



ConBRepro

X CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



EVENTO
ON-LINE

02 a 04
de dezembro 2020

Otimização da capacidade produtiva: um estudo de caso na produção de vigotas pré-fabricadas

Éden Malveira dos Santos

Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil - Universidade Federal do Ceará (UFC)

Caio Jucá de Moraes Sales

Departamento de Engenharia de Produção - Universidade Federal do Ceará (UFC)

Anselmo Ramalho Pitombeira Neto

Departamento de Engenharia de Produção - Universidade Federal do Ceará (UFC)

Resumo: As vigotas treliçadas se tornaram um dos produtos industrializados mais utilizados na construção civil, com grande aplicação na construção de lajes prediais. Por conseguinte, é característico deste componente construtivo a redução da utilização de concreto na fabricação de lajes, bem como a praticidade nas soluções de projeto e menores custos em relação aos modelos de lajes convencionais. Contudo, analisando o processo de fabricação das vigotas treliçadas de uma indústria de pré-fabricados na cidade de Maracanaú-CE, foi constatado uma série de desperdícios decorrentes do método de programação da produção, tais como: capacidade produtiva ociosa e desperdício de matéria-prima. Diante desse cenário, o objetivo deste trabalho é demonstrar a viabilidade da aplicação da técnica de programação matemática para otimizar a programação da produção de vigotas treliçadas e, conseqüentemente, minimizar perdas de fabricação. O estudo de caso apresenta o modelo de programação adotado pela empresa usado para atender a demanda de pedidos real referente a lajes prediais de uma obra. Dessa forma, conclui-se que o modelo apresenta uma certa ociosidade da capacidade produtiva e desperdício de matéria-prima quando comparado com estudos explorados na literatura.

Palavras-chave: Programação da produção, Programação matemática, Redução de desperdício.

Optimization of productive capacity: a case study in the production of prefabricated beams

Abstract: Prefabricated beams have become one of the most used industrialized products in civil construction, with great application in the construction of slabs. Therefore, it is characteristic of this construction component to reduce the use of concrete in the manufacture of slabs, as well as the practicality in design solutions and lower costs about conventional slab models. However, analyzing the manufacturing process of prefabricated beams of a industry in the city of Maracanaú-CE, a series of wastes resulting from the production programming method was found, such as: idle productive capacity and waste of raw material. Because of this scenario, the objective of this work is to demonstrate the feasibility of applying the mathematical programming technique to optimize the programming of the production of prefabricated beams and, consequently, minimize manufacturing losses. The case study presents the programming model adopted by the company used to meet the

demand for real orders related to building slabs of a work. Thus, it is concluded that the model presents a certain idleness of the productive capacity and waste of raw material when compared with studies explored in the literature.

Keywords: Production programming, Mathematical programming, Waste reduction.

1. Introdução

O cenário global, nos últimos anos, vem sofrendo grandes mudanças decorrentes do aumento da competitividade no mercado a nível internacional, de tal modo que, as organizações vêm buscando gradativamente aprimorar o seu desempenho através da implementação de melhorias na qualidade dos seus serviços e na redução dos seus custos operacionais (ALMEIDA *et al.*, 2016). No universo da construção civil não é diferente, as construtoras também vêm buscando novas soluções para melhorar a eficiência dos seus processos produtivos. E uma das soluções encontradas pela indústria civil foi o uso da pré-fabricação na construção civil, especificamente, na utilização de vigotas treliçadas para execução de lajes prediais (ANDERSSON; LESSING, 2017).

Como a fabricação de vigotas treliçadas para utilização em lajes prediais é considerada simples por não envolver altos custos e equipamentos sofisticados, elas se tornaram uma opção técnica e acessível, de forma, que são bastante aplicadas nas construções de pequeno e médio porte no Brasil (CUNHA, 2012).

Formadas por estruturas de aço e de concreto moldadas em indústrias especializadas, as vigotas treliçadas tornaram o processo de execução de lajes mais prático e mais ágil. Contudo, programar a produção destes componentes construtivos não é uma tarefa fácil. Nas fábricas de vigotas treliçadas, as fôrmas utilizadas para sua produção possuem uma capacidade fixa limitada por seus comprimentos. Além disso, a variedade de pedido e os tamanhos dos produtos solicitados pelos clientes torna complexa a tomada de decisão do planejador quanto a quantidade e quais são os elementos do projeto a serem fabricados em cada fôrmas. Assim, as perdas por capacidade produtiva podem ocorrer devido a formação de espaços vazios, forçando o programador da produção a empregar esforços para maximizar o uso das fôrmas reduzindo o desperdício ao elaborar as ordens de fabricação.

