

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Bruna Duarte Esmeraldino

PROJETO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DE UMA OBRA INDUSTRIAL

Porto Alegre
dezembro 2021

BRUNA DUARTE ESMERALDINO

PROJETO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DE UMA OBRA INDUSTRIAL

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado à Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheira Civil.

Orientadora: Daniela Dietz Viana

Porto Alegre
dezembro 2021

BRUNA DUARTE ESMERALDINO

PROJETO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DE UMA OBRA INDUSTRIAL

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado à Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheira Civil.

Porto Alegre 1º de dezembro de 2021

Profa. Daniela Dietz Viana

Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Orientadora

BANCA EXAMINADORA

Iamara Rossi Bulhões

Dra. pela Universidade Federal de Campinas

Fernanda Saidelles Bataglin

Ma. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

AGRADECIMENTOS

Agradeço à UFRGS, especialmente a todos os professores com quem tive a oportunidade ter aula, pelo ensino de qualidade proporcionado e pela grande contribuição na minha formação como engenheira civil.

Agradeço a minha orientadora, Profa. Daniela Dietz Viana, por ter me acompanhado e auxiliado durante todo o processo de desenvolvimento deste trabalho. Agradeço por toda a sua dedicação e conhecimento compartilhado.

Agradeço aos engenheiros com quem trabalhei durante a minha formação, que servirão de exemplo para a minha vida profissional. Agradeço aos engenheiros responsáveis pela obra que foi objeto de estudo deste trabalho por terem me dado todo o apoio e toda a paciência, e por estarem sempre abertos a diálogo.

Agradeço às empresas em que estagiei pela oportunidade de aprendizado e desenvolvimento pessoal.

Agradeço a minha família por todo o apoio e suporte que me deram ao longo do curso, por toda a confiança depositada e por todo o amor demonstrado.

RESUMO

Obras industriais envolvem, usualmente, prazos de execução curtos. Em frente a estes prazos, a utilização de sistemas construtivos industrializados é uma escolha vantajosa, visto que contribuem para o aumento da velocidade de execução da obra. Estes sistemas construtivos criam oportunidade para a aplicação de conceitos e práticas da gestão da produção. Uma destas práticas é o projeto do sistema de produção (PSP), que é elaborado antes do início das atividades no canteiro de obras. Este projeto visa antecipar as decisões relacionadas ao sistema de produção, possibilitando a melhora do seu desempenho durante a execução da obra. Embora o PSP traga benefícios, ele é frequentemente negligenciado na construção civil. O descaso com esta prática pode ocasionar descontinuidades na produção e estoques desnecessários, que irão repercutir diretamente nos custos e prazos da obra. O objetivo deste trabalho é exercitar esta prática com a elaboração do PSP de um pavilhão industrial. O método de estudo utilizado é um estudo de caso de uma obra industrial localizada em Glorinha-RS. O estudo de caso considera as pesquisas bibliográficas, as observações em campo e os diálogos com profissionais da construção civil para a elaboração do PSP. O PSP desenvolvido não foi implantado na obra, uma vez que ela já estava em andamento quando se iniciou este estudo. Constatou-se que as decisões envolvidas na elaboração do PSP são extremamente iterativas, pois exercem grande influência umas às outras. Além disso, a divisão da obra em lotes pequenos se mostrou uma estratégia interessante para reduzir o trabalho em progresso. A elaboração do PSP é um processo que exige a cooperação de todos os envolvidos na execução da obra, a sua elaboração demanda um esforço inicial que posteriormente é compensatório, já que possibilita a identificação de oportunidades de aprimoramento da logística dentro do canteiro de obras.

Palavras-chave: projeto do sistema de produção; PSP; obra industrial; gestão da produção.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Influências das atividades de projeto nos objetivos de desempenho da produção ..	15
Figura 2 - Etapas da elaboração do PSP	18
Figura 3 - Planta de localização do empreendimento industrial.....	26
Figura 4 - Planta baixa do pavilhão industrial.....	27
Figura 5 - Forma metálica incorporada	28
Figura 6 - Plano de ataque definido pelos engenheiros da obra	30
Figura 7 - Divisão do pavilhão industrial em etapas	33
Figura 8 - Divisão do pavilhão industrial em lotes.....	35
Figura 9 - Planta baixa da cobertura do pavilhão industrial	37
Figura 10 - Divisão do pavilhão industrial em zonas	37
Figura 11 - Estrutura hierárquica entre os níveis de divisão do pavilhão industrial	39
Figura 12 - Fluxograma do sequenciamento de atividades	40
Figura 13- Plano de ataque das etapas.....	42
Figura 14 - Plano de ataque dos lotes	43
Figura 15 - Plano de ataque das zonas.....	44
Figura 16 - Parte 1 da linha de balanço	46
Figura 17 - Parte 2 da linha de balanço	48
Figura 18 - Parte 3 da linha de balanço	51
Figura 19 - Parte 4 da linha de balanço	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Áreas de ocupação do empreendimento industrial	27
Tabela 2- Número de estacas e área por etapa.....	33
Tabela 3 - Número de blocos de fundação, vigas de fundação e pilares por lote.....	35
Tabela 4 - Tesouras metálicas, perímetro de fachada e área por zona	37
Tabela 5 - Pré-dimensionamento de recursos.....	41

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	9
1.2	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	11
1.3	OBJETIVOS	13
1.3.1	Objetivo principal	13
1.3.2	Objetivos secundários	14
1.4	DELIMITAÇÕES	14
2	PROJETO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO	15
2.1	DEFINIÇÕES E OBJETIVOS	15
2.2	ESCOPO DE DECISÕES	17
2.2.1	Definição da Sequência de Execução e Pré-dimensionamento da Capacidade dos Recursos de Produção	18
2.2.2	Estudos dos Fluxos de Trabalho na Unidade-base	19
2.2.3	Definição da Estratégia de Execução do Empreendimento	21
2.2.4	Estudo dos Fluxos de Trabalho no Empreendimento	22
2.2.5	Dimensionamento da Capacidade dos Recursos de Produção	22
2.2.6	Identificação e Projeto de Processos Críticos	22
3	MÉTODO DE ESTUDO	24
3.1	ESTRATÉGIA E DELINEAMENTO DO ESTUDO	24
3.2	FONTES DE EVIDÊNCIA	25
3.3	DESCRIÇÃO DAS EMPRESAS ENVOLVIDAS E DO EMPREENDIMENTO	25
3.4	MÉTODOS CONSTRUTIVOS DO EMPREENDIMENTO	27
3.5	ATIVIDADES REALIZADAS	29
4	DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO	30
4.1	PLANO DE ATAQUE EXISTENTE DA OBRA	30
4.2	ELABORAÇÃO DO PROJETO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO	30
4.2.1	Principais condicionantes	31
4.2.2	Divisão do pavilhão industrial	31
4.2.3	Sequência de execução nos lotes de produção	39
4.2.4	Pré-dimensionamento da capacidade de recursos de produção	40
4.2.5	Plano de ataque	42
4.2.6	Estudo dos principais fluxos de trabalho	44

