



**BALANCEAMENTO OTIMIZADO DA PRODUÇÃO COM A DEMANDA EM
ESTALEIROS NÁUTICOS: METODOLOGIA APLICADA EM CASO REAL**

***OPTIMIZED BALANCING OF PRODUCTION WITH DEMAND IN SHIPYARDS:
METHODOLOGY APPLIED TO A REAL CASE***



Catarina Zovka de Moraes LEMOS ¹
e-mail: catarina.zmlemos@ufpe.br



Heitor de Oliveira DUARTE ²
e-mail: heitor.duarte@ufpe.br

Como referenciar este artigo:

Lemos, C. Z. M., & Duarte, H. O. (2025). Balanceamento otimizado da produção com a demanda em estaleiros náuticos: Metodologia aplicada em caso real. *Revista GEPROS*, 20, e025004. DOI: 10.15675/gepros.3020.



| **Submetido em:** 25/05/2024
| **Aprovado em:** 18/08/2025
| **Publicado em:** 23/09/2025

Editora: Profa. Dra. Paula de Camargo Fiorini



ARTIGO SUBMETIDO AO SISTEMA DE SIMILARIDADE

¹ Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

² Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

RESUMO

Objetivo: O objetivo deste estudo é propor uma metodologia para otimização do problema do planejamento agregado em estaleiros náuticos e ilustrar sua aplicação em um caso real. A metodologia deve ser genérica e flexível, de forma que possa servir como referência para aplicação em qualquer estaleiro náutico de pequeno porte. **Referencial Teórico:** O planejamento agregado é o processo de balanceamento da produção com a demanda, projetada para horizontes de tempo em geral de seis a doze meses. Esse balanceamento pode ser feito atuando-se sobre os recursos produtivos. Nesse processo, o que se procura é combinar esses recursos de maneira a, simultaneamente, atender à demanda e obter custo mínimo. **Metodologia/Abordagem:** O estudo apresenta uma metodologia genérica que pode ser aplicada ao planejamento agregado na maioria das empresas. Ela consiste nas etapas: medir a capacidade, prever a demanda, escolher a política de capacidade adequada para a gestão da produção e, por fim, propor a alternativa ótima de planejamento agregado. **Resultados:** A metodologia utilizada mostrou-se viável em caso real, demonstrando que pode ser seguida a fio para o tipo de indústria em questão. O tempo necessário para aplicar essa metodologia em um estaleiro de pequeno porte (com menos de 20 funcionários) pode ser estimado em 1 a 2 semanas. Essa metodologia pode, inclusive, ser implantada como forma de consultoria para as indústrias do segmento, devido aos seus vários benefícios. **Contribuições, implicações práticas e sociais:** O estudo apresenta uma nova tecnologia para planejamento e controle da produção ao mercado náutico brasileiro, fomentando seu crescimento e competitividade internacional. Como consequência, o desenvolvimento da indústria nacional acarreta a geração de novos empregos. **Originalidade/Valor:** O valor do estudo consiste em sua contribuição direta para a prática profissional, fornecendo uma referência valiosa para o planejamento de produção em indústrias semelhantes. O trabalho apresenta uma metodologia original de planejamento agregado, demonstrada em um estudo de caso em estaleiros náuticos. Os resultados obtidos mostram a eficácia da abordagem na minimização dos custos de produção. **Palavras-chave:** Indústria náutica. Estaleiro náutico. Planejamento agregado. Programação linear. Planejamento da capacidade.

ABSTRACT

Purpose: The aim of this study is to propose a methodology for optimizing the aggregate planning problem in shipyards and to illustrate its application in a real case. The methodology should be generic and flexible so that it can serve as a reference for application in any small-scale shipyard. **Theoretical framework:** Aggregate planning is the process of balancing production with demand, typically projected over time horizons of six to twelve months. This balancing act involves adjusting productive resources, aiming to simultaneously meet demand while minimizing costs. **Methodology/Approach:** The study introduces a generic methodology applicable to aggregate planning in small nautical shipyards. It comprises the following steps: measuring capacity, forecasting demand, selecting the appropriate capacity policy for production management, and finally, proposing an optimal aggregate planning alternative. **Findings:** The methodology proved to be viable for application in a real-life case, demonstrating its suitability for the specific industry. The time required to apply this methodology in a small shipyard (with fewer than 20 employees) can be estimated at one to two weeks. This methodology could also be implemented as consultancy for industries in the sector due to its numerous benefits. **Research, practical & social implications:** The study presents a new technology for planning and controlling production in the Brazilian nautical market, fostering its growth and international competitiveness. As a consequence, the development of the national industry leads to the creation of new jobs. **Originality/Value:** The value of the study lies in its direct contribution to professional practice, providing a valuable reference for production planning in similar industries. The paper presents an original aggregate planning methodology, demonstrated through a case study in nautical shipyards. The results obtained demonstrate the effectiveness of the approach in minimizing production costs. **Keywords:** Nautical industry. Nautical shipyard. Aggregate planning. Linear programming. Capacity planning.

Introdução

Este trabalho se insere na área de Planejamento e Controle da Produção, mais especificamente no Planejamento Agregado da construção náutica, com baixo volume e baixo grau de customização. O planejamento agregado é o processo de balanceamento da produção com a demanda, projetada para horizontes de tempo, em geral, de seis a doze meses, de acordo com Moreira (2012). O interesse do estudo volta-se ao segmento de mercado de embarcações de esporte e lazer, i.e., qualquer construção suscetível de se locomover na água, por meios próprios ou não, transportando pessoas ou cargas voltadas para atividades esportivas e de lazer, sem finalidade comercial, segundo a DPC (2023).

Sobre o cenário em que a pesquisa se insere, observa-se que o potencial de construção brasileira de embarcações de esporte e recreio é imenso e internacionalmente reconhecido, como evidencia o recente interesse de grandes empresas multinacionais do setor náutico em estabelecer conexões com o Brasil. A indústria nacional está diante de desafios e oportunidades inéditos e, para fazer frente a eles, deve demonstrar sua capacidade de utilizar as ferramentas que o mercado exige: informação consistente, raciocínio estratégico e talento humano.

A expansão e a crescente formalização das atividades do setor originaram um grande número de novas empresas, várias delas de micro e pequeno porte, gerando empregos e renda, o que criou condições para uma racionalização da carga tributária, com redução da alíquota de IPI e das alíquotas de ICMS em estados importantes como São Paulo, Rio de Janeiro, Santa Catarina e Bahia. Segundo a Acobar (2012), mesmo diante de um quadro tão auspicioso e de um potencial sem paralelo no mundo, o setor náutico brasileiro ainda tem grandes desafios e gargalos a superar em todos os pontos da sua cadeia produtiva inbound (produção e venda de embarcações) e outbound (utilização das embarcações e serviços correlatos).

As regiões Sudeste e Sul concentram mais de 85% dos estaleiros, com destaque para os estados de São Paulo (35% do total de estaleiros), Santa Catarina (21%) e Rio de Janeiro (14%). Atualmente, o mercado conta com cerca de 120 estaleiros formais em operação, que produzem embarcações de 16 pés ou mais. Ainda de acordo com a Acobar (2012), a cadeia produtiva da náutica no Brasil tem vocação para gerar empregos em todos os seus elos e, por isso, apresenta um potencial de impacto social importante. O número de trabalhadores empregados em estaleiros especializados na construção de embarcações de esporte e recreio no Brasil é estimado em 9.800 pessoas, enquanto os fabricantes de acessórios, peças e equipamentos empregam aproximadamente 7 mil trabalhadores.

Do ponto de vista da administração da produção desses estaleiros, a literatura demonstra

a aplicação de modelos de planejamento agregado com diferentes abordagens matemáticas, como programação linear e heurísticas, em setores como o têxtil, o de brocas, o de açúcar e álcool e o de sementes agrícolas. Contudo, verifica-se uma lacuna importante na aplicação desses métodos à indústria náutica, sobretudo àquela voltada ao lazer, que apresenta características produtivas específicas, como alta sazonalidade, baixa escala e necessidade de personalização. Além disso, nenhum dos trabalhos revisados apresenta um modelo estruturado, passo a passo, voltado ao planejamento agregado em estaleiros náuticos. Para Oliveira (2011), a sazonalidade de vendas de embarcações de esporte e recreio demanda dinamismo na administração e gerência do sistema produtivo, bem como respostas rápidas às oscilações de demanda e análise da ocupação dos postos de trabalho. Assim, a aplicação de uma abordagem de otimização para o auxílio ao processo de tomada de decisões operacionais tem se mostrado fundamental para o desenvolvimento econômico do Brasil na área de esporte e lazer.

Emparelhar a produção com a demanda ao longo do tempo é uma responsabilidade fundamental da administração da produção. Um equilíbrio adequado entre produção e demanda pode minimizar custos e, ao mesmo tempo, manter clientes satisfeitos, enquanto o desequilíbrio pode gerar mão de obra ociosa, estoques desnecessários, perda de clientes e todos os custos associados. Segundo Slack et al. (2010), esse equilíbrio é essencial para a eficiência operacional.

A metodologia proposta é aplicada em um estaleiro de embarcações de esporte e recreio cujo produto principal é o veleiro tipo dingue: um veleiro de 4,16 m de comprimento, bastante utilizado para regatas e em aulas de vela. O dingue é um veleiro monotipo, ou seja, projetado e construído com regras de construção e especificações bem definidas, garantindo a padronização de suas dimensões, formas e características ao longo do tempo. Foi criado em 1978 com o objetivo de ser utilizado em passeios em família e competições esportivas, como regatas. Consagrou-se por seu valor acessível e facilidade de manobrabilidade. Desde então, mais de quatro mil e oitenta dingues foram vendidos no Brasil. Para mais detalhes sobre o dingue, consulte a Associação Brasileira da Classe Dingue (2025).

