SPM superou o método MS em 33%.

Visando uma melhor visualização dos desvios envolvidos, decidiu-se por gerar mapas representando a razão entre os campos de fetch mostrado pela Figura 5.

Os desvios máximos atingiram o valor de 1,8, como pode ser verificado pela Figura 6a. Portanto o método SPM pode resultar em comprimentos de fetch até 80% superiores aos obtidos pelo método MS para o reservatório e a direção considerados. Esses desvios máximos ocorreram próximos da

margem a barlavento e, portanto, afastados da região de ocorrência dos valores de fetch máximo.

O mapa de desvios inferiores à unidade representa os pontos nos quais o comprimento do fetch pelo método MS superou os comprimentos pelo método SPM. Pela Figura 6b é possível verificar que essa condição ocorreu para valores no entorno da parte mais central do reservatório, iniciando nas margens a barlavento.

Figura 5: Distribuição do *fetch* por MS e SPM para vento N

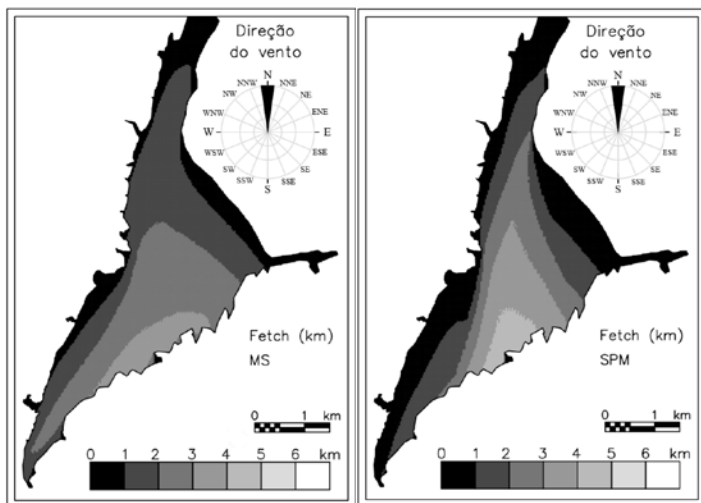
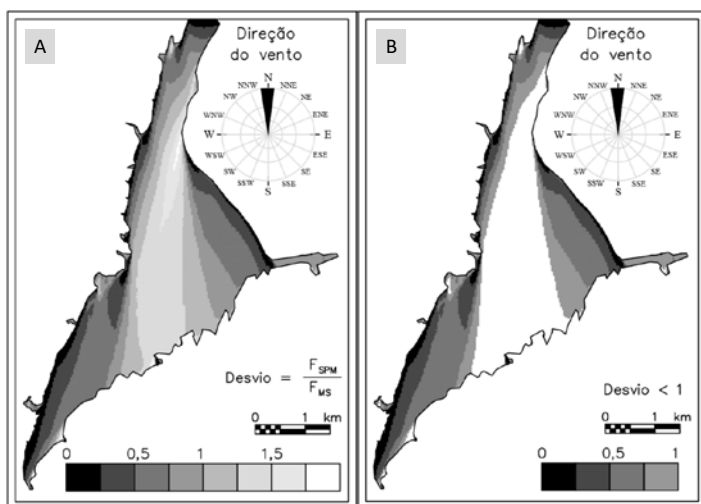


Figura 6: (a) mapa de desvio e (b) mapa para desvios inferiores a 1



Como nas margens a barlavento não ocorrem ondas máximas, se pode constatar que, em caso de comparação entre estudos, cada qual utilizando um dos dois métodos, é mais adequada a majoração dos comprimentos de fetch máximo obtido pelo método MS em 33%, ou minorar o comprimento do fetch obtido pelo método SPM em 25%.

Apesar de parecer, mesmo que intuitivamente, que a distribuição do campo de fetch pelo método de Saville se aproxima mais do aspecto esperado para um campo de ondas, uma análise conclusiva poderá ser feita através de um estudo futuro visando determinar qual dos dois modelos gera um campo de fetch que melhor se correlaciona com o campo de ondas gerados por um modelo numérico de base física em diagrama adimensional de  $(gFU^{-2}) \times (gHU^{-2})$ .

## 6. CONCLUSÕES

Os mapas de campo de fetch revelaram que a localização do maior *fetch* não é condicionada pelo método adotado. Por ambos os métodos os maiores valores de fetch ocuparam regiões próximas, junto à margem a sotavento.

Quanto à distribuição, o método MS gerou campos de fetch mais suaves e sem descontinuidades aparentando, mesmo que intuitivamente, ser mais adequado para representar fenômenos como campos de onda e seiches.

Quanto aos desvios, o método MS gerou resultados maiores próximo às margens laterais e o método SPM gerou comprimentos maiores na região mais central. Curiosamente em aproximadamente metade da superfície total um método superou o outro. Na região dos maiores valor de fetch, o método SPM gerou comprimentos da ordem de 30% superiores ao método MS.

O conhecimento dos desvios entre os métodos pode contribuir para o aproveitamento de resultados de estudos publicados bem como auxiliar na compreensão do comportamento dos métodos no espaço bidimensional.

## REFERÊNCIAS

LIMA, S. F.; NASCIMENTO, M. F.; UAISONE, A. J. R. & NEVES, C. F. (2003). **Estimativa das maiores ondas geradas pelo vento no reservatório de Ilha Solteira**. In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Curitiba: Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2003.

MARQUES, M. (2005) **Sistema para estimativa de ondas geradas por ventos em reservatórios de barragens**. 2005. 137 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira.

MARQUES, M. (2013). **Modelagem paramétrica bidimensional para simulação de ondas em águas continentais**. Tese de doutorado - Programa de Pós-Graduação



Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. Curitiba: Universidade Federal do Paraná. 219 pp.

MARQUES, M.; ANDRADE, F. O.; GUETTER, A. K. (2013). **Conceito do Campo de fetch e sua Aplicação ao reservatório de Itaipu**. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 18, p. 243-253, 2013.

SAVILLE, T., (1954). **The effect of fetch width on wave generation**. *Journal Technical Memorandum*, n. 70.

U. S. ARMY CORPS OF ENGINEERS (1966). **Coastal Engineering Manual (CEM)**, *Engineer Manual 1110-2-1100*, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, D.C. (6 vol.).

U. S. ARMY CORPS OF ENGINEERS (1984). **Coastal Engineering Manual (CEM)**, *Engineer Manual 1110-2-1100*, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, D.C. (6 vol.).

### BIDIMENSIONAL ANALYSIS OF FETCH DETERMINATION METHODS IN THE SAN ROQUE RESERVOIR, ARGENTINA

**ABSTRACT** - The concept of fetch is applied to San Roque reservoir, Argentina, by allowing a comparative analysis of two significant bidimensional methods to estimate fetch values. The methods were cited and recommended by different publications in the Shore Protection Manual, without mentioning the implications of the suggestion. The comparative analysis was performed by the implementation of the numerical model ONDACAD. The computation of the effective fetch by the two methods revealed that the location of the largest fetch is not conditioned by the selected method. For both methods the largest fetch values occupied the near areas of the leeward margin. Regarding the fetch distribution, the method of Saville generated more continue and smooth field of the fetch and seemed to be the model more appropriate to represent wave field and seiche phenomena. The understanding of the deviations among the methods could contribute to the use of results of published studies as well as to clarify the behavior of the methods in the two-dimensional space.

**KEYWORDS:** Fetch; Windwaves; ONDACAD.



# COMPUTAÇÃO APLICADA

SEÇÃO 2

# CARACTERIZAÇÃO E SORÇÃO DE FÓSFORO NOS SEDIMENTOS DO RIO CORRENTE DOS MATÕES, PIAUÍ

**Fernanda Benício Coelho de Araújo**

[lattes.cnpq.br/6302388784862807](http://lattes.cnpq.br/6302388784862807)

Universidade Federal do Piauí –  
UFPI

**Marcio Cleto Soares de Moura**

[lattes.cnpq.br/6836764301864738](http://lattes.cnpq.br/6836764301864738)

Universidade Federal do Piauí –  
UFPI

**Gláucia Viana dos Santos**

[lattes.cnpq.br/4018304671183268](http://lattes.cnpq.br/4018304671183268)

Universidade Federal do Piauí –  
UFPI

**RESUMO** - Este trabalho teve como propósito avaliar as concentrações de fósforo e nitrogênio nos sedimentos nas épocas seca e chuvosa e os parâmetros de adsorção de fósforo do rio Corrente dos Matões na região hidrográfica do Parnaíba/PI. A amostragem dos sedimentos foi realizada em nove pontos da microbacia, nos meses de setembro de 2013 (período seco) e fevereiro de 2014 (período chuvoso), compreendendo nascentes, segmentos intermediários e foz. Nos sedimentos foi realizada

a granulometria e medidas as concentrações das frações de fósforo (fósforo total, fósforo inorgânico total, fósforo orgânico total) e nitrogênio total, além da determinação dos parâmetros de adsorção de fósforo. O período de amostragem (período seco) e a baixa capacidade de diluição do rio e algumas atividades antrópicas (fontes de poluição difusas) contribuíram para o aumento nas concentrações de fósforo e nitrogênio total em sedimentos do rio. Além disso, os parâmetros de adsorção de fósforo, através das isothermas de Langmuir e Freundlich, apresentaram o comportamento da adsorção de fósforo que foram maiores na região intermediária do rio, podendo estar associada às características dos sedimentos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Adsorção; Isoterma de Langmuir; Fosfato.

## 1. INTRODUÇÃO

O sedimento pode ser considerado como o resultado da integração de todos os processos que ocorrem em um sistema aquático. Nele, ocorrem processos biológicos, físicos e químicos, que influenciam no metabolismo de todo o sistema. Além disso, é importante na avaliação

da intensidade e das formas de impactos a que os ecossistemas aquáticos estão ou estiveram submetidos. Na maioria dos ecossistemas aquáticos, o sedimento é o compartimento que apresenta a maior concentração de nutrientes (ESTEVEZ, 2011).

O enriquecimento de nutrientes, principalmente de nitrogênio e fósforo em sedimentos, está diretamente ligado à biomassa vegetal e animal, assim como aportes antrópicos. Em termos de poluição nos ecossistemas aquáticos, a adição de matéria inorgânica como, por exemplo,  $\text{PO}_4^{3-}$  e  $\text{NO}_3^-$ , altera a qualidade dos recursos hídricos. Em ambientes rurais, em média, de 10 a 25% desses nutrientes são levados para as águas pelo uso excessivo de fertilizantes nitratos, amônio, e fósforo como  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$  e  $\text{PO}_4^{3-}$ , os quais contribuem para a eutrofização (HOUSE et al., 2001).

O uso agrícola dos solos, em microbacias hidrográficas, altera a quantidade e as características dos sedimentos carregados em suspensão pelo escoamento superficial, onde são modificados pela ação antrópica. Uma vez atingindo um ambiente aquático, os sedimentos podem atuar tanto como dreno quanto como fonte de P para a água, diminuindo ou potencializando os processos de eutrofização (KOSKI-VÄHÄLÄ e HARTIKAINEN, 2001).

Nesse sentido, a disponibilidade de P nos sedimentos é controlada também pelos processos físico-químicos de adsorção e dessorção, já que a avaliação apenas dos teores de fósforo na água não é suficiente para caracterizar um ambiente eutrófico de um rio. Precisa-se, assim, considerar também a capacidade de adsorção e dessorção do P em sedimentos. Portanto, o sedimento constitui um compartimento de suma importância na avaliação da intensidade e formas de impactos a que os ecossistemas aquáticos estão ou estiveram submetidos, pois realizam constantes trocas de nutrientes e outras substâncias poluentes ou não com a coluna d'água (PELLEGRINI et al., 2008).

Desta forma, o fracionamento químico do fósforo em sedimentos fornece importantes informações sobre o comportamento geoquímico e a disponibilidade biológica deste nutriente. Portanto, é importante a determinação da relação entre a composição do sedimento e o fosfato a ele ligado, para avaliar o potencial deste compartimento em liberar fósforo para a fase aquosa (SANTOS et al., 2010).

Neste contexto, o foco na matriz sedimentar de sistemas aquáticos, em especial do rio Corrente dos Matões, possibilita avaliar a qualidade dos ecossistemas, pois constitui um compartimento capaz de estocar nutrientes e matéria orgânica que pode representar potenciais contaminantes químicos, disponibilizando-os através de processos biogeoquímicos para a biota e/ou para a coluna d'água. Além disso, oferecem dados pretéritos sobre os processos de deposição e sobre a geologia da bacia resultando em um parâmetro abiótico excelente para o diagnóstico ambiental (PAULA FILHO, 2012).

Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo avaliar as concentrações de fósforo e nitrogênio nos sedimentos nas épocas seca e chuvosa e obter os parâmetros de adsorção de fósforo do rio Corrente dos Matões.

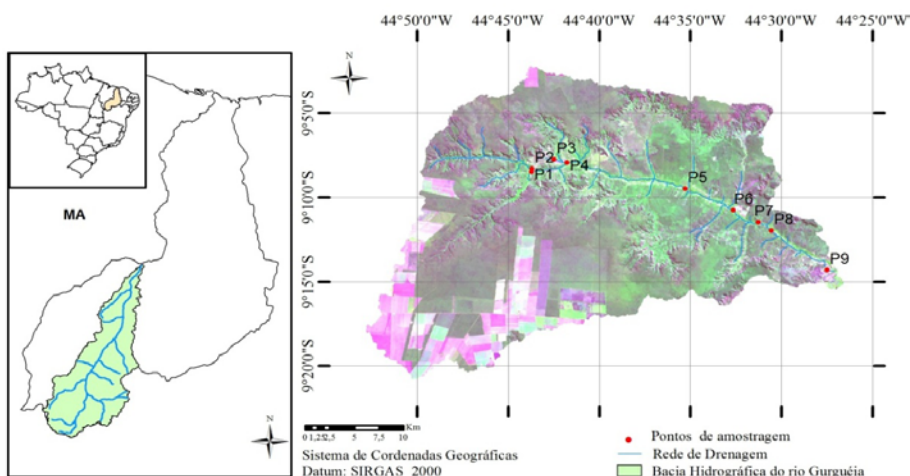
## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Descrição da área de estudo

O estudo foi realizado no rio Corrente dos Matões, principal afluente do rio Gurguéia, localizado na bacia do alto Parnaíba, sudoeste do Piauí, município de Bom Jesus (Figura 1). Sua área de drenagem apresenta 700 km<sup>2</sup> e aproximadamente 50 km de extensão, abrangendo as chapadas do Quilombo e do Pirajá. Na bacia, os solos predominantes são os Latossolos Amarelos e Neossolos Flúvicos (EMBRAPA, 2006).

A vegetação da região é formada principalmente por plantas herbáceas, arbustos e matas de cocais, característica peculiar a uma área de transição cerrado - caatinga. Em toda sua extensão há presença de vegetação ciliar ainda conservada, formada principalmente pelos buritizais, originando áreas alagadas (brejos), que podem contribuir para a ciclagem de nutrientes, geração de matéria orgânica dissolvida e particulada para o rio, que podem ser exportados para jusante ou ficarem retidos no sistema como resultado da atividade biológica local.

Figura 1: Região Hidrográfica do rio Parnaíba destacando a localização dos pontos de amostragem do rio Corrente dos Matões, sub-bacia do rio Gurguéia, no município de Bom Jesus, sudoeste do Piauí



Nos últimos anos, essa região considerada a última fronteira agrícola do país, em consequência, vem atraindo um grande número de produtores implantando monoculturas de soja, milho e arroz, e empregam equipamentos de alta tecnologia na preparação dos solos, onde utilizam grandes quantidades de calcário para correção da acidez e fertilizantes químicos, como por exemplo, os fosfatados, visando corrigir a baixa fertilidade natural dos solos da região.