4.2.7	Linha de balanço	45
4.2.8	Processos críticos.....	54
5	DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	55
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	57
7	REFERÊNCIAS	59

1 INTRODUÇÃO

Este primeiro capítulo irá contextualizar o objeto de estudo deste trabalho, descrever o problema que o motivou e traçar seus objetivos e delimitações.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O ano de 2021 é marcado por uma crescente demanda por aço (INFOMONEY, 2021). Neste cenário, empresas pertencentes à indústria de aço investem na implantação de novas fábricas no Brasil. Este tipo de obra, industrial, envolve prazos de execução curtos, pois as fábricas exercem um papel protagonista no faturamento das empresas as quais pertencem, e seus gerentes, por conta disso, intencionam que o início das operações em novas fábricas aconteça o mais breve possível para que, logo, se tornem fontes de receita.

Para auxiliar no cumprimento dos curtos prazos de execução, os sistemas construtivos industrializados são recorrentemente utilizados em obras industriais, visto que, segundo Oliveira e Souza (2014), apresentam vantagens frente aos sistemas convencionais. Na construção civil, a industrialização remete à utilização de elementos produzidos dentro de um ambiente de fábrica, que são, posteriormente, transportados ao canteiro de obras para a montagem e instalação final (OLIVEIRA; SOUZA, 2014). A padronização dos elementos construtivos e dos processos e métodos de construção são características da industrialização (BILDSTEN, 2013). Estas características trazem melhoras na qualidade dos elementos pré-fabricados, reduzem custos e prazos de produção, geram menos desperdício de materiais, possibilitando uma melhor integração entre o projeto arquitetônico e a construção (BURGAN; SANSOM, 2006).

Os sistemas construtivos industrializados criam oportunidade para a aplicação de conceitos e métodos da gestão da produção desenvolvidos no *Lean Construction*, que tem sido utilizado na construção civil e tem trazido muitos benefícios para o setor, como economia de recursos, aumento da produtividade e maior confiabilidade nos prazos de entrega (FABRO, 2012). O trabalho de Reck et al. (2020) ressalta a importância da aplicação de sistemas de planejamento e controle da produção quando utilizados, na obra, sistemas construtivos pré-

fabricados. Estes sistemas apresentam diferentes fluxos (projeto, fabricação, operações logísticas e montagem) que precisam ser coordenados para que permaneçam estabilizados (RECK et al., 2020). Deve existir uma comunicação e uma troca de informações contínua e de confiança entre os responsáveis pela produção na fábrica e os responsáveis pela execução no canteiro de obras para gerenciar estes diferentes fluxos, de forma a obter uma sincronização entre os processos (EASTMAN et al., 2011).

Lean Construction ou Construção Enxuta é uma teoria que traz e adapta as ideias da gestão da produção para o setor da construção civil e suas especificidades. Os conceitos e princípios utilizados no *Lean Construction* surgiram no Japão e se desenvolveram na indústria automotiva, em que foram muito empregados no sistema de produção da *Toyota* (ISATTO et al., 2000). O Sistema Toyota de Produção ficou conhecido no Japão na década de 1970 após desencadear um período de grande crescimento econômico no país enquanto a maioria das indústrias ocidentais ainda utilizavam sistemas de produção empurrados (HOPP; SPEARMAN, 2011). Neste modo de produção, um dos principais objetivos é que cada etapa de produção obtenha os materiais necessários para o seu processo, na quantidade necessária e apenas no momento exato em que forem solicitados, em inglês, *Just in Time*. Isso depende da uniformização da produção e da padronização dos processos. Este modo de produção trabalha com um sistema de produção puxada, em que um processo inicial não deve produzir um bem ou um serviço sem que o cliente ou um processo posterior o solicite (OHNO, 1998).

Segundo Isatto et al. (2000, pg. 11), o *Lean Construction* utiliza o seguinte modelo de processo:

O modelo de processo da Construção Enxuta, por sua vez, assume que um processo consiste em um fluxo de materiais, desde a matéria prima até o produto final, sendo o mesmo constituído por atividades de transporte, espera, processamento (ou conversão) e inspeção. As atividades de transporte, espera e inspeção não agregam valor ao produto final, sendo por esta razão denominadas atividades de fluxo. Nem toda a atividade de processamento agrega valor ao produto. Por exemplo, quando as especificações de um produto não foram atendidas após a execução de um processo e existe a necessidade de retrabalho, significa que atividades de processamento foram executadas sem agregar valor.

Koskela (1992) discutiu uma série de princípios do *Lean Construction*, dentre os mais importantes para a elaboração deste trabalho estão: reduzir a parcela de atividades que não agregam valor; aumentar o valor do produto através da consideração das necessidades dos

clientes; reduzir a variabilidade; reduzir o tempo de ciclo; e simplificar através da redução do número de passos ou partes.

1.2 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

A logística pode ser definida como um conjunto de práticas que visam a efetividade na geração de um produto ou serviço (PRESTEX, 2016). Este conjunto de práticas incluem o planejamento, a execução e o controle da cadeia de suprimentos, termo que se refere a todas as atividades necessárias na geração deste produto ou serviço, desde o recebimento da matéria-prima dos fornecedores até a entrega do produto ou serviço aos clientes (VOITTO, 2019). Para que um processo tenha efetividade, é preciso que ele seja eficiente e eficaz simultaneamente, ou seja, ele deve gerar um produto ou serviço com a menor quantidade de recursos possíveis e, ao mesmo tempo, alcançar os resultados desejados (ROCKCONTENT, 2018).

A logística dentro da construção civil tem papel importante no cumprimento de prazos e orçamento de uma obra. Ela procura solucionar, entre outros problemas, o de descontinuidade de produção e de estoques desnecessários, fatos que repercutem diretamente na produtividade e nos custos (VIEIRA, 2006). As fábricas, onde técnicas logísticas são muito aplicadas, possuem uma linha de produção, nela as etapas são interdependentes, pois cada uma conduz a outra. Desta forma, a fim de assegurar um fluxo contínuo entre etapas, é essencial que haja uma harmonização na produção, armazenamento e distribuição do produto. Um canteiro de obras não é diferente, nele a linha de balanço da obra orienta a sequência de serviços, e estes serviços também têm, em níveis variados, uma interdependência entre eles. Para que o cronograma físico-financeiro da obra seja cumprido, os serviços devem ter um fluxo contínuo. Por isso, a aplicação de técnicas de logísticas dentro do canteiro de obras é benéfico, pois a logística proporciona uma visão geral dos processos de produção, possibilitando a identificação das desarmonias e a futura eliminação delas.