Dentro desse contexto, a utilização da programação matemática para a otimização da programação da produção de vigotas treliçadas seria um instrumento para tentar solucionar esses problemas. Dessa forma, a programação matemática é uma ferramenta de planejamento que pode gerar resultados ótimos em diversos sistemas produtivos. Essa ferramenta utiliza aspectos matemáticos para a resolução de problemas do cotidiano das organizações, como maximização de lucros, por exemplo (ARENALES *et al.*, 2015). Todavia, quanto à sua aplicação no problema da produção de vigotas treliçadas, ainda é um tema escasso na literatura.

Torna-se importante estudar a otimização na produção de um componente construtivo pré-fabricado para reduzir essas perdas de compensação (custos de mão de obra e de produção (ZHAO; HAAS, 2019), bem como a perda de material e a utilização do estoque. (BENJAORAN; BHOKHA, 2014)). Então, para reduzir o desperdício gerados pela disposição de cortes encontrado na indústria da construção civil surge a necessidade de buscar novas concepções e soluções dentro do campo da ciência e da indústria, sobretudo, com a utilização da pesquisa operacional, mais especificamente, aos fundamentos dos problemas de cortes e empacotamento.

Portanto, analisando o processo de fabricação das vigotas treliçadas de uma indústria de pré-moldados na cidade de Maracanaú, estado do Ceará, foi constatado uma série de desperdícios decorridos do método de programação da produção como capacidade produtiva ociosa e desperdício de matéria-prima. Diante desse cenário, o objetivo deste

trabalho é mostrar a viabilidade de aplicar a programação matemática para otimizar a programação da produção de vigotas treliçadas e, conseqüentemente, minimizar as perdas de fabricação.

2. Programação da produção de vigotas treliçadas

A pré-fabricação é um dos conceitos que compõem a construção industrializada pois é caracterizada pela produção externa ao ambiente de execução de atividades. Para iniciar o contexto, o conceito de pré-fabricação é abordado em normas técnicas brasileiras. Assim, trazendo a definição ao manuscrito, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) através da norma brasileira NBR 9062 (2017, p. 4) descreve elementos pré-fabricados como “elemento pré-moldado executado industrialmente, em instalações permanentes de empresa destinada para este fim, que se enquadrem e estejam em conformidade com as especificações regulamentadas”.

Segundo Leite (2015) afirma que o uso de elementos pré-fabricados nas construções obedece a quatro etapas: a) elaboração do projeto e identificação das oportunidades de aplicação de elementos pré-fabricados, b) fabricação dos elementos em indústria especializada, c) transporte e montagem na obra em local específico previamente projetado, e d) ligação dos elementos pré-fabricados com os demais componentes da obra, garantindo a ligação entre as estruturas de forma segura e eficaz.

Assim, os benefícios da utilização de elementos pré-fabricados aumentaram significativamente a produtividade das obras civis, otimizando também recursos como mão de obra e matéria-prima (CAO *et al.*, 2015; UUSITALO; LAVIKKA, 2020). Como é o caso do estudo de Cao *et al.* (2015) que traz benefícios à pré-fabricação. Os resultados da pesquisa de dois projetos residenciais indicaram que a construção pré-fabricada foi mais eficiente do que a construção tradicional no uso de energia, com uma redução de 20,49%, redução de 35,82% na utilização de recursos, uma diminuição de 6,61% nos danos à saúde e de 3,47% nos danos ao ecossistema, além de minguar as taxas de consumo de madeira e água foram mais notáveis em 70,93% e 22,48%, respectivamente.

Porém, mesmo apresentando os diversos benefícios ao se utilizar elementos da construção industrializada, a cadeia da construção civil implica em um sistema produtivo que ainda apresenta as falhas de âmbito gerencial, tais como, falta de planejamento ou a adoção de modelos excessivamente simplificados e inadequados para planejar e controlar toda a produção (FAZINGA, 2012).

Segundo Oliveira, Brito e Bezerra (2012) existe uma relação entre as empresas manter e elevar o seu desempenho quanto a qualidade e produtividade dos produtos e serviços oferecidos com as ações e planejamentos aplicados. Por conseguinte, de acordo com Tubino (2009) a programação da produção se caracteriza pelo sequenciamento das ordens de fabricação de forma a otimizar a utilização dos recursos disponíveis na produção de um determinado item, através da tomada de decisões como: determinar as quantidades que devem ser compradas/fabricadas/montadas e definir quando isso será feito.