As propriedades rurais predominantes na bacia são de pequeno a médio porte, destinadas à agricultura familiar, exceto próximo as nascentes, onde há algumas propriedades agrícolas de grande porte. Uma vez que as atividades agrícolas que se desenvolvem em seu entorno podem representar fontes de poluição difusas para o sistema aquático. Logo, suas águas são utilizadas para abastecimento pela população local bem como para dessedentação de animais (PAULA FILHO et al., 2012).

## 2.2. Amostragem e análises dos sedimentos

A amostragem dos sedimentos foi realizada em oito pontos da microbacia, nos meses de setembro de 2013 (período seco) e em nove pontos no mês de fevereiro de 2014 (período chuvoso), compreendendo nascentes, segmentos intermediários e foz do rio.

Em campo, os sedimentos foram coletados com o uso de pás e sacos plásticos e em seguida conservados a baixa temperatura. Posteriormente foram processadas e analisadas no Laboratório de Química Geral e Analítica da Universidade Federal do Piauí, Campus Profª. Cinobelina Elvas / Bom Jesus.

No laboratório, as amostras de sedimentos foram secas em estufa com circulação de ar forçada a 60°C por 48 horas. Após isso, as mesmas foram submetidas à desagregação, pulverização, homogeneização e quarteamento.

A granulometria dos sedimentos foi realizada por tamisação, utilizando um agitador de peneiras marca Bertel, com peneiras de malha: 2,00mm, 1,00mm, 0,50mm, 0,25mm, 0,125mm, 0,063 mm para classificação do diâmetro das partículas (Tabela 1). Posteriormente, a fração das amostras que passaram na peneira de malha de 0,063 mm, foi utilizada para as determinações químicas.

Tabela 1: Frações granulométricas dos sedimentos obtidos por tamisação

Fração	Grânulo	Areia muito grossa	Areia grossa	Areia média	Areia fina	Areia muito fina	Silte e argila
Diâmetro	> 2 mm	1 < 2 mm	0,5<1 mm	0,25<0,5 mm	0,1<0,25 mm	0,063µm <0,125	<0,063 µm

As análises das frações de fósforo e nitrogênio em sedimentos superficiais foram realizadas nos dois períodos amostrados (seco e chuvoso), enquanto para a determinação dos parâmetros de adsorção de fósforo nos sedimentos ocorreu apenas nas amostras coletadas no período seco.

Para a determinação do fósforo total, pesou-se 0,5 g do sedimento (fração menor do que 63 µm) em cadinhos de porcelana. Em seguida, levou-se a mufla a 450°C, por 08 horas para a combustão da amostra. Na sequência as amostras foram transferidas para tubos falcon de 50 mL e adicionando-se solução ácida para digestão. Posteriormente, levou-se para a mesa agitadora durante 16 h. Após esse tempo, centrifugou-se, retirando-se uma alíquota de 10 mL. A determinação foi realizada pelo método do complexo antimônio-fosfato-molibdato, reduzido com ácido ascórbico e realizou a leitura no espectrofotômetro a 882 nm (MURPHY E RILEY, 1962). Já para a determinação de fósforo inorgânico total, usou-se o mesmo procedimento de fósforo total, porém sem a combustão em mufla do sedimento. Por fim, o fósforo orgânico total foi obtido a partir da diferença entre o conteúdo de fósforo total e o fósforo inorgânico total (BERNER e RAO, 1994).

Para a determinação de nitrogênio total, pesou-se 0,5 g das amostras com alto teor de matéria orgânica em tubo de digestão, adicionando-se  $\text{H}_2\text{O}_2$  30% e 2,0 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado, deixando em contato durante 10 a 15 minutos. Acrescentou-se a mistura de digestão ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{CuSO}_4$ ) e em seguida foram postos no bloco digestor elevando a uma temperatura de 250°C, mantendo entre 15 e 20 minutos, em continuidade elevou-se para 350°C e manteve por 2 horas. Logo depois, esperou-se esfriar sobre uma placa de amianto e adicionou-se 5 ml de água destilada agitando-se a solução manualmente.

Conectou-se, assim, o tubo de digestão ao destilador Kjeldahl, adicionando-se NaOH 10 mol.L<sup>-1</sup>, destilou-se em solução indicadora de ácido bórico e, logo após, coletou-se entre 35 e 40 ml do destilado, logo em seguida titulou-se com solução HCl 0,02 mol.L<sup>-1</sup>. Em seguida, fez-se a leitura no espectrofotômetro a 420 nm (BREMER e MULVANEY, 1982).

### 2.3. Determinação dos parâmetros de adsorção

Para avaliação da adsorção de fósforo em sedimentos, pesou-se aproximadamente, 1,0 g do sedimento em tubos falcon, adicionando-se 25



ml de solução de  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol.L<sup>-1</sup> contendo nove diferentes concentrações iniciais de fósforo (0; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 5,0; 10,0; 50,0 e 100,0 mg.L<sup>-1</sup> na forma de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ). Em seguida, adicionou-se 2 gotas de clorofórmio como inibidor microbiano e foram agitadas em mesa agitadora a 110 rpm durante 24 h. Ao final do período de equilíbrio, as soluções foram centrifugadas a 3600 rpm durante 10 minutos e numa alíquota do sobrenadante foi analisada as concentrações de fosfato, utilizando o molibdato de amônio em meio ácido, formando o complexo fosfomolibdato, o qual é reduzido pelo ácido ascórbico, numa reação catalisada pelo antimônio tartarato de potássio, formando um complexo de coloração azul que posteriormente foi lido no espectrofotômetro a 882 nm (MURPHY e RILLEY, 1962).

Os experimentos foram realizados em triplicata e a quantidade de fósforo adsorvido foi calculada pela diferença da concentração inicial de fósforo e a concentração de fósforo recuperada na solução, após 24 horas de equilíbrio.

Os dados da adsorção foram ajustados não linearmente para dois modelos de adsorção comumente utilizados, ou seja, os modelos de Langmuir e Freundlich, utilizando Microcal Origin 8.0. Os parâmetros da isoterma de Langmuir foram obtidos a partir dos ajustes dos dados de adsorção de Langmuir na forma linear da equação de Langmuir:

$$\frac{1}{q_t} = \left( \frac{1}{k_l q_{max} C_{eq}} \right) + \frac{1}{q_{max}} \quad (1)$$

Onde  $q_t$  é a quantidade total adsorvida de P (mg.L<sup>-1</sup>),  $q_{max}$  é a quantidade máxima adsorvida de P (mg.kg<sup>-1</sup>),  $k_l$  é a constante de energia de ligação (L.mg<sup>-1</sup>) e  $C_{eq}$  é a concentração de equilíbrio após 24 horas.

Os parâmetros de adsorção de Freundlich também foram calculados pelo ajuste dos dados de adsorção à forma linear da equação de Freundlich:

$$\log q_t = \log K + n \log C_{eq} \quad (2)$$

Onde  $K$  é a constante de adsorção de Freundlich (L.kg<sup>-1</sup>) e  $n$  é uma constante empírica ( $n < 1$ ). Assim, os respectivos parâmetros de adsorção de Langmuir e de Freundlich foram calculados para os sedimentos do rio Corrente dos Matões.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

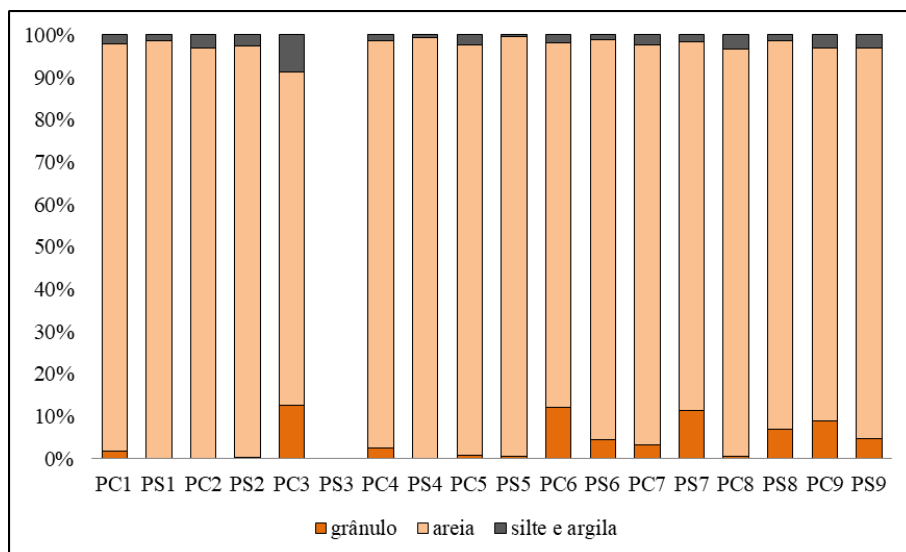
#### 3.1. Granulometria e matéria orgânica nos sedimentos

Os resultados da variação sazonal da granulometria nos sedimentos do rio Corrente dos Matões são apresentados na Figura 2. Observa-se o



predomínio de partículas grosseiras (areias) nos sedimentos em todos os pontos avaliados, o que demonstra uma baixa capacidade de adsorção de substâncias dissolvidas, muito embora os valores para as frações finas (silte e argila) e de grânulos foram significativas no ponto PC3, local este associado uma das nascentes do rio. Daí a acumulação de uma considerável parcela de partículas finas, sendo que na maioria dos pontos avaliados, encontram-se áreas de pastagens, com criação de gado, no entorno do rio.

Figura 2: Fracionamento granulométrico nos sedimentos do rio Corrente dos Matões em nove pontos de amostragem nos períodos seco e chuvoso: S = seco e C = chuvoso

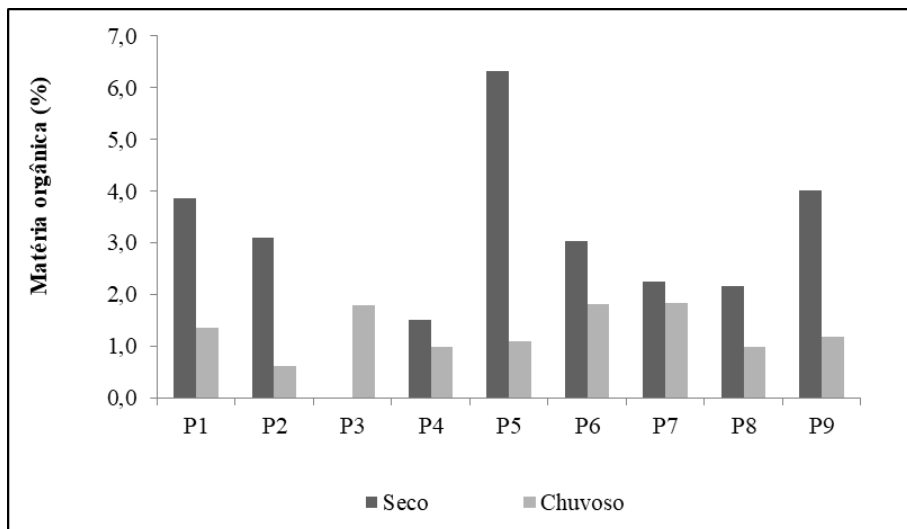


Além disso, no ponto PC3 ocorre a contribuição de sedimentos para os canais que ocorre pelo escoamento superficial, proporcionado pela estrada secundária localizada ao ponto de coleta. Visto que o domínio de partículas finas (silte e argila) está associado a uma maior área superficial do sedimento, permitindo um acúmulo de matéria orgânica, sendo que percentagens mais altas de partículas finas no sedimento são comumente encontradas em sedimentos com altas concentrações de carbono orgânico e que pode estar associado ao acúmulo de detritos advindos de fontes antrópicas, porém não é o caso do rio Corrente dos Matões, pois, as concentrações de partículas finas não foram tão elevadas (PORTO FILHO, 1996).

A Figura 3 mostra os teores de matéria orgânica (%) nos sedimentos superficiais do rio, onde foram mais significativas nas amostras coletadas no período seco, corroborando com as concentrações das partículas finas (silte e argila), denotando uma forte associação entre as duas variáveis.

Estes resultados evidenciam que principalmente os pontos P1, P5 e P9 são ambientes de acumulação, onde o maior aporte de matéria orgânica ficou concentrado na região intermediária do rio.

Figura 3: Variação sazonal da matéria orgânica nos sedimentos do rio Corrente dos Matões em nove pontos de amostragem



Portanto, a morfologia destes locais, a menor turbulência por diminuição do fluxo de água e a cobertura vegetal ainda conservada, favoreceram o aporte de matéria orgânica. Paula Filho et al. (2012) em um estudo no referido rio atribuíram também as maiores teores de matéria orgânica associada a distribuição de partículas finas nos sedimentos, principalmente nos trechos próximos a nascente, evidenciando um ambiente de acumulação.

A granulometria, os teores de matéria orgânica e as concentrações de Fe, Al e Mn associadas principalmente aos óxidos, podem atuar diretamente nas taxas de sorção/dessorção de fósforo nos sedimentos e como consequência disso atuar também na disponibilidade de nutrientes na interface água/sedimento (FONSECA et al., 2011).

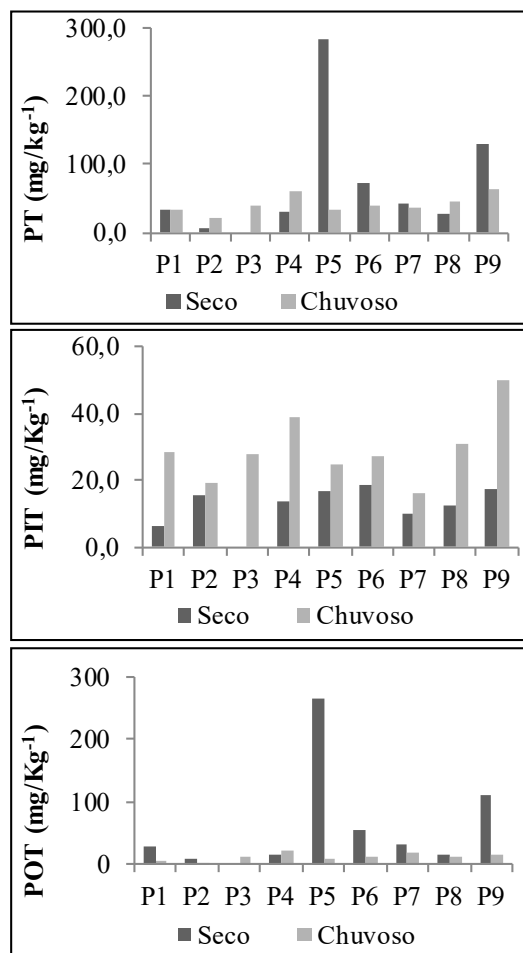
### 3.2. Frações de fósforo nos sedimentos

A variação nas concentrações de fósforo para as três diferentes frações nos sedimentos do rio Corrente dos Matões é apresentada por meio da Figura 4.

De maneira geral, as concentrações das formas de fósforo nos sedimentos tiveram uma tendência de crescimento, verificando-se que as

maiores concentrações de fósforo total e orgânico ocorreram no período seco, especialmente no ponto P5, onde a concentração de PT foi de 283 mg.Kg<sup>-1</sup>. Porém, não ultrapassou a concentração máxima prevista pela Resolução nº 344/ 2004 do CONAMA para sedimentos que é de 2.000 mg.Kg<sup>-1</sup>.