Apesar disso, por muito tempo, a logística foi negligenciada pelas construtoras, segundo Vieira (2006), os empresários da construção no Brasil sempre dirigiram o foco de sua atenção basicamente para aspectos relacionados às especificações técnicas do projeto estrutural e arquitetônico.

Isso mudou quando a competitividade dentro do setor aumentou, obrigando as construtoras a implementar técnicas de aprimoramento dos processos de produção na execução de seus empreendimentos. As novas exigências e necessidades refletiram um processo de desenvolvimento tecnológico e de maior importância às funções da logística (RIBEIRO 2015). A utilização da logística dentro das empresas proporciona um grande diferencial competitivo, uma vez que é um meio de entregar ao cliente um produto ou serviço de qualidade em menos tempo e com menor preço, mantendo o seu valor agregado. Ainda assim, percebe-se uma deficiência da logística dentro dos canteiros de obra no Brasil. Segundo Vieira (2006), ainda persistem altos índices das principais causas que agem de forma contundente na redução do índice de produtividade e aumento considerável dos custos de produção.

Estudos realizados no Brasil e no exterior mostram em seus resultados que boa parte dos problemas de eficiência e qualidade na construção civil é consequência de problemas no gerenciamento. Em função disso, as empresas de construção têm procurado introduzir filosofias gerenciais para obterem maior êxito na execução de seus empreendimentos (ISATTO *et al.*, 2000).

A construção industrializada envolve, na maior parte dos casos, a adoção de sistemas pré-fabricados *engineer-to-order* (ETO). ETO é um sistema de produção em que, no geral, os produtos são altamente customizados para atender os requisitos do cliente e são produzidos em volumes baixos (HICKS; MCGOVEERN; EARL, 2000). Estes sistemas dependem da participação do cliente, pois os produtos são projetados por encomenda para conseguirem alcançar a customização aos critérios do cliente. Este sistema de produção consegue fornecer respostas rápidas às demandas específicas dos clientes, o que é algo recorrente em obras industriais (RECK *et al.*, 2020). Existem vantagens e desvantagens da introdução da construção industrializada acompanhada do sistema de produção ETO. Como vantagem, pode-se destacar o maior controle de qualidade do produto, uma vez que o ele é desenvolvido dentro de uma fábrica, ambiente que permite um melhor monitoramento e precisão (LESSING; STEHN; EKHOLM, 2005). Já, como desvantagem, há uma maior complexidade no processo de construção devido à existência simultânea da fábrica e do canteiro de obras como locais de produção (KOSKELA, 1992). Este cenário exige um esforço na coordenação dos diferentes tipos de fluxos, uma vez que existe uma interdependência entre eles. A montagem no canteiro de obras deve estar alinhada com a produção na fábrica, pois a produção ou entrega atrasada pode gerar custos não previstos de mão de obra e equipamentos parados, e a produção ou

entrega antecipada pode gerar altos níveis de estoque, despendendo maior esforço para a movimentação dos elementos no canteiro de obras (ČUŠ-BABIČ *et al.*, 2014).

Uma prática que beneficia o gerenciamento e a logística dentro de um canteiro de obras é a elaboração do projeto do sistema de produção (PSP). Este projeto deve ser feito antes do início das atividades no canteiro de obras, a ideia é que ele antecipe as decisões relacionadas ao sistema de produção, desta forma, é possível melhorar o desempenho da produção durante a execução da obra. A elaboração prévia do PSP possibilita identificar desalinhamentos no sistema de produção que gerariam improdutividade, uma vez identificados, é possível pensar em soluções que proporcionem mais eficiência e eficácia ao sistema de produção. O PSP tem potencial para influenciar positivamente o provimento de recursos, a movimentação de materiais e a organização no canteiro de obras. Embora o PSP tenha importância em diversas indústrias, na construção civil, este processo é normalmente negligenciado (SCHRAMM; COSTA; FORMOSO, 2006). Segundo Gaither (1980), os gerentes de produção frequentemente não se envolvem cedo no processo de projeto do produto, o que diminui a possibilidade de projetar e operar sistemas de produção mais eficientes.

A elaboração do PSP visa planejar o plano de ataque e os principais fluxos de serviço dentro do canteiro. O intuito é aprimorar a logística dentro do canteiro de obras, evitando o desperdício de recursos e tornando os processos mais eficazes. Baseado no problema identificado da falta de aplicação desta prática nas obras, este trabalho explora o seu uso na obra de um pavilhão industrial, com o intuito de exercitar as tomadas de decisões que fazem parte do escopo do PSP e de averiguar os seus benefícios.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo principal

O objetivo principal deste trabalho é elaborar o PSP da construção de um pavilhão industrial.

1.3.2 Objetivos secundários

- a) identificar as peculiaridades da elaboração de um PSP para uma obra industrial;
- b) identificar os benefícios que a elaboração prévia do PSP pode trazer para uma obra.

1.4 DELIMITAÇÕES

O estudo deste trabalho é baseado em um empreendimento industrial localizado no município de Glorinha no estado do Rio Grande do Sul. Os dados de entrada para a elaboração do PSP são as especificações de projeto de uma edificação industrial, estes dados e tipo de edificação tem influência direta nas decisões tomadas ao longo da concepção. O foco da concepção do PSP é o pavilhão industrial do empreendimento.

Este trabalho realizou a concepção do PSP, que faz parte do planejamento da obra, porém não foi abordado o controle ou monitoramento do mesmo. O PSP elaborado não tem a intenção de ser implantado na obra, a sua elaboração foi apenas um exercício de estudo e comparação com as práticas de planejamento realmente adotadas na obra.

2 PROJETO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO

2.1 DEFINIÇÕES E OBJETIVOS

Projetar algo é moldar a forma física e o propósito tanto de produtos e serviços, como dos processos que os produzem. O ponto de partida de um projeto é em um conceito, e o seu ponto final é a tradução desse conceito em especificações de algo a ser criado (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2002). Segundo os mesmos autores, as atividades de projeto (do produto e do sistema de produção) formam um processo de transformação cujo objetivo global é atender às necessidades dos consumidores, podendo ser julgada em termos de qualidade, rapidez, confiabilidade, flexibilidade e custo. A forma como o sistema de produção de um produto é projetado tem impacto direto na habilidade da produção em atender às necessidades de seus consumidores. Um processo implantado no local errado, com capacidade insuficiente, com um arranjo físico confuso ou desordenado, com tecnologia inadequada, ou com pessoal incapaz, tende a não satisfazer os consumidores, já que não pode desempenhar de forma eficaz e eficiente sua função. (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2002).

