



CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO  
CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO

**Modelagem e Estratégias de Resolução para  
o Problema de Alocação de Berços**

CHAMADA UNIVERSAL MCTI/CNPq – 01/2016

Coordenador: Prof. Dr. Eduardo Tadeu Bacalhau  
Instituição: Universidade Federal do Paraná  
Centro de Estudos do Mar

# Sumário

<b>Resumo</b>	<b>1</b>
<b>1 Identificação da Proposta</b>	<b>2</b>
1.1 Introdução . . . . .	2
1.2 Justificativa do Projeto . . . . .	3
<b>2 O Problema de Alocação de Berços</b>	<b>3</b>
2.1 Formulação Matemática . . . . .	4
2.2 Estratégias Resolução do Problema . . . . .	6
<b>3 Objetivos e Metas</b>	<b>7</b>
3.1 Objetivos . . . . .	7
3.2 Metas . . . . .	8
<b>4 Método de Pesquisa</b>	<b>8</b>
<b>5 Orçamento e Cronograma do Projeto</b>	<b>10</b>
5.1 Orçamento Detalhado . . . . .	10
5.2 Cronograma do Projeto . . . . .	10
<b>6 Participantes do Projeto</b>	<b>12</b>
<b>7 Infraestrutura e Apoio</b>	<b>13</b>
<b>8 Iniciação Científica</b>	<b>14</b>
<b>9 Comentários Finais</b>	<b>15</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>15</b>

## Resumo

O problema de alocação de berços (PAB) consiste na alocação de navios em posições de atracação em terminais portuários, buscando minimizar o tempo total de serviço e maximizar a ocupação do cais. O PAB pode ser descrito em duas versões: modelo discreto que define um conjunto finito de berços para o cais; e o modelo contínuo, com o berço definido em qualquer posição ao longo do cais. Neste projeto, propõe-se tratar ambos os modelos, desenvolvendo inicialmente o modelo em sua forma discreta, e mais adiante, o modelo estendido para o caso contínuo, com a finalidade de aplicá-los às instâncias reais.

Como estratégias de resolução do problema, serão objetos de estudos os métodos exatos e as meta-heurísticas, além dos métodos híbridos que combinam mais de uma técnica de resolução.

Estudos de casos também são propostos, com o intuito de discutir o desempenho das estratégias em relação aos modelos desenvolvidos. Uma primeira fase busca tratar instâncias testes presentes na literatura para o modelo discreto. Adiante, são abordadas instâncias reais, construídas a partir de dados disponibilizados pela Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina (APPA), para o modelo contínuo.

*Palavras-chave:* problema de alocação de berços, métodos exatos, meta-heurísticas.

## Abstract

The berth allocation problem (BAP) is concerned to assign ships to port terminal positions, seeking minimize total service time and maximize the quay occupation. The BAP can be considered as two versions: the discrete case, composed by a finite set of berth; and the continuous case, where the berth position is given in any place along the quay. In this project, both models can be trated which initially a discrete model is considered and, further, a extended model for continuous case can be developed in order to applied at the real instances.

As resolution strategies for the problem, the exact methods and the metaheuristics methods, besides the hybrid methods that combine more than one technique shall be studied.

Studies cases are also proposed to produce a discuss about the performance of the methods with respect to developed models. A first phase tackles references instances present in the literature for the discrete case. Further, the real-life instances are trated constructed from available data by the Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina (APPA) for the continuous case.

*Keywords:* berth allocation problem, exact methods, metaheuristics.

# 1 Identificação da Proposta

## 1.1 Introdução

O comércio internacional tem como principal via o transporte marítimo (Buhrkal, Zuglian, Ropke, Larsen & Lusby 2011). Aproximadamente 80% do comércio global de mercadorias é realizado através do mar. Deste modo, o ritmo da economia mundial influi diretamente nas estimativas dos embarques marítimos.

O *Review Maritime Transport* apresentando pela *United Nations Conference on Trade and Development* (Asariotis, Benamara, Hoffmann, Prenti, Sanchez, Valentine & Youssef 2015) afirma que o crescimento desigual das economias entre os países desenvolvidos e os países em desenvolvimento, e ainda, a constante desaceleração da economia dos países emergentes, fizeram com que a economia mundial iniciasse um movimento lento de recuperação em relação à crise mundial instalada. Como consequência, os embarques marítimos aumentaram apenas 3,4% em 2014, seguindo o mesmo percentual de 2013, o que representa um crescimento muito pequeno em relação aos anos anteriores. Além disso, com os baixos preços do petróleo, novos estudos preliminares indicam também um ritmo moderado em 2015.

Com a economia mundial estagnada e a atual recessão técnica em que a economia nacional enfrenta, segundo o IBGE, os investimentos na operação do sistema portuário se tornam essenciais para a recuperação das economias. Dentre esses investimentos, podem ser apontados como os principais: o alargamento e aprofundamento dos canais; as construções de novas posições de atracques; e a busca por uma logística para a alocação dos navios.