Já Slack, Chambers e Johnston (2009) definem a programação da produção como sendo as atividades relacionadas à elaboração de um cronograma detalhado de fabricação, em que é evidenciado a sequência do trabalho a ser desenvolvido, bem como o início e o fim de cada etapa.

Assim sendo, coordenar a ideia da utilização da construção pré-fabricada com a eficiência da programação da produção é um ponto crucial deste estudo, visto que o setor industrial tende a melhorar a eficiência da produção de forma que atenda as novas perspectivas da cadeia produtiva da construção civil.

O planejamento eficiente da produção e um plano de corte são de extrema importância na programação da produção, pois o número de pedidos e as limitações mecânicas estão sujeitos a restrições (ARAI; HARAGUCHI, 2019). Os objetivos principais dessa etapa do planejamento e controle da produção é encontrar a programação de custo mínimo de fabricação e armazenagem que satisfaça as restrições de capacidade e atenda às demandas solicitadas (PEINADO; GRAEML, 2007).

O excesso de estoque nas indústrias de pré-fabricados é advindo de práticas como métodos de planejamento imprecisos e a utilização ineficiente. Para tanto, solucionar essas adversidades é um entrave na ciência, e os pesquisadores passaram a utilizar ferramentas computacionais para gerenciar problemas como estes.

3. Problemas de otimização

Dentre os mais variados problemas existentes dentro do universo da programação matemática, dois deles merecem destaque devido as semelhanças com o problema das vigotas treliçadas desse estudo, são eles: o Problema de Corte de Estoque (PCE) e o Problema de Empacotamento (PE).

3.1. Problema de corte de estoque

O problema de corte de estoque (PCE) ocorre quando peças grandes de tamanho padronizado necessitam ser processadas (cortadas) em peças menores cuja dimensão atenda as especificações dos clientes, caso comumente encontrado em indústrias de papel, de móveis, de madeira e de aço, dentre outros (POLDI, 2010). Esse processo de corte geralmente provoca desperdícios de matéria-prima caso o planejamento dessa atividade não seja realizado adequadamente.

A solução do PCE consiste basicamente em otimizar, em cada período de um horizonte de planejamento finito, o planejamento de corte de produtos para atender a demanda de itens nos diversos períodos do horizonte de planejamento (COSTA, 2016). O objetivo do uso da programação matemática nesse tipo de problema é otimizar a função objetivo de forma a minimizar a perda de peças, ou de matéria-prima, originada no corte de objetos maiores (CANTANE, 2009).

3.2. Problema de empacotamento

O problema de empacotamento (PE) possui estrutura idêntica ao PCE no que diz respeito a construção do modelo de otimização e são descritos de forma parecida. Contudo, nesse caso em específico, o PE ocorre quando existe a necessidade de alocar itens em recipientes de tamanhos maiores para tentar preencher todo o espaço possível, respeitando as restrições do ambiente (ANDRADE, 2006). Esse é um caso muito comum na alocação de recursos e no carregamento de contêineres, por exemplo, cujos eventuais espaços vazios possíveis de armazenagem representam desperdício.

Segundo Cecilio e Morabito (2003), o problema de empacotamento pode ter natureza de diversas dimensões geométricas, como o problema de alocação de tarefas por exemplo, e possui basicamente dois conjuntos de variáveis: os recipientes de maior tamanho e os itens de menor tamanho.

Quanto às restrições, as duas condições mais importantes que devem ser levadas em consideração na construção do modelo são: os itens não podem sobrepor uns sobre os outros e todos os itens devem caber inteiramente no recipiente (SILVEIRA, 2011).

A aplicação da programação matemática nesse problema seria a construção de uma função objetivo que minimizasse os espaços ociosos do local de armazenagem através do cálculo da solução ótima de armazenagem desses produtos no espaço destinado.

4. Metodologia

Prodanov e Freitas (2013) classificam a pesquisa quanto a quatro critérios distintos: natureza, objetivos, abordagem e procedimentos.

Em relação à natureza, segundo Kauark, Manhães e Medeiros (2010), as pesquisas podem ser divididas em básicas ou aplicadas. A primeira tem como função gerar novos conhecimentos utilizando de dados gerais, mas sem um objetivo específico. Já a pesquisa aplicada, que é utilizada nesse trabalho, emprega conhecimentos específicos de certa temática para a resolução de problemas, como é o caso do estudo da programação matemática na solução do problema das vigotas treliçadas.