Na Figura 1, é apresentado como as atividades de projeto influenciam os objetivos de desempenho.

Figura 1 - Influências das atividades de projeto nos objetivos de desempenho da produção

Objetivo	Influência do Projeto do Produto	Influência do Projeto do Sistema de Produção
Qualidade	Pode eliminar falhas potenciais e aspectos "propensos a erro" do produto	Pode prover os recursos adequados que são capazes de produzir o produto conforme suas especificações de projeto
Rapidez	Pode especificar produtos que podem ser produzidos rapidamente (e.g. utilizando princípios de projeto modular)	Pode movimentar materiais e informações através de cada estágio do processo sem demoras
Confiabilidade	Pode ajudar a tornar cada estágio do processo previsível ao exigir processos padronizados	Pode fornecer tecnologia e pessoal que são intrinsecamente confiáveis
Flexibilidade	Pode permitir variações que possibilitem oferecer uma gama de produtos aos consumidores	Pode prover recursos que podem ser modificados rapidamente de forma a criar um gama de produtos
Custo	Pode reduzir custos de cada componente ou os custo de combiná-las	Pode assegurar alta utilização de recursos e, portanto, processos eficientes e de baixo custo

Fonte: Schramm (2004)

Para Slack *et al.* (2002), O projeto do produto ou serviço e o projeto do processo, quando coordenados, aumentam a probabilidade de esses objetivos serem satisfeitos. Projeto é um

processo que contempla várias etapas que levam do conceito até a especificação detalhada (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2002). Segundo os mesmos autores, em cada etapa, devem-se identificar as opções de projeto e avaliar a sua viabilidade, aceitabilidade e vulnerabilidade, e, ao longo do avanço das etapas da atividade de projeto, as incertezas vão diminuindo, tornando mais difícil mudar decisões tomadas anteriormente.

Segundo Schramm e Formoso (2015, p. 107):

O PSP pode ser definido como um processo de formulação e análise de diferentes alternativas de estruturação e organização dos processos que constituem o sistema de produção do empreendimento, sendo necessário negociar as principais interdependências e necessidades de fornecedores e subcontratados.

O PSP é importante no início de qualquer processo produtivo. O objetivo do PSP é propiciar discussões acerca das possíveis estratégias de produção, seguido da tomada de um conjunto de decisões sobre o sistema de produção que formarão uma estrutura útil para gerenciar suas diferentes atividades envolvidas (SCHRAMM; COSTA; FORMOSO, 2006).

O projeto de um produto estabelece e detalha as suas características, que, por sua vez, influenciam diretamente a forma como este produto será produzido, o que determinará o PSP que irá produzi-lo (GAITHER; FRAZIER, 2001).

Assim como existem muitas interações entre o projeto e o desenvolvimento de produtos, também existem muitas interações entre o projeto e o desenvolvimento de processos de produção. A consideração dessas interações é essencial para a formação de sistemas produtivos eficientes. Por isso, o projeto do produto está fortemente ligado às características do sistema de produção, como as tecnologias empregadas, o *layout* das instalações e os processos individuais (GAITHER, 1980).

Nesta linha de raciocínio, Slack *et al.* (2002) afirma que o projeto do produto e o PSP são atividades que deveriam se sobrepor, pois esta sobreposição pode, se bem gerenciada, trazer economias nos custos de produção e no tempo entre a concepção inicial do produto e o seu lançamento no mercado.

Schramm (2004) conclui que o PSP é uma atividade de gestão de operações que deve ser realizada antecipadamente em relação ao início das atividades de produção. Quanto maior a sobreposição temporal entre as atividades de projeto do produto e de PSP, maiores serão as

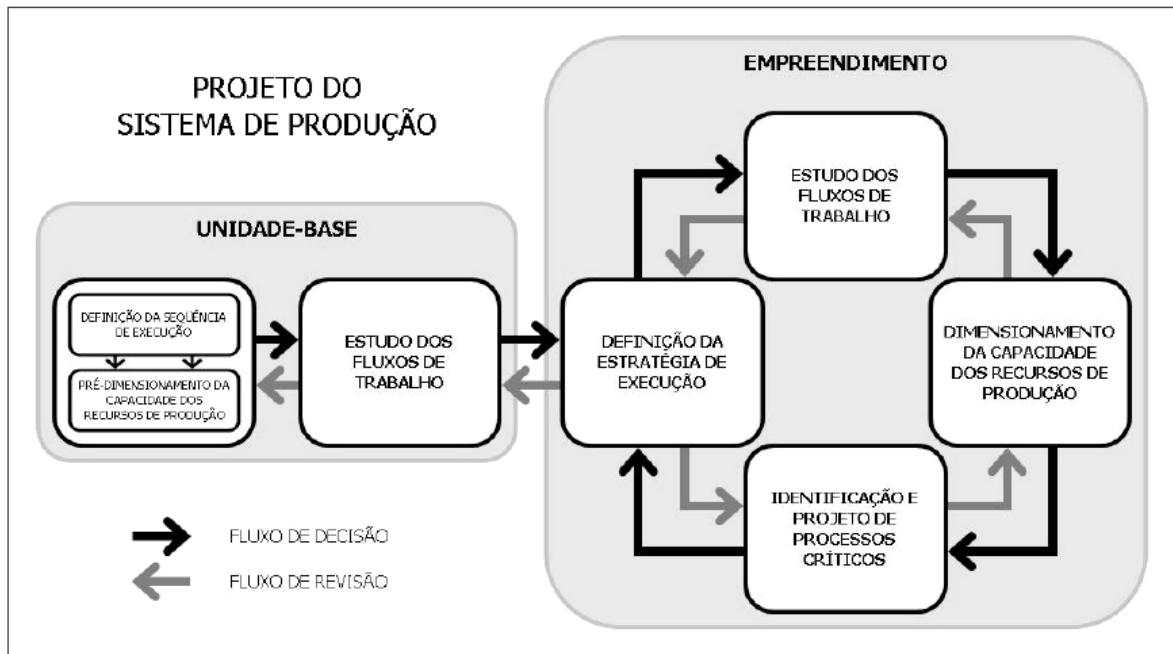
oportunidades para a redução da parcela de atividades que não agregam valor no sistema de produção, uma vez que reduz as características negativas inerentes aos sistemas produtivos, como a variabilidade.