A alocação e programação de navios a berços, que caracterizam o Problema de Alocação de Berços (PAB), têm impacto direto na eficiência do sistema portuário (Imai, Nishimura & Papadimitriou 2003). Tem como objetivo aumentar a satisfação dos proprietários dos navios e a produtividade, gerando rendas mais altas para os portos e os clientes envolvidos.

Neste projeto, o PAB busca minimizar o tempo de atendimento dos navios no porto e são formulados através de um modelo discreto e um modelo contínuo, baseados no modelo desenvolvido por Cordeau, Laporte, Legato & Moccia (2005).

Os principais métodos para elaborar estratégias de resolução para o PAB são apresentados. Abordam-se pesquisas referentes ao tema ou à formulação matemática, que utilizam os métodos exatos, as meta-heurísticas e os métodos híbridos para a resolução do problema.

Além disso, a estrutura do projeto é descrita, apontando os objetivos gerais, as metas, o método de pesquisa, o orçamento, o cronograma, os participantes, a infraestrutura e apoio, e principalmente, a relevância do projeto.

## 1.2 Justificativa do Projeto

Apesar da atual situação econômica mundial moderada e da recessão técnica que a economia nacional apresenta, o Boletim Portuário, apresentado pela Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ) (Serra, Gontijo, Magaive, Kirchner & Cortes 2015), aponta para uma movimentação portuária no segundo trimestre de 2015 em crescimento.

Os portos organizados e terminais privados movimentaram 255,1 milhões de toneladas brutas, representando um crescimento de 3,6% em relação ao segundo trimestre de 2014, totalizando um acréscimo de 8,8 milhões de toneladas movimentadas. Contudo, relacionando somente os portos organizados, houve movimentação de 89,2 milhões de toneladas de carga bruta nos portos públicos. Isso representa um aumento de 13,6% em relação ao trimestre anterior, porém com uma redução na movimentação de carga bruta de 0,7% em relação ao ano anterior. Entre as causas para a redução podem ser ressaltadas a excessiva burocracia e os altos custos portuários. Os custos portuários são caracterizados pela taxa de manuseio da carga no terminal portuário, ou seja, a movimentação dos contêineres até seu embarque na exportação e sua entrega ao cliente na importação. No Brasil, esse manuseio sofre com a ineficiência gerencial, o que eleva os custos portuários e baixa a competitividade do produto brasileiro, representando a perda de bilhões de dólares nas exportações (Silva & Coelho 2007). Desta forma, (Cocco & Silva 1999) resume, precisamente, a necessidade do sistema portuário em um aspecto: qualidade. Quem prestar o melhor serviço com o menor custo permanecerá no mercado. Portanto, o problema de alocação e programação de navios surge como um dos aspectos mais importantes para a eficiência portuária. O PAB busca a evolução do sistema de atendimento e dos serviços, reduzindo os custos e contribuindo para as exportações dos produtos brasileiros, o que ressalta a importância do desenvolvimento do projeto.

Em outro contexto, outro aspecto que representa grande relevância para este projeto, é o início de uma parceria envolvendo a Universidade Federal do Paraná e a APPA. Essa parceria discutida a partir do terceiro semestre de projeto, após os primeiros resultados obtidos, terá como objetivo obter novos recursos para a ampliação do projeto. A ampliação buscará abordar outras instâncias referentes aos diversos portos nacionais e novos projetos relacionados ao sistema portuário. Além disso, um relacionamento a longo prazo viabilizaria a criação de um grupo de pesquisa operacional permanente no Centro de Estudos do Mar.

## 2 O Problema de Alocação de Berços

O Problema de Alocação de Berços (PAB) consiste na alocação de navios em posições de atraque em terminais portuários com o objetivo de minimizar o tempo total de serviço e maximizar a ocupação do cais.

O problema é dado por um processo de otimização com respeito a diversos tipos de restrições: técnicas; aspectos espaciais dos berços e estoque; condições de maré; e entre outras. Os diferentes tipos de restrições levam a construção de distintos tipos de modelos para o PAB (Imai, Nishimura & Papadimitriou 2001).

Os modelos são classificados como discreto, contínuo e híbrido, dada as restrições de espaço do cais (Imai, Sun, Nishimura & Papadimitriou 2005). No caso discreto, é definido um conjunto finito de berços descritos como segmentos de comprimento fixo. No caso contínuo, o posicionamento dos navios no cais é dinâmico, podendo atracar em qualquer posição. O caso híbrido é semelhante ao caso discreto, definindo posições fixas dos berços, sendo que navios maiores podem ocupar mais de um berço, dividindo o espaço com navios menores.

Com respeito à restrição de ordem de chegada dos navios, o problema pode ser representado em mais duas versões: estático, onde todos os navios já estão disposto no porto; e dinâmico, onde os navios vão chegando a todo momento (de Oliveira, Mauri & Lorena 2012).