No estaleiro onde é fabricado, seu processo produtivo pode ser caracterizado como sistema de produção por lotes com fluxo intermitente, segundo Moreira (2012), possuindo lotes pequenos, com características de repetitividade e baixa customização. O estaleiro localiza-se no estado de Santa Catarina, no eixo da BR-101, no polo náutico mais importante da região e o terceiro maior do Brasil, atrás apenas do litoral do Rio de Janeiro e de São Paulo, conforme a Acobar (2012).

Dessa forma, este trabalho contribui ao propor uma metodologia inédita e estruturada de planejamento agregado, voltada especificamente à indústria náutica brasileira, carente de modelos adequados às suas especificidades produtivas. A proposta busca preencher uma lacuna metodológica na literatura e servir de referência prática para gestores do setor.

Este trabalho está organizado da seguinte maneira: primeiro, esta seção inicial (Introdução) introduz e conceitua, de forma sucinta, a proposta do presente trabalho. Na sequência, na seção 2 (Revisão da literatura), é realizada uma revisão bibliográfica para levantar o estado da arte do planejamento agregado na indústria náutica, utilizando ferramentas de otimização, além de sua justificativa e contribuição para a gestão de produção brasileira. Na seção 3 (Metodologia), devido à falta de um passo a passo sistemático para a elaboração de planejamento agregado em estaleiros náuticos, é apresentada uma proposta de metodologia. Na seção 4 (Resultados e discussão), é executada a proposta de metodologia para o planejamento agregado de um estaleiro náutico, apresentando os cálculos necessários e os resultados obtidos. Finalmente, ainda nessa seção, são debatidas a metodologia e seus resultados. Por fim, na seção 5 (Conclusão), são apresentadas as conclusões sobre o trabalho desenvolvido, incluindo sugestões de continuidade para trabalhos futuros.

Revisão da Literatura

A literatura sobre Planejamento e Controle da Produção aplicado à indústria náutica e/ou naval ainda é limitada em volume e escopo. Foi feita uma revisão bibliográfica sobre o tema por meio de bases de dados, tais como Periódicos da Capes e Google Scholar. Foram encontrados dez artigos científicos, uma dissertação de mestrado e três Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC). Esta seção apresenta os principais trabalhos identificados, com ênfase nas abordagens metodológicas utilizadas e nos contextos industriais em que foram aplicadas.

Sete dos estudos analisados concentram-se no planejamento agregado aplicado a algum segmento da indústria. O primeiro, de Pasa et al. (2017), propõe a maximização do lucro de uma empresa de sirenes de carro utilizando planejamento agregado. Em um artigo mais recente, Gassen et al. (2019) desenvolveram um modelo de programação linear para otimizar o planejamento agregado da produção de brocas. Na dissertação de Jesus (2014), um modelo matemático foi elaborado para representar o sistema de produção de uma empresa de equipamentos para análise de minerais. No artigo de Paiva e Morabito (2007), foi implantado um modelo de otimização para o planejamento agregado da produção em usinas de açúcar e

álcool; no de Junqueira e Morabito (2006), foi implantado um modelo semelhante para o planejamento agregado da produção e logística de sementes de milho; no artigo de Munhoz e Morabito (2010), foi feito estudo similar, porém voltado à indústria de processamento concentrado congelado de laranja; por fim, Oliveira (2011a) realizou o estudo para a indústria têxtil. Esses estudos empregam diferentes técnicas de otimização, majoritariamente programação linear, com o objetivo de reduzir custos, alinhar produção à demanda e melhorar a alocação de recursos. Eles apresentam vantagens, como a possibilidade de simular cenários e tomar decisões com base em dados quantitativos, mas também revelam desafios, como a complexidade de modelagem e a necessidade de dados confiáveis.

O TCC de Júnior (2018) e o artigo de Barbosa et al. (2016) abordam o desenvolvimento de uma metodologia de gestão de projetos utilizando PERT e sua aplicação em um projeto *As-Built* (com representações técnicas documentadas) de uma embarcação de fibra de vidro. Esses estudos compartilham elementos com a etapa de planejamento produtivo, como a caracterização do sistema e as estimativas de tempo, mas não abrangem modelos de gestão da capacidade ou planejamento agregado.

O artigo de Cordeiro et al. (2015) destaca-se pela exposição das equações matemáticas utilizadas em uma modelagem para estratégia de produção constante e acompanhamento da demanda. Utilizando o Excel em conjunto com o Visual Basic for Applications, o estudo exemplifica equações para diversos aspectos da produção, como produção normal, contratação de mão de obra, demissão e cálculos de custos, proporcionando uma abordagem clara e matemática que pode servir de referência para estudos futuros.

O artigo de Oliveira (2014) avalia o nível de maturidade em gerenciamento de projetos em um estaleiro do Nordeste brasileiro, usando o Modelo de Maturidade em Gerenciamento de Projetos de Prado (2010). Embora utilize um método diferente do deste artigo, busca melhorar os resultados empresariais ao identificar pontos fracos, fortes e gargalos, visando à melhoria contínua. Essa metodologia pode complementar o estudo do planejamento agregado em trabalhos futuros, apesar de depender da disponibilidade e confiabilidade das respostas dos gerentes para gerar resultados.

Filho et al. (1995) abordaram a solução de um problema de planejamento ótimo da produção, com foco no comportamento do estoque, utilizando restrições de não negatividade nos níveis de produção e estoque, sendo este último com restrição probabilística. No entanto, essa metodologia não contribui para esta pesquisa, pois se concentra no estoque, enquanto o foco aqui está nas variáveis de produção do planejamento agregado.

Aurélio Schmidt et al. (2017) propõem um produto na indústria náutica com foco em eficiência operacional e ecodesign para reduzir desperdícios. O estudo se concentra na etapa de desenvolvimento de produto, com foco ambiental, não abrangendo a gestão da produção.

Na dissertação de Oliveira (2011), a otimização do planejamento produtivo de um estaleiro náutico é realizada com um sistema computacional baseado em Programação Linear Inteira Mista. O objetivo é minimizar a ociosidade do posto de trabalho gargalo. O trabalho é dividido em cinco fases, incluindo a identificação dos modelos de produção e a programação de softwares para encontrar a melhor solução.

Em síntese, a literatura revisada apresenta uma variedade de modelos de planejamento da produção aplicados a diferentes setores industriais, com predominância de abordagens baseadas em otimização matemática. Estudos específicos na indústria náutica são mais escassos e, quando existentes, muitas vezes abordam aspectos complementares ao planejamento agregado, como gestão de projetos, desenvolvimento de produto ou maturidade organizacional.

Justificativa e contribuição

O diferencial deste trabalho está na construção de uma nova abordagem para o planejamento agregado na indústria náutica. Conforme mostrado por meio da revisão da literatura, dentro do melhor conhecimento dos autores, não há nenhuma metodologia com passo a passo estruturado para a elaboração do planejamento agregado em estaleiro náutico ou naval. Portanto, este trabalho é pioneiro nesse aspecto, já que propõe uma metodologia inédita, genérica e flexível, que pode ser usada por qualquer estaleiro, em qualquer lugar do mundo. Além disso, a metodologia proposta é ilustrada por meio da aplicação em um caso real (um estaleiro náutico do estado de Santa Catarina), de forma a facilitar para o leitor a compreensão da teoria, bem como proporcionar a engenheiros, administradores e outras partes interessadas a possibilidade de utilizar este trabalho como referência para novas aplicações em outros estaleiros.

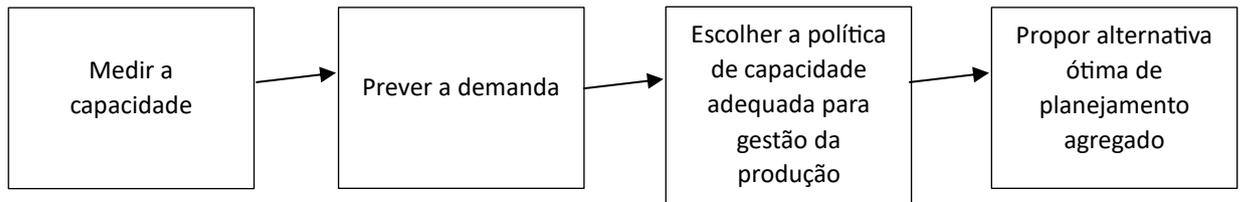
Metodologia

A metodologia proposta possui similaridades com a metodologia de “Etapas do planejamento agregado” de Moreira (2012) para planejamento agregado. Entretanto, foram feitas adaptações para trazer orientações específicas para estaleiros náuticos. Tem-se, então, a

seguinte metodologia proposta, composta por quatro passos (Figura 1): (i) medir a capacidade; (ii) prever a demanda; (iii) escolher a política de capacidade adequada para gestão da produção; e (iv) propor alternativa ótima de planejamento agregado.

Figura 1

Passos para a metodologia proposta.



Para fins deste estudo e para a compreensão da metodologia e dos resultados, consideram-se as seguintes definições adaptadas de Moreira (2012):

- *Planejamento agregado* é o processo tático para equilibrar produção e demanda em médio prazo, visando atender às flutuações de demanda com o menor custo possível, por meio do ajuste de capacidade, estoque ou demanda;
- *Produção planejada* é o volume de produção definido para cada período do plano agregado, ajustado para emparelhar demanda prevista e capacidade, por meio de políticas como horas extras, demissões, estoques ou subcontratação;
- *Capacidade* é a quantidade máxima de bens ou serviços que uma unidade produtiva pode gerar em um período específico, determinada basicamente pela disponibilidade de espaço físico e máquinas. É uma medida considerada fixa a curto e médio prazo, ou seja, ao longo do período de planejamento agregado (horizonte de 6 a 12 meses). A capacidade pode variar por meio de medidas eventuais que exigem grandes investimentos (e.g., expansão de espaço físico, investimento em novas máquinas, automação), que não são abordadas no planejamento agregado. Alterações na capacidade são tratadas no planejamento da capacidade (horizonte de 10 a 20 anos), o que está fora do escopo deste trabalho;
- *Demanda prevista* é a projeção da demanda para um horizonte de médio prazo (normalmente 6 a 12 meses), considerada a principal entrada do planejamento agregado, fundamentada em métodos estatísticos e históricos.