Figura 4: Variação sazonal das concentrações de P em sedimentos do rio Corrente dos Matões em nove pontos de amostragem: fósforo total (PT), fósforo inorgânico total (PIT) e fósforo orgânico total (POT)



As concentrações médias para as formas de fósforo (PT, PIT e POT) foram 41,4±13,2 mg.kg<sup>-1</sup>, 29,1±10,2 mg.kg<sup>-1</sup> e 12,3±6,0 mg.kg<sup>-1</sup> no período chuvoso, enquanto que no período seco foram, 78,0±90,1 mg.kg<sup>-1</sup>, 13,9±4,1 mg.kg<sup>-1</sup> e 64,1±89,4 mg.kg<sup>-1</sup>. Paula Filho et al. (2012) em estudo realizados na mesma microbacia no ano de 2010 encontrou concentrações médias de

229,4 mg.kg<sup>-1</sup> para PT, 105,4 mg.kg<sup>-1</sup> para PIT e 124,0 mg.kg<sup>-1</sup> para POT, para o período chuvoso. Assim, estes valores foram superiores aos verificados nesse estudo.

MINELLA et al. (2007) ressaltam que a concentração de fósforo difere significativamente entre as fontes e está vinculada à característica da ocupação agrícola nas bacias hidrográficas. Em um estudo na bacia de Agudo/RS, constataram que as áreas de lavoura, onde é aplicada excessiva quantidade de adubos fosfatados, apresentaram concentrações máximas de fósforo nos sedimentos (783 mg L<sup>-1</sup>) YANGA ET AL. (2010) em um estudo no rio Maré, no Sul da Flórida (EUA), identificaram que a disponibilidade de fósforo total nos sedimentos é afetada por fontes difusas, como a agricultura.

As maiores concentrações de fósforo inorgânico total nos sedimentos ocorreram no período chuvoso para todos os pontos de amostragem. Visto que a transferência de fósforo para o ambiente hídrico advém principalmente em situações de eventos pluviométricos intensos (COSTA et al., 2010). Além disso, a origem e o aumento desta forma de fósforo na microbacia são devidos principalmente, a fonte natural e em menor contribuição ao uso indiscriminado de fertilizantes químicos, por exemplo, os fosfatados, visando corrigir a baixa fertilidade natural dos solos na região.

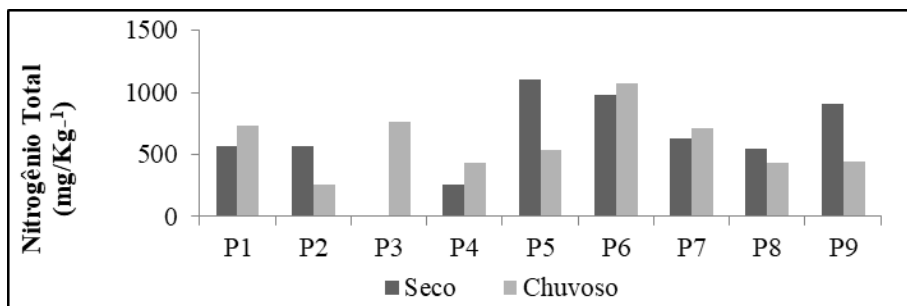
Uma vez que de acordo com MARINS ET AL. (2007), o fósforo de origem antrópica encontra-se principalmente nas formas inorgânicas, devido ao uso indiscriminado de fertilizantes químicos nos solos ou pelas emissões de efluentes urbanos que contêm polifosfatos dos produtos de limpeza. Contudo, no rio Corrente dos Matões não se observa tanta influência de efluentes urbanos, pois a microbacia é totalmente rural.

O fósforo orgânico total exibiu concentrações baixas nos períodos de avaliação. Contudo, os maiores valores ocorreram no período seco, especialmente nos pontos (P5 e P9), que pode estar associado ao conteúdo de matéria orgânica nestes locais (Figura 3), onde estes dois locais apresentaram os maiores teores de MO. Porém, esses resultados são inferiores a de uma bacia urbana do rio Barigüi na região metropolitana de Curitiba, que verificaram altas concentrações de fósforo orgânico total nos sedimentos podendo ser atribuído à descarga de esgotos domésticos (FROEHNER e MARTINS, 2008).

### 3.3. Nitrogênio total nos sedimentos

A Figura 5 exhibe as concentrações de nitrogênio total nos sedimentos do rio, as quais variaram entre 262,5 a 1105,2 mg.Kg<sup>-1</sup> para o período seco e 259,5 a 1073,8 mg.Kg<sup>-1</sup> no período chuvoso. Esses valores estão no padrão ambiental estabelecido pela Resolução nº 344/ 2004 do CONAMA para sedimentos que é de 4.800,00 mg.Kg<sup>-1</sup>.

Figura 5: Variação sazonal das concentrações de nitrogênio total em sedimentos do rio Corrente dos Matões em nove pontos de amostragem



Embora esses valores não sejam considerados como contaminantes, observa-se que nos pontos P5, P6 e P9 nos seguimentos intermediários e na foz do rio, teores mais elevados. As concentrações mais elevadas para esse nutriente podem estar associadas ao escoamento superficial da água da chuva, utilização de fertilizantes na agricultura, criação de animais (bovinos) em áreas de pastagens nestes locais do rio. Por outro lado, esses valores são menores que a média verificada para o nitrogênio total que variaram entre (350,00 a 2.100,00 mg/Kg) em sedimentos do trecho urbano do rio Itajaí-Açú, SC (SILVA et al., 2010).

### 3.4. Parâmetros de adsorção de fósforo

Na Tabela 2, são apresentados os parâmetros de adsorção de fósforo em sedimentos do rio Corrente dos Matões. Os dados ajustaram-se às isotermas de Langmuir e Freundlich com altos coeficientes de correlação ( $r^2 = 0,868$  a  $0,991$ ) e ( $0,877$  a  $0,975$ ), respectivamente. Porém, a amostra coletada no ponto P9 não se ajustou a isoterma de Langmuir e a amostra coletada no ponto P8 não se ajustou à isoterma de Freundlich.

Tabela 2: Parâmetros de adsorção de fósforo em sedimentos superficiais do rio Corrente dos Matões.

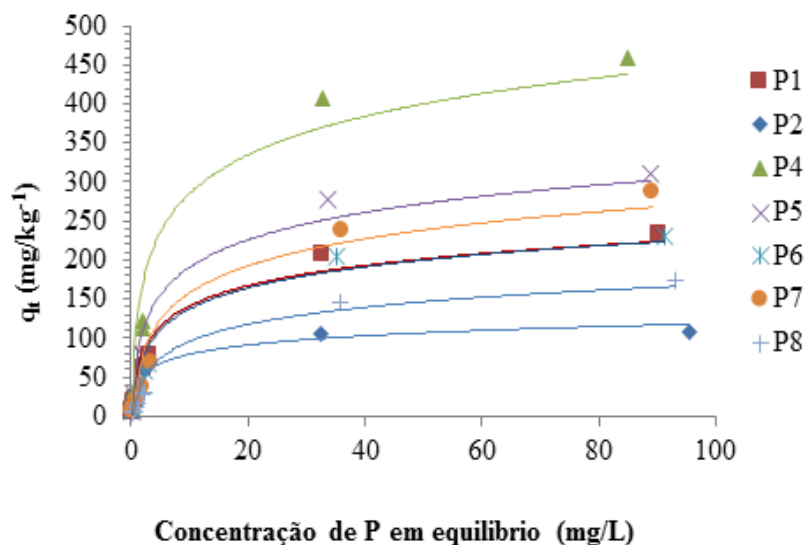
Locais	Isoterma de Langmuir $q_t = \frac{k_l C_{eq} q_{max}}{(1 + k_l C_{eq})}$			Isoterma de Freundlich $q_t = K C_{eq}^n$		
	$q_{max}$ (mg kg <sup>-1</sup> )	$k_l$ (L.mg <sup>-1</sup> )	$r^2$	$K$ (L.kg <sup>-1</sup> )	$n$	$r^2$
P1	250,0	0,143	0,979	25,06	0,529	0,969
P2	111,1	0,500	0,994	28,97	0,338	0,900
P4	500,0	0,133	0,979	39,81	0,539	0,975

P5	333,3	0,150	0,991	30,48	0,553	0,934
P6	250,0	0,129	0,986	20,99	0,576	0,925
P7	333,3	0,070	0,943	18,20	0,662	0,886
P8	200,0	0,075	0,868	13,21	0,544	0,570
P9	0	0	0,053	2,77	1,063	0,877

$q_{max}$ : quantidade máxima adsorvida de P;  $K_L$ : constante de energia de ligação;  $r^2$ : coeficiente; K: constante de adsorção de Freundlich; n: constante empírica relacionada a intensidade da ligação

Os modelos utilizados para descrever a quimissorção de oxianions como o fosfato, em solos ou sedimentos aquáticos naturais, normalmente são do tipo L (Figura 6), onde há alta afinidade do sorvente pelo sortivo em baixas concentrações, diminuindo à medida que os sítios de reação se tornam ocupados. Esse modelo admite apenas uma camada e, depois de saturada, o excesso permanece na solução sobrenadante. Exemplos desse tipo de isoterma têm Langmuir e Freundlich (LAI e LAM, 2009).

Figura 6: Isotermas de adsorção de Langmuir para fósforo em sedimentos do rio Corrente dos Matões.



A isoterma de adsorção de Langmuir prevê uma boa estimativa da adsorção máxima teórica e a capacidade do sistema sedimento/água remover fósforo. A quantidade máxima absorvida de fósforo ( $q_{max}$ ) para os

sedimento ajustados a isotema Langmuir variou entre 111,1 e 500,0 mg.kg<sup>-1</sup>, (Tabela 2) os quais foram maiores do que os relatados para sedimentos na Flórida que apresentaram adsorção máxima de 150 a 260 mg.kg<sup>-1</sup> (GALE et al., 1994) e na Coréia que apresentaram capacidade de adsorção máxima entre 196 a 281 mg.kg<sup>-1</sup> (YOO et al., 2006). Por outro lado, esses resultados são inferiores aos encontrados por LAI E LAM (2009) que verificaram  $q_{\max}$  variando entre 478 e 858 mg.kg<sup>-1</sup>, para sedimentos de parque aquático em Hong Kong.

Desta forma, a isoterma da adsorção de Langmuir forneceu uma boa estimativa da adsorção máxima teórica e, portanto, representa a capacidade máxima dos sedimentos na adsorção de fósforo. O coeficiente de energia de ligação ( $K_l$ ) que está relacionado com a afinidade do adsorvente pelo adsorvato, no geral, apresentaram valores baixos, compreendidos entre (0,070-0,500 L.mg<sup>-1</sup>). Esses resultados são inferiores aos reportados por Lin et al. (2009) que conferiram altos valores na constante de energia de ligação (2,24-2,65 L.mg<sup>-1</sup>) nos sedimentos do rio Dalião na China, sugerindo que os fortes sítios de ligação foram ocupados e parcialmente saturados pelo fosfato adicionado, principalmente por fontes pontuais e/ou difusas ao longo do rio.

Em adição à baixa capacidade de adsorção máxima em altas concentrações, os sedimentos do rio Corrente dos Matões também exibem uma capacidade de adsorção relativamente baixa em baixas concentrações de P, isto exibido pela baixa constante de adsorção de Freundlich ( $K$ ) (2,77-39,81 L.kg<sup>-1</sup>) (Tabela 2). Isto pode ser atribuído, principalmente às concentrações de ferro e alumínio amorfo, enquanto a constante empírica da intensidade da ligação ( $n$ ) apresentaram valores compreendidos entre (0,338-1,063).

#### 4. CONCLUSÕES

O período de amostragem (período seco), a baixa capacidade de diluição do rio Corrente dos Matões e algumas atividades antrópicas (fontes de poluição difusas) contribuíram para o aumento nas concentrações de fósforo e nitrogênio total em sedimentos do rio.

Os parâmetros de adsorção de fósforo, através das isotermas de Langmuir e Freundlich, apresentaram o comportamento da adsorção de fósforo que foram maiores na região intermediária do rio, podendo estar associada às características dos sedimentos.

#### REFERÊNCIAS

ARAÚJO, FERNANDA BENÍCIO COELHO. **Caracterização e sorção de fósforo nos sedimentos do rio Corrente dos Matões, Piauí**. 2014. 15 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal do Piauí, PI<sup>1</sup>.

BERNER, R. A.; RAO J. L. Phosphorus in sediments of the Amazon River and estuary: Implications for the global flux of phosphorus to the sea. **Geochimica et**

**Cosmochimica Acta**, v. 58, n. 10, p. 2333-2339, 1994.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2004. **Resolução CONAMA nº 344, de 25 de março de 2004**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/>>. Acesso em: 07 jan. 2014.

COSTA, V. L.; MARIA, I. C.; CAMARGO, O. A. Transporte de fósforo pela enxurrada em Latossolo que recebeu lodo de esgoto. **Bragantia**, v. 69, n. 1, p. 115-123, 2010.

EMBRAPA SOLOS. **Solos do Nordeste**. Universidade de Pernambuco – UEP Recife, 2006. Disponível em <<http://www.uep.cnps.embrapa.br/solos/index.html/>>. Acesso em: 06 maio. 2013.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro, Interciência: Ed. 3, 2011. 790p.

FONSECA, R.; CANÁRIO, T.; MORAIS, M.; BARRIGA, F. J. A. S. Phosphorus sequestration in Fe-rich sediments from two Brazilian tropical reservoirs. **Applied Geochemistry**, v. 26, n. 7, p. 1607-1622, 2011.

FROEHNER, S.; MARTINS, R. F. Avaliação da composição química de sedimentos do rio Birigui na região metropolitana de Curitiba. **Química Nova**, v. 31, n. 8, p. 2020-2026, 2008.

GALE, P. M., REDDY, K. R., GRAETZ, D. A. Phosphorus retention by wetland soils used for treated wastewater disposal. **Jornal Environmental**, v. 23, p. 370-377, 1994.

HOUSE, W. A.; LEACH, D. V.; ARMITAGE, P. D. Study of dissolved silion and nitrate dynamics in freshwater stream. **Water Research**, v. 35, n. 11, p. 2749- 2757, 2001.

KOSKI-VÄHÄLÄ, J.; HARTIKAINEN, H. Assessment of the risk of phosphorus loading due to resuspended sediment. **Journal Environ**, v. 30, p. 960-966, 2001.

LIN, C.; WANG, Z.; HE, M.; LI, Y.; LIU, R.; YANG, Z. Phosphorus sorption and fraction characteristics in the upper, middle and low reach sediments of the Daliao river systems, China. **Journal of Hazardous Materials**, v. 170, p. 278-285, 2009.

MARINS, R. V.; PAULA FILHO, F. J.; ROCHA, C. A. S. Geoquímica de fósforo como indicadora da qualidade ambiental e dos processos estuarinos do rio Jaguaribe - costa nordeste oriental brasileira. **Química Nova**, v. 30, n. 5, p. 1208-1214, 2007.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H.; REICHERT, J. M.; SANTOS, D. R. Identificação e implicações para a conservação do solo das fontes de sedimentos em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1637-1646, 2007.

MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analítica Chimica Acta**, v. 27, p. 31-36, 1962.