Neste projeto, idealiza-se primeiramente um modelo dinâmico que aborde o caso discreto proposto por Cordeau et al. (2005), e posteriormente, um modelo dinâmico que explore o caso contínuo para as posições dos berços. A formulação matemática presente na subseção seguinte é apresentada como objeto de estudo inicial para a construção de um modelo discreto adaptado aos dados disponíveis.

## 2.1 Formulação Matemática

O Problema de Alocação de Berços em sua forma discreta considera o cais como um conjunto finito de berços, que desconsidera a dimensão espacial (Cordeau et al. 2005). A formulação sugere que seja calculado para cada navio  $i$  e berço  $k$ :

- $T_i^k - a_i$ : o tempo de espera, que significa a diferença entre o horário de chegada ( $a_i$ ) e o horário de atracação ( $T_i^k$ );
- $t_i^k$ : o tempo de atendimento, que significa a diferença entre o horário de atracação ( $T_i^k$ ) e o horário de saída ( $T_i^k - t_i^k$ );
- $T_i^k - a_i + t_i^k$ : o tempo de serviço.

O PAB será preliminarmente modelado como um Problema de Roteamento de Veículos com Garagens Múltiplas e Janelas de Tempo (PRVGMJT) (Legato & Mazza 2001), o que implica que a formulação proposta neste projeto será representada pelo modelo matemático proposto por (Cordeau et al. 2005). Nesse modelo, os berços são tratados como as garagens e os navios como os clientes. Serão  $m$  veículos, sendo que sua rota inicia e termina na sua própria garagem. Já os navios são modelados como vértices em um

multigrafo, sendo cada berço dividido em um vértice de origem e um vértice de destino. Assim, as janelas de tempo marcarão o período de funcionamento do berço.

O modelo é dado por um multigrafo  $G^k = (V^k, A^k)$ ,  $\forall k \in M$ , onde  $V^k = N \cup \{o(k), d(k)\}$  e  $A^k \subseteq V^k \times V^k$ . Os parâmetros de entrada para o modelo discreto proposto são todos determinísticos e são denominados da seguinte forma:

- $N$ : conjunto de navios e  $n = |N|$ ;
- $M$ : conjunto de berços e  $m = |M|$ ;
- $t_i^k$ : tempo de serviço do navio  $i$  no berço  $k$ ;
- $a_i$ : horário de chegada do navio  $i$ ;
- $s^k$ : abertura do berço  $k$ ;
- $e^k$ : fechamento do berço  $k$ ;
- $b_i$ : horário do término da janela de tempo para o serviço do navio  $i$ ;
- $v_i$ : custo do tempo de serviço do navio  $i$ ;
- $M_{ij}^k = \max\{b_i + t_i^k - a_j, 0\} \forall k \in M, \forall (i, j) \in N$

O PAB é formulado da seguinte forma:

$$\min \quad Z = \sum_{k \in M} \sum_{i \in N} v_i \left[ T_i^k - a_i + t_i^k \sum_{j \in N \cup \{d(k)\}} x_{ij}^k \right] \quad (1)$$

$$\text{s.a.} \quad \sum_{k \in M} \sum_{j \in N \cup \{d(k)\}} x_{i,j}^k = 1 \quad \forall i \in N \quad (2)$$

$$\sum_{j \in N \cup \{d(k)\}} x_{o(k),j}^k = 1 \quad \forall k \in M \quad (3)$$

$$\sum_{i \in N \cup \{o(k)\}} x_{i,d(k)}^k = 1 \quad \forall k \in M \quad (4)$$

$$\sum_{j \in N \cup \{d(k)\}} x_{i,j}^k - \sum_{j \in N \cup \{o(k)\}} x_{j,i}^k = 0 \quad \forall k \in M, i \in N \quad (5)$$

$$T_i^k + t_i^k - T_j^k \leq (1 - x_{ij}^k) M_{i,j}^k \quad \forall k \in M, \forall (i, j) \in A^k \quad (6)$$

$$T_i^k \geq a_i \quad \forall k \in M, \forall i \in N \quad (7)$$

$$T_i^k + t_i^k \sum_{j \in N \cup \{d(k)\}} x_{j,i}^k \leq b_i \quad \forall k \in M, \forall i \in N \quad (8)$$

$$T_{o(k)}^k \geq s^k \quad \forall k \in M \quad (9)$$

$$T_{d(k)}^k \leq e^k \quad \forall k \in M \quad (10)$$

$$x_{i,j}^k \in \{0, 1\} \quad \forall k \in M, \forall (i, j) \in A^k \quad (11)$$

onde:

- $x_{i,j}^k \in \{0, 1\}$ ,  $k \in M$ ,  $(i, j) \in A^k$ ,  $x_{i,j}^k = 1$  se o navio  $j$  é atendido pelo berço  $k$  após o navio  $i$ ;
- $T_i^k \forall k \in M$ ,  $\forall i \in N$  é o horário que o navio  $i$  atracou no berço  $k$ ;
- $T_{o(k)}^k \forall k \in M$  é o horário em que o primeiro navio atracou no berço  $k$ ;
- $T_{d(k)}^k \forall k \in M$  é o horário em que o último navio saiu do berço  $k$ .