Medir a capacidade

Nesta etapa, inicialmente, deve-se escolher a forma de medir a capacidade, que pode ser feita por meio de unidades produtivas (unidade de produtos, por exemplo, barcos) ou dos insumos utilizados. Adotar a medida pela produção é interessante quando há apenas um produto em questão. No caso de haver muitos produtos, pode-se expressar a capacidade por meio dos insumos utilizados para a produção dos bens ou serviços. Para este último caso, é importante destacar que é impraticável misturar medidas de insumos durante o trabalho, tais como toneladas, quilos de resina, unidade de barcos etc. Medir a capacidade consiste em definir a quantidade máxima de produtos ou serviços que podem ser produzidos em uma unidade produtiva, em um dado intervalo de tempo — por exemplo, cada período poderá corresponder a um mês. Não deve ser violada a referência básica da definição de capacidade, de forma que não será possível ter capacidade maior que 100% em regime regular, conforme Moreira (2012).

Vale ressaltar que, no caso específico deste estudo, o processo produtivo do estaleiro não é do tipo projeto, visto que os barcos produzidos são itens pouco personalizados. O veleiro *dingue* é um barco padronizado, com dimensões, forma e características bem definidas e consolidadas, em que apenas alguns itens opcionais podem ser adicionados ou personalizados no final da cadeia produtiva. Sendo assim, o processo produtivo possui as características do sistema de produção por lotes, de acordo com Moreira (2012), com lotes pequenos (baixo volume), mas com características de repetitividade. Esse tipo de processo permite a aplicação do problema do planejamento agregado, utilizando medidas de produção agregada que dependem de recursos padronizados, como horas de trabalho dos operadores ou disponibilidade de moldes. Essa abordagem é compatível com a gestão da produção intermitente repetitiva e não se propõe como uma ferramenta para ambientes de produção por projeto.

A partir dessa caracterização do sistema produtivo, torna-se possível aplicar um modelo de cálculo de capacidade baseado na identificação do recurso gargalo. Para calcular a capacidade do estaleiro, deve-se identificar, primeiramente, qual recurso limita a capacidade de produção. Esse recurso limitante pode ser a mão de obra, equipamento, matéria-prima, espaço físico ou tecnologia. Escolhido o recurso, deve-se identificar quantas unidades de produto ele pode produzir por hora, isto é, sua taxa de produção T' mostrada na Equação 1:

$$T' = \frac{\text{Total produced}}{\text{Elapsed Time}} \quad (1)$$

Para calcular a capacidade de produção, deve-se multiplicar a taxa de produção do recurso pelas horas disponíveis desse recurso no período, conforme mostra a Equação 2. A formulação da equação da capacidade, quando o recurso limitante é a mão de obra, pode ser vista abaixo, na Equação 3, em que F corresponde ao número de funcionários e CH representa a quantidade de horas trabalhadas no período por funcionário (h/mês).

$$\text{Capacity} = \text{Available Time} \times \text{Production Rate} \quad (2)$$

$$\text{Capacity} = F \times CH \times T' \quad (3)$$

Prever a demanda para o ano seguinte

Nesta etapa, deve-se escolher um método para prever a demanda do período desejado. Os principais fatores para a escolha de um método são, de acordo com Moreira (2012), a disponibilidade de dados, tempo, recursos e o horizonte de previsão. Moreira (2012) apresenta em sua literatura mais de um método para previsão de demanda, que podem ser divididos em qualitativos, causais e séries temporais.

- *Métodos qualitativos* para previsão de demanda: opinião de executivos, opinião da força de vendas, pesquisa junto a consumidores e Método Delphi;
- *Métodos causais* para previsão de demanda: regressão linear simples, coeficientes de correlação e de determinação, regressões simples não lineares e regressão linear múltipla;
- *Séries temporais* para previsão de demanda: modelo de decomposição das séries temporais e métodos das médias.

Modelo de decomposição das séries temporais

A utilização do modelo de decomposição das séries temporais permite, de forma opcional, considerar o fator sazonalidade e fatores aleatórios para a previsão da demanda, segundo Moreira (2012). Esse modelo foi efetivamente utilizado neste trabalho, por ser adequado ao contexto do estaleiro, que apresenta flutuações mensais de demanda relacionadas à sazonalidade. Esse modelo pode ser representado pela equação demonstrada na Tabela 1.

Tabela 1

Equação da demanda prevista.

Equação	Variáveis
$Y = (T) \cdot (S)$	Y = Valor da série (demanda prevista) T = Componente de tendência S = Componente de sazonalidade

A aplicação do modelo permite considerar explicitamente os componentes de tendência e sazonalidade, que são fundamentais para prever corretamente a demanda ao longo do tempo. A sazonalidade foi incorporada com base no histórico de dados mensais e está detalhada na Tabela 12, na seção de Resultados.

Embora as quantidades mensais de produção sejam relativamente baixas, o processo produtivo da empresa é padronizado e repetitivo (há um único modelo de casco, convés, mastro e acabamentos), o que caracteriza o sistema como uma produção por lotes com fluxo intermitente e características de repetitividade, conforme definições de Moreira (2012). Portanto, o uso de modelos agregados e quantitativos, como o de decomposição, é justificado.

Neste modelo, também é necessário definir uma função para representar a linha de tendência da demanda (\hat{Y}). Sugere-se a função de uma reta mostrada na Equação 4. Para isso, colocam-se os valores do tempo t representando os períodos (aqui serão escolhidos os meses) e determina-se a equação da reta de tendência pelo método dos mínimos quadrados ou utilizando sugestão do Excel, obtendo-se, portanto, os valores de a e b .

$$\hat{Y} = a + b \cdot t \quad (4)$$

Definida a equação da reta, para Moreira (2012), o próximo passo consiste em calcular o coeficiente de determinação (Tabela 2). O coeficiente de determinação possui intervalo entre 0 e +1 e é interpretado como a proporção de variância comum entre y e t , ou seja, a proporção da variação de y explicada pela variação de t .

Tabela 2

Equação do coeficiente de determinação.

Equação	Variáveis
$r^2 = \frac{\sum(\hat{Y} - \bar{Y})^2}{\sum(Y - \bar{Y})^2}$	Y = Valores reais da demanda
	\hat{Y} = Valores previstos da demanda
	\bar{Y} = Média dos valores reais da demanda

Em seguida, deve-se calcular o valor da componente de tendência para cada período futuro, em que n representa a quantidade de períodos do passado utilizados como amostra. Neste caso, será feita a previsão mensal para o ano seguinte; portanto, deve-se calcular até o 12º período, como mostra a Figura 2.

Figura 2

Equações das componentes de tendência para três períodos.

<p>1º Período ($t = n + 1$): $\hat{Y}_{n+1} = T_{n+1} = a + b \cdot (n + 1)$</p> <p>2º Período ($t = n + 2$): $\hat{Y}_{n+2} = T_{n+2} = a + b \cdot (n + 2)$</p> <p>3º Período ($t = n + 3$): $\hat{Y}_{n+3} = T_{n+3} = a + b \cdot (n + 3)$</p> <p style="text-align: center;">...</p>

Já para o cálculo dos índices sazonais (S), deve-se designar um para cada período. Ele corresponde à média aritmética dos afastamentos (Y'_k/T_k) do respectivo período para todo o banco de dados, em que Y'_k é a demanda real do período passado e T_k o resultado obtido pela linha de tendência, mostrada na Equação 5, para aquele período.

$$S = Y'_1/T_1 + Y'_2/T_2 + \dots + Y'_n/T_n \tag{5}$$

Por fim, em posse dos valores de T e S de cada período, para obter as previsões corrigidas pelo efeito sazonal para os períodos seguintes, basta realizar o produto das componentes de tendência pelos respectivos índices sazonais. Vale observar que os afastamentos (Y'_k/T_k) indicam quão influentes são as flutuações ao acaso para o exemplo em pauta. Segundo Moreira (2012), não é por acaso que a obtenção do índice sazonal por meio da média desses afastamentos passados representa uma tentativa válida de amortecer os efeitos aleatórios.

Escolher a política de capacidade adequada para gestão da produção

Esta é uma etapa ainda qualitativa. Aqui serão consideradas as opções de alternativas para influenciar a produção, ou seja, a gestão deve avaliar as opções:

- Regime de horas extras;
- Contratação e demissão de funcionários;
- Subcontratação;
- Criação de estoques.

A viabilidade e as limitações atribuídas a essas opções representam a política de capacidade para alterar a produção. Deverão ser avaliadas quais dessas opções funcionam diante do contexto em que cada empresa está inserida, isto é, se a empresa possui regime de horas extras e como o sindicato designado regulariza essa atividade; se o estaleiro está localizado em uma região onde há mão de obra disponível e apta para a contratação com facilidade; se há espaço físico para guardar estoque e quais são os riscos e custos envolvidos; e se existem empresas que estariam aptas a fornecer mão de obra subcontratada na região, por exemplo.

Assim, nesta etapa, tem-se como entrada quais dessas variações no sistema produtivo poderão ser adotadas para o Planejamento Agregado do ano seguinte. Essas serão causas-chave para o aumento ou diminuição da taxa de produção em cada período.

Propor alternativa ótima de planejamento agregado para o próximo ano

Os modelos existentes que procuram a solução para o problema do Planejamento Agregado podem ser pensados em duas dimensões: existem aqueles que assumem ou não a variação linear dos custos e existem aqueles que levam ou não à solução ótima. Por solução ótima entende-se aquela que leva efetivamente ao custo total de produção mínimo em face das alternativas de produção disponíveis. A metodologia deste trabalho assume que a variação do custo é linear e seu foco é conduzir a uma solução ótima, ou seja, com mínimo custo total de produção.