PAULA FILHO, F. J. P.; MOURA, M. C. S.; MARINS, R. V. Fracionamento Geoquímico



do Fósforo em Água e Sedimentos do Rio Corrente, Bacia hidrográfica do Parnaíba/ PI. **Revista Virtual de Química**, v. 4 n. 6, p. 1-17, 2012.

PELLEGRINI, J. B. R.; SANTOS, D. R.; GONÇALVES, C. S.; COPETTI, A. C. C.; BORTOLUZZI, E. C. Adsorção de fósforo em sedimentos e sua relação com a ação antrópica. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 32, p. 2639-2646, 2008.

PORTO FILHO, E. **A geomorfologia e o manejo do ecossistema**, Geosul: Florianópolis, 1996.

SANTOS, M. L. S.; SARAIVA, A. L. L.; DELFINO, I. B.; ANTUNES, L. C.; BATISTA, R. M. M.; ALVES, I. C. C. Avaliação das formas de fósforo nos sedimentos superficiais da plataforma continental do rio Amazonas. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 10, n. 4, p. 589-596, 2010.

SILVA, M. R.; JR, A. C. G.; PINHEIRO, A.; BENVENUTTI, J.; SUSIN, J. Distribuição de nutrientes em sedimentos fluviais do rio Itajaí - Açu, Blumenau, SC, Brasil. **Revista Ambiente e água**, v. 5, n. 1, p. 102-113, 2010.

YANGA, Y. G.; HEA, Z. L.; LINA Y.; STOFFELLAA, P. J. Disponibilidade do fósforo nos sedimentos de um rio maré que recebe a água de runoff dos campos agrícolas. **Gerência de água Agrícola**, v. 97, p. 1722-1730, 2010.

YOO, J. H., RO, H. M., CHOI, W. J., YOO, S. H., HAN, K. Phosphorus adsorption and removal by sediments of a constructed marsh in Korea. **Ecology**, v. 27, p. 109-117, 2006.

## PHOSPHORUS CHARACTERIZATION AND SORPTION IN THE SEDIMENTOS OF THE CORRENTE DOS MATÕES RIVER, PIAUÍ

**ABSTRACT** - This work had as aimed to evaluate the concentrations of phosphorus and nitrogen in sediments in the dry and rainy seasons and the parameters of sorption phosphorus in the river Corrente dos Matões Parnaíba / PI, and contribute to design strategies for water resources management in the region. The sediment sampling was performed in nine points of the watershed, in the months of September 2013 (dry season) and February 2014 (rainy season), comprising springs, intermediate segments and mouth. Sediment grain size and measures concentrations of fractions of phosphorus (total phosphorus, total inorganic phosphorus, total organic phosphorus) and total nitrogen was carried out, in addition to determining the parameters of sorption. The sampling period (dry period) and the low dilution capacity of the river and some human activities (pollution from diffuse sources) contributed to the increase in the concentrations of total nitrogen and phosphorus in river sediments. In addition, the sorption parameters through the Langmuir isotherm Freundlich showed the behavior of sorption were higher than in the intermediate region of the river can be associated to the characteristics of the sediment.

**KEYWORDS:** Adsorption; Langmuir isotherm; Phosphate.

# DESENVOLVIMENTO DE INTERFACE WEB PARA PUBLICAÇÃO DE ROTAS DE ÔNIBUS QUE TRAFEGAM ENTRE AS IES EM UMA CIDADE DO PARANÁ USANDO LOD

**Matheus Minski dos Santos**

[lattes.cnpq.br/8490343437905315](https://lattes.cnpq.br/8490343437905315)

Universidade Estadual do Centro-  
Oeste - Unicentro

**Milena Bastos Ribas**

[lattes.cnpq.br/8221585625561930](https://lattes.cnpq.br/8221585625561930)

Universidade Estadual do Centro-  
Oeste - Unicentro

**Lucélia de Souza**

[lattes.cnpq.br/8989736627689345](https://lattes.cnpq.br/8989736627689345)

Universidade Estadual do Centro-  
Oeste - Unicentro

**Gisane Aparecida Michelin**

[lattes.cnpq.br/9367680247741161](https://lattes.cnpq.br/9367680247741161)

Universidade Estadual do Centro-  
Oeste - Unicentro

**Josiane Michalak Hauagge  
Dall'Agnol**

[lattes.cnpq.br/7599246358679552](https://lattes.cnpq.br/7599246358679552)

Universidade Estadual do Centro-  
Oeste - Unicentro

sendo gerados, de forma que eles sejam facilmente compreendidos por máquinas e seres humanos, permitindo analisar dados que antes seriam complexos ou impossíveis de serem analisados. Esse trabalho tem o objetivo de abranger os estágios da semantificação de dados, desde a coleta dos dados até sua publicação na Web, conforme a metodologia proposta para dados abertos conectados pelo Grupo LaSED da Universidade Estadual do Centro-Oeste (Unicentro). O resultado é apresentado por meio do desenvolvimento de uma interface Web que possibilita a geração de consultas semânticas referentes às rotas urbanas de linhas de ônibus que percorrem as Instituições de Ensino Superior da cidade de Guarapuava, Paraná.

**PALAVRAS-CHAVE:** Web Semântica; Dados abertos conectados; Melhores Práticas W3C; Metodologias para Publicação de Dados Abertos Conectados.

## 1. INTRODUÇÃO

A Internet contém uma quantidade enorme de dados, porém o seu uso é dificultado, pois alguns documentos ou conjuntos de dados

**RESUMO** - A Web Semântica possibilita a adição de significado aos dados que foram ou estão

não são publicados de maneira aberta ou padronizados. Com o intuito de sanar esse problema, o movimento da Web Semântica foi criado, o qual surgiu em 2001, como um projeto do físico inglês Tim Berners-Lee (Berners-Lee, Lassila, Hendler, 2001). Esse projeto visa dar significado a todos os dados que forem publicados na Internet, além de padronizá-los e torná-los acessíveis para uso por todas as máquinas e pessoas.

Com a Web Semântica foi criado o conceito de Dados Abertos Conectados (em inglês *Linked Open Data* – LOD) (Rautenberg et. al, 2018). Esse conceito visa conectar os dados que estão sendo publicados, de uma forma automatizada. Para que essa interligação seja possível podem ser utilizados Vocabulários Abertos Conectados, encontrados na plataforma (*Linked Open Vocabularies* – LOV) (LOV, 2020). Os vocabulários permitem uma padronização para adicionar significado aos dados, sendo possível relacionar com dados já existentes ou provindos de outras localidades, caso os mesmos utilizem o mesmo vocabulário ou algum relacionamento a este, por meio de uma associação que seja especificada.

Cada vocabulário é focado em alguma área específica, sendo assim, ele deve possibilitar a descrição de todos os elementos dessa área, permitindo dar significados para toda a base de dados. Para exemplificar, ao observar o valor “7h15min” em uma tabela sem saber o seu contexto, não é possível entender o seu significado, mas, se adicionado o atributo “departureTime” (horário de partida), proveniente do vocabulário *General Transit Feed Specification* - GTFS, uma especificação de dados provenientes do trânsito (GTFS, 2020), é possível saber que esse horário significa um horário de partida de algum meio de locomoção. Ligando mais alguns atributos e relações em cima desse mesmo horário, consegue-se descobrir que se trata do horário de partida de um ônibus, de determinada linha, com destino a outro ponto de parada, localizado em alguma cidade, tudo isso de forma automatizada.

Assim, esse trabalho é focado na utilização de conceitos, ferramentas, linguagens e metodologias da Web Semântica no âmbito das *Smart Cities* - Cidades Inteligentes (Lemos, 2020), que são cidades onde se consegue capturar os dados, processar e utilizar de uma forma parcial ou totalmente automatizada.

Nesse contexto é apresentado o desenvolvimento de um estudo de caso com o tema Cidades Inteligentes e a Web Semântica, demonstrando como foi semantificada uma base de dados referente a rotas urbanas envolvendo linhas de ônibus da cidade de Guarapuava/PR que percorrem Instituições de Ensino Superior, evidenciando as facilidades e dificuldades durante todo o processo de geração e publicação de dados abertos conectados na Web de Dados (Ribeiro; Lóscio; Souza, 2011).

## 2. METODOLOGIA E FERRAMENTAS

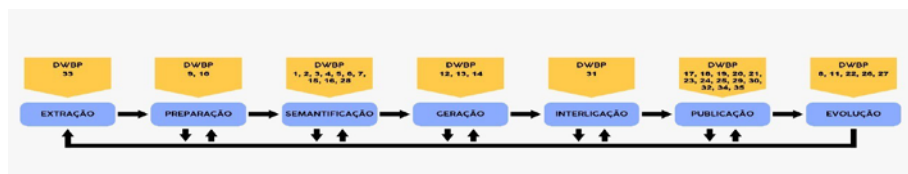
Para o desenvolvimento do estudo de caso sobre a semantificação de um conjunto de dados de linhas de ônibus que trafegam entre as IES da cidade de Guarapuava/PR, a princípio, iniciou-se o procedimento de semantificação pela coleta de dados provenientes do site da Empresa de Transportes Coletivos Pérola do Oeste <<http://www.peroladooeste.com.br/horarios-e-itinerarios/>>. Dentre os dados disponíveis foram utilizados: os horários de parada, as linhas de ônibus e os nomes dos pontos. Esses dados foram todos fornecidos no formato PDF, necessitando um tratamento manual para cada base de dados.

Posteriormente foram realizadas as coletas das coordenadas de cada ponto utilizando a ferramenta de Mapas do Google (Google Maps, 2020). Como foi necessário estar próximo do ponto para conseguir coletar as coordenadas, também foram tiradas fotos dos pontos de ônibus, enriquecendo assim a base de dados.

Após essa coleta, foi realizada uma integração entre os dados obtidos do site da Empresa de Transportes Coletivos Pérola do Oeste, as coordenadas e as fotos dos pontos de ônibus, preparando uma estrutura em forma de tabela, pronta para ser semantificada.

O estudo seguiu a metodologia intitulada *LOD Methodology based on W3C Best Practices* – LODMBP (Metodologia para LOD baseada nas Melhores Práticas do W3C) (Dall'Agnol; Tacla, 2020), proposta pelo Grupo LaSED. Essa metodologia é um refinamento dos oito estágios da metodologia de Auer et al. (2014), contemplando a associação dos estágios com as Melhores Práticas W3C para publicação e uso de dados na Web <<https://www.w3.org/TR/dwbp/>>, conforme a Figura 1.

Figura 1: Associação dos estágios com as Melhores Práticas



Para realizar o processamento dos dados foram utilizadas algumas ferramentas, as quais são descritas a seguir.

### OpenRefine/LOD Refine

Alguns conjuntos de dados são provenientes de empresas com mais de um sistema operando, isso gera uma redundância ou desorganização dos dados. Desse modo, são necessárias ferramentas para a limpeza desses

dados como a OpenRefine/LOD Refine, a qual é Open Source (código aberto), ou seja, suportada pela comunidade de usuários. Com essa ferramenta é possível filtrar dados e fazer as limpezas necessárias, aumentando a sua confiabilidade (Rautenberg et al, 2018).

Além disso, permite a conversão dos dados no formato CSV em projetos que podem ser semantificados, a implantação e *download* dos vocabulários que serão utilizados e a visualização do esquema de grafos RDF (Verlic, 2020).

### Ferramenta LIMES

Acrônimo de “*Link Discovery Framework for Metric Spaces*”, esse *framework* serve para descobrir *links* entre os recursos disponíveis. Ele realiza um mapeamento entre fontes de dados distintas. Para utilizá-la, é necessário uma fonte dados de origem, uma fonte de destino e um arquivo de configuração XML (AKSW, 2020).

### Servidor OpenLink Virtuoso

O Virtuoso é um servidor de consultas de dados abertos conectados, utilizando Linguagem de Consulta SPARQL e oferecendo suporte para padrões como RDF e XML (OpenLink, 2020).

### Laravel

Laravel (Laravel, 2020) é um *framework* para desenvolvimento Web que utiliza a linguagem PHP (PHP, 2020). Conta com a integração entre banco dados e *front-end*, que é a parte onde os usuários interagem com o sistema.

### Libre Office – Calc

Utilizado para manipular os dados no formato *Comma Separated Value* - CSV.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do processo de semantificação são apresentados nas Figuras 2 a 7. A tabela de dados com as colunas inicialmente extraídas do PDF, as quais foram complementadas com outras colunas informativas adicionais, são mostradas nas Figuras 2 e 3, sendo elas:

- **uriAgency:** os *Uniform Resource Identifier* - URIs são endereços que servem para identificar recursos dentro de algum domínio (Oliveira, 2020). Neste caso ele foi utilizado para localizar a agência;
- **agencyName:** campo que armazena o nome da agência de ônibus;

- **uriRoute:** endereço para identificar o recurso rotas;
- **routeId:** número que identifica a rota, esses números foram feitos pela agência de ônibus;
- **routeName:** campo que contém o nome da rota;
- **uriPoint:** endereço para identificar o recurso “Point”, que agrega o nome da rota, o nome do ponto, sua latitude e longitude. Essa propriedade será melhor explicada posteriormente;
- **pointName:** coluna que armazena o nome do ponto que pertence à rota;
- **latitude:** armazena a latitude do ponto;
- **longitude:** armazena a longitude do ponto;
- **uriStopTime:** identifica os recursos de horários de parada em cada ponto;
- **timeHour:** armazena o horário em que as paradas ocorrem;
- **extra:** identifica se mais um ônibus vai percorrer a mesma rota. Em alguns horários esse ônibus extra é necessário para suprir a demanda de passageiros;
- **weekDays:** armazena os dias da semana em que as rotas estão funcionando;
- **urilImage:** identifica onde estão as fotos dos pontos de ônibus.

Figura 2: Primeira parte da tabela de dados

how as: rows records Show: 5 10 25 50 rows « first < previous 1 - 50 next > »

All	uriAgency	agencyName	uriRoute	routeId	routeName	uriPoint	pointName
1.	Agency_Pérola_do_Oeste	Pérola do Oeste	Route_33_CEDeteg	33	CEDETEG	Point_CEDeteg_SAIDA_FONTE_Lat_-25.392328_Long_-51.467955	SAIDA FONTE
2.	Agency_Pérola_do_Oeste	Pérola do Oeste	Route_33_CEDeteg	33	CEDETEG	Point_CEDeteg_SAIDA_FONTE_Lat_-25.392328_Long_-51.467955	SAIDA FONTE
3.	Agency_Pérola_do_Oeste	Pérola do Oeste	Route_33_CEDeteg	33	CEDETEG	Point_CEDeteg_SAIDA_FONTE_Lat_-25.392328_Long_-51.467955	SAIDA FONTE
4.	Agency_Pérola_do_Oeste	Pérola do Oeste	Route_33_CEDeteg	33	CEDETEG	Point_CEDeteg_SAIDA_FONTE_Lat_-25.392328_Long_-51.467955	SAIDA FONTE
5.	Agency_Pérola_do_Oeste	Pérola do Oeste	Route_33_CEDeteg	33	CEDETEG	Point_CEDeteg_SAIDA_FONTE_Lat_-25.392328_Long_-51.467955	SAIDA FONTE
6.	Agency_Pérola_do_Oeste	Pérola do Oeste	Route_33_CEDeteg	33	CEDETEG	Point_CEDeteg_SAIDA_FONTE_Lat_-25.392328_Long_-51.467955	SAIDA FONTE
7.	Agency_Pérola_do_Oeste	Pérola do Oeste	Route_33_CEDeteg	33	CEDETEG	Point_CEDeteg_SAIDA_FONTE_Lat_-25.392328_Long_-51.467955	SAIDA FONTE
8.	Agency_Pérola_do_Oeste	Pérola do Oeste	Route_33_CEDeteg	33	CEDETEG	Point_CEDeteg_SAIDA_FONTE_Lat_-25.392328_Long_-51.467955	SAIDA FONTE

Figura 3: Segunda parte da tabela de dados

Extensions: DBpedia Crowdsourcing Named-entity recognition Freebase Utilities RDF						
« first < previous 1 - 50 next > last						
latitude	longitude	uriStopTime	timeHour	extra	weekDays	uriImage
-25.392328	-51.467955	StopTime_07h15	07:15	0	Segunda_a_Sexta	https://imgur.com/a/iZqnGXW
-25.392328	-51.467955	StopTime_08h15	08:15	0	Segunda_a_Sexta	https://imgur.com/a/iZqnGXW
-25.392328	-51.467955	StopTime_09h00	09:00	0	Segunda_a_Sexta	https://imgur.com/a/iZqnGXW
-25.392328	-51.467955	StopTime_11h45	11:45	0	Segunda_a_Sexta	https://imgur.com/a/iZqnGXW
-25.392328	-51.467955	StopTime_12h45	12:45	0	Segunda_a_Sexta	https://imgur.com/a/iZqnGXW
-25.392328	-51.467955	StopTime_13h45	13:45	0	Segunda_a_Sexta	https://imgur.com/a/iZqnGXW
-25.392328	-51.467955	StopTime_15h50	15:50	0	Segunda_a_Sexta	https://imgur.com/a/iZqnGXW
-25.392328	-51.467955	StopTime_16h45	16:45	0	Segunda_a_Sexta	https://imgur.com/a/iZqnGXW

As Figuras 4 a 7 mostram as estruturas semantificadas para a geração do grafo RDF. Também apresentam as propriedades e as classes adicionadas aos dados.