A função objetivo  $Z$  busca minimizar o tempo total de serviço, isto é, o tempo que os navios levam para chegar, atracar e serem atendidos, levando em conta os custos desses serviços prestados.

As restrições presentes no modelo são definidas como: cada navio deve ser alocado apenas a um berço (2); um navio será o primeiro a ser atendido em cada berço (3); um navio será o último a ser atendido em cada berço (4); garantia de atendimento para os demais navios (5); calculo do horário de atracação dos navios, considerando apenas os arcos  $A^k$  válidos para cada berço  $k$ , ou seja, existem navios que não podem ser atendidos em determinados berços (6); o horário de atracação após a chegada do navio (7); o horário do término do atendimento do navio anterior em relação ao horário limite do navio (janela de tempo) (8); não violação das janelas de tempo nos berços (9) e (10); e a garantia de variáveis de decisões binárias (11).

A partir desse modelo discreto, serão elaboradas alternativas para a adaptação do modelo à base de dados armazenada. Ainda no conceito de modelos alternativos, também serão estudados modelos de programação inteira que consideram o PAB como um problema de cortes bi-dimensionais (Barbosa 2014, Martin, Cavalheiro, Barbosa, Filho & Moretti 2015).

## 2.2 Estratégias Resolução do Problema

As principais estratégias a serem objetos de estudos na busca por boas soluções para o modelo proposto são apresentadas em quatro frentes:

- Métodos exatos:
  - Martin et al. (2015) propuseram metodologias como *scheduling* e de *cutting and packing* para o modelo de programação inteira do PAB;
  - Peterkofsky & Daganzo (1990) aplicaram o método *branch and bound* para o problema de alocação de guindastes.

- Meta-heurísticas:
  - Martin et al. (2015) exploraram um algoritmo baseado em chaves aleatórias viciadas aplicado ao modelo de programação inteira do PAB;
  - Mauri, de Oliveira & Lorena (2008) apresentaram uma heurística baseada em *simulated annealing* para resolver o modelo discreto para o PAB;
  - Reis (2007) propôs uma meta-heurística por algoritmo genético híbrido para o problema de planejamento de manutenções preventivas em redes de distribuição de energia elétrica.
  
- Métodos híbridos:
  - Bacalhau (2015) desenvolveu uma abordagem híbrida que combina o programação dinâmica com reduções de espaços de estados e um algoritmo genético híbrido para resolver o problema de planejamento de manutenções preventivas em redes de distribuição de energia elétrica;
  - de Oliveira et al. (2012) desenvolveram um método que combina o método *clustering search* e *simulated annealing* para a solução de um modelo discreto e dinâmico para o PAB;
  - Mauri, Oliveira & Lorena (2010) propuseram um método para encontrar soluções para um modelo discreto do PAB, que consiste na aplicação de um algoritmo de treinamento populacional em conjunto com a programação linear.

A descrição de três referências não relacionadas ao tema do PAB é devido ao fato dos problemas tratados serem caracterizados como um problema de otimização combinatória de natureza não-polinomial, com o objetivos semelhantes de obterem os melhores planejamentos.

## 3 Objetivos e Metas

### 3.1 Objetivos

O objetivo geral do projeto de pesquisa é otimizar a programação e alocação de navios nos berços para o sistema portuário nacional, minimizando o tempo total de serviço para todos os navios e reduzindo os custos associados.

Ainda em objetivos gerais estão, a criação de projetos de iniciação científica, a elaboração de temas para trabalhos de conclusão de curso e o início de uma parceria com a Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina (APPA) para desenvolvimento do estudo prático.

Como objetivos mais específicos estão desenvolvimento de modelos matemáticos e estratégias de resolução para o problema de alocação de berços. Mais explicitamente, o desenvolvimento de modelos discreto e contínuo adequados às entradas de dados disponíveis, o desenvolvimento de estratégias de resolução aplicadas aos modelos propostos e a confecção de programas de computador que buscam simular resultados para os dados fornecidos.

## 3.2 Metas

As principais metas a serem contempladas podem ser resumidas a seguir:

- Adequação dos modelos discreto e contínuo aos dados disponíveis;
- Desenvolvimento de ao menos uma abordagem para resolução do problema;
- Elaboração de programas que simulam os resultados para instâncias diversas.

As metas gerais do projeto estão relacionadas à produção acadêmica:

- Elaboração de projetos de iniciação científica;
- Produção de artigos científicos em congressos nacionais ou internacionais e de periódicos indexados;
- Início de uma parceria com a Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina (APPA) para a ampliação do projeto e desenvolvimento de novos estudos na área.