Construção do modelo

A construção do modelo de otimização é proposta abaixo em três passos gerais (definição de constantes, definição de restrições e representação das variáveis de decisão e função objetivo). Por fim, é apresentada uma metodologia para a construção do algoritmo de otimização de forma sucinta, mas exemplificada.

Passo 1: definir constantes

Para construir o modelo, é necessário primeiramente atribuir valores às constantes. Todas as constantes devem ter seus valores definidos pelo autor com base em investigação interna e troca de informações entre os setores da empresa. As constantes e suas respectivas descrições são apresentadas na Tabela 3. Aqui, recomenda-se ao leitor ainda não se atentar à coluna “Valor atribuído” dessa tabela, a qual será explicada mais adiante na seção 4 (Resultados e Discussão).

Tabela 3

Constantes utilizadas na construção do modelo.

Constante	Simbologia	Descrição	Equação	Valor atribuído
Demanda prevista	D_t	Unidades de produtos ou insumos por período. Corresponde à componente de tendência (T_t) multiplicada pela componente de sazonalidade do período (S_t).	$Y_t = (T_t) \cdot (S_t)$	$D_1 = 6, D_2 = 3, D_3 = 6, D_4 = 1, D_5 = 2, D_6 = 3, D_7 = 5, D_8 = 2, D_9 = 2, D_{10} = 2, D_{11} = 3, D_{12} = 2$
Capacidade máxima em produção regular	R	Número máximo de unidades de produtos ou insumos produzidas em regime regular em um período. Corresponde ao produto do número de funcionários (F), da carga horária do período (CH) e da taxa de produção (T')	$F \times CH \times T'$	7
Capacidade máxima para a produção em horas extras	H	Número máximo de unidades de produtos ou insumos produzidas quando há regime de hora extra em um período. Soma-se à CH a quantidade de horas extras trabalhadas no período (he).	$F \times (CH + he) \times T'$	9
Capacidade máxima para a produção subcontratada	S	Número máximo de unidades de produtos ou insumos produzidas quando há produção subcontratada em um período. Soma-se a F a quantidade de funcionários subcontratados (u).	$(F + u) \times CH \times T'$	4,3
Produção regular ao	R_0	Produção em unidades de produtos ou insumos ao	$F_0 \times CH \times T'$	7

início do primeiro período		iniciar o primeiro período do planejamento. O número inicial de funcionários é representado por F_0 .		
Estoque inicial (ao início do primeiro período)	I_0	Estoque em unidades de produtos ou insumos ao iniciar o primeiro período do planejamento. Corresponde à soma de barcos produzidos em regime normal (R_0), de hora extra (H_0) e subcontratados (S_0) no período inicial, menos a demanda (D_0) deste período.	$(R_0 + H_0 + S_0) - D_0$	0
Custo unitário da unidade produzida em regime regular	r	Custo em reais de produzir cada unidade de produto ou insumo.	$\frac{C_{material} + C_{labor} + C_{indirect}}{produced\ units}$	14.000
Custo unitário da unidade produzida em horas extras	h	Custo em reais de produzir cada unidade de produto ou insumo utilizando regime de hora extra.	$\frac{C_{material} + C_{labor} \cdot (1 + \frac{he}{CH} \cdot 1,5) + C_{indirect}}{produced\ units}$	16.000
Custo unitário da produção subcontratada	s	Custo em reais de produzir cada unidade de produto ou insumo utilizando produção subcontratada.	$\frac{Total\ subcontracting\ cost}{added\ units}$	-
Custo de adicionar uma unidade à produção regular, por meio de contratação de funcionários	a	Custo de contratar funcionários suficientes para aumentar uma unidade de produto ou insumo. Este custo engloba as horas dos funcionários envolvidos na contratação (diretor, recrutador, RH, contabilidade, funcionário treinador etc.) e a estimativa de horas de aprendizado.	$\frac{Total\ hiring\ cost}{added\ units}$	1,022
Custo de se cancelar uma unidade de produção regular, por meio da demissão de funcionários	c	Custo de demitir funcionários suficientes para diminuir uma unidade de produto ou insumo. Este custo engloba aviso prévio, férias proporcionais, adicional de 1/3 de férias, 13º proporcional, 40% do FGTS e custo das horas dos funcionários envolvidos (RH, contabilidade, diretor etc.).	$\frac{Total\ layoff\ cost}{canceled\ units}$	11,413
Custo de se manter uma unidade em estoque por um período	i	Custo de armazenagem, envolvendo o custo do capital (custo de oportunidade) e o custo de armazenamento (espaço, seguros, taxas, perdas, obsolescência do material e deterioração), conforme Moreira (Moreira, 2012).	$\frac{C_{opportunity} + C_{storage}}{units\ in\ inventory}$	600

Passo 2: definir restrições

O passo seguinte consiste em definir as restrições. Elas são equações ou inequações que relacionam as variáveis de decisão às constantes (Tabela 4). Para qualquer período t , são as seguintes:

Tabela 4*Restrições utilizadas para a construção do modelo de otimização para cada período t .*

Restrições	Simbologia	Descrição	Equação/Inequação
O teto da produção regular	R	Define o valor máximo para a produção regular no período	$R_t \leq R$
O teto da produção em horas extras	H	Define o valor máximo para a produção em horas extras no período	$H_t \leq H$
O teto da produção em horas subcontratada	S	Define o valor máximo para a produção subcontratada no período	$S_t \leq S$
Composição da produção regular do período	R_t	A produção regular no período t é igual à produção regular do período anterior, somando-se às unidades produzidas devido às contratações de funcionários e subtraindo-se a produção perdida em função da demissão de funcionários	$R_t = R_{t-1} + A_t - C_t$
Limite de cancelar uma unidade	R	Não se pode cancelar mais do que a capacidade máxima de produção regular	$C_t \leq R$
Composição do estoque do período	I_t	O estoque final do período t é igual ao estoque final do período anterior, somado a tudo que foi produzido no período t e subtraído do que foi consumido, ou seja, a demanda	$I_t = I_{t-1} + ProdTot_t - D_t$
Definição da produção total do período	ProdTot	Consiste na soma da produção regular e produção em horas extras	$ProdTot_t = R_t + H_t$
Condições de não negatividade	> 0	Define que as variáveis não podem ser negativas	$I_t, R_t, H_t, S_t, A_t, C_t > 0$
Define como número inteiro	$\in Z$	Define que as variáveis têm que ser inteiras	$I_t, R_t, H_t, S_t, A_t, C_t \in Z$

Passo 3: representar as variáveis de decisão e a função objetivo

As variáveis de decisão são aquelas cujos valores são desconhecidos e que representam a solução do problema de programação linear (Tabela 5). Cada uma das variáveis de decisão deverá receber tantos valores quantos sejam os períodos considerados no Planejamento Agregado. Elas devem ser definidas no modelo, porém seus valores serão atribuídos pelo programa. Em cada período t , são as seguintes:

Tabela 5

Variáveis de decisão utilizadas na construção da otimização do modelo linear.

Variáveis de decisão	Simbologia	Descrição
Estoque final	I_t	Representa o que restou em estoque no período
Produção em regime regular	R_t	Representa as unidades de insumos ou produtos produzidas em regime regular naquele período
Produção em horas extras	H_t	Representa as unidades de insumos ou produtos produzidas em regime de horas extras naquele período
Produção subcontratada	S_t	Representa as unidades de insumos ou produtos produzidas por subcontratação naquele período
Unidades adicionadas por meio da contratação de funcionários	A_t	Representa a quantidade de insumo ou produto adicionada à produção devido à contratação de funcionários naquele período
Unidades canceladas por meio da demissão de funcionários	C_t	Representa a quantidade de insumo ou produto diminuída da produção devido à demissão de funcionários naquele período

A função objetivo (Tabela 6) é composta pelos custos e pelas variáveis de decisão; trata-se de minimizar o custo total de produção para os períodos considerados. A expressão $(rR_t + hH_t + sS_t + aA_t + cC_t + iI_t)$ representa o custo de produção no período t , levando em conta as opções consideradas de produção regular, em horas extras e via subcontratação, bem como a estocagem e o acréscimo ou decréscimo da produção regular via contratação ou demissões. Ela deve ser representada no programa para que seu valor final seja obtido como resposta.

Tabela 6

Representação da função objetivo.

	Simbologia	Descrição
Função objetivo	$\sum_{t=1}^n (rR_t + hH_t + sS_t + aA_t + cC_t + iI_t)$	Representa o somatório de custos de produção dos períodos. Deve ser minimizada

Algoritmo de otimização

Com o intuito de facilitar a replicação do modelo, esta seção apresenta, de forma clara e objetiva, um algoritmo para o modelo de otimização na forma de linguagem matemática clássica, que pode ser visto na Tabela 7. Para a construção do programa de otimização do Planejamento Agregado, inicia-se pela definição das constantes e pela representação das variáveis. Em seguida, definem-se as restrições e, por último, solicita-se a minimização da

função objetivo. Como resultado, serão obtidos os valores das variáveis para cada período que minimizam a função objetivo.

Existem diversos *softwares* para construção e simulação de modelos de otimização, como o LINGO, SOLVER e CPLEX, cada um com suas próprias capacidades e usos específicos. Vale ressaltar que essas ferramentas não contêm modelos de otimização prontos para o problema abordado; são apenas ferramentas com interface gráfica que facilitam a construção e a simulação de modelos de otimização.

Tabela 7

Algoritmo para o modelo de otimização na forma de linguagem matemática clássica.