Figura 4: Primeira parte da estrutura RDF

**RDF Schema alignment**

The RDF schema alignment skeleton below specifies how the RDF data that will get generated from your grid-shaped data. The cells in each record of your data will get placed into nodes within the skeleton. Configure the skeleton by specifying which column to substitute into which node.

**Base URI:** <http://lod.unicentro.br/SmartGuarapuava/RotasOnibus/> [Edit](#)

**RDF skeleton** [RDF Preview](#)

Available prefixes: **geo** **rdf** **owl** **rdfs** **gtfs** **time** **foaf** **dc** [Add](#) [Manage](#)

<b>uriAgency</b> URI	<input type="checkbox"/>	<a href="#">X</a> <a href="#">&gt;</a> <a href="#">foaf:name</a> <a href="#">→</a>	<input type="checkbox"/>	<b>agencyName</b> Cell
<a href="#">X</a> <a href="#">gtfs:Agency</a>				
<a href="#">Add type</a>				
<a href="#">X</a> <a href="#">gtfs:route</a> <a href="#">→</a>	<input type="checkbox"/>	<a href="#">X</a> <a href="#">gtfs:route</a> <a href="#">→</a>	<input type="checkbox"/>	<b>uriRoute</b> URI
<a href="#">Add type</a>				<a href="#">X</a> <a href="#">gtfs:Route</a>
				<a href="#">Add type</a>
		<a href="#">X</a> <a href="#">gtfs:stop</a> <a href="#">→</a>	<input type="checkbox"/>	<b>uriPoint</b> URI
				<a href="#">X</a> <a href="#">gtfs:Stop</a>
				<a href="#">Add type</a>

As colunas da tabela são identificadas em negrito nas figuras e podem ter dois tipos de classificação, são eles: URI - endereços para recursos; ou Cells - conteúdo e dados. Já na primeira parte tem-se a semantificação da primeira coluna “uriAgency” do tipo URI, essa coluna é semantificada como uma classe do tipo “Agency” proveniente do vocabulário GTFS, que serve para descrever campos que contém nomes de agências.

Todas as classes e propriedades são identificadas primeiramente



pelo vocabulário de origem e posteriormente definidas pelo nome do atributo ou classe, por exemplo, “gtfs:departureTime”, que representa um horário de partida proveniente do vocabulário GTFS.

A coluna “uriAgency” é semantificada com duas propriedades: “foaf:name” e “gtfs:route”, os quais são utilizados para descrever o tipo de relação entre uma coluna que representa o sujeito e outra coluna que representa o predicado. Neste caso a propriedade “name” provém do vocabulário “Friend-of-Friend” (FOAF Vocabulary, 2020) e serve para descrever dados do tipo nome, e o “route”, proveniente do vocabulário GTFS que serve para descrever dados do tipo rota. Com essa relação, se for consultado um elemento do tipo “Agency” dentro dessa base de dados, é possível saber quais as rotas que essa agência possui e quais os nomes das mesmas.

O mesmo procedimento é feito com todas as colunas da tabela. As classes de dados são facilmente identificadas pela primeira letra maiúscula, por exemplo, “Agency”, “Route” e “Stop”. Já as propriedades, que não descrevem os dados dentro da própria coluna, mas sim a relação deles com as outras colunas, podem ser facilmente identificadas pela primeira letra minúscula, por exemplo, “route”, “stop” e “shortName”.

As classes e propriedades são descritas a seguir:

- “gtfs:Agency”: classe para identificar dados do tipo agência;
- “foaf:name”: especifica um relacionamento do tipo nome entre as colunas;
- “gtfs:route”: especifica um relacionamento do tipo rota entre as colunas;
- “gtfs:Route”: classe para identificar dados do tipo rota;
- “gtfs:shortName”: diferentemente do “foaf:name” que relaciona nomes, esse atributo é mais específico para nomes de elementos relacionados ao trânsito;
- “gtfs:stop”: especifica um relacionamento do tipo ponto de ônibus (em inglês, stop) entre as colunas;
- “gtfs:Stop”: classe para identificar os dados do tipo ponto de ônibus;
- “geo:lat”: especifica um relacionamento do tipo latitude;
- “geo:long”: especifica um relacionamento do tipo longitude;
- “:hasTime”: essa propriedade foi criada nesse projeto para especificar os horários dos pontos, por isso ela não tem uma identificação de vocabulário;
- “gtfs:StopTime”: classe que identifica dados do tipo horário de parada (em inglês, stop time);
- “:weekDays”: especifica um relacionamento criado nesse projeto, para definir os dias da semana em que o serviço está funcionando;



- “gtfs:departureTime”: especifica um relacionamento do tipo hora de partida (em inglês, departure time);
- “:extra”: especifica um relacionamento criado neste projeto, para definir as rotas que possuem ônibus extras;
- “foaf:depiction”: especifica um relacionamento do tipo imagens;
- “foaf:Image”: classe que identifica dados do tipo imagem;
- “dc:identifier”: especifica um relacionamento do tipo identificador, proveniente do vocabulário Dublin Core Metadata Initiative (DCMI, 2020).

Figura 5: Segunda parte da estrutura RDF

**RDF Schema alignment**

The RDF schema alignment skeleton below specifies how the RDF data that will get generated from your grid-shaped data. The cells in each record of your data will get placed into nodes within the skeleton. Configure the skeleton by specifying which column to substitute into which node.

**Base URI:** <http://lod.unicentro.br/SmartGuarapuava/RotasOnibus/> Edit

**RDF skeleton** **RDF Preview**

Available prefixes: geo rdf owl rdfs gtfs time foaf dc + Add Manage

✕ > geo:long →	longitude Cell	✕ > :weekDays →	weekDays Cell
✕ > :hasTime →	uriStopTime URI gtfs:StopTime Add type	✕ > gtfs:departureTime →	timeHour Cell
		✕ > :extra →	extra Cell
		Add property	
✕ > foaf:depiction →	uriImage URI foaf:Image Add type		

Figura 6: Terceira parte da estrutura RDF

**RDF Schema alignment**

The RDF schema alignment skeleton below specifies how the RDF data that will get generated from your grid-shaped data. The cells in each record of your data will get placed into nodes within the skeleton. Configure the skeleton by specifying which column to substitute into which node.

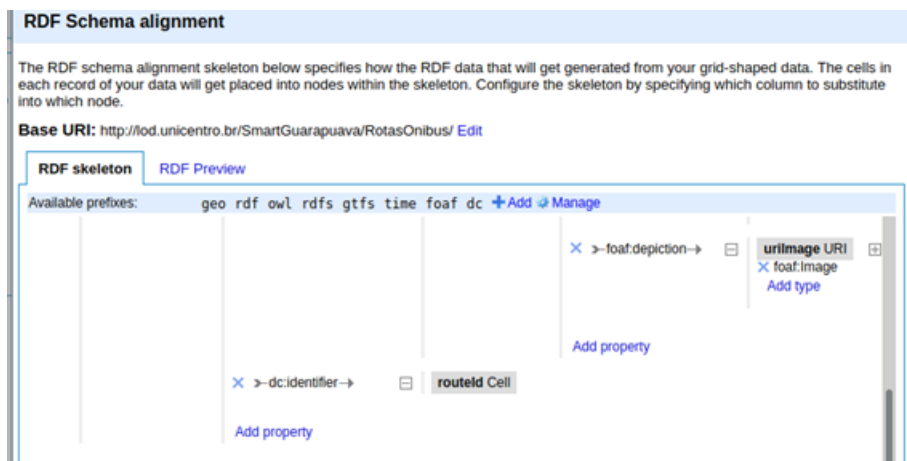
**Base URI:** <http://lod.unicentro.br/SmartGuarapuava/RotasOnibus/> Edit

**RDF skeleton** **RDF Preview**

Available prefixes: geo rdf owl rdfs gtfs time foaf dc + Add Manage

routeName Cell		✕ > foaf:name →	pointName Cell
uriPoint URI gtfs:Stop Add type		✕ > geo:lat →	latitude Cell
		✕ > geo:long →	longitude Cell
		✕ > :hasTime →	uriStopTime URI gtfs:StopTime Add type
		✕ > :weekDays →	weekDays Cell
		✕ > gtfs:departureTime →	timeHour Cell
		✕ > :extra →	extra Cell

Figura 7: Quarta parte da estrutura RDF



Após o tratamento e semantificação dos dados foi gerado o grafo RDF, o qual está publicado no servidor de dados abertos conectados do Grupo LAsED da Universidade Estadual do Centro-Oeste no endereço <http://lod.unicentro.br/sparql/> e pode ser consultado utilizando a linguagem SPARQL. Esse servidor utiliza o servidor Virtuoso, um sistema de banco de dados chamado de servidor universal porque trabalha com diversos modelos de dados (OpenLink Documentation, 2020).

Para facilitar o consumo desses dados, foi desenvolvido um *site* com interfaces que possibilitam a realização de consultas prontas sobre as rotas e os pontos de ônibus, assim como também é permitido que o próprio usuário do site realize a elaboração de novas consultas sobre o grafo RDF. Como o sistema leva o usuário diretamente para o servidor, dados sobre outras bases disponíveis no Servidor lod.unicentro.br também podem ser consultados manualmente. A ferramenta utilizada para o desenvolvimento do site foi o Laravel, desenvolvido na linguagem PHP. O *site* pode ser acessado em: <https://buslineslased.herokuapp.com/>.

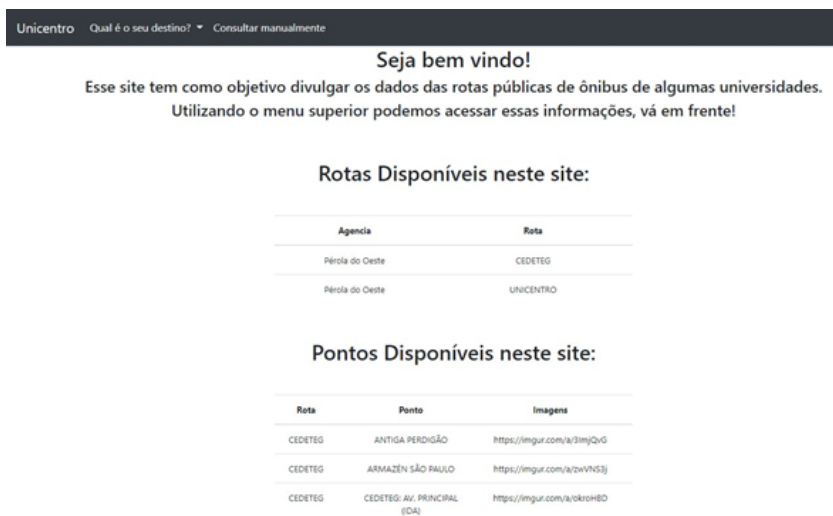
### 3.1 Prototipação da Interface

As interfaces do *site*, parte visível ao usuário, foram desenvolvidas utilizando o *framework* Bootstrap (Bootstrap, 2020), pois faz parte do *framework* Laravel nativamente. A proposta do *site* é fornecer as informações que estão sendo consultadas diretamente no *endpoint* da Unicentro: <http://lod.unicentro.br/sparql/http://lod.unicentro.br/Smart/Guarapuava/>, garantindo o acesso ao usuário que precisa dessas informações.

Conforme o crescimento da base de dados, mais informações serão exibidas no *site*, como apresentado na Figura 8. Atualmente o *site* exibe as

duas rotas que foram semantificadas. Nesta pesquisa foi elaborada uma extensa lista que mostra todos os pontos cadastrados nessas duas rotas, caso algum ponto seja alterado, adicionado ou excluído, o *site* será atualizado automaticamente.

Figura 8: Interface da página web inicial



Na Figura 9 é mostrada a página de pontos de ônibus do *Campus CEDETEG* da Unicentro. Essa interface aparece quando o usuário seleciona a opção "Qual é o seu destino?" e logo após "CEDETEG". Essa tela mostra todos os pontos da rota escolhida, junto com a foto do ponto para facilitar a identificação do mesmo.

Figura 9: Identificação dos pontos da rota



## 4. CONCLUSÃO

A Web Semântica é uma área bem vasta e que pode ser muito explorada. Essa pesquisa demonstrou como desenvolver um estudo de caso real envolvendo Cidades Inteligentes e Dados Abertos Conectados, percorrendo todas as etapas de semantificação, desde a coleta até a publicação dos dados segundo Melhores Práticas W3C (DWBP, 2020). Como contribuição dessa pesquisa, uma interface Web foi desenvolvida, a qual possibilita a geração de consultas semânticas referentes às rotas urbanas de linhas de ônibus que percorrem as Instituições de Ensino Superior de Guarapuava/PR.

## REFERÊNCIAS

AKSW, “**LIMES**”. Disponível em: <http://aksw.org/Projects/LIMES.html>. Acesso em 10 de Agosto, 2020.

Auer, Sören; Bühmann, Lorenz; Dirschl, Christian; Erling, Orri; Hausenblas, Michael; Isele, Robert; Lehmann, Jens; Martin, Michael; Mendes, Pablo N.; van Nuffelen, Bert; Stadler, Claus; Tramp, Sebastian; Williams, Hugh. **Managing the Life-Cycle of Linked Data with the LOD2 Stack**. In *Proceedings of The Semantic Web -- ISWC 2012: 11th International Semantic Web Conference*, Boston, MA, USA, November 11-15, 2012. Springer Berlin Heidelberg.

Berners-Lee, T., Lassila, Ora; Hendler, James. **The semantic web**. Scientific America, Maio 2001.

Bootstrap, “**Build fast, responsive sites with Bootstrap**”. Disponível em: <https://getbootstrap.com/>. Acesso em 10 de Agosto, 2020.