## 4 Método de Pesquisa

O método de pesquisa dividirá o projeto em duas fases:

- Primeira Fase

Prevista para os primeiros três semestres, realiza-se um estudo bibliográfico sobre as principais pesquisas publicadas relacionadas ao tema do projeto de pesquisa proposto. Esse estudo, já iniciado, tem o intuito de elaborar um banco de trabalhos científicos que apoiam o processo de orientação e proporcionam o conhecimento necessário sobre o tema desenvolvido. Em conjunto com a revisão bibliográfica, será instituída a coleta e armazenamentos dos dados referentes às instâncias testes e às instâncias reais, posto que tais instâncias testes estão presentes na literatura.

Dado modelo discreto proposto, três frentes de estudos são abertas para o desenvolvimento de estratégias de resolução do problema. Uma das frente busca explorar os

métodos exatos, tais como programação dinâmica, *branch and bound*, busca em profundidade e busca em largura. A outra frente investigará meta-heurísticas tais como, algoritmo genético, *simulated annealing*, enxame de partículas, redes neurais e entre outras. Por fim, uma terceira frente investigará a aplicação de estratégias híbridas que combinam mais de um técnica de resolução para o problema.

Ainda na primeira fase do projeto, visa-se a elaboração de programas que simulam as estratégias híbridas aplicadas ao modelo discreto para o PAB. Os programas serão aplicados às instâncias de referência (pequeno porte) e às instâncias reais já mencionadas, estabelecendo um estudo de casos sobre a análise dos resultados obtidos.

A documentação do revisão bibliográfica, modelo, programas e do um estudo de casos desenvolvidos, deve ser apresentada através de relatórios técnicos, artigos científicos publicados em congressos nacionais ou internacionais e periódicos submetidos à revistas de impacto na área.

- Segunda Fase

Prevista para os três últimos semestres, um novo estudo bibliográfico é conduzido, ampliando o estudo anterior e proporcionando a base necessária para o desenvolvimento do modelo contínuo para o PAB. Deste modo, serão propostas adaptações às estratégias de resolução e aos programas de computador desenvolvidos.

Outras instâncias serão abordadas com a finalidade de produzir um outro estudo de casos composto por novos experimentos e cenários. Uma nova documentação é elaborada possibilitando trabalhos e submissões complementares para o projeto.

A Figura 1 apresenta as duas fases através de um fluxograma.

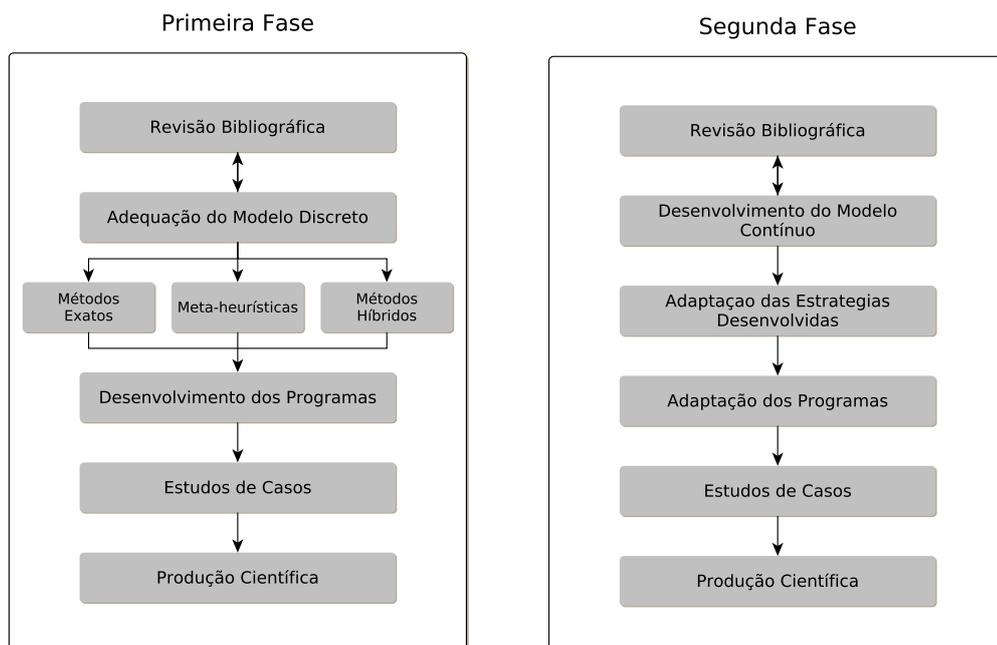


Figura 1: Modelo de Pesquisa

## 5 Orçamento e Cronograma do Projeto

### 5.1 Orçamento Detalhado

Todas as despesas previstas para o projeto são provenientes de itens essenciais para o desenvolvimento do mesmo.

As despesas de custeio estão relacionadas a parte teórica do projeto e a produção acadêmica, financiando a aquisição de materiais básicos de consumo e a construção de uma rede de contatos para projeto, através de participação em conferências.

As despesas de capital visam fornecer infraestrutura básica indispensável para o desenvolvimento dos programas e simulações numéricas presentes nos estudos de casos.

O orçamento detalhado do projeto prevê um valor total de despesas igual a R\$ 29.700,00. Os valores referentes a cada item são descritos nas tabelas a seguir.