1. Definição de Contantes:
H: Capacidade máxima de produção em horas extras.
R_0 : Produção regular inicial.
I_0 : Estoque inicial.
r: Custo de produção regular.
h: Custo de produção em horas extras.
a: Custo de adicionar uma unidade à produção regular através de contratação.
c: Custo de cancelar uma unidade à produção regular através de demissão.
s: Custo de adicionar uma unidade à produção regular através de subcontratação.
i: Custo de manter uma unidade em estoque durante um período.
D_i : Demanda no período i.
R: Capacidade máxima de produção regular.
2. Representação de variáveis:
A_i : Unidades adicionadas através de contratação no período i.
C_i : Unidades canceladas através de demissão no período i.
S_i : Unidades adicionadas através de subcontratação no período i.
I_i : Estoque no período i.
3. Representação das restrições:
$0 \leq R_i \leq R$: Capacidade máxima de produção regular e em horas extras.
$0 \leq H_i \leq H$: Capacidade máxima de produção em horas extras no período i.
$0 \leq C_i \leq R$: Não se pode cancelar mais do que a capacidade máxima de produção regular.
$R_i = R_{(i-1)} + S_i - A_i - C_i$: Produção regular no período i.
$ProdTot_i = R_i + H_i$: Produção total no período i.
$I_i = I_i - 1 + ProdTot_i - D_i$: Estoque no período i.

4. Definição da Função Objetivo:

$$Cost = \sum_{i=1}^n (rR_i + hH_i + sS_i + aA_i + cC_i + iI_i)$$

5. Minimização:

Minimizar a função objetivo Custo.

Resultados e Discussão

Aqui apresentam-se os resultados obtidos por meio da aplicação da metodologia proposta em um caso real, isto é, um estaleiro náutico do estado de Santa Catarina com 10 funcionários na produção. O produto principal do estaleiro é um veleiro de pequeno porte, cujas dimensões principais estão mostradas na Tabela 8, destinado a competições em regatas e aulas de vela. O nome do modelo não será citado por questões de confidencialidade. Como o barco é o produto principal do estaleiro, será utilizado como referência para o cálculo do Planejamento Agregado. Esta aplicação foi realizada em dezembro de 2023, para gerar resultados para o planejamento de janeiro a dezembro de 2024.

Tabela 8

Dimensões principais do barco abordado no trabalho.

Boca	1,66m
Comprimento	4,16m
Calado	0,18m
Pontal	0,52m

Medir a capacidade

A forma escolhida para medir a capacidade do estaleiro foi em unidades produzidas, ou seja, número de barcos. O período considerado foi o mês. Dessa forma, a capacidade foi expressa em barcos por mês.

O recurso limitante para a construção dos barcos do estaleiro, isto é, aquele que limita sua capacidade produtiva, é o número de moldes disponíveis (equipamentos). Sua taxa de produção (T') pode ser encontrada através da Equação 1.

O total de sete barcos pode ser produzido em um mês, considerando-se o produto do número de moldes (1) pela carga horária do período (174 h/mês). Definida a taxa de produção por meio das Equações 1 e 3, é possível calcular a capacidade do estaleiro, conforme mostram as Equações 6 e 7:

$$T' = \frac{\text{Total produced}}{\text{Elapsed time}} = \frac{7 \text{ boats}}{1 \text{ mold} \times 174 \text{ h}} = 0,04 \text{ boats/h} \quad (6)$$

$$\text{Capacidade} = 174 \text{ h} \times 0,04 \text{ boats/h} = 7 \text{ boats/month} \quad (7)$$

Apesar de a capacidade de produção atender à média da demanda anual, o modelo evidencia que existem variações mensais significativas na demanda (ver Seção 3.2 e Tabela 9), podendo gerar ociosidade em alguns períodos e sobrecarga em outros. Assim, o modelo de planejamento agregado permite ajustar a produção para minimizar custos operacionais e evitar decisões ineficientes, como manter estoque elevado ou recorrer à produção emergencial com custos mais altos.

Portanto, mesmo que a capacidade média pareça suficiente, as flutuações e a sazonalidade da demanda exigem um planejamento estruturado para reduzir o custo total da operação ao longo do ano.

Prever a demanda

Para prever a demanda da empresa em 2024, será adotado o método de decomposição das séries temporais (Seção 3.2). Este modelo foi escolhido por requerer dados de entrada que podem ser facilmente obtidos da empresa, ou seja, seu histórico de demanda.

A empresa estudada possui registros de vendas de janeiro de 2019 a dezembro de 2023, conforme mostram a Tabela 9 e a Figura 3. Ambos apresentam os dados originais e a reta de tendência. Embora diversas funções possam ser testadas para a linha de tendência, a linha reta foi escolhida por permitir boa visualização do efeito sazonal, ficando acima dos valores reais nos meses de baixa demanda e abaixo nos meses de alta.

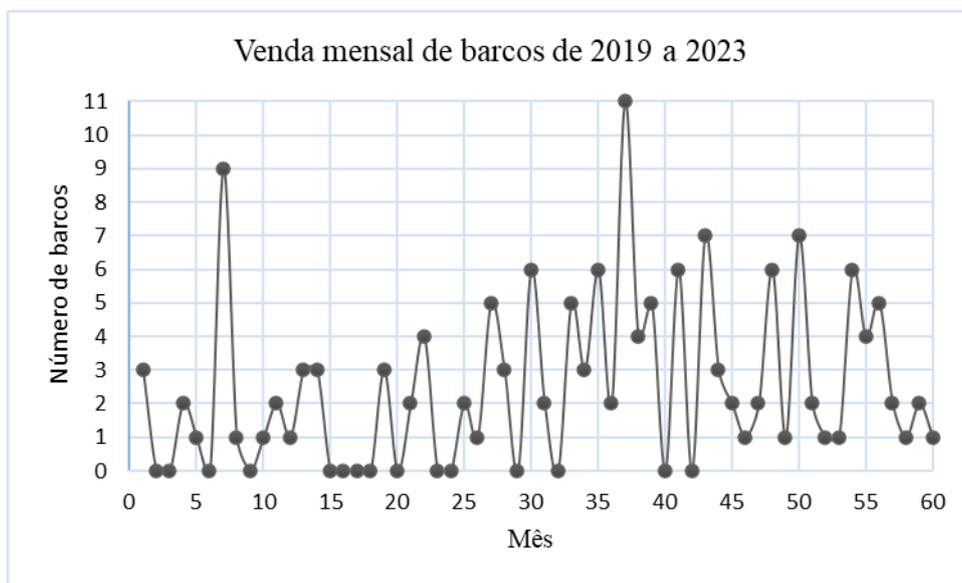
Tabela 9

Barcos vendidos de janeiro de 2019 a dezembro de 2023.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
2019	3	0	0	2	1	0	9	1	0	1	2	1	20
2020	3	3	0	0	0	0	3	0	2	4	0	0	15
2021	2	1	5	3	0	6	2	0	5	3	6	2	35
2022	11	4	5	0	6	0	7	3	2	1	2	6	47
2023	1	7	2	1	1	6	4	5	2	1	2	1	33

Figura 3

Venda mensal de barcos de 2019 a 2023.



Para a determinação da reta, os valores do tempo t foram considerados em escala, tomando-se o primeiro mês de 2019 como $t = 0$, o segundo como $t = 2$ e assim por diante. O último dado corresponde a dezembro de 2023, quando $t = 59$. Sendo y a previsão pela reta de tendência e t o tempo, temos sua forma representada na Equação 8.

$$\hat{Y} = 0,0076t + 3,0752 \quad (8)$$

Tabela 10*Valores para cálculo do coeficiente de determinação.*

X	Y	\hat{Y}	$(Y-\hat{Y})$	$(Y-\hat{Y})^2$	$(\hat{Y}-Y)$	$(\hat{Y}-Y)^2$
0	3	3,075	0,500	0,250	0,575	0,331
1	0	3,083	-2,500	6,250	0,583	0,340
2	0	3,090	-2,500	6,250	0,590	0,349
3	2	3,098	-0,500	0,250	0,598	0,358
4	1	3,106	-1,500	2,250	0,606	0,367
5	0	3,113	-2,500	6,250	0,613	0,376
6	9	3,121	6,500	42,250	0,621	0,385
7	1	3,128	-1,500	2,250	0,628	0,395
8	0	3,136	-2,500	6,250	0,636	0,404
9	1	3,144	-1,500	2,250	0,644	0,414
10	2	3,151	-0,500	0,250	0,651	0,424
11	1	3,159	-1,500	2,250	0,659	0,434
12	3	3,166	0,500	0,250	0,666	0,444
13	3	3,174	0,500	0,250	0,674	0,454
14	0	3,182	-2,500	6,250	0,682	0,465
15	0	3,189	-2,500	6,250	0,689	0,475
16	0	3,197	-2,500	6,250	0,697	0,486
17	0	3,204	-2,500	6,250	0,704	0,496
18	3	3,212	0,500	0,250	0,712	0,507
19	0	3,220	-2,500	6,250	0,720	0,518
20	2	3,227	-0,500	0,250	0,727	0,529
21	4	3,235	1,500	2,250	0,735	0,540
22	0	3,242	-2,500	6,250	0,742	0,551
23	0	3,250	-2,500	6,250	0,750	0,563
24	2	3,258	-0,500	0,250	0,758	0,574
25	1	3,265	-1,500	2,250	0,765	0,586
26	5	3,273	2,500	6,250	0,773	0,597
27	3	3,280	0,500	0,250	0,780	0,609
28	0	3,288	-2,500	6,250	0,788	0,621
29	6	3,296	3,500	12,250	0,796	0,633
30	2	3,303	-0,500	0,250	0,803	0,645
31	0	3,311	-2,500	6,250	0,811	0,657
32	5	3,318	2,500	6,250	0,818	0,670
33	3	3,326	0,500	0,250	0,826	0,682
34	6	3,334	3,500	12,250	0,834	0,695
35	2	3,341	-0,500	0,250	0,841	0,708
36	11	3,349	8,500	72,250	0,849	0,720
37	4	3,356	1,500	2,250	0,856	0,733
38	5	3,364	2,500	6,250	0,864	0,746
39	0	3,372	-2,500	6,250	0,872	0,760
40	6	3,379	3,500	12,250	0,879	0,773
41	0	3,387	-2,500	6,250	0,887	0,786
42	7	3,394	4,500	20,250	0,894	0,800
43	3	3,402	0,500	0,250	0,902	0,814
44	2	3,410	-0,500	0,250	0,910	0,827
45	1	3,417	-1,500	2,250	0,917	0,841
46	2	3,425	-0,500	0,250	0,925	0,855
47	6	3,432	3,500	12,250	0,932	0,869
48	1	3,440	-1,500	2,250	0,940	0,884
49	7	3,448	4,500	20,250	0,948	0,898
50	2	3,455	-0,500	0,250	0,955	0,912
51	1	3,463	-1,500	2,250	0,963	0,927
52	1	3,470	-1,500	2,250	0,970	0,942
53	6	3,478	3,500	12,250	0,978	0,956