Segundo Slack *et al.* (2002), é interessante que as atividades de projeto, planejamento, controle e melhoria sigam esta ordem cronológica. Shingo (1996) afirma algo parecido, de acordo com o autor, o PSP vai muito além do projeto do produto, ele abrange três atividades gerenciais: planejamento, controle e monitoramento. O planejamento considera o PSP e o planejamento da produção. Esta etapa define padrões estáticos da produção que deverão ser levados em conta na implementação da obra. Portanto, o planejamento deve preceder a implementação em tempo suficiente para que consiga exercer sua função, que é simplificar o controle.

2.2 ESCOPO DE DECISÕES

O escopo de decisões que fazem parte do PSP, que será retratado a seguir, foi formulado pelo autor Schramm (2004), que define seis etapas para a elaboração do PSP, ainda que estas etapas sejam apresentadas sequencialmente, as decisões que fazem parte delas não são tomadas isoladamente. Schramm (2004) afirma que a tomada destas decisões forma um processo iterativo, pois elas exercem influência uma sobre a outra, e a modificação de uma decisão refletirá com maior ou menor intensidade nas demais. Por isso, estas decisões devem ser estudadas juntas. Schramm (2004) ainda afirma que a relação entre as etapas de elaboração do PSP é recíproca, existindo o sentido do fluxo de decisão e o sentido do fluxo de revisão. A Figura 2 apresenta de forma ilustrativa o escopo de decisões proposto por Schramm (2004).

Figura 2 - Etapas da elaboração do PSP



Fonte: Schramm (2004)

2.2.1 Definição da Sequência de Execução e Pré-dimensionamento da Capacidade dos Recursos de Produção

Schramm (2004) demonstra em seus estudos que a definição da sequência de execução da unidade base é embasada na experiência da equipe responsável pela execução, e que a falta de experiência dificulta esta definição. Os materiais e as técnicas construtivas utilizadas são especificações que devem ir de acordo com os projetos executivos do empreendimento e com as restrições impostas pelo cliente. Essas especificações e restrições delimitarão as opções de execução do empreendimento. Schramm (2004) menciona o nível de integração vertical e a seleção das tecnologias a serem empregadas como determinações importantes para a definição da sequência de execução. O nível de integração vertical determina quais materiais ou processos serão executados pela empresa e quais serão adquiridos de fornecedores externos. A seleção das tecnologias a serem empregadas determina os materiais, os sistemas construtivos e os equipamentos a serem utilizados.

O pré-dimensionamento da capacidade de recursos de produção, segundo Schramm (2004), também é baseado na experiência da equipe de produção. O ritmo de produção das

equipes depende das suas taxas de produtividade e do efeito aprendizagem, entretanto, diferentes equipes podem ter taxas de produtividade diferentes, em função disso, Schramm (2004) menciona a adição de *buffers* às durações das atividades. Ainda que a adição de *buffers* possa criar mais trabalho em progresso, ela permite prever a data limite para o início das atividades. O pré-dimensionamento da capacidade de recursos de produção define o tamanho e a quantidade de equipes e equipamentos que serão utilizados para cada atividade, o que permite estimar o ritmo de produção.

2.2.2 Estudos dos Fluxos de Trabalho na Unidade-base

Em uma fábrica, a disposição (*layout*) das máquinas determina o fluxo de trabalho. Em uma obra, a sequência e trajetória das equipes de trabalho devem ser definidas e compatibilizadas com o *layout* do canteiro de obras (SCHRAMM, 2004).

O ideal é que os recursos tenham um fluxo ininterrupto dentro do canteiro de obras, quando isso não acontece, os recursos ficam ociosos. Esta ociosidade é causada pelo desbalanceamento das taxas de produção, pela incerteza destas taxas durante o planejamento e pela variabilidade delas durante a execução (YANG; IOANNOU, 2001).

A redução do trabalho em progresso gera fluxos de trabalho mais contínuos. O fluxo contínuo contempla a produção apenas do que é exigido pelo processo seguinte, ou cliente final, sem geração de estoque (ROTHER; SHOOK, 1999). O benefício de um fluxo contínuo é a redução do *lead time*, que representa o intervalo de tempo entre a entrada da matéria-prima até a saída do produto finalizado (LIKER, 2004)

A velocidade de produção também é um aspecto importante a se considerar para obter um fluxo contínuo, ela se refere à taxa com que o produto deve ser entregue ao próximo processo ou cliente dentro do tempo necessário ou solicitado. Este tempo é definido como o *takt time*, tempo no qual é preciso finalizar um produto para que a sua demanda seja atendida (ALVAREZ; ANTUNES JÚNIOR, 2001).

Outro aspecto importante é a estabilidade, que pode ser definida dentro do fluxo contínuo, como a previsibilidade e disponibilidade constante da mão de obra, materiais e equipamentos (SMALLEY, 2005).

Um fluxo contínuo de produção gera uma sincronização da produção, que é caracterizada pela chegada dos recursos a tempo para sua utilização e sem a formação de estoque ou ociosidade (SCHRAMM, 2004).

Segundo Schramm (2004), podem ser utilizados três métodos para alcançar um fluxo contínuo:

- a) balanceamento: igualar o tempo de processamento dos processos;
- b) nivelamento: igualar a quantidade de material em relação ao tempo;
- c) sincronização do fluxo de produção: dar ritmo ao fluxo de materiais entre as estações de trabalho.

Os estudos dos fluxos de trabalho na unidade-base são feitos com base no sequenciamento de execução na unidade-base e nos recursos utilizados em cada atividade. A ideia é analisar o fluxo de trabalho das equipes de produção na unidade-base a fim de identificar possíveis interferências entre equipes e equipamentos em um mesmo espaço e tempo (SCHRAMM, 2004).

Para isso, a linha de balanço é uma ferramenta essencial, pois fornece informações visuais fáceis de serem interpretadas em relação ao sequenciamento de atividades, ritmos de produção, divisão da obra em lotes e fluxos de trabalho. Schramm (2004) utilizou a linha de balanço em todos seus estudos de caso. A linha de balanço nos permite visualizar quando e onde as equipes e os equipamentos de atividades distintas irão se encontrar, esta informação é muito importante para os estudos dos fluxos, pois possíveis interferências podem ser percebidas e logo evitadas com ajustes na linha de balanço.

Segundo Schramm (2004), a linha de balanço também fornece informações sobre as datas de início e de conclusão de cada atividade, assim como o tempo de ciclo da unidade-base. Quando estas informações são analisadas, pode-se chegar à conclusão de que talvez seja necessário aumentar a capacidade dos recursos de produção para conseguir possibilitar o aumento do ritmo de alguns processos e encurtar a execução do empreendimento.