#### Despesas de Custeio

Item	Descrição	Qtde	Valor Unitário	Valor Total
Básicos	Papel, toner para impressão, etc	1	1.000,00	1.000,00
Passagens	Congressos nacionais	2	800,00	1.600,00
Diárias	Congressos nacionais	10	320,00	3.200,00
			Subtotal	5.800,00

#### Despesas de Capital

Item	Descrição	Qtde	Valor Unitário	Valor Total
Computador	Core i7, 16GB ram, HD 2TB	4	5.000,00	20.000,00
	Monitores	4	800,00	3.200,00
Periféricos	Impressora multifuncional	1	700,00	700,00
			Subtotal	23.900,00

### 5.2 Cronograma do Projeto

O cronograma de projeto apresenta o progresso para a realização da pesquisa ao longo de um horizonte de 36 meses. As etapas do cronograma completo são descritas nos passos:

1. Revisão bibliográfica;
2. Reunião e armazenamento de dados;
3. Adequação do modelo discreto proposto para os dados coletados;
4. Estudo de estratégias de resolução do problema discreto;

5. Desenvolvimento de programas que simulam numericamente o modelo proposto;
6. Análise dos resultados produzidos pelo estudo de casos, com respeito às instâncias referências;
7. Documentação e submissão dos resultados através da publicação de artigos científicos para congressos nacionais ou internacionais, ou ainda para revistas de impacto na área;
8. Ampliação da revisão bibliográfica
9. Estudo do modelo contínuo para o PAB;
10. Construção de instâncias reais a partir dos dados disponibilizados pela APPA;
11. Adaptação das estratégias desenvolvidas para resolução do problema contínuo;
12. Adaptação dos programas desenvolvidos para o modelo contínuo;
13. Análise dos resultados produzidos pelo estudo de casos em relação às instâncias reais;
14. Documentação e submissão dos resultados através da publicação de artigos científicos para congressos nacionais ou internacionais, ou ainda para revistas de impacto na área;
15. Relatório final e prestação de contas.

Cronograma do Projeto

Item	1º semestre	2º semestre	3º semestre	4º semestre	5º semestre	6º semestre
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						

## 6 Participantes do Projeto

Para o desenvolvimento do modelo de pesquisa proposto, são necessárias competências específicas relacionadas ao tema, à modelagem matemática e às linguagens de programação. Sendo assim, os pesquisadores que compõem este projeto detêm todas as competências essenciais para a contemplação do projeto.

Equipe de Pesquisadores			
Nome	Instituição	Titulação	Função
Eduardo Tadeu Bacalhau	UFPR	Prof. Doutor	Coordenador
Fernando Araújo Borges	UFPR	Prof. Doutor	Colaborador
Mateus Pereira Martin	UNICAMP	Mestre	Pesquisador Assistente
Ellen Marianne Bernal Cavalheiro	UNICAMP	Mestrando	Pesquisador Assistente

- **Eduardo Tadeu Bacalhau**

Graduado em licenciatura plena em matemática pela Universidade Federal de São Carlos em 2005, mestre em engenharia elétrica pela Universidade Estadual de Campinas em 2009 e doutor em engenharia elétrica pela Universidade Estadual de Campinas em 2015. Atualmente é professor do magistério superior da Universidade Federal do Paraná, no campus avançado Centro de Estudos do Mar, Pontal do Paraná, desde junho de 2015. É especialista em otimização combinatória, modelagem matemática e pesquisa operacional. Possui experiência na área de programação e sistemas de distribuição de energia elétrica. Possui publicações em congressos nacionais e internacionais na área de pesquisa operacional.

- **Fernando Araujo Borges**

Graduado em matemática pela Universidade Federal do Paraná em 2007, mestre em matemática aplicada pela Universidade Federal do Paraná em 2010 e doutor em matemática pela Universidade de São Paulo em 2014, com período sanduíche em Université de Sherbrooke, Quebec, Canadá. Atualmente é professor do magistério superior da Universidade Federal do Paraná, no campus avançado Centro de Estudos do Mar, Pontal do Paraná, desde julho de 2015. Tem experiência na área de matemática, com ênfase em álgebra. Atuando principalmente nos seguintes temas: cluster algebra, Caldero-Chapoton map, álgebra de conglomerado, c-friso, aplicação de Caldero-Chapoton e c-frieze.

- **Ellen Marianne Bernal Cavalheiro**

Graduada em sistemas de informação na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul em 2013, campus de Ponta Porã. Atualmente está no mestrado em engenharia

elétrica pela Universidade Estadual de Campinas. Tem interesse na área de pesquisa operacional e é especialista na área de programação. Outra informação relevante, possui publicação na área do projeto proposto e já participou do projeto de pesquisa em 2013 enquanto era estudante de graduação.

- **Mateus Pereira Martin**

Graduado em engenharia de produção na Universidade Estadual de Campinas em 2013, campus Limeira. Atualmente está concluindo o curso de mestrado em engenharia elétrica da Universidade Estadual de Campinas. Tem interesse nas áreas de pesquisa operacional e sistemas produtivos, e possui grande experiência na área do projeto proposto, com publicações como autor e co-autor, em congressos nacional e internacional.