54	4	3,486	1,500	2,250	0,986	0,971
55	5	3,493	2,500	6,250	0,993	0,986
56	2	3,501	-0,500	0,250	1,001	1,002
57	1	3,508	-1,500	2,250	1,008	1,017
58	2	3,516	-0,500	0,250	1,016	1,032
59	1	3,524	-1,500	2,250	1,024	1,048
	150	$\bar{Y} = 150/60 = 2,5$		1305746		39,382

Aplicando os valores obtidos na Tabela 10 na equação da Tabela 2, obtém-se, para o coeficiente de determinação $r^2 = 0,106$. Isso significa que 10,6% da variação de y é aplicada pela variação de t , sendo os restantes 89% de variação devidos a explicações desconhecidas. Pelo valor de r^2 , verifica-se que o ajuste imediato possui baixa correlação. Adicionalmente, os valores da componente de tendência para 2024, calculados de acordo com a Equação 8, são mostrados na Figura 4.

Figura 4

Cálculos da componente de tendência dos períodos futuros.

$$\begin{aligned} \text{Mês 1 (t = 60): } y_{60} &= T_{60} = 0,0076(60) + 3,0752 = 3,531 \\ \text{Mês 2 (t = 61): } y_{61} &= T_{61} = 0,0076(61) + 3,0752 = 3,539 \\ \text{Mês 3 (t = 62): } y_{62} &= T_{62} = 0,0076(62) + 3,0752 = 3,546 \\ \text{Mês 4 (t = 63): } y_{63} &= T_{63} = 0,0076(63) + 3,0752 = 3,544 \\ \text{Mês 5 (t = 64): } y_{64} &= T_{64} = 0,0076(64) + 3,0752 = 3,561 \\ \text{Mês 6 (t = 65): } y_{65} &= T_{65} = 0,0076(65) + 3,0752 = 3,569 \\ \text{Mês 7 (t = 66): } y_{66} &= T_{66} = 0,0076(66) + 3,0752 = 3,577 \\ \text{Mês 8 (t = 67): } y_{67} &= T_{67} = 0,0076(67) + 3,0752 = 3,584 \\ \text{Mês 9 (t = 68): } y_{68} &= T_{68} = 0,0076(68) + 3,0752 = 3,592 \\ \text{Mês 10 (t = 69): } y_{69} &= T_{69} = 0,0076(69) + 3,0752 = 3,600 \\ \text{Mês 11 (t = 70): } y_{70} &= T_{70} = 0,0076(70) + 3,0752 = 3,607 \\ \text{Mês 12 (t = 71): } y_{71} &= T_{71} = 0,0076(71) + 3,0752 = 3,615 \end{aligned}$$

Para a definição dos índices sazonais, utiliza-se a Figura 4, cujos valores estão representados na Tabela 11. Para cada mês, possui-se cinco observações do passado (de 2019 a 2023), o que permite calcular o índice sazonal como a média dos afastamentos já verificados entre o valor real e a componente de tendência.

Tabela 11*Cálculo dos índices sazonais.*

Período	Demanda real (Y)	Tendência T_k	Y/T_k	Período	Demanda real (Y)	Tendência T_k	Y/T_k
1	3	3,083	0,973	31	2	3,311	0,604
2	0	3,090	0,000	32	0	3,318	0,000
3	0	3,098	0,000	33	5	3,326	1,503
4	2	3,106	0,644	34	3	3,334	0,900
5	1	3,113	0,321	35	6	3,341	1,796
6	0	3,121	0,000	36	2	3,349	0,597
7	9	3,128	2,877	37	11	3,356	3,277
8	1	3,136	0,319	38	4	3,364	1,189
9	0	3,144	0,000	39	5	3,372	1,483
10	1	3,151	0,317	40	0	3,379	0,000
11	2	3,159	0,633	41	6	3,387	1,772
12	1	3,166	0,316	42	0	3,394	0,000
13	3	3,174	0,945	43	7	3,402	2,058
14	3	3,182	0,943	44	3	3,410	0,880
15	0	3,189	0,000	45	2	3,417	0,585
16	0	3,197	0,000	46	1	3,425	0,292
17	0	3,204	0,000	47	2	3,432	0,583
18	0	3,212	0,000	48	6	3,440	1,744
19	3	3,220	0,932	49	1	3,448	0,290
20	0	3,227	0,000	50	7	3,455	2,026
21	2	3,235	0,618	51	2	3,463	0,578
22	4	3,242	1,234	52	1	3,470	0,288
23	0	3,250	0,000	53	1	3,478	0,288
24	0	3,258	0,000	54	6	3,486	1,721
25	2	3,265	0,613	55	4	3,493	1,145
26	1	3,273	0,306	56	5	3,501	1,428
27	5	3,280	1,524	57	2	3,508	0,570
28	3	3,288	0,912	58	1	3,516	0,284
29	0	3,296	0,000	59	2	3,524	0,568
30	6	3,303	1,816	60	1	3,531	0,283

O afastamento Y/T_k referentes ao mês de janeiro correspondem aos períodos 1, 13, 25, 37 e 49; de acordo com a Equação 5, ao calcular a média aritmética entre eles, obtém-se S_n , ou seja, o índice sazonal do primeiro mês S_1 . Da mesma forma, foi calculado de S_1 a S_{12} na Tabela 12.

Tabela 12

Cálculo dos índices sazonais.

	n	2019	2020	2021	2022	2023	Média (S_n)
Janeiro	1	0,973	0,945	3,265	3,277	0,290	1,750
Fevereiro	2	0,000	0,943	0,306	1,189	2,026	0,893
Março	3	0,000	0,000	1,524	1,483	0,578	0,717
Abril	4	0,644	0,000	0,912	0,000	0,288	0,369
Mai	5	0,321	0,000	0,000	1,772	0,288	0,476
Junho	6	0,000	0,000	1,816	0,000	1,721	0,708
Julho	7	2,877	0,932	0,604	2,058	1,145	1,523
Agosto	8	0,319	0,000	0,000	0,880	1,428	0,525
Setembro	9	0,000	0,618	1,503	0,585	0,570	0,655
Outubro	10	0,317	1,234	0,900	0,292	0,284	0,605
Novembro	11	0,633	0,000	1,796	0,583	0,568	0,716
Dezembro	12	0,316	0,000	0,597	1,744	0,283	0,588

Para obter as previsões corrigidas pelo efeito sazonal para os 12 meses de 2024, basta realizar o produto das componentes de tendência pelos respectivos índices sazonais (Tabela 1). Os valores dos cálculos estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13

Cálculo da previsão corrigida pelo índice sazonal.

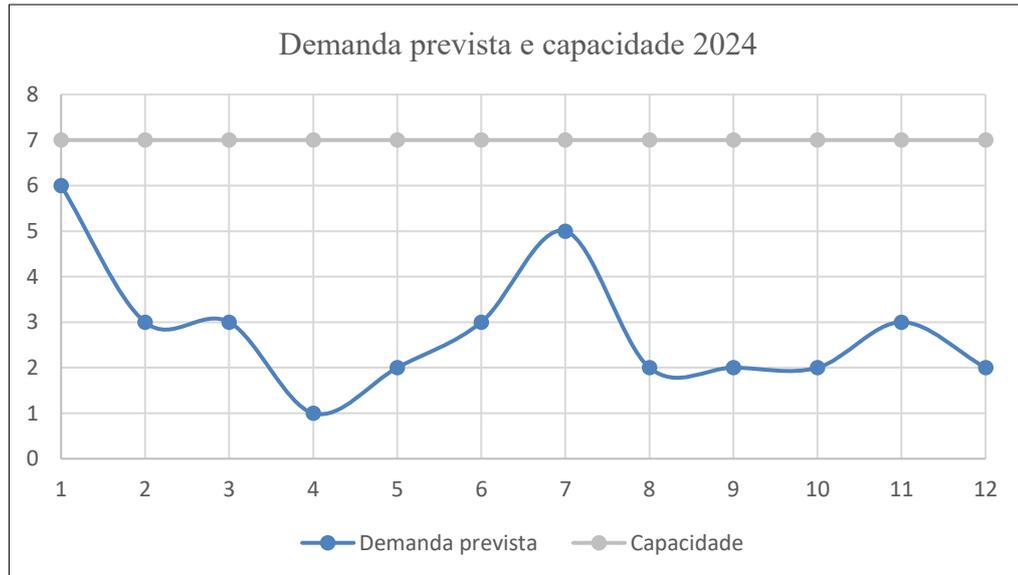
	T_k	S_n	Previsão corrigida
Janeiro 2024	3,531	1,750	6
Fevereiro 2024	3,539	0,893	3
Março 2024	3,546	0,717	3
Abril 2024	3,554	0,369	1
Mai 2024	3,562	0,476	2
Junho 2024	3,569	0,708	3
Julho 2024	3,577	1,523	5
Agosto 2024	3,584	0,525	2
Setembro 2024	3,592	0,655	2
Outubro 2024	3,600	0,605	2
Novembro 2024	3,607	0,716	3
Dezembro 2024	3,615	0,588	2

Como última observação, os afastamentos Y/T_k ao longo dos anos e dentro de cada mês são consideráveis. Essa inconstância na relação entre a demanda real e a componente de tendência, para cada mês, indica que as flutuações ao acaso são influentes na empresa em questão. A própria obtenção do índice sazonal por meio da média dos afastamentos passados representa uma tentativa válida de amortecer esses efeitos aleatórios. Uma representação

simplificada da demanda para o ano seguinte e da capacidade da empresa pode ser vista na Figura 5.