2.2.3 Definição da Estratégia de Execução do Empreendimento

A definição da estratégia de execução do empreendimento, segundo Schramm (2004), tem bastante influência sobre o desempenho do sistema de produção em relação a custos e prazos, por isso é uma etapa muito importante. Nesta etapa, serão definidas as trajetórias a serem percorridas pelas equipes de trabalho.

A definição da estratégia de execução utiliza a divisão do empreendimento em zonas de trabalho. As zonas de trabalho é o resultado da repartição da área do empreendimento em áreas menores pelas quais as equipes de trabalho irão se mover de forma sequencial ou paralela. (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010).

As zonas de trabalho contemplam um número de unidades-base. A ideia é que as equipes de trabalho sejam alocadas nas zonas de trabalho e que desenvolvem suas atividades continuamente e no ritmo estabelecido (SCHRAMM, 2004).

Schramm (2004) leva em consideração os seguintes aspectos para definir a melhor alternativa de estratégia de execução:

- a) impacto no prazo de execução do empreendimento;
- b) capacidade de fornecimento dos fornecedores de suprimentos;
- c) limites de capacidade de produção dos processos críticos (gargalos) para atender a demanda gerada pela alternativa;
- d) viabilidade financeira da alternativa escolhida, em função do volume de recursos de produção necessários para a sua execução.

Schramm (2004) aponta ser interessante selecionar a alternativa de estratégia de execução mais adequada, porém não descartar totalmente as demais alternativas consideradas, pois podem ser úteis caso se torne inviável a execução da estratégia originalmente escolhida.

As trajetórias das equipes de trabalho são criadas depois que a subdivisão do empreendimento esteja definida. Atividades diferentes podem ter trajetórias de equipes de trabalho diferentes devidos suas necessidades específicas (SCHRAMM, 2004).

2.2.4 Estudo dos Fluxos de Trabalho no Empreendimento

O estudo dos fluxos de trabalho no empreendimento se baseia na estratégia de execução definida na etapa anterior e na divisão do empreendimento em zonas de trabalho. Nesta etapa, é possível analisar os fluxos de trabalho em todo o empreendimento, nela é considerada a necessidade de sincronização de fluxos de trabalho de atividades diferentes, isso pode ser interessante para conciliar a disponibilidade de recursos de produção que são compartilhados por estas atividades diferentes (SCHRAMM, 2004).

2.2.5 Dimensionamento da Capacidade dos Recursos de Produção

O dimensionamento da capacidade dos recursos de produção é feito com base no estudo dos fluxos do empreendimento e no pré-dimensionamento da capacidade de recursos realizada na primeira etapa. Nesta etapa, é dimensionada a necessidade de capacidade dos recursos de produção para a execução de todo o empreendimento (SCHRAMM, 2004).

Segundo Schramm (2004), a utilização de planilhas e histogramas de recursos é interessante para se obter informações sobre o volume de recursos em um mesmo momento no empreendimento, que caso atinja um nível alto, pode motivar reprogramações de algumas atividades.

2.2.6 Identificação e Projeto de Processos Críticos

Os processos críticos são atividades que devem ser dadas mais atenção em relação a sua execução, pois podem causar efeitos negativos na execução do empreendimento caso não forem bem gerenciadas. A capacidade de produção individual dos processos críticos limita a capacidade de produção do sistema, o que caracteriza um gargalo de produção (SCHRAMM, 2004).

O gargalo é o processo do sistema de produção com a menor capacidade de produção, por isso ele representa a restrição máxima na capacidade de produção de todo o sistema (UMBLE; SRIKANTH, 1995).

O processo crítico é identificado a partir da análise da sequência de execução e das capacidades disponíveis dos recursos de produção (SCHRAMM, 2004).

3 MÉTODO DE ESTUDO

O método de estudo se baseia em um estudo de caso cuja finalidade é elaborar o PSP de um pavilhão industrial e averiguar os benefícios desta prática. Segundo Yin (2005), o estudo de caso é uma estratégia de pesquisa que está interessada no fenômeno e requer múltiplas fontes para explorar, descrever e explicar um fenômeno em seu contexto. O autor afirma que o uso do estudo de caso é adequado quando se pretende investigar como e o porquê de um conjunto de eventos contemporâneos. O estudo de caso é uma investigação empírica que permite o estudo de um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real (YIN, 2005). Esta estratégia de pesquisa vai de acordo com o objetivo deste trabalho, uma vez que o trabalho utiliza um contexto da vida real (obra) para estudar um fenômeno (PSP).

3.1 ESTRATÉGIA E DELINEAMENTO DO ESTUDO

Este trabalho desenvolve um estudo de caso baseado em uma obra industrial que já estava em andamento quando este estudo foi inicializado. O intuito é elaborar o PSP da obra. O PSP desenvolvido aplica e discute as ideias expostas na revisão bibliográfica. A obra utilizada para o estudo de caso é um empreendimento industrial, localizada no município de Glorinha-RS, que será destinado ao corte de chapas de aço. A empresa contratante é um centro de serviços de aço, especializado nos processos de decapagem, corte transversal, longitudinal e ferramentado em aços planos de laminação a quente, a frio e revestidos. A empresa contratada, responsável pela execução do empreendimento é a uma construtora bastante atuante em obras industriais e comerciais. O empreendimento compreende um pavilhão industrial, arruamentos e prédios anexos. O foco do PSP é o pavilhão industrial.

3.2 FONTES DE EVIDÊNCIA

A aluna trabalha como estagiária da empresa contratada, responsável pela execução da obra, e esteve presente na obra desde agosto de 2021 e segue atuando na obra até o fechamento deste trabalho. Em função disso, grande parte das informações coletadas ao longo do desenvolvimento do estudo de caso foi por meio de observação do canteiro de obras e da interação com os outros funcionários também presentes nele.

O diálogo com os engenheiros responsáveis foi uma fonte direta de informação, que possibilitou uma clara compreensão dos processos envolvidos na execução da obra. O contato frequente com os engenheiros possibilitou vários questionamentos que resultaram em esclarecimentos que influenciaram as decisões tomadas para a elaboração do PSP. Reuniões com foco no planejamento de médio prazo eram realizadas semanalmente com os engenheiros, encarregados e empreiteiros da obra. Quinzenalmente, uma empresa de consultoria participava das reuniões para auxiliar no planejamento. Esta empresa fornece consultoria de planejamento voltada para a implantação do *Lean Construction*. Estas reuniões foram essenciais para o melhor entendimento das práticas de planejamento e dos conceitos do *Lean Construction*, o que contribuiu para a concepção do PSP.