Posteriormente, novos membros serão integrados ao projeto, priorizando alunos de graduação e pós-graduação da Universidade Federal do Paraná, através de iniciação científica, orientação de trabalho de conclusão de curso, ou ainda, mestrado e doutorado.

## 7 Infraestrutura e Apoio

- **Universidade Federal do Paraná**

O campus avançado, Centro de Estudos do Mar (CEM), conta com cinco cursos de graduação. Sendo eles, oceanografia, engenharia de aquicultura, licenciatura em ciências exatas, engenharia ambiental e sanitária e engenharia civil, além do curso de mestrado e doutorado em oceanografia. Dentre os cursos de graduação, três deles (licenciatura em ciências exatas, engenharia ambiental e sanitária e engenharia civil) foram iniciados há pouco mais de um ano, e por esse motivo, a infraestrutura do CEM está muito atrasada em relação às outras instituições.

Os primeiros passos, concentrados no estudo teórico do problema, podem ser suportados em parte pelo CEM. Apesar de possuir convênio com as principais revistas científicas, o centro não possui um acervo básico para a pesquisa. Além disso, sofre com a falta de recursos para a obtenção de itens básicos de consumo.

Nos passos seguintes, caracterizados pelo estudo prático do problema, faz-se extremamente necessário o investimento em materiais de capital que suportem o andamento do projeto. Não há infraestrutura suficiente para o desenvolvimento dos programas, das simulações de dados e dos estudos de casos para as instâncias previstas.

Sendo assim, o contexto infraestrutural é mais um aspecto relevante para a justificativa do projeto. Os materiais obtidos pela despesas de capital serviriam de suporte para implantação de outros projetos de pesquisas em diferentes áreas.

- **Universidade Estadual de Campinas**

Os pesquisadores colaboradores provenientes da UNICAMP contam com uma infraestrutura de apoio bem mais avançada.

O Laboratório de Otimização de Redes de Energia (LABORE), formado por alunos de doutorado e mestrado da UNICAMP, sob a orientação do Prof. Dr. Christiano Lyra Filho, servirá como suporte técnico para o desenvolvimento teórico e experimental do projeto.

Diversos trabalhos foram publicados com a colaboração do Prof. Dr. Christiano Lyra Filho e o LABORE. Dentre eles destacam-se:

Bacalhau, E. T., Usberti, F. L. & Cavellucci, C. (2013). Programação dinâmica diferencial aplicada ao planejamento de recursos de manutenção preventiva em redes de distribuição de energia elétrica, *Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO), Natal, RN* **1**: 1112–1123.

Bacalhau, E. T., Usberti, F. L. & Lyra, C. (2013). A dynamic programming approach for optimal allocation of maintenance resources on power distribution networks, *Power and Energy Society General Meeting (PES), 2013 IEEE*, pp. 1–5.

Bacalhau, E. T., Usberti, F. L., Filho, C. L. & Cavellucci, C. (2012). A knapsack problem approach for optimal allocation of maintenance resources on electric power distribution networks., in C. J. Luz & F. Valente (eds), *ICORES*, SciTePress, pp. 462–466.

Martin, M. P., Cavalheiro, E. M. B., Barbosa, F., Filho, C. L. & Moretti, A. C. (2015). Métodos exatos e uma abordagem heurística para o problema de alocação de berços, *Anais do XLVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Porto de Galinhas* pp. 1569 – 1580.

Martin, M. P. & Filho, C. L. (2015). Modelos de programação inteira para a alocação de recursos de manutenção em redes de distribuição de energia elétrica, *Anais do XLVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Porto de Galinhas* pp. 1040 – 1051.

## 8 Iniciação Científica

Está previsto um plano de atividades a serem desenvolvidas por um bolsista de iniciação científica sob orientação do coordenador do projeto. Dentre as atividades que serão desenvolvidas dentro do projeto de pesquisa, estão incluídas a apresentação de seminários regulares, que indicam o andamento dos estudos, a elaboração de textos científicos e a participação em eventos científicos, e atividades comuns no desenvolvimento do projeto.

O plano de trabalho contempla um período de 18 meses, podendo ser renovado por mais 18 meses. A renovação é viabilizada de acordo com o desempenho do candidato em relação ao âmbito acadêmico e ao projeto desenvolvido.

Cronograma de Atividades

Item	1º sem.	2º sem.	3º sem.	4º sem.	5º sem.	6º sem.
Revisão bibliográfica						
Estudo de Modelos						
Estudo de Estratégias						
Análise e Simulação						
Relatórios Técnicos						
Produção Científica						
Participação em Eventos						

## 9 Comentários Finais

Este projeto de pesquisa de contempla o estudo de modelagem e resolução do problema de alocação de berços (PAB).