Sob a ótica dos objetivos, Prodanov e Freitas (2013) classificam as pesquisas de acordo com os seus objetivos em três perspectivas: exploratória, descritiva ou explicativa. Neste trabalho é feito uso da pesquisa descritiva pois, segundo o autor citado anteriormente, nesse tipo de pesquisa os dados e fatos foram analisados sem manipulação sobre eles, apenas com o foco no registro dos acontecimentos e descrição do que fora observado, sem qualquer interferência do autor.

Em relação à classificação da pesquisa quanto à sua abordagem, esta pode ser dividida em quantitativa e qualitativa. As pesquisas qualitativas não usam artifícios matemáticos e tem como foco a análise do ambiente dos dados, ao contrário das pesquisas quantitativas, que faz uso de ferramentas estatísticas para análise numérica do problema (SILVA; MENEZES, 2005). No trabalho em questão foi utilizada a pesquisa quantitativa devido à solução pesquisada para a resolução do caso das vigotas treliçadas ter sido fundamentada na ciência matemática, mais especificamente na programação matemática.

Quanto aos procedimentos técnicos descritos por Gil (2010), a pesquisa se caracteriza como bibliográfica, estudo de caso e participativa. Baseado nos conceitos mostrados previamente, este trabalho pode ser considerado uma pesquisa aplicada, descritiva, quantitativa, bibliográfica, estudo de caso e participante. O trabalho foi realizado através de análises e coleta de dados, além de utilizar pesquisas contidas na literatura que serviram de base para a resolução do estudo de caso a ser apresentado.

4.1. Estudo de caso

A presente seção apresenta o estudo de caso da pesquisa, descrevendo o método de otimização da programação da produção das vigotas treliçadas utilizado pela empresa estudada. Em consequência, são descritas todas as informações iniciais relevantes como a caracterização da empresa, do produto, do processo produtivo, bem como as informações referentes ao modelo de otimização: análise da situação problema, caracterização e suas variáveis.

4.1.1. Caracterização da empresa

O estudo foi realizado em uma empresa especializada na produção de artigos pré-fabricados de concreto, localizada no Distrito Industrial, na cidade de Maracanaú/CE. A capacidade produtiva mensal da fábrica no período das visitas in loco era de 500.000 blocos de concreto e de cerca de 1.700 metros de vigotas treliçadas.

Para a realização da pesquisa foram coletados os dados de um pedido de vigotas treliçadas para a construção da primeira laje de um projeto. Vale ressaltar que os dados em questão são referentes à primeira demanda de pedidos realizados que a empresa teve deste produto.

4.1.2. Caracterização do produto

Sabe-se que existem muitos produtos que se enquadram na definição de pré-fabricados, sendo necessário descrever um pouco mais a composição do componente desta pesquisa.

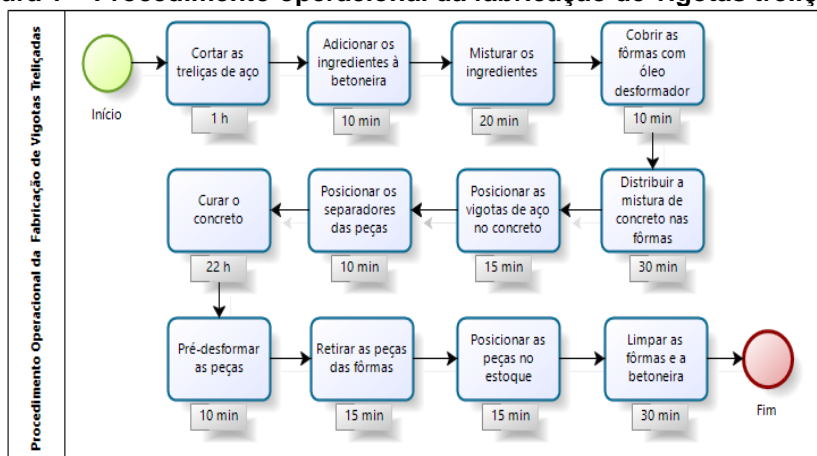
Assim, para a produção da vigota treliçada, inicialmente, obtém o aço treliçado através de fornecedores, de forma que eles apresentem uma padronização nas especificações: 12cm de altura, 8cm de largura e comprimentos de 12m. Posteriormente, a etapa de corte do aço treliçado obedece a demanda de pedidos dos clientes. E em seguida, serão montado o conjunto: base de concreto e aço treliçado.