3.3 DESCRIÇÃO DAS EMPRESAS ENVOLVIDAS E DO EMPREENDIMENTO

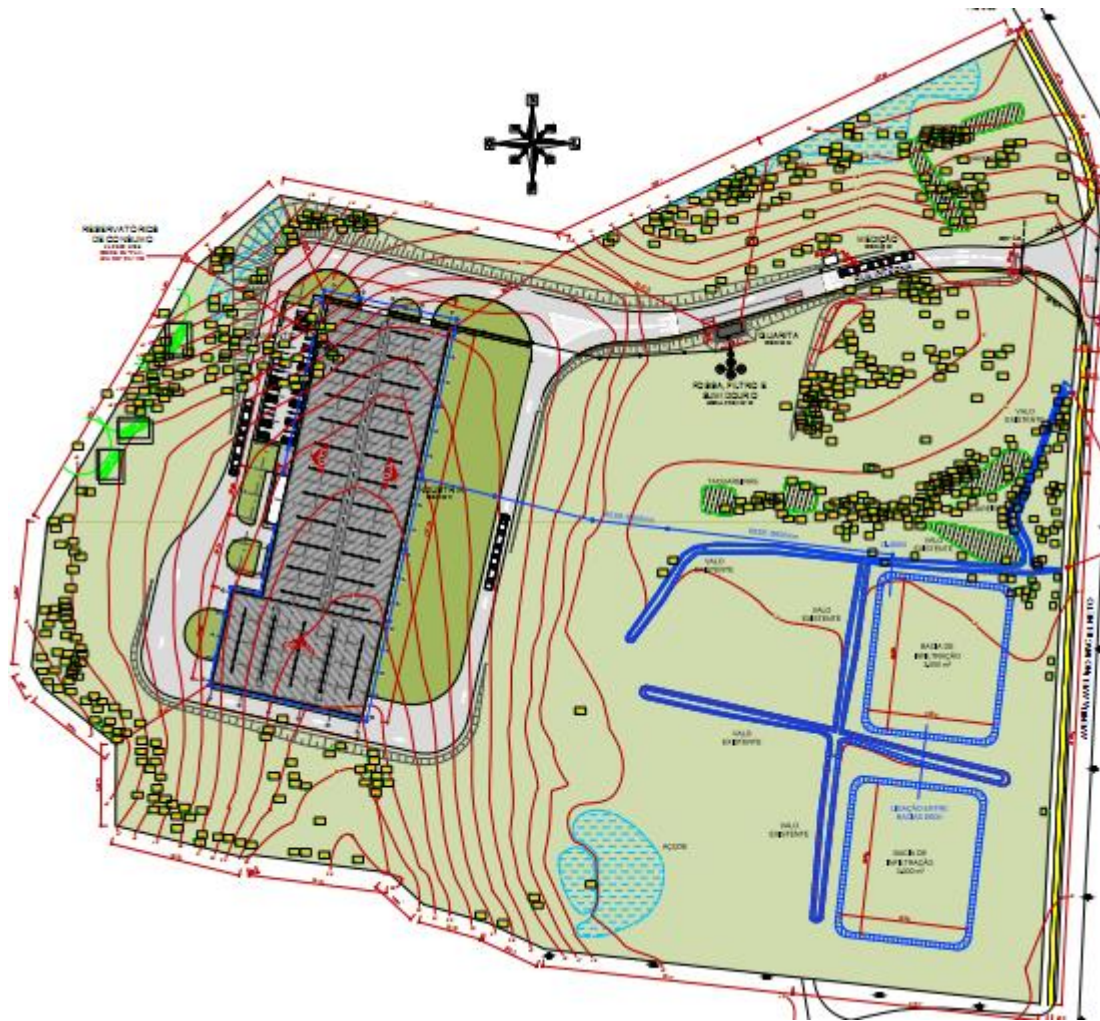
A planta de situação do empreendimento está ilustrada na Figura 3. A edificação industrial será destinada as operações de uma empresa pertencente à indústria de aço.

A obra está sendo executada por uma construtora situada em Porto Alegre, capital do estado do Rio Grande do Sul. Há 39 anos que a construtora atua no mercado de construção civil, nos setores comerciais e industriais.

A área do terreno é de 113.113,32 m², e a área construída será de 8.613,81 m², o que corresponde a um índice construtivo de aproveitamento de 0,076. A área construída é constituída pelo pavilhão industrial e pelos prédios anexos. O pavilhão industrial é a edificação principal do empreendimento, que terá uma área de 7.959,25 m². As áreas mencionadas estão explicitadas na Tabela 1. O pavilhão abrigará a região de estoque e as linhas de corte e

embalagem da fábrica, representado na planta baixa da Figura 4. Os prédios anexos correspondem ao prédio administrativo, prédio de utilidades, a guarita e a cabine de medição, que acrescentam 654,56 m². Além destas edificações, serão executadas as pavimentações de ruas, passeios e estacionamento, que juntos possuem 10.370,55 m². O pé direito do pavilhão industrial será de 12 metros de altura e para os demais prédios anexos será de 3 metros de altura, sendo que o prédio administrativo terá 2 pavimentos. O tempo de duração da obra é de 11 meses, de junho de 2021 a maio de 2022.

Figura 3 - Planta de localização do empreendimento industrial



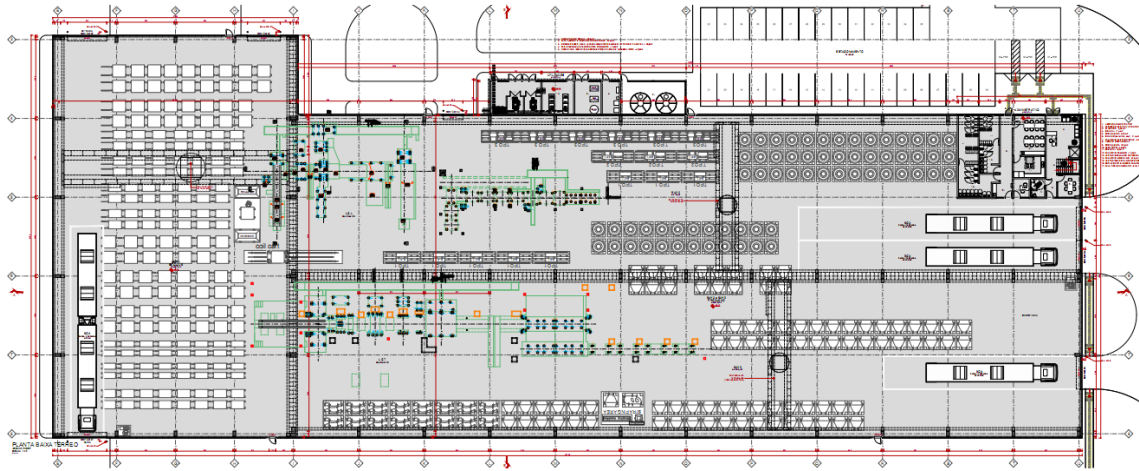
Fonte: construtora

Tabela 1 – Áreas de ocupação do empreendimento industrial

DESCRIÇÃO	ÁREAS	PERCENTUAL
TERRENO - CONFORME LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO	113.113,32m ²	100,00%
OCUPAÇÃO DO SOLO - PROJEÇÃO DA EDIFICAÇÃO NO TERRENO	8370,61m ²	7,40%
PAVIMENTAÇÕES - RUAS	8910,17m ²	7,88%
PAVIMENTAÇÕES - PASSEIOS	673,38m ²	0,60%
PAVIMENTAÇÕES - ESTACIONAMENTO	787,00m ²	0,70%
ÁREA VERDE EXISTENTE	94.372,16m ²	83,43%