Dall'Agnol, J. M. H.; Tacla, C.A. Methodological guide for creation and publication LOD using the Best Practices of W3C Consortium. Relatório Final de Atividades de Pós-Doutorado em Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2020.

DCMI - Dublin Core Metadata Initiative, “DCMI Metadata Terms”. <https://www.dublincore.org/specifications/dublin-core/dcmi-terms/>. Acesso em 11 de Agosto, 2020.

DWBP. Data on the Web Best Practices. Disponível em: <https://www.w3.org/TR/dwbp/>. Acesso em mai/2020.

FOAF Vocabulary, “FOAF Vocabulary Specification 0.99”. <http://xmlns.com/foaf/spec/>. Acesso em 11 de Agosto, 2020.

Google Maps, “Maps”. <https://www.google.com.br/maps/preview>. Acesso em 11 de Agosto, 2020.

GTFS, “**General Transit Feed Specification**”. Disponível em: <https://lov.linkeddata>.

es/dataset/lov/vocabs/gtfs. Acesso em 22 de julho, 2020.

Laravel, “**The PHP Framework for Web Artisans**”. Disponível em: <<https://laravel.com/>>. Acesso em 10 de Agosto, 2020.

Lemos, A. “**Cidadesinteligentes**”. Disponível em: <http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/gvexecutivo/article/view/20720>. Acesso em 10 de Agosto, 2020.

LOV, “**Linked Open Vocabularies**”. Disponível em: <https://lov.linkeddata.es/dataset/lov/>. Acesso em 22 de julho, 2020.

Oliveira, W. “**URL ou URI, Qual a diferença?**” <https://woliveiras.com.br/posts/url-uri-qual-diferenca/>. Acesso em 11 de Agosto, 2020.

OpenLink Documentation, “**OpenLink Virtuoso Universal Server Documentation**”. Disponível em: <http://docs.openlinksw.com/virtuoso/>. Acesso em 10 de Agosto, 2020.

PHP, “**O que é o PHP?**”. Disponível em: [https://www.php.net/manual/pt\\_BR/intro-what-is.php](https://www.php.net/manual/pt_BR/intro-what-is.php). Acesso em 10 de Agosto, 2020.

Rautenberg, S., de Souza, L., Dall’Agnol, J. M. H., & Michelon, G. A. (2018). **Guia Prático para Publicação de Dados Abertos Conectados na Web**. Appris Editora e Livraria Eireli-ME.

Ribeiro, Danusa; Lóscio, Bernadette; Souza, Damires (2011). **Linked Data: da Web de Documentos para a Web de Dados**. V ERCEMAPI – Escola de Computação Ceará, Maranhão e Piauí. Disponível em: <http://pt.slideshare.net/danuserbc/linked-data-da-web-de-documentos-para-a-web-de-dados-10057267>. Acesso em Abr/2020.

Verlic, M. “**LODRefine**”. Disponível em: <https://github.com/sparkica/LODRefine>. Acesso em: 06 maio 2020.

## DEVELOPMENT OF A WEB INTERFACE FOR BUS ROUTES PUBLICATION THAT TRAVEL BETWEEN IES IN A PARANÁ CITY USING LOD

**RESUMO** - The Semantic Web makes it possible to add meaning to the data that was or is being generated, so that they are easily understood by machines and human beings, allowing the analysis of data that would previously be complex or impossible to be analyzed. This work aims to cover the stages of data semantification, from data collection to publication on the Web, according to the methodology proposed for linked open data by the LaSED Group of the Universidade Estadual do Centro-Oeste (Unicentro). The results are demonstrated through the development of a Web interface that allows the generation of semantic queries referring to urban routes of bus lines that run through Higher Education Institutions in the city of Guarapuava, Paraná.

**PALAVRAS-CHAVE:** Semantic Web; Linked Open Data; W3C Best Practices; Methodologies for Publishing Linked Open Data.

# ANÁLISE DA LARGURA ADICIONAL DOS ESTREITOS DE BREVES E BOIUÇU

**Munik Holanda de Oliveira**

Universidade Federal do Pará,  
Belém-PA

**RESUMO** - A importância da navegação na Amazônia é representada pela vasta malha hidroviária que permite ligar pontos equidistantes do país, os quais se deparam com o novo cenário de movimentação das commodities agrícolas rumo ao exterior utilizando essas vias navegáveis através de grandes comboios. E esta ligação do Mato Grosso via terrestre até chegar a Itaituba onde se faz a utilização dos comboios têm sido de grande relevância quando se trata do crescimento da produção agrícola, desenvolvimento das estações de transbordo de carga, portos fluviais e o uso do rio. No intuito de manter a segurança da navegação e promover a economicidade, utilizou-se as metodologias preconizadas pela PIANC (1997 e 2004) para dimensionamento do canal de navegação e buscou-se analisar a largura requerida nos Estreitos de Boiuçu e de Breves, de forma que a largura requerida esteja relacionada ao raio de curvatura e ângulo de deriva. Estas normas apresentam

metodologias para o cálculo da largura do canal navegável, profundidade, comprimento mínimo dos trechos retos, raio mínimo das curvas, entre outras recomendações. E para que se possa realizar o dimensionamento da hidrovia é de fundamental importância, o tipo e a dimensão do comboio escolhido, sendo esta observação pontual e necessária para o estudo do dimensionamento do canal de navegação da futura Hidrovia dos Estreitos, onde, neste estudo, verifica-se a largura do canal navegável, boca, comprimento, ângulo, raio de curvatura adequados para que a navegação ocorra com segurança.

**PALAVRAS-CHAVE:** Vias navegáveis interiores; Comboio fluvial; Dimensionamento de canais; Ângulo de deriva.

### 1. INTRODUÇÃO

Como consequência do avanço da cadeia produtiva da soja no cenário internacional, acarretou o surgimento de uma nova rota de escoamento da produção utilizando uma alternativa multimodal, desde o centro produtor, BR-163 até o município de Itaituba, especificamente no Distrito de

Miritituba (PA), localizado na margem direita do rio Tapajós, que funciona como uma espécie de “*hub ports*” na recepção da produção do Mato Grosso e distribui em comboios de barcas aos portos exportadores de Santarém (PA), Vila do Conde (PA) e Santana (AM).

Poucos são os cursos d’água que, em condições naturais, apresentam, em trechos satisfatoriamente longos, características que possibilitem o tráfego contínuo e seguro de embarcações de porte, capazes de realizar transporte de cargas com caráter comercial. (SILVA, 2004).

Segundo GUARD (2001), no transporte em vias navegáveis é esperado que as embarcações utilizassem toda a profundidade e largura disponível do canal, e ainda, é necessário equilibrar cuidadosamente todas as necessidades de acomodar os usuários da via, procurando maximizar os benefícios econômicos para a indústria, além de manter as condições necessárias de segurança.

Para ter acesso aos portos do corredor norte, o rio Tapajós, conjuntamente com a região dos Estreitos são utilizados para o escoamento dessas *commodities* através de comboios de empurra que chegam a 347 metros de comprimento, 53,35 metros de boca e em torno de 3,7 metros de calado com capacidade total de carga de 50.000 toneladas, considerando uma barca de 2.000 toneladas por barca constituinte do comboio, seguindo para os mercados importadores como China, Europa e Estados Unidos.

Conforme PIANC (1997) a embarcação a navegar no Canal de Acesso projetado constitui o primeiro passo no exercício de Projeto. Entretanto, mostra-se necessário definir a embarcação-tipo, bem como a capacidade de carga, características e dimensões que mais atenderão as questões de economicidade e segurança da navegação.

Cada vez mais, as empresas procuram diminuir os custos e aumentar os seus ganhos econômicos, e uma das possibilidades para alcançar este objetivo é aumentando o comprimento desses comboios-tipo (PADOVEZI, 2003).

Segundo WIEGMANS (2015), as economias de escala são mais fáceis de atingir e podem ser maiores no transporte por vias navegáveis interiores do que no transporte ferroviário e, conseqüentemente, o transporte intermodal de navegação interior pode oferecer um desempenho de custo mais competitivo para os transportes rodoviários.

Normalmente, os comboios-tipos que navegam na Amazônia compensam as baixas velocidades com um grande volume de carga transportado para que exista uma eficiência econômica do transporte, utilizando as vias navegáveis (PETROCÍNIO, 2011).

Para manter a segurança da navegação, e conseqüentemente a manutenção econômica do tráfego fluvial nos Estreitos, bem como a minimização de impactos ambientais, os quais são fatores importantes que contribuem para viabilizar o transporte hidroviário interior, em larga escala,



de forma a consagrá-lo como uma alternativa para o escoamento de grãos, fazem-se necessários estudos para que contribuam e desenvolvam a região amazônica.

Segundo OHTSU (2006), a profundidade, a largura e o alinhamento do canal podem ser calculados dependendo do tamanho do navio e dos espaços disponíveis para a navegação. A faixa de manobra, a largura adicional para as margens, a largura para a distância de passagem e a ultrapassagem são levadas em consideração para a largura do canal. Sendo então, o intuito deste artigo, a largura requerida dos Estreitos de Boiçu e de Breves, tendo como parâmetros técnico e normativo a serem atendidos pelas Normas da PIANC.

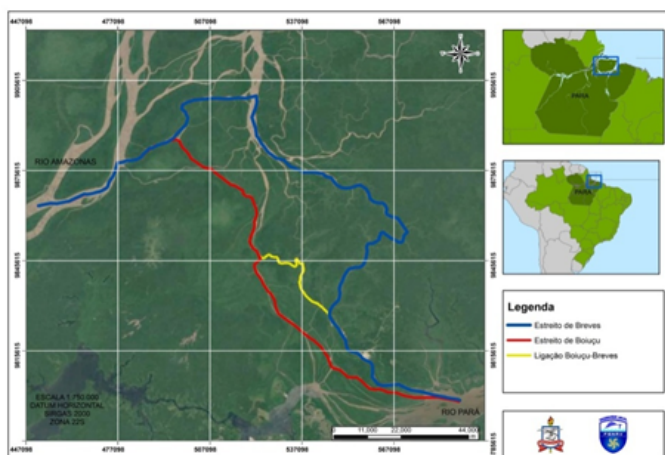
## 2. ÁREA DE ESTUDO

Os Estreitos em estudo são canais fluviais que ficam localizados ao sul da ilha do Marajó e destacam-se por serem áreas navegáveis, e por não possuírem balizamento de início ao fim que auxilie na indicação dos trechos navegáveis e dos perigos à navegação, conforme Figura 1.

Observa-se a perfeita sintonia entre a “Hidrovia do Tapajós” que influenciará no desenvolvimento da futura “Hidrovia dos Estreitos”, pois esta última representa o principal gargalo logístico ao escoamento de grãos pela via navegável, pois é o limitador do quantitativo de escoamento.

Ainda de acordo com a Figura 1, o Delta do Boiçu e Breves consiste em um estuário que se inicia na baía das Bocas, prossegue pelo chamado rio Pará, áreas em que recebem toda a massa de águas do rio Tocantins passando à alongada boca do complexo estuarino terminal sob o nome de baía do Marajó (AB’SABER, 2006).

Figura 1: Região dos Estreitos





### 3. COMBOIO-TIPO

Conforme PIANC (1997), a embarcação a navegar no Canal de Acesso projetado constitui o primeiro passo no exercício de Projeto. Entretanto, mostra-se necessário definir a embarcação-tipo, bem como a capacidade de carga, características e dimensões que mais atenderão as questões de economicidade e segurança da navegação.

Nem sempre o comboio-tipo reflete a maior embarcação que pode navegar na hidrovia, mas o dimensionamento da hidrovia reflete as dimensões do comboio-tipo, e no Quadro 1, verifica-se as características do comboio-tipo.

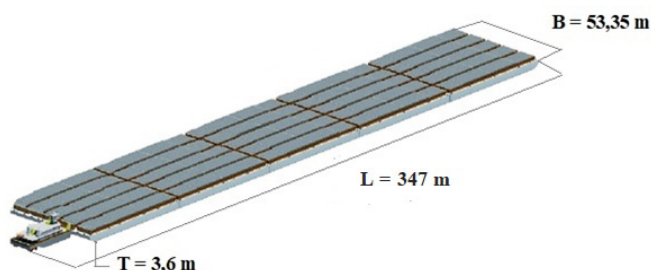
Quadro 1: Características do empurrador e barçaças utilizadas na formação do comboio-tipo

ITEM	Empurrador 1	Balsa <i>RACKED</i>	Balsa <i>BOX</i>
<b>AB</b>	684	1.044	1.044
<b>B (boca)</b>	12,80	10,67	10,67
<b>P (pontal)</b>	3,35	4,27	4,27
<b>T (calado máximo)</b>	3	3,66	3,66
<b>LOA (comprimento)</b>	45,24	59,44	60,96

Fonte: Elaboração própria

O comboio-tipo estudado é composto por 25 barçaças na formação 5x5, ou seja, composto de 5 colunas e 5 linhas, sendo duas destas linhas são de balsa tipo raked na proa e na popa com 59,44 m cada, pertencente ao conjunto das barçaças com um total de 118,88 m de comprimento para estas duas linhas e três linhas com 60,96 m de comprimento para cada barçaça com um total de 182,88 m, e o comprimento referente ao empurrador é em torno de 45,24 m, sendo a boca de cada barçaça de um total de 10,67 m. O comboio apresenta as seguintes dimensões: L= 347 m, B= 53,35 m e T= 3,7 m, e estes dados estão representados nas Figura 2.

Figura 2: Comboio na formação 5x5



## 4. MATERIAL E MÉTODOS

Através das normas da PIANC (1997 e 2004), realizou-se o dimensionamento do canal dos Estreitos de Breves e Boiuçu. Estas normas apresentam metodologias para cálculo da largura do canal navegável, da profundidade, do comprimento mínimo dos trechos retos, do raio mínimo das curvas, entre outras recomendações.

### 4.1 Metodologia conceitual para canais retilíneos PIANC

Através das considerações elencadas nas Tabelas 2 a 5, pode-se calcular o canal de via singela, isto é, com uma faixa de tráfego em um único sentido, quando se tratar de região com baixa densidade de cruzamentos de embarcações no trecho. E para obter a largura do fundo  $W$  da hidrovia para uma faixa de navegação, utilizou-se a Equação 1, sendo a Equação 2 utilizada somente para cálculo de dupla faixa de navegação:

$$W = W_{BM} + \sum_{i=1}^n W_i + W_{BR} + W_{BG} = W_M + W_{BR} + W_{BG} \quad (1)$$

E para duas faixas de navegação:

$$W = 2W_{BM} + 2 \sum W_i + W_{BR} + W_{BG} + 2W_P = 2W_M + W_{BR} + \sum W_P + W_{BG} \quad (2)$$

Em que  $W$  é a largura do canal;  $W_{BM}$  é a largura básica do canal;  $W_i$  são as larguras adicionais dadas em função da velocidade do navio, componentes da força do vento pelo través, componentes laterais e longitudinais da corrente, altura significativa da onda, auxílios à navegação, natureza do fundo e do tipo de carga;  $W_{BR}$  é a distância segura da margem “encarnada” do canal;  $W_{BG}$  é a distância segura da margem “verde” do canal; e  $W_P$  é a distância segura de passagem e interação entre os navios, levando em consideração as velocidades dos navios e a densidade do tráfego.

Para o dimensionamento do canal, em trechos retos, primeiramente foi calculada a faixa básica de manobra encontrada no Quadro 2.

Quadro 2: Faixa de Manobra Básica

Manobrabilidade Básica	Boa	Média	Pobre
Faixa de Manobra Básica ( $W_{BM}$ )	1,3B	1,5B	1,8B

Fonte: PIANC, (1997).