Figura 5

Gráfico que mostra previsão de demanda para o ano de estudo.



Escolher a política de capacidade adequada para gestão da produção

Entre as alternativas disponíveis para influenciar a produção, buscou-se representar no modelo as opções com que a empresa já trabalha. Já é comum na empresa, e, portanto, serão consideradas:

- Horas extras;
- Contratação e demissão de funcionários;
- Estoque de produtos finalizados.

Embora a geração de estoques ocorra com menos frequência, ela será considerada, pois na fábrica há espaço e estrutura disponíveis para armazenagem de barcos finalizados. A opção de subcontratação não será considerada para os cálculos desta empresa, pois o modo de fabricação do produto (mais especificamente o plano de laminação do barco) é sigiloso, não sendo de interesse da administração compartilhar com terceiros para evitar concorrência. Adicionalmente, não há mão de obra disponível na região para prestar esse tipo de serviço.

Propor alternativa ótima de planejamento agregado

Para o caso em questão, o Planejamento Agregado da empresa deve ser realizado para um horizonte total de 12 meses. Para a construção do modelo de otimização linear do Planejamento Agregado, seguem-se os métodos apresentados na Seção 3. A coluna “Valor atribuído” na Tabela 3 corresponde ao Passo 1 (Definição das constantes), a Tabela 4 corresponde ao Passo 2 (Definição das restrições) e as Tabelas 5 e 6 correspondem ao Passo 3 (Representação das variáveis de decisão e função objetivo).

Os valores atribuídos aos custos utilizados no modelo foram levantados a partir de informações fornecidas pela própria empresa, por meio de entrevistas com os setores financeiro, RH, engenharia e logística. Esses valores representam médias estimadas com base em dados históricos e projeções fornecidas pelas respectivas áreas.

O custo de produção em regime regular (r) foi calculado a partir da soma dos custos médios de materiais, mão de obra direta e custos indiretos de fabricação, divididos pelo número de unidades produzidas mensalmente. O custo de produção em horas extras (h) incorporou um adicional de 50% sobre o valor da hora-base, conforme a legislação trabalhista vigente e as práticas de pagamento da empresa. Os custos de contratação (a) e de demissão (c) foram apurados com base em simulações internas realizadas pela área de RH, considerando encargos trabalhistas, tempo de treinamento e processos administrativos. Já o custo de estocagem (i) foi baseado em estimativas de custo de oportunidade do capital e custos operacionais de armazenamento informados pela área de logística. Uma descrição de cada custo, com sua respectiva equação, pode ser encontrada na Tabela 3.

Algoritmo de otimização

Após todos esses valores terem sido devidamente representados como inputs no algoritmo de otimização, foi realizada a simulação, e como output obtêm-se os resultados do Planejamento Agregado, representados na Tabela 14, os quais indicam um Custo de Produção mínimo de R\$ 500.213,00 (Tabela 6). Nesta etapa, foi utilizado o software LINGO para a simulação do modelo. O download do arquivo com o algoritmo pode ser feito através da referência (Lemos, 2024).

Tabela 14

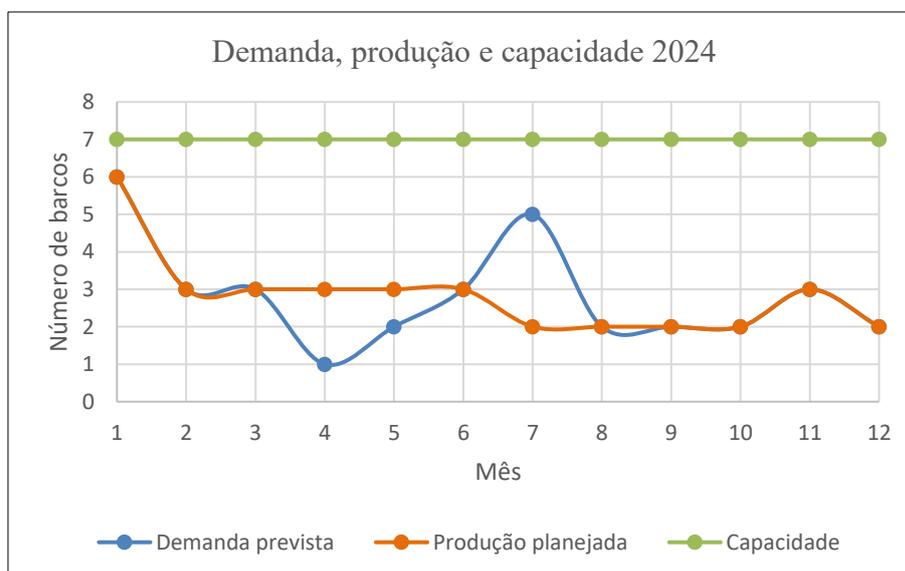
Resultado ótimo da Programação linear do planejamento agregado da empresa em questão.

	Período											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Demanda	6	3	3	1	2	3	5	2	2	2	3	2
Estoque inicial	0	0	0	0	2	3	3	0	0	0	0	0
Estoque final	0	0	0	2	3	3	0	0	0	0	0	0
Nº inicial de funcionários	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4
Contratações	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Demissões	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Nº final de funcionários	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4
Produção regular	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2
Produção horas extras	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Produção subcontratação	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Produção total	6	3	3	3	3	3	2	2	2	2	3	2

A representação da produção obtida no cálculo do planejamento agregado, bem como a demanda prevista para o ano em questão e a capacidade, pode ser vista na Figura 6. É possível notar que a fábrica estará operando abaixo de sua capacidade no período.

Figura 6

Gráfico de demanda, produção planejada e capacidade para o ano seguinte.



É importante destacar que a capacidade é sempre maior que a demanda e a produção planejada. Isso quer dizer que sempre haverá ociosidade de espaço físico e máquinas, mas não necessariamente de recursos humanos (que é o que o planejamento agregado busca tratar neste trabalho). Os recursos humanos da empresa serão ajustados por meio de contratações, demissões e trabalho em hora extra, para que haja o mínimo custo. É importante observar que, em alguns meses (julho, agosto, setembro, outubro e

dezembro), houve ociosidade de mão de obra, o que demonstra que, por vezes, é mais barato manter a ociosidade da mão de obra do que demitir e recontratar funcionários.

Discussão da metodologia

A metodologia utilizada se mostrou viável em caso real, demonstrando que pode ser útil para o tipo de indústria em questão. O tempo necessário para aplicar essa metodologia em um estaleiro de pequeno porte (com menos de 20 funcionários) pode ser estimado em 1 a 2 semanas. Essa metodologia pode ser implantada como forma de consultoria para as indústrias do segmento, devido aos seus vários benefícios. Sua implantação é recomendada para sistemas de produção por lotes, não sendo apropriada para estaleiros que produzem barcos exclusivos, com sistema do tipo projeto.

Essa metodologia foi desenvolvida para estaleiros de pequeno porte, mas nada impede que seja também implantada em outros segmentos de produção de bens. Porém, é possível que, em alguns casos, sejam necessárias adaptações, como a mudança da quantidade de períodos, para bens que possuam um tempo de fabricação significativamente maior ou menor.

É importante destacar que o modelo de otimização apresentado neste trabalho é determinístico, ou seja, assume que todas as variáveis de entrada, incluindo a demanda prevista, são conhecidas com certeza no momento da tomada de decisão. No entanto, reconhece-se que a previsão de demanda envolve grau de incerteza, sobretudo quando baseada em séries temporais. Para mitigar os efeitos dessa incerteza e permitir a operacionalização do modelo de forma realista, adota-se a prática comum de utilizar os valores médios previstos como entradas para o modelo determinístico. Em futuras versões e aplicações mais robustas, o modelo pode ser adaptado para incorporar abordagens estocásticas, que tratam explicitamente a incerteza associada à demanda.

Também é possível adotar um método diferenciado para a estimativa da demanda, como no caso de a empresa não possuir um registro significativo da demanda passada ou preferir trabalhar com uma estimativa mais qualitativa. A escolha de um método diferente para estimar a demanda não interfere na execução das demais etapas da metodologia.

Quanto às limitações da metodologia, tem-se:

- O modelo proposto é determinístico, não considera a variabilidade e a incerteza nas variáveis;

- Algumas ferramentas computacionais para construção e simulação de modelos de otimização são pagas (e.g., LINGO e CPLEX). Para a modelagem no LINGO, foi necessário solicitar ao fabricante do programa uma licença estudantil por e-mail, pois, para o cálculo realizado para o ano seguinte, é necessária a criação de 73 variáveis, enquanto a versão Demo gratuita do programa permite no máximo 40 variáveis;
- Os resultados do Planejamento Agregado são baseados em uma previsão da demanda, portanto há incertezas. Para amenizar esse problema, podem ser feitos reajustes no input do Modelo de Planejamento Agregado sempre que necessário;
- Quanto mais dados houver sobre o histórico de demanda da empresa, maior será a precisão da previsão. De forma geral, o Planejamento Agregado encontraria dificuldades em ser efetuado em uma empresa recém-criada.