Fonte: construtora

Figura 4 - Planta baixa do pavilhão industrial

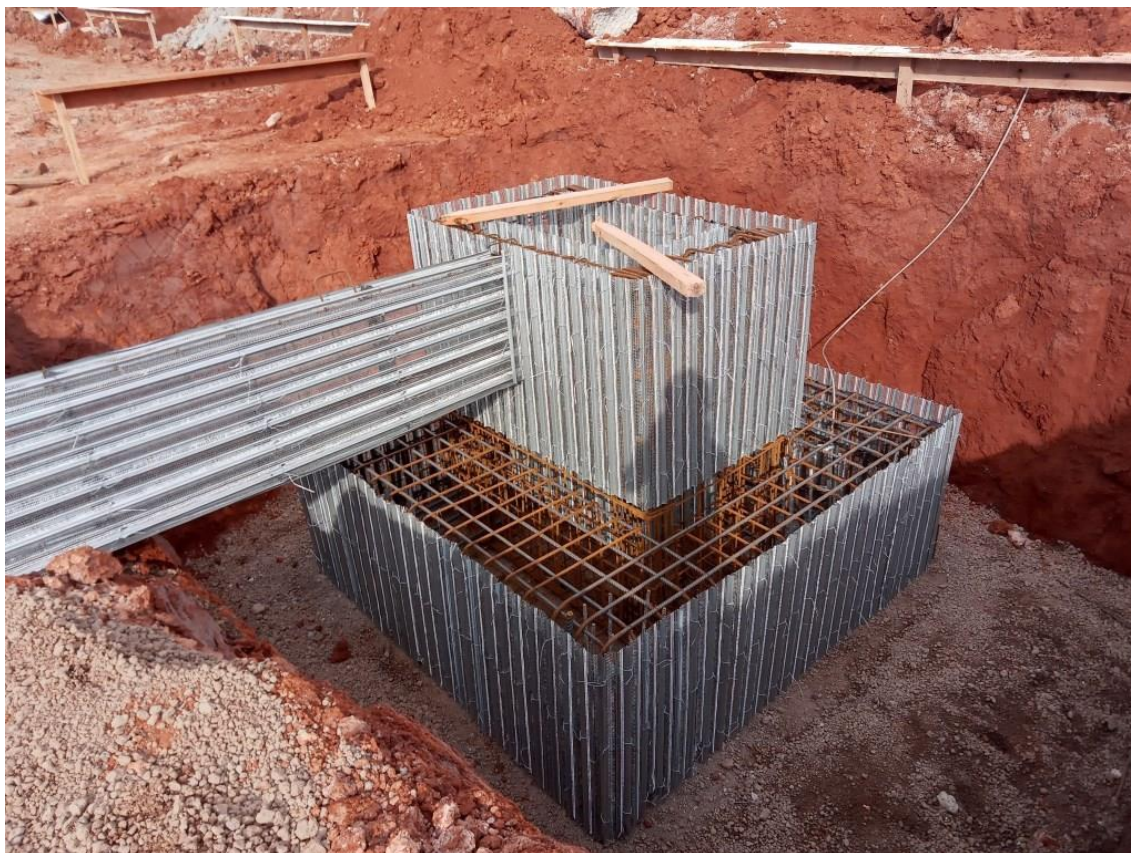


Fonte: construtora

3.4 MÉTODOS CONSTRUTIVOS DO EMPREENDIMENTO

A fundação adotada para o pavilhão industrial é a estaca hélice contínua. Os blocos e vigas de fundação serão concretados *in loco* com forma metálica incorporada, como ilustrado na Figura 5.

Figura 5 - Forma metálica incorporada



Fonte: autoria própria

A forma metálica incorporada é pré-fabricada e entregue na obra por uma empresa especializada no corte e dobra de aço. Esta opção construtiva vem com as ferragens já cortadas e armadas posicionadas dentro da forma de tela metálica, que permanece incorporada a estrutura concretada, que ficará abaixo do nível do solo. Este método construtivo economiza tempo e mão de obra, uma vez que não são necessárias a montagem e desmontagem de formas e a armação das ferragens dos blocos e vigas de fundação.

Deverá ser executado um fosso de 12 metros de profundidade dentro do pavilhão industrial, este fosso fará parte de um dos processos de fabricação da indústria, a linha de corte longitudinal de bobinas metálicas. Para a construção deste fosso, serão executadas estacas raiz ao longo do seu perímetro, de forma a conter o solo em volta.

Os pilares do pavilhão industrial serão pré-fabricados em concreto armado e serão entregues e instalados na obra pela mesma empresa terceirizada.

A cobertura do pavilhão industrial será em estrutura metálica e telha zipada, executada por empresa terceirizada. Os fechamentos laterais serão feitos com estrutura metálica e telha aluzinco.

Os pisos serão executados em concreto armado polido. Nas zonas em que haverá as linhas de montagem, será necessário se atentar para os diferentes níveis que terão no piso, estes diferentes níveis são necessários para a instalação das máquinas das linhas de corte e embalagem da fábrica.

3.5 ATIVIDADES REALIZADAS

A principal atividade desenvolvida neste trabalho foi a elaboração do PSP, que utilizou as diretrizes de Schramm (2004) e de Reck *et al.*(2020). O PSP, baseado no empreendimento escolhido para o estudo de caso, focará somente no pavilhão industrial, deixando de fora o planejamento da execução dos arruamentos e dos prédios anexos.

A necessidade do uso de ferramentas de planejamento para a elaboração do PSP foi a motivação para a montagem de uma linha de balanço. A linha de balanço, assim como o PSP como um todo, contempla apenas o pavilhão industrial. Além disso, foram feitas planilhas do dimensionamento de recursos, que foram pré-requisito para estimar os ritmos de produção utilizados na linha de balanço. A linha de balanço e as planilhas do dimensionamento de recursos foram desenvolvidas no editor de planilhas *Microsoft Excel*.