Após obter-se o valor da faixa de manobra básica, adicionou-se os itens relacionados às larguras adicionais para seções retas do canal, conforme o Quadro 3.

Quadro 3: Larguras Adicionais para Seções Retas de Canais

Larguras Adicionais para Seções Retas (Wi)	Velocidade da Embarcação	Canal Externo exposto a mar aberto	Canal Interno águas abrigadas
<b>a) Velocidade do navio (nós)</b>			
alta > 12		0,1B	0,1B
moderada > 8 - 12		0	0
baixa 5 - 8		0	0
<b>b) Vento pelo través (nós)</b>			
brando $\leq 15$ ( $\leq$ Beaufort 4)	Toda	0	0
moderado > 15-33 (> Beaufort 4 - Beaufort 7)	Alta	0,3B	0,4B
	Moderada	0,4B	0,5B
	Baixa	0,5B	0,5B
forte > 33 - 48 (> Beaufort 7 - Beaufort 9)	Alta	0,6B	-
	Moderada	0,8B	0,8B
<b>c) Corrente pelo través (nós)</b>			
desprezível < 0,2	Toda	0	0
fraca 0,2 - 0,5	Alta	0,1B	-
	Moderada	0,2B	0,1B
	Baixa	0,3B	0,2B
moderada > 0,5 - 1,5	Alta	0,5B	-
	Moderada	0,7B	0,5B
	Baixa	1,0B	0,8B
forte > 1,5 - 2,0	Alta	0,7B	-
	Moderada	1,0B	-
	Baixa	0,7B	-
<b>d) Corrente longitudinal (nós)</b>			
fraca $\leq 1,5$	Toda	0	0
moderada > 1,5 - 3	Alta	0	-
	Moderada	0,1B	0,1B
	Baixa	0,2B	0,2B
forte > 3	Alta	0,1B	-
	Moderada	0,2B	0,2B
	Baixa	0,4B	0,4B
<b>e) Altura significativa de onda Hs e comprimento <math>\lambda</math> (m)</b>			
$H_s \leq 1$ e $\lambda \leq l$	Toda	0	0

3 > Hs > 1 e $\lambda = L$	Alta	$\approx 2,0 B$	0
	Moderada	$\approx 1,0 B$	0
	Baixa	$\approx 0,5 B$	0
Hs > 3 e $\lambda > L$	Alta	$\approx 3,0 B$	0
	Moderada	$\approx 2,2B$	0
	Baixa	1,5B	0
<b>f) Auxílios à Navegação</b>			
excelentes c/ controle de tráfego c/ base em terra		0	0
Bom		0,1B	0,1B
moderado, com baixa visibilidade ocasional		0,2B	0,2B
moderado com baixa visibilidade frequente		$\geq 0,5B$	$\geq 0,5B$
<b>g) Tipo de fundo</b>			
se profundidade $\geq 1,5 T$		0	0
se profundidade $< 1,5 T$ , então:			
liso e mole		0,1B	0,1B
liso ou inclinado e duro		0,1B	0,1B
irregular e duro		0,2B	0,2B
<b>h) Profundidade da hidrovía</b>			
$\geq 1,5 T$		0	$\geq 1,5 T - 0,0$
1,5 T - 1,25 T		0,1B	1,5 T - 1,15 T - 0,2B
$< 1,25 T$		0,2B	$< 1,15 T - 0,4B$
<b>i) Nível de periculosidade</b>			
Baixo		0	0
Médio		$\geq 0,5 B$	$\geq 0,4B$
Alto		$\geq 1,0 B$	$\geq 0,8B$

Fonte: PIANC, (1997).

Para o canal de via dupla, deve-se considerar os dados apresentados pelo Quadro 4 que contém, a largura para distância de passagem ( $W_p$ ), realiza-se o enquadramento referente a velocidade do navio, bem como a densidade de cruzamentos de acordo se o canal externo é exposto a mar aberto ou é um canal interno de águas abrigadas, nos quais os valores obtidos são utilizados

na formulação da Equação 2, indicada acima.

Quadro 4: Largura Adicional para Distância de Passagem em Tráfego nos Dois Sentidos

Larguras para Distância de passagem ( $W_p$ )	Canal Externo exposto a mar aberto	Canal Interno águas abrigadas
<b>Velocidade do navio (nós)</b>		
alta > 12	0	0
moderada > 8 – 12	$\geq 0,5 B$	$\geq 0,4B$
baixa 5 – 8	$\geq 1,0 B$	$\geq 0,8B$

Fonte: PIANC, (1997).

Por meio do Quadro 5, verifica-se o enquadramento quanto à largura adicional para distância das margens em relação à velocidade desenvolvida na via, no canal interno de águas abrigadas, que se subdivide em margens de canal inclinadas e baixios, e penhascos, barragens e estruturas.

Quadro 5: Largura Adicional para Distância de Margens

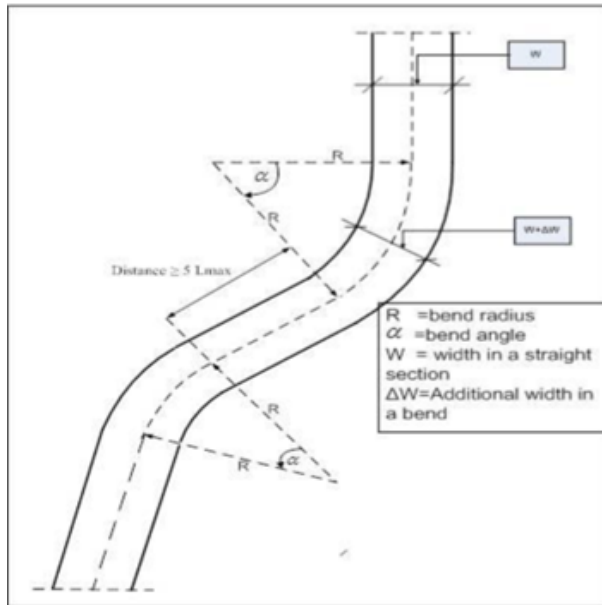
Larguras para distância de margens ( $W_{BR}$ ) e ( $W_{BG}$ )	Velocidade da Embarcação	Canal Externo exposto a mar aberto	Canal Interno águas abrigadas
Margens de canal inclinadas e baixios	Alta	0,7B	-
	Moderada	0,5B	0,5B
	Baixa	0,3B	0,3B
Penhascos, barragens e estruturas	Alta	1,3B	-
	Moderada	1,0B	1,0B
	Baixa	0,5B	0,5B

Fonte: PIANC, (1997).

#### 4.2 Metodologia conceitual para canais curvos PIANC

De acordo com o exposto preliminarmente para canais retilíneos, o PIANC (2014) apresenta recomendações para os casos em que há curvas no canal. Nestes trechos, adicionou-se o fator AW à largura W obtida para canais retilíneos, e assim obteve-se a largura recomendada para a seção sinuosa, conforme Figura 3.

Figura 3: Configuração da Curva



Fonte: PIANC, 2004; p. 76.

Conforme PIANC (2014), baseado nas recomendações da ROM 3.1, o aumento da largura do canal em curvas é o resultado da soma dos dois fatores relacionados na Equação 3:

$$(\Delta W = \Delta W_{DA} + \Delta W_{RT}) \quad (3)$$

Em que:  $\Delta W_{DA}$  é a deriva da embarcação e  $\Delta W_{RT}$  é o tempo de resposta entre o instante em que o navio desvia do eixo do canal e o momento em que a correção aplicada passa a ser efetiva.

O fator de deriva da embarcação é obtido pela aplicação da Equação 4:

$$\Delta W_{DA} = \frac{LOA^2}{a \cdot R_c} \quad (4)$$

Em que:  $L_{OA}$  é o comprimento entre perpendiculares;  $a$  é a variável dependente do tipo de embarcação, sendo 4,5 para navios de  $C_B > 0,8$  (Navios-Tanque, graneleiros, etc), ou 8 para os demais navios; e  $R_c$  é o raio de giro em função do  $L_{OA}$  e tipo de navio. Para os fins dessa metodologia, recomenda-se a utilização das condições  $h/T$  (profundidade/calado) = 1,2.

O fator de tempo de resposta é obtido pela aplicação da Equação 5:

$$\Delta W_{RT} = 0,4*(B) \quad (5)$$

Em que: B é a boca.

### 4.3 Raio da curva ( $R_c$ )

A curvatura do canal aproxima-se das duas linhas laterais logo após a curva, e deve-se considerar a habilidade do giro do comboio e o ângulo de leme utilizado, onde o raio da curva é igual a curva de giro do comboio, calculada pela Equação 6 abaixo:

$$R = L_{OA}/K_R \delta_R \quad (6)$$

Em que:  $L_{OA}$ : comprimento do navio entre perpendiculares;  $K_R$ : índice não dimensional de giro; e  $\delta_R$ : ângulo de leme.

Os cálculos são realizados com o ângulo de leme a 20° em águas rasas e a uma profundidade/calado de 1,2 (h/T).

O raio de curvatura resulta da razão profundidade/calado e ângulo do leme. A PIANC orienta a utilização do Quadro 6, em nível conceitual, considerando a variação do tipo de embarcação.

Quadro 6: Raio de Curvatura Mínimo

Número	Tipo de Embarcação	Raio de Curvatura (LOA)
1	Cargueiro	5
2	Pequeno Cargueiro	6
3	Conteiner Pós-Panamax	7
4	Conteiner Panamax	6
5	Graneleiro de super dimensões	6
6	Graneleiro de grandes dimensões	6
7	Graneleiro de pequenas dimensões	5
8	VLCC	5
9	Navio tanque pequeno	5
10	LNG	4
11	Carga Geral Frigorífica	5
12	Cruzeiro	4
13	Ferrie	5

Fonte: PIANC (2014, p.91).

## 5. PARÂMETROS CONSIDERADOS

Com base nas características ambientais e no comboio-tipo considerado, previamente descritos, considerou-se os seguintes parâmetros para a aplicação da metodologia proposta pelo PIANC (2014):

Foi considerado comboio-tipo com manobrabilidade moderada, portanto para o caso em análise,  $WBM = 1,5B$ , tendo em vista a utilização de rebocadores azimutais.

Foi considerada a velocidade do navio, quando navegando pelos Estreitos de Breves e Boiuçu, de 5 a 8 nós.

Segundo RAMOS (2009), a velocidade dos ventos transversais dominantes é menor que 15 nós, com intensidade média abaixo de 8 km/h, portanto será considerado o vento brando na escala Beaufort 4.

A influência da corrente transversal e longitudinal foi considerada como baixa.

Em navegação, observou-se a altura significativa de onda  $H_s$  e comprimento  $\lambda$  menores que 1 (um) m.

Tratando-se de auxílios à navegação, considerou-se moderado, com baixa visibilidade ocasional, tendo em vista a existência somente um auxílio no Estreito de Boiuçu na pedra do Vira Saia e a ocorrência de chuvas constantes na região.

Considerou-se a profundidade do canal entre 1,25 e 1,5 vezes o calado do comboio-tipo analisado, sendo a tensa lisa e mole por tratar-se de fundo lamoso.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Largura mínima recomendada

Aplicou-se a metodologia da PIANC para identificar a largura mínima recomendada para o canal de acesso com base no comboio-tipo analisado.

Primeiramente foi calculada a largura mínima recomendada para o trecho retilíneo do canal. Em seguida foi verificado o adicional de largura a ser aplicado na seção curva.

### 6.2 Trecho retilíneo

No que tange a PIANC, observa-se através do Quadro 7, os fatores adicionais à largura ( $W_i$ ) para o comboio-tipo considerado:



Quadro 7: Fatores adicionais à largura ( $W_i$ )

$W_i$ – Fatores Adicionais à Largura		
a) Velocidade do navio	Baixa	$5 \text{ nós} < V < 8 \text{ nós}$
b) Ventos transversais prevalecentes	0	
c) Correntes transversais prevalecentes	0,2	
d) Correntes longitudinais prevalecentes	0,2	
e) Altura e comprimento de onda	0	
f) Auxílios à navegação	0,2	
g) Tipo de fundo	0,1	
h) Profundidade da via navegável	0,2	
<b><math>W_i</math></b>		<b>0,9B</b>

Considerou-se a manobrabilidade dos comboios moderada, tendo em vista a utilização de rebocadores azimutais e pela baixa manobrabilidade das balsas, portanto  $W_{BM} = 1,5*B$ .

Tendo em vista que o canal tem laterais taludadas e fundo lamoso, considerou-se que o comboio navega no canal sob velocidade lenta ( $5 \text{ nós} < V < 8 \text{ nós}$ ),  $WBR = WBG = 0.3B$ . Portanto, com base nos multiplicadores explicitados nos parágrafos anteriores, e considerando que a boca do navio tem 53,35 m, pode-se aplicar a Equação 1 e obter-se o resultado da Equação 7:

$$W = (1,5*53,35) + (0,9*53,35) + (0,3*53,35) + (0,3*53,35) = 3*53,35 = 160 \text{ m} \quad (7)$$

Dessa forma, conclui-se que com base na metodologia conceitual proposta pelo PIANC (2007 e 2014), e nas variáveis de entrada utilizadas é recomendável que o trecho retilíneo do canal de acesso tenha pelo menos 160 m de largura, considerando comboios com 53,35 m de boca e 347 m de largura.

### 6.3 Trecho curvo

Em análise dos Estreitos de Breves, observou-se 89 seções curvas e no Estreito de Boiçu um quantitativo de 76 seções curvas, resultando na necessidade de um adicional à largura, previamente calculada para o trecho retilíneo. Dessa forma, baseado na metodologia discriminada nos subtópicos 4.1 a 4.5. Calculou-se o fator  $\Delta W$  para o comboio tipo analisado. O resultado está indicado por meio do Quadro 8 a seguir.

**Quadro 8:** Cálculo adicional  $\Delta W$ 

Tipo de embarcação	Comboio
Boca	53,35
LOA	347
Rc	1735
a	4,5
$\Delta W_{DA}$	15,42
$\Delta W_{RT}$	21,34
$\Delta W$	36,76

Fonte: Elaborado pela autora.

Com base nos resultados obtidos, conforme mostrados pelo Quadro 8, pode-se concluir que no trecho de curvas é necessária uma largura de pelo ou menos de 196,76 m.

#### 6.4 Deriva do canal

Cabe salientar, que ao navegar dentro do canal, o comboio acaba se deslocando com um ângulo de deriva em relação ao seu eixo, e isto contribui para que a largura ocupada pelo comboio aumente em relação à sua boca máxima.

O método de design conceitual japonês descreve o critério para calcular a largura ocupada por uma embarcação, quando navegando com determinado ângulo de deriva (PIANC, 2014).

Tal método define meios para estimar o ângulo de deriva ( $\beta$ ) resultante do efeito do vento e das correntes. Entretanto, através de observação real de navegação pelos Estreitos de Breves e Boiuçu, notou-se ângulos de deriva entre 5° ou 10° para embarcações navegando nos Estreitos, portanto não há necessidade de estimar tais parâmetros.

Com base na Equação 8, e através dos valores contido no Quadro 9, analisou-se a largura ocupada pelo comboio-tipo analisado através de suas dimensões tais como LOA e Boca Máxima, considerando duas situações distintas: ângulo de deriva de 5° e 10°.