Como proposta de trabalhos futuros, sugere-se o desenvolvimento de um modelo probabilístico, por meio da incorporação de técnicas de modelagem e simulação estocástica (e.g., Monte Carlo), que considerem a variabilidade e a incerteza nas variáveis. Além disso, diante das restrições financeiras impostas por ferramentas pagas, recomenda-se buscar alternativas de código aberto, como bibliotecas de otimização em linguagens de programação (e.g., Python), que oferecem diversas funcionalidades sem custos adicionais.

Quanto à incerteza nos resultados do Planejamento Agregado devido às previsões de demanda, é recomendável implementar, em trabalhos futuros, estratégias de revisão contínua do modelo, incorporando ajustes frequentes com base em dados reais. Ademais, para empresas com histórico de demanda limitado ou recém-criadas, recomenda-se recorrer a métodos de previsão baseados em dados externos, como análises de mercado e tendências do setor.

Discussão dos resultados

A aplicação da metodologia na prática foi ilustrada por meio de sua implementação no desenvolvimento do Planejamento Agregado de um estaleiro náutico de Santa Catarina. Nesse caso específico, foi possível chegar aos seguintes resultados mais relevantes para a produção do ano seguinte:

- Durante o mês de janeiro, será necessário produzir três barcos no regime de horas extras para atender à demanda prevista do período;

- Durante três meses do ano (abril, maio e junho), está planejado manter produtos acabados em estoque (2, 3 e 3 barcos, respectivamente). Isso indica que a empresa precisará ter espaço físico disponível para armazenar até 3 barcos;
- No mês de julho, está planejada a demissão de um funcionário, o que indica, por exemplo, que o gestor de produção terá mais tempo para avaliar qual setor deverá ter o número de funcionários reduzido; além disso, o setor financeiro pode planejar o fluxo de caixa para o pagamento de aviso-prévio e indenizações;
- Com base na estimativa desse custo, a gerência do estaleiro pode fazer um planejamento financeiro mais eficaz para o ano seguinte, incluindo alocação de recursos, definição de preços e melhor tomada de decisões sobre planejamentos futuros. Também auxilia na tomada de decisões sobre expansão, investimento em novas tecnologias, negociações contratuais e gestão de riscos. Qualquer que seja o planejamento, este não deve ser tomado como uma regra fielmente a ser seguida. Ao longo de todo o ano, deve-se monitorar a execução do planejamento e replanejar, se necessário. A mesma metodologia pode ser usada para o replanejamento dos períodos restantes.

Como limitações, vale pontuar, que:

- Os resultados não especificam detalhes sobre a função exata dos funcionários a serem contratados ou demitidos durante os períodos previstos, cabendo ao gestor de produção utilizar seus conhecimentos para a tomada dessa decisão.

Como propostas para aplicações futuras de planejamento agregado de 2025 neste estaleiro, propõe-se uma atualização das informações do custo do produto (verificar se os custos com mão de obra, matéria-prima e indiretos aumentaram ou diminuíram). Também se sugere uma verificação e atualização dos demais dados que funcionam como input do modelo de otimização, como, por exemplo, a taxa de produção, o custo do estoque e o cálculo da capacidade. Aliado a isso, deve-se continuar alimentando o banco de dados da demanda para que seja possível realizar uma previsão com mais precisão.

Conclusão

A metodologia proposta neste estudo marca um avanço significativo em direção ao aprimoramento tecnológico na indústria náutica brasileira. Embora o setor tenha crescido em

importância no Brasil, o planejamento e o controle da produção em estaleiros náuticos ainda carecem de conhecimento técnico. Este trabalho oferece uma abordagem promissora para superar essa lacuna, contribuindo para a eficiência e a competitividade do setor.

Como principal resultado, este artigo obteve uma metodologia genérica, que pode ser aplicada em qualquer estaleiro náutico (especialmente aqueles com menos de 20 funcionários), para um planejamento agregado otimizado. A metodologia fornece como principal resultado uma tabela de planejamento ótimo conforme o critério de minimização do custo total de produção, para a produção mensal do ano seguinte, e prevê qual será o custo total de produção. Como principal vantagem, permite à gerência do estaleiro realizar um planejamento dos recursos (humanos, financeiros e máquinas) mais eficaz para o próximo ano. Como principal limitação, baseia-se na previsão de demanda para o ano seguinte, possuindo incertezas.

A metodologia surgiu a partir de uma necessidade prática, destacando-se por ter sido impulsionada pelas demandas reais do campo, em vez de se originar a partir da teoria, como é comum em muitos estudos acadêmicos. Essa abordagem prática e orientada para a aplicação direta no ambiente real proporciona uma compreensão mais clara da teoria, tornando-a mais didática e acessível aos leitores. A aplicação da metodologia em um caso real não apenas facilita a compreensão, mas também demonstra sua viabilidade e relevância prática. No contexto específico de um estaleiro, a implantação do planejamento agregado resultou em um direcionamento mais sólido para atender às demandas do mercado de forma competitiva e eficaz. Isso significa que a empresa está mais bem preparada para lidar com flutuações na demanda, otimizando seus recursos e garantindo maior eficiência em suas operações.

Para trabalhos futuros, sugere-se explorar a adoção de técnicas de modelagem estocástica para incorporar a variabilidade e a incerteza nas variáveis do modelo proposto, atualmente determinístico. Ademais, recomenda-se a abordagem de uma metodologia que contemple mais opções de cálculos para previsão da demanda, possibilitando, assim, que o leitor escolha o método mais apropriado para o seu caso.

REFERÊNCIAS

- ACOBAR. (2012). *Indústria náutica brasileira: fatos e números 2012*. www.acobar.org.br
- Associação Brasileira da Classe Dingue. (2025). História do Dingue e da Classe Dingue no Brasil. Classe Dingue. <https://classedingue.com.br/historia/>
- Aurélio Schmidt, M., Everling, M., & Shibata Santos, A. (2017). Materiais e processos na indústria náutica: o delineamento de um desenvolvimento projetual. *DATJournal*, 2(2), 34–51.
- Barbosa, E. G., Duarte, H. O., Melo, S., & Bonnano, J. V. (2016). Project management methodology for boat designing: the case of an as-built project of a 33-foot boat in a Brazilian shipyard. *Trans RINA*, 158, 1–13. <https://doi.org/10.3940/rina.ijme.2016.a2>
- Cordeiro, D. R., Cordeiro, D. C., Rocha, R. P., & Morais, M. de F. (2015). Modelagem Matemática para o Planejamento Agregado da Produção: Estratégia de Produção Constante e Estratégia de Acompanhamento da Demanda. *IX Encontro de Engenharia de Produção Agroindustrial*, 1–12.
- DPC. (2023). NORMAM-211/DPC Normas de autoridade marítima para atividades de esporte e recreio. *Marinha do Brasil, Diretoria de Portos e Costas (DPC)*, 1–227.
- Filho, O. S. S., Carvalho, M. F. H. C., Henrique, M. M., & Fernandes, C. A. (1995). Planejamento agregado da produção ótimo com limite mínimo de estoque influenciado pelas incertezas de demanda. *Gestão & Produção*, 2(1), 8–24.
- Gassen, G., Graciolli, O. D., Chiwiacowsky, L. D., & Mesquita, A. (2019). Proposta de um modelo de programação linear para otimização do planejamento agregado de produção de brocas para empresa multinacional. *Revista Científica Eletrônica de Engenharia de Produção*, 19(1), 21–43.
- Jesus, M. L. (2014). *Planejamento agregado de produção em uma indústria de manufatura de equipamentos: produção versus demanda* [Monograph]. Universidade Federal de Minas Gerais.
- Júnior, E. G. B. (2018). *Gestão de tempo e recursos no projeto de embarcações de esporte e recreio: metodologia proposta e exemplo de aplicação* [Undergraduate Thesis]. Universidade Federal de Pernambuco.
- Junqueira, R. de Á. R., & Morabito, R. (2006). Um modelo de otimização linear para o planejamento agregado da produção e logística de sementes de milho. *Produção*, 16(3), 510–525.
- Lemos, C. Z. de M. (2024, abril 21). *Algoritmo de otimização do Planejamento Agregado no programa LINGO*. <https://11nk.dev/iKE12>
- Moreira, D. A. (2012). *Administração da produção e operações* (2º ed). Cengage Learning.

- Munhoz, J. R., & Morabito, R. (2010). Otimização no planejamento agregado de produção em indústrias de processamento de suco concentrado congelado de laranja. *Gestão da produção*, 17(3), 465–481.
- Oliveira, J. P. N. de. (2014). Avaliação do Nível de Maturidade em Gerenciamento de Projetos no Setor de Engenharia de Projetos de um Estaleiro de Grande Porte no Nordeste Brasileiro. *Revista de Gestão e Projetos*, 5(3), 01–13. <https://doi.org/10.5585/gep.v5i3.257>
- Oliveira, L. H. S. (2011). *Planejamento agregado da produção: um estudo de caso na indústria têxtil*. Universidade de São Paulo.
- Oliveira, V. A. (2011). *Programação da produção em um estaleiro náutico* [Master's Dissertation]. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- Paiva, R. P. O. de, & Morabito, R. (2007). Um modelo de otimização para o planejamento agregado da produção em usinas de açúcar e álcool. *Gestão de produção*, 14(1), 25–41.
- Pasa, V. C., Olivo, C. J., & Radharamanan, R. (2017, janeiro 12). *Maximização do lucro de uma empresa através do planejamento agregado: uma nova proposta*. 1–8. <https://www.researchgate.net/publication/266267818>
- Prado, D. (2010). *Maturidade em Gerenciamento de Projetos* (2º ed, Vol. 7). INDG.
- Slack, N., Chambers, S., Harland, C., Harrison, A., & Johnston, R. (2010). *Administração da produção Edição compacta* (1º ed). Atlas.