Foram apresentados a identificação da proposta e a qualificação do problema, evidenciando a relevância do projeto, a formulação matemática de um modelo discreto dinâmico, e as estratégias de resolução que servem como objeto de estudo inicial para o problema proposto.

Os objetivos e metas foram traçados com a finalidade de formalizar uma metodologia de pesquisa desenvolvida em duas fases. As duas fases representaram basicamente o desenvolvimento dos modelos a serem tratados. A primeira fase apresentou as atividades de adaptação do modelo discreto, com o desenvolvimento de estratégias e programas. A segunda fase descreveu a elaboração do modelo contínuo, com a adaptação das estratégias e dos programas propostos.

Foram também detalhados o orçamento e o cronograma completo, onde foram descritos os valores e as atividades a serem desenvolvidas.

Os participantes do projeto foram apresentados, com destaque para suas principais características, interesses, especialidades e publicações.

Finalmente, foram apresentados a infraestrutura disponível para o desenvolvimento do projeto e o plano de atividades previsto para o bolsista de iniciação científica.

Além da inovação científica, o projeto visa uma parceria envolvendo a Universidade Federal do Paraná e a Administração de Portos de Paranaguá e Antonina (APPA). A parceria propiciaria recursos para a ampliação e diversificação do projeto de pesquisa, possibilitando a aplicação do projeto em outros sistemas portuários nacionais e a criação de um grupo de pesquisa operacional permanente no Centro de Estudos do Mar.

## Referências

- Asariotis, R., Benamara, H., Hoffmann, J., Prenti, A., Sanchez, R., Valentine, V. & Youssef, F. (2015). Review of maritime transport, 2015, *Technical report*.
- Bacalhau, E. T. (2015). *Otimização de políticas de manutenção em redes de distribuição de energia elétrica por estratégias híbridas baseadas em programação dinâmica*, Doutorado, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação - Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP - Brazil.
- Barbosa, F. (2014). *O problema de alocação de berços: Aspectos teóricos e computacionais*, Mestrado, IMECC, Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP - Brasil.
- Buhrkal, K., Zuglian, S., Ropke, S., Larsen, J. & Lusby, R. (2011). Models for the discrete berth allocation problem: a computational comparison, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* **47**(4): 461–473.
- Cocco, G. & Silva, G. (1999). *Cidades e portos: os espaços da globalização*, Coleção Espaços do desenvolvimento, DP&A.
- Cordeau, J.-F., Laporte, G., Legato, P. & Moccia, L. (2005). Models and tabu search heuristics for the berth-allocation problem, *Transportation science* **39**(4): 526–538.
- de Oliveira, R. M., Mauri, G. R. & Lorena, L. A. N. (2012). Clustering search for the berth allocation problem, *Expert Systems with Applications* **39**(5): 5499–5505.
- Imai, A., Nishimura, E. & Papadimitriou, S. (2001). The dynamic berth allocation problem for a container port, *Transportation Research Part B: Methodological* **35**(4): 401–417.
- Imai, A., Nishimura, E. & Papadimitriou, S. (2003). Berth allocation with service priority, *Transportation Research Part B: Methodological* **37**(5): 437–457.
- Imai, A., Sun, X., Nishimura, E. & Papadimitriou, S. (2005). Berth allocation in a container port: using a continuous location space approach, *Transportation Research Part B: Methodological* **39**(3): 199–221.
- Legato, P. & Mazza, R. M. (2001). Berth planning and resources optimisation at a container terminal via discrete event simulation, *European Journal of Operational Research* **133**(3): 537–547.
- Martin, M. P., Cavalheiro, E. M. B., Barbosa, F., Filho, C. L. & Moretti, A. C. (2015). Métodos exatos e uma abordagem heurística para o problema de alocação de berços, *Anais do XLVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Porto de Galinhas* pp. 1569 – 1580.
- Mauri, G. R., de Oliveira, A. C. M. & Lorena, L. A. N. (2008). Heurística baseada no simulated annealing aplicada ao problema de alocação de berços, *Gepros: Gestão da Produção, Operações e Sistemas* **3**(1): 113.
- Mauri, G. R., Oliveira, A. C. M. d. & Lorena, L. A. N. (2010). Resolução do problema de alocação de berços através de uma técnica de geração de colunas, *Pesquisa Operacional* **30**(3): 547–562.

- Peterkofsky, R. I. & Daganzo, C. F. (1990). A branch and bound solution method for the crane scheduling problem, *Transportation Research Part B: Methodological* **24**(3): 159–172.
- Reis, P. A. (2007). *Otimização baseada em confiabilidade de planos de manutenção de sistemas de distribuição de energia elétrica*, Mestrado, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação - Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP - Brazil.
- Serra, F., Gontijo, F., Magaive, F., Kirchner, L. & Cortes, R. (2015). Agência nacional de transporte aquaviário (antaq) - boletim informativo portuário 2º semestre de 2015, *Technical report*.
- Silva, V. M. D. & Coelho, A. S. (2007). Uma visão sobre o problema de alocação de berços, *Revista Produção Online* **7**(2): 85–98.