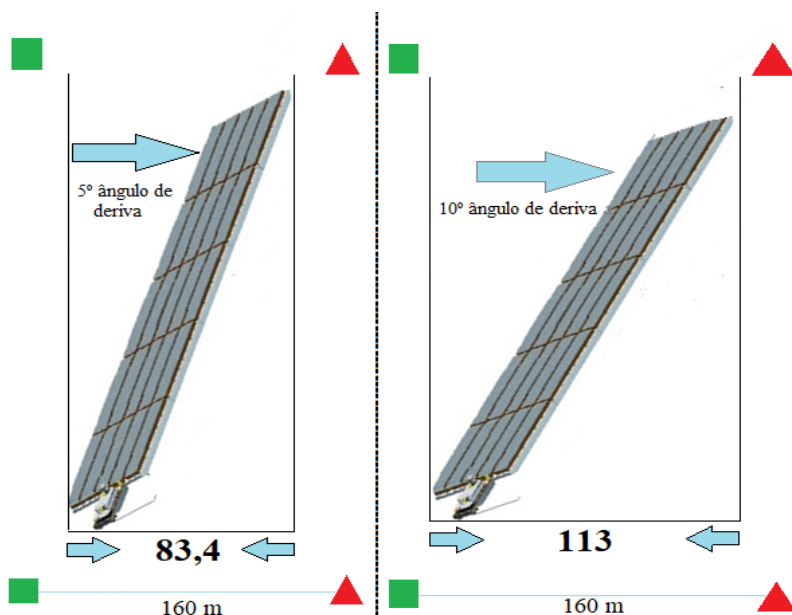
$$W = (LOA * \sin\beta) + (B * \cos\beta) \quad (8)$$

**Quadro 9:** Largura Ocupada pelos navios e ângulo de deriva

Comboio	LOA (m)	Boca (m)	Largura Ocupada (W)	
			$\beta = 5^\circ$	$\beta = 10^\circ$
5x5	347	53,35	83,39	112,79

Desta maneira, verifica-se que apesar da boca ser bem inferior à largura do canal, o comboio-tipo ao navegar acaba utilizando uma largura considerável do canal resultando em reduções significativas nas margens do rio que estão disponíveis, tendo em vista a ocorrência do ângulo de deriva. Nos estreitos de Breves e Boiuçu, quando o comboio fluvial atinge o ângulo de deriva de  $10^\circ$ , observa-se, que a largura ocupada pelo comboio é de 70,5% da largura do canal. A figura 4, ilustra a deriva para um comboio fluvial de 347 m de comprimento e boca de 53,35 m.

Figura 4: Largura ocupada pelo comboio para os ângulos de deriva ( $\beta$ ) de  $5^\circ$  e  $10^\circ$



A análise da situação através dessa metodologia é bastante importante, tendo em vista que deixa de manter a atenção somente na boca da embarcação, e destaca também a relevância do seu comprimento e ângulo de deriva.

## 7. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, conforme a metodologia empregada e os parâmetros adotados para descrever os Estreitos de Breves e Boiuçu, e considerando o comboio de 53,35 m de boca, verifica-se a necessidade de um canal de 160 m em sua parte retilínea e de 197 m de largura em sua parte curvilínea para que o comboio-tipo estudado possa ser manobrado, mantendo-se as margens de segurança mínimas recomendadas.

É importante destacar que o comboio-tipo estudado já demandaria largura adicional para trafegar nos Estreitos, entretanto, os rebocadores utilizados não são convencionais, e sim azimutais, o que facilita uma melhor manobrabilidade do comboio aliada ao conhecimento da tripulação tem obtido eficiência e resultados positivos na navegação sem causar acidentes na via.

## REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. **Brasil, paisagens de exceção: o litoral e o Pantanal mato-grossense, patrimônios básicos**. Cotia, SP: Ateliê Editorial, 2006.

DEL ESTADO, Puertos. **Recommendations for Maritime Works (Spain) ROM 3.1-99: Designing Maritime Configuration of Ports. Approach Channels and Floatation Areas, Spain: CEDEX**, 2007.

GUARD, Canadian Coast. Guidelines for the Safe Design of Commercial Shipping Channels. **Waterways Development Division, Canadian Coast Guard, Canada**, 2001.

OHTSU, K. et al. Design standard for fairway in next generation. **University of Marine Science and Technology**, Tokyo, p. 230-239, 2006.

PADOVEZI, C. D. **Conceito de embarcações adaptadas à via aplicado à navegação fluvial no Brasil**. 2003. 284 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Naval e Oceânica, São Paulo, 2003.

PETROCÍNIO, R. R. M. **Projetos de redes logísticas em transporte em águas interiores**. 2011. 148 f. Tese (Doutorado Oceânica), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

PIANC. **Approach channels: a guide for design**. Brussels, BRU: IMPA; Tokyo, JAP: IALA, 1997.

PIANC. **Harbour approach channels: design guidelines**, Report 121, Bruxelas, 2014.

RAMOS, A. M.; SANTOS, L. A. R.; FORTES, L. T. G. (Org.). **Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990**. Brasília, DF: INMET, 2009, 465 p.

SILVA, P. J. **Estrutura para Identificação e Avaliação de Impactos Ambientais em Obras Hidroviárias**. 2004. 511 p. Tese (Doutorado)–Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica, São Paulo, 2004.

WIEGMANS, B.; Konings, R. Intermodal Inland Waterway Transport: modelling conditions influencing its cost competitiveness. **The Asian Journal of Shipping and Logistics**, Netherlands, v. 31, issue 2, p. 273-294, 2015.

## ANALYSIS OF THE ADDITIONAL WIDTH IN THE STRAITS OF BREVES AND BOIUÇU

**ABSTRACT** – The importance of navigation in the Amazon is represented by the vast waterway network that allows connecting equidistant points of the country, which are in view of the new scenario of movement of agricultural commodities towards the outside using these waterways through large convoys. And this connection from Mato Grosso via terrestrial until reaching Itaituba where the use of convoy is made have been of great relevance when it comes to the growth of agricultural production, development of cargo transshipment stations (ETC), river ports and the use of the river. In order to maintain the safety of navigation and promote economics, we used the methodologies recommended by PIANC (1997 and 2004) for the sizing of the navigation channel and we sought to analyze the width required in the Straits of Boiuçu and Breves, so that the required width is related to the radius of curvature and angle of drift. These standards present methodologies for calculating the width of the navigable channel, depth of the navigable channel, minimum length of straight stretches, minimum radius of curves, among other recommendations. And in order to be able to make the dimension of the waterway is of fundamental importance, the type and size of the chosen train, being this punctual observation and necessary for the study of the sizing of the navigation channel of the future Waterway of the Straits, where, in this study, the width of the waterway channel, mouth, length, angle, radius of curvature is adequate for navigation to occur safely.

**KEYWORDS:** Inland waterway; Barge convoy; Channel sizing; Drift angle.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Aberto 57, 58, 60, 65, 67, 68, 74-76  
Abrigadas 75, 76  
Acelerações 15  
Adicional 13, 69, 70-85  
Adsorção 9, 42-44, 46-48, 52-54, 56  
Agitadora 46, 47  
Água 9, 15, 16, 21, 23-25, 29, 31-34, 37, 40, 43, 45, 46, 49, 52, 56, 71, 74-76, 78, 83  
Amostragem 9, 42, 44, 45, 48-52, 54  
Análise 9, 12-23, 29, 31, 34-42, 45, 46, 69, 70-85  
Ângulo 69, 78, 81, 82  
Aplicação 9, 16, 21, 23, 24, 29, 33-38, 41, 77-79  
Aquaviário 15  
Área 15, 24, 25, 34, 35, 41, 44, 48, 51, 52, 58, 67, 71, 83, 89  
Argentina 9, 12, 34, 35-42  
Aspectos 21, 31  
Atmosfera 15  
Auxílio 73, 75, 79, 80

### B

Balsa 72, 80  
Barlavento 39, 40  
Barragem 9, 15, 21, 23, 24, 34  
Bidimensional 9, 12, 14, 16, 21, 23, 24, 31, 32, 34-42  
Biológica 43, 44  
Boiçu 13, 69, 70-85  
Breves 13, 69, 70-85

### C

Caatinga 44  
CALC 60  
Campos 9, 12, 14-34, 38, 40, 56, 62  
Canal 69-82  
Caracterização 13, 42-57  
Carga 69, 70-73, 78  
Cerrado 44  
Cidade 9, 13, 33, 34, 57-69  
Cinética 15  
Comboio 69, 70, 72, 78-83  
Combustão 46  
Computacional 9, 14, 23, 25, 29, 33, 35  
Conceitual 73, 76, 78, 80, 81  
Conectados 57, 58, 60, 65, 67, 68  
Continentais 15, 16, 21, 24, 31, 32, 40  
Córdoba 9, 33, 34  
Corrente 13, 15, 42-57, 73, 74, 79-81  
Curvos 76

### D

Dados 10, 16, 23, 25, 27, 28, 43, 47, 52, 57-65, 67, 68, 72, 75  
Dendrítico 25, 31  
Deriva 77, 81, 82  
Descrição 44, 58  
Desenvolvimento 9, 13, 30, 57-69, 71  
Determinação 9, 12, 15, 25, 33, 34-43, 46  
Diagrama 40

Dimensionamento 9, 15, 69, 72, 73

## E

Ecossistemas 15, 43

Eletrônica 35

Embarcação 70, 72, 74, 76-78, 81, 82

Empurrador 72

Energia 9, 12, 14-24, 33, 34, 47, 53, 54

Escoamento 43, 48, 52, 69-71

Estreitos 13, 69-85

Estudo 9, 10, 15, 21, 24, 25, 31, 34, 35, 37, 40, 44, 49-51, 58, 59, 67, 69, 71

Extremos 38

## F

Falcon 46

Ferramentas 58, 59

Ferrovário 70

Fetch 9, 12, 14-16, 22-24, 29-42

Flutuações 14

Fluvial 70, 82, 83

Fosfato 42, 43, 47, 53, 54

Fósforo 9, 13, 42, 43-57

Frações 42, 46, 48, 49

Fundo 15, 33, 73, 75, 79, 80

## G

Geográfica 35

Geradas 9, 12, 15-34, 40

Granulometria 42, 45, 47, 49

## H

Hidrelétricas 25

Hidrodinâmica 12, 14-23, 34

Hidrovia 69, 70-73, 75, 83

Horário 23, 25, 28, 58, 59, 61, 63

## I

IES 13, 57-69

Ilha 34, 40, 71, 89

Imagem 36, 64

Intensidade 16, 21, 25, 28-31, 43, 53, 54, 79

Interface 13, 14, 49, 57-69

Interiores 34, 69, 70, 83

INTERPLOT 25, 27

Isoterma de Langmuir 47, 52

## J

Jurumirim 9, 12, 16, 23-33

## L

Lagos 16, 21, 24, 34

Laravel 60, 65, 68

Largura 13, 25, 35, 69-85

Libre 60

LIMES 60

Localização 9, 24-26, 30, 31, 33-35, 38, 40, 44

Locomoção 58

LOD 13, 57-69

Longitudinal 74, 79

## M

Mapas 9, 16, 28, 29, 33, 35, 38, 40, 59

Mar 75, 76

Margens 15, 33-35, 39, 40, 71, 76, 82

Matéria 15, 29, 43, 44, 46-49, 51, 55, 73,

Matões 13, 42-57

Melhores 57, 59, 67

Metodologias 57, 58, 69, 73

Métodos 9, 12, 15, 29, 30, 34-42, 44, 73

Microbiano 47

Mínima 79, 82

## N

Navegação 9, 69-73, 75, 79, 80, 81, 83  
Nitrogênio 9, 42-44, 46, 51, 52, 54  
Nível 25, 75, 78  
Numérica 12, 23-33, 41  
Nutrientes 43, 44, 49, 56

## O

Office 60  
Onda 14-16, 21, 23, 29-31, 34, 40, 74, 79, 80  
ONDACAD 14, 16, 22, 23, 29, 32-35, 37, 38, 41  
Ônibus 10, 13, 57-69  
Open Refine 60  
Orgânica 43, 44, 46-49, 51

## P

Parâmetros 9, 42, 44, 46, 47, 52, 54, 71, 79, 81, 82  
Paraná 13, 14, 21, 23-25, 28, 30, 32, 33, 41, 57-69  
Passagem 71, 73, 75, 76  
Periculosidade 75  
Perturbação 15, 24  
PIANC 69-73, 75-80, 83, 84  
Piauí 9, 13, 42-57, 68  
Práticas 57, 59, 67  
Pressão 14, 15  
Profundidade 25, 35, 69-71, 73, 75, 78-80  
Prototipação 65  
Publicação 8, 10, 13, 57-69

## R

Raio 69, 73, 77, 78  
Recomendada 76, 79, 82  
Reservatório 9, 12, 14-42  
Resolução 16, 29, 35-37, 50, 51,

55

Retilíneos 73, 76  
Rio 9, 13, 21, 24, 25, 30, 32, 42-57, 70, 71, 82, 83  
Rotas 10, 13, 57-69

## S

San Roque 35, 41  
Sedimentos 9, 13, 15, 33, 42-57  
Semântica 57, 58, 67  
Servidor 60, 65  
Severos 9, 12, 14, 15, 23-33  
Simulação 9, 12, 14, 21, 23-33, 40  
Sorção 13, 42-57  
Superfície 14-16, 24, 33, 34, 37, 40

## T

Tapajós 70, 71  
Temáticos 28, 35  
Total 10, 25, 40, 42, 46, 47, 50-52, 54, 56, 70, 72  
Trafegam 13, 57-69  
Transporte 15, 33, 55, 59, 70, 83  
Trecho 49, 52, 69-71, 73, 76, 79-81  
Tucuruí 9, 12, 14-23  
Turbidez 15

## U

Urbanas 10, 57, 58, 67  
Usando 13, 57-69  
Usinas 25

## V

Variações 15, 25, 38  
Vegetação 44  
Velocidade 16, 70, 73-76, 79, 80  
Vento 9, 12, 14-34, 36, 37, 39, 40, 73, 74, 79-81



Viabilidade 15, 21  
Vias navegáveis 69, 70  
Virtuoso 60, 65, 68

## W

W3C 59, 67, 68  
Web 10, 13, 57-69

## **SOBRE O ORGANIZADOR**

### **Marcelo Marques**

Professor da Universidade Estadual de Maringá (UEM), doutor em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pela UFPR e mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Meio Ambiente pela UNESP, campus de Ilha Solteira, realizando o estágio de docência e parte das atividades de mestrado na COPPE-UFRJ. Especialista em hidráulica pela Universidad Internacional de Andalucia (UNIA), Espanha e especialista em Geoprocessamento pela UEM. Graduado em Engenharia Civil pela UEM. Coordena o Núcleo de Pesquisa em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (NUPEHIDRO). Atua nas grandes áreas de Engenharia, Ciências Exatas e da Terra e Multidisciplinar. Conheça os trabalhos desenvolvidos acessando: [www.marcelomarques.com](http://www.marcelomarques.com)



# **Avanços em Computação Aplicada e Fluidodinâmica Computacional**

[www.bookerfield.com](http://www.bookerfield.com)



[contato@bookerfield.com](mailto:contato@bookerfield.com)



[@bookerfield](https://www.instagram.com/bookerfield)



Bookerfield Editora



ISBN 978-658992934-5



9

786589

929345



# **Avanços em Computação Aplicada e Fluidodinâmica Computacional**

[www.bookerfield.com](http://www.bookerfield.com)



[contato@bookerfield.com](mailto:contato@bookerfield.com)



[@bookerfield](https://www.instagram.com/bookerfield)



Bookerfield Editora



ISBN 978-658992934-5



9

786589

929345