Quanto ao concreto, a camada da mistura serve de base para o aço treliçado da vigota treliçada, possuindo uma camada padrão de 3cm de espessura por 13cm de largura com resistência à compressão em média de 27MPa de forma que atende aos requisitos imposto pela norma ABNT NBR 14859 (2016) – parte 1. Como matérias-primas são utilizadas brita 3/8, cimento, areia e água.

4.1.3. Caracterização do processo produtivo

Isto posto, a produção das vigotas treliçadas é realizada em seis fôrmas metálicas com medidas de 12m x 3cm x 13cm e uma fôrma de 6m x 3cm x 13cm dispostas em bancadas situadas em um galpão de 170m². O processo é feito basicamente por um auxiliar de produção que utiliza os respectivos equipamentos: betoneira; fôrmas metálicas; recipientes com marcações de acordo com o traço de concreto; colher de pedreiro; Equipamentos de Proteção Individual (bota, luva, capacete, óculos e uniforme com mangas); máquina de corte com disco; martelo de borracha 40mm; e, separadores de plástico tipo PVC. O procedimento para fabricação das vigotas treliçadas é ilustrado pela Figura 1.

Figura 1 – Procedimento operacional da fabricação de vigotas treliçadas



Fonte: Autores

O processo se inicia com o corte das unidades de aço treliçado de 12 metros, de acordo com os tamanhos e especificações dadas na ordem de produção. Posteriormente, o auxiliar adiciona os materiais na betoneira de acordo com as quantidades reportadas na determinação. Depois de adicionados os materiais, é feita a mistura de todos os ingredientes por cerca de 20 minutos até resultar em uma mistura homogênea. Após produzido, é lançado e distribuído uniformemente nas fôrmas metálicas, contudo, será repetido o processo até o preenchimento em todas as fôrmas.

Após o preenchimento das fôrmas, são posicionadas as unidades cortadas de aço treliçado em cima da base de concreto de acordo com as posições prescritas na ordem de produção do referido dia. Subsequente, são colocadas pequenas divisórias de 1cm de largura de material PVC para dividir cada peça e evitar quebras nas pontas do concreto no momento da desforma. O concreto então entra em um processo de cura de aproximadamente 22 horas. No dia seguinte, é iniciada a desforma das peças e o transporte para o estoque, que

é feito de maneira cuidadosa devido a fragilidade do produto. Por fim, é realizada a limpeza de todas as fôrmas para que seja produzida a nova ordem de produção do dia.

Portanto, o tempo total de realização do processo para fabricação de 77,65 metros de vigotas treliçadas, capacidade produtiva da empresa, é de 3 horas e 45min de trabalho efetivo (sem considerar o tempo de cura) e 25 horas e 45min horas totais.

4.1.4. Método de programação adotado pela empresa

A priori, a programação da produção se inicia com o recebimento do projeto do cliente com os detalhes de todos os tamanhos e quantidades de vigotas treliçadas. A produção é feita estritamente sem formação de estoques. Ressaltando que, embora seja feita sob demanda, pode haver formação de estoques de peças com pontas quebradas originadas por eventuais falhas de manuseio e transporte. Nesse caso, essas vigotas podem ser cortadas e reaproveitadas para atender a demanda de uma peça de tamanho menor. Assim, o próximo passo é fazer a análise dos estoques de vigotas (se houver) para o cálculo da necessidade de produção, que é encontrada subtraindo a demanda do estoque atual.

Conhecida a utilidade de produção, é possível fazer o planejamento das necessidades de matéria-prima e dos recursos de produção. Para isso, o setor de Planejamento e Controle da Produção (PCP) dimensiona a quantidade total da matéria-prima e envia para o setor de compras.

Adiante, o setor de PCP executa a programação da produção dos pedidos utilizando o Microsoft Excel. Sabendo que a capacidade produtiva nominal é de 77,65 metros por dia devido ao processo de cura do concreto que é de, aproximadamente, 22 horas. O setor de PCP simula as programações das 7 fôrmas no software colocando valores empiricamente em cada linha até que a soma das vigotas em metros atinja a capacidade efetiva da fôrma ou o mais perto possível, conforme observado na Figura 2. O objetivo é obter o máximo de aproveitamento possível de cada fôrma, para otimizar os recursos de matéria-prima e tempo e reduzir custos de produção.

Figura 2 – Exemplo de programação da produção da empresa estudada

PCP - PROGRAMAÇÃO DE PRODUÇÃO DAS TRELIÇAS (ACÁCIAS - 1ª LAJE)									
Dia:		24/04/2013		Ordem de Produção - 6º Dia					
Forma	Capacidade produtiva	Vigotas treliçadas (em metros)					Rendimento (em metros)	Rendimento (em %)	
1	11,95m	->	2,5	2,5	2,35	2,35	1,45	11,15	93,31%
2	11,95m	->	2,5	2,5	2,35	2,35	1,45	11,15	93,31%
3	11,95m	->	2,5	2,5	2,35	2,35	1,45	11,15	93,31%
4	11,95m	->	2,5	2,5	2,35	2,35	1,45	11,15	93,31%
5	11,95m	->	2,5	2,5	2,35	2,35	1,45	11,15	93,31%
6	11,95m	->	2,5	2,5	2,35	2,35	1,45	11,15	93,31%
7	5,95m	->	2,5	1,45	1,45			5,40	90,76%
Total:								72,30	93,11%

Fonte: Autores

No processo de programação também é levado em consideração que a necessidade de produção de cada peça vai diminuindo à medida que os tamanhos vão sendo adicionados à simulação. O processo de simulação, por sua vez, é repetido nas demais fôrmas para fechar a programação de cada dia. Esse processo é repetido para vários dias até a necessidade de produção ser igual a zero. Por fim são criadas ordens de produção diárias, de acordo com a programação simulada, para serem enviadas ao setor de produção. Nas ordens de produção também constam informações de projeto, traços do concreto e o possível estoque atual.

O exemplo da Equação 1 evidencia uma operação qualquer em que poderia ser obtido 100% da capacidade de uma fôrma:

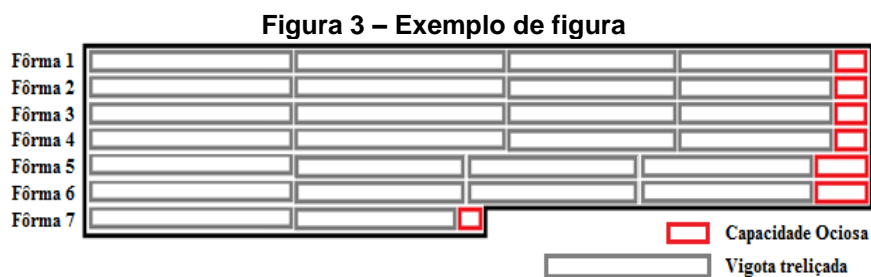
$$2 \text{ (quantidade de vigota)} \times 2,70\text{m (tamanho da vigota)} + 2 \times 1,55\text{m} + 1 \times 3,45\text{m} = 11,95\text{m} \quad (1)$$

Destaca-se que na programação dos primeiros dias é possível ter bons resultados de eficiência no uso das fôrmas. Todavia, à medida que as demandas de cada tamanho vão sendo atendidas, as opções de simulação vão diminuindo e as eficiências dos últimos dias de produção vão diminuindo.

5. Análise e discussões dos resultados

Conforme detalhado na seção 4.1.4, a programação da produção das vigotas treliçadas não é feita de forma otimizada, uma vez que as entradas de dados na planilha de simulação são feitas por tentativa e erro. Dessa maneira, diversos fatores se agravam no âmbito do setor de produção, sendo os principais: a ineficiência no uso da capacidade produtiva, o desperdício de matéria-prima e o desperdício de tempo na produção das vigotas treliçadas.

O desperdício de capacidade produtiva ocorre devido a variação nos comprimentos das peças solicitadas e da limitação do tamanho das fôrmas, que muitas vezes não é possível programar o encaixe das peças da maneira mais eficiente, ocorrendo uma perda de capacidade produtiva em cada fôrma. A Figura 3 ilustra a disposição de diferentes tamanhos de vigotas treliçadas e a geração de sobras nas fôrmas de produção.



Fonte: Autores

Outra consequência da perda da capacidade produtiva é o desperdício de tempo, pois uma parte do pedido deixa de ser produzida devido à ineficiência do uso das fôrmas, acarretando, muitas vezes, em uma maior necessidade de dias para fabricar todo o pedido.

Além das ineficiências anteriores, a não otimização da programação da produção ocasiona um desperdício considerável de aço treliçado, que é a matéria-prima mais onerosa do produto. Embora o tamanho das unidades de aço treliçado seja solicitado tal qual o tamanho das fôrmas, que é de 12 metros (com exceção da fôrma menor de 6 metros), existem perdas de matéria-prima no processo de corte devido às sobras provocadas pela variação dos tamanhos das peças demandadas.

Como forma de diminuir tais impactos, seria necessário a utilização da programação matemática para a otimização do processo de programação da produção afim de atingir a capacidade produtiva máxima. À vista disso, observa-se este estudo de caso se assemelha com os objetivos e a sistemática de dois outros problemas da literatura: os problemas de corte de estoque e de empacotamento.

Trazendo a abordagem para esta pesquisa, o problema de empacotamento seria a preocupação em reduzir os espaços ociosos das fôrmas metálicas através da alocação otimizada de vigotas treliçadas, de forma a maximizar o uso de sua capacidade produtiva. E os problemas de corte seria a minimização das perdas de matéria-prima.

Deste modo, alguns estudos são apresentados na literatura como o de Yang, Ma e Wu (2015), na qual propuseram um modelo de planejamento em várias linhas de produção pré-fabricada desenvolvendo uma abordagem de otimização por meio de algoritmos genéricos para facilitar o planejamento otimizado. Já Prata, Pitombeira-Neto e Sales (2015) concentraram em maximizar a taxa de utilização de moldes para otimizar os cronogramas de produção.

Mais estudos traz benefícios a utilização da programação matemática na produção de vigotas treliçadas para otimizar a capacidade produtiva. Vassoler, Poltroniere e Araújo (2016) procuraram manter na formulação do modelo matemático uma produção contra estoques e sob encomenda (o que é bastante relatado neste trabalho). Além de que essa produção deve atender um intervalo de segurança quanto ao estoque das vigotas para os atendimentos de pedidos de última hora, bem como não pode haver atrasos. Para isso, testes iniciais com dados empíricos foram realizados para a validação do modelo utilizando um pacote de otimização AMPL/CPLEX 12.6.

6. Conclusões

O objetivo deste trabalho foi mostrar a viabilidade de aplicar a programação matemática para otimizar a programação da produção de vigotas treliçadas e, conseqüentemente, minimizar as perdas de fabricação.

Dessa forma, este trabalho tem como contribuição alertar os pesquisadores para explorar dados das atividades industriais, mais especificamente, a indústria de vigotas treliçadas. Muitos trabalhos citados no decorrer da pesquisa, principalmente, o de Prata, Pitombeira-Neto e Sales (2015) e Vassoler, Poltroniere e Araújo (2016) utilizaram dados empíricos, abrindo uma lacuna a ser explorada com dados reais simulando verdadeiramente as situações existentes nestas empresas.

Assim, ao se aplicar um método matemático neste problema, consiste resumidamente, na construção de um modelo e na resolução do algoritmo através de softwares alcançando resultados satisfatórios, além de soluções mais rápidas quanto a minimização de perdas das fôrmas, gerando uma economia de matéria-prima e uma redução no prazo de entrega do pedido de vigotas treliçadas. Vale ressaltar que ao se utilizar essas ferramentas, pode-se atingir resultados ótimos e não somente resultados viáveis como acontece nesta pesquisa (testar empiricamente as soluções).

Por fim, sugere-se que aplicações mais complexas acerca deste estudo de caso sejam utilizados, bem como a utilização de softwares mais eficientes para a execução de algoritmos que retornem à solução ótima do problema mais rapidamente. Além de que, permitam aos modelos a extensão aos problemas similares ao das vigotas treliçadas, tais como a produção de vigas, de vigotas protendidas, dentre outros.

Agradecimentos

Agradecemos a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo incentivo na realização desta pesquisa.

Referências

ALMEIDA, L. S. F. de; VIEIRA NETO, J.; SALLES, M. T.; SOARES, C. A. P.; ESTEVES, Y. de O. Análise comparativa entre o EVA® e os indicadores financeiros (contábeis) tradicionais de empresas da construção civil brasileira: um estudo documental. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 23, n. 4, p. 733-756, 2016.

ANDERSSON, N.; LESSING, J. *The Interface between Industrialized and Project Based Construction*. **Procedia Engineering**, v. 196, p. 220-227, 2017. Elsevier BV.

ANDRADE, C. E. **Um algoritmo exato para o Problema de Empacotamento Bidimensional em Faixas**. 2006. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

ARAI, H.; HARAGUCHI, H. *A Study on Skip Flow Shop Scheduling Considering with a Cutting Process in Reinforcing Bar Manufacturing*. **2019 IEEE International Conference On Industrial Engineering And Engineering Management (IEEE)**, [S.L.], p. 1270-1274, dez. 2019. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/ieem44572.2019.8978565>.

ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H. **Pesquisa Operacional para Cursos de Engenharia**. 2ª Ed. Rio de Janeiro: Editora Campus (Elsevier), 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062**: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14859-1**: Lajes pré-fabricadas de concreto Parte 1: Vigotas, minipainéis e painéis — Requisitos. Rio de Janeiro, 2016.

BENJAORAN, Vacharapoom; BHOKHA, Sdhabhon. *Three-step solutions for cutting stock problem of construction steel bars*. **KSCE Journal of Civil Engineering**, [S.L.], v. 18, n. 5, p. 1239-1247, 20 maio 2014. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12205-014-0238-3>.

CANTANE, D. R. **Contribuição da Atualização da Decomposição LU no Método Simplex**. 2009. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

CAO, X.; LI, X.; ZHU, Y.; ZHANG, Z. *A comparative study of environmental performance between prefabricated and traditional residential buildings in China*. **Journal of Cleaner Production**, v. 109, p. 131-143, dez. 2015. Elsevier BV.

CECILIO, F. O; MORABITO, R. **Heurísticas para o problema de carregamento de carga dentro de contêineres**. XXXV SBPO – A Pesquisa Operacional e os Recursos Renováveis, 2003.

COSTA, L. L. S. **Um estudo sobre o problema de corte de estoque bidimensional 2 – estágios**. 2016. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

CUNHA, M. O. **RECOMENDAÇÕES PARA PROJETO DE LAJES FORMADAS POR VIGOTAS COM ARMAÇÃO TRELIÇADA**. 2012. 145 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

FAZINGA, W. R. **PARTICULARIDADES DA CONSTRUÇÃO CIVIL PARA IMPLANTAÇÃO DO TRABALHO PADRONIZADO**. 2012. 157 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2010.

KAUARK, F. S.; MANHÃES, F. C.; MEDEIROS, C. H. **Metodologia de pesquisa: guia prático**. 1. ed. Itabuna: Via Litterarum, 2010.

LEITE, R. E. M. **Métodos construtivos de edifícios – comparação entre pré-fabricação e construção tradicional em betão armado**. 2015. Dissertação (Mestrado) – Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2015.

OLIVEIRA, C. M. de G.; BRITO, A. K. A.; BEZERRA, I. R. M. ANÁLISE DO PLANEJAMENTO E CONTROLE DE OPERAÇÕES: UM ESTUDO DE CASO EM UMA FÁBRICA DE CASAS PRÉ-MOLDADAS. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 32., 2012, Bento Gonçalves. **Anais [...]**. Bento Gonçalves: Enegep, 2012. p. 1-14.

PEINADO, J.; GRAEML, A. R. **Administração da Produção**: (operações industriais e de serviços). Curitiba: Unicenp, 2007. 750 p.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. 2ª ed. Rio Grande do Sul: Editora Feevale, 2013.

PRATA, B. de A.; PITOMBEIRA-NETO, Anselmo R.; SALES, C. J. de M. *An Integer Linear Programming Model for the Multiperiod Production Planning of Precast Concrete Beams*. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 141, p. 1-4, out. 2015. American Society of Civil Engineers (ASCE).

POLDI, K. C. **O Problema de Corte de Estoque multiperíodo**. 2010. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4ª Ed. Florianópolis: UFSC, 2005.

SILVEIRA, L. M. **Algoritmos de Aproximação para Problemas de Empacotamento em Faixa com Restrições de Descarregamento**. 2011. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

SLACK, N. CHAMBERS, S.; JOHNSTON R. **Administração da Produção**. Tradução: Henrique Luiz Corrêa. 3ª ed. São Paulo: Atlas, 2009.

TUBINO, D. F. **Planejamento e controle da produção – Teoria e Prática**. 2ª. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

UUSITALO, P.; LAVIKKA, R. *Overcoming Path Dependency in an Industrialised House-Building Company through Entrepreneurial Orientation*. **Buildings**, v. 10, n. 3, p. 45, 2020.

VASSOLER, Â. H. D.; POLTRONIERE, S. C.; ARAÚJO, S. A. de. Modelagem matemática para o problema de produção de vigotas na indústria de lajes treliçadas. **C.Q.D. – Revista Eletrônica Paulista de Matemática**, Bauru, v. 7, p. 68-77, dez. 2016.

YANG, Z.; MA, Z.; WU, S. *Optimized flowshop scheduling of multiple production lines for precast production*. **Automation In Construction**, v. 72, p. 321-329, dez. 2016. Elsevier BV.

ZHAO, Y.; HAAS, C. T. *A 3D Irregular Packing Algorithm Using Point Cloud Data*. **Computing in Civil Engineering 2019**, [S.L.], p. 201-208, 13 jun. 2019. American Society of Civil Engineers. <http://dx.doi.org/10.1061/9780784482438.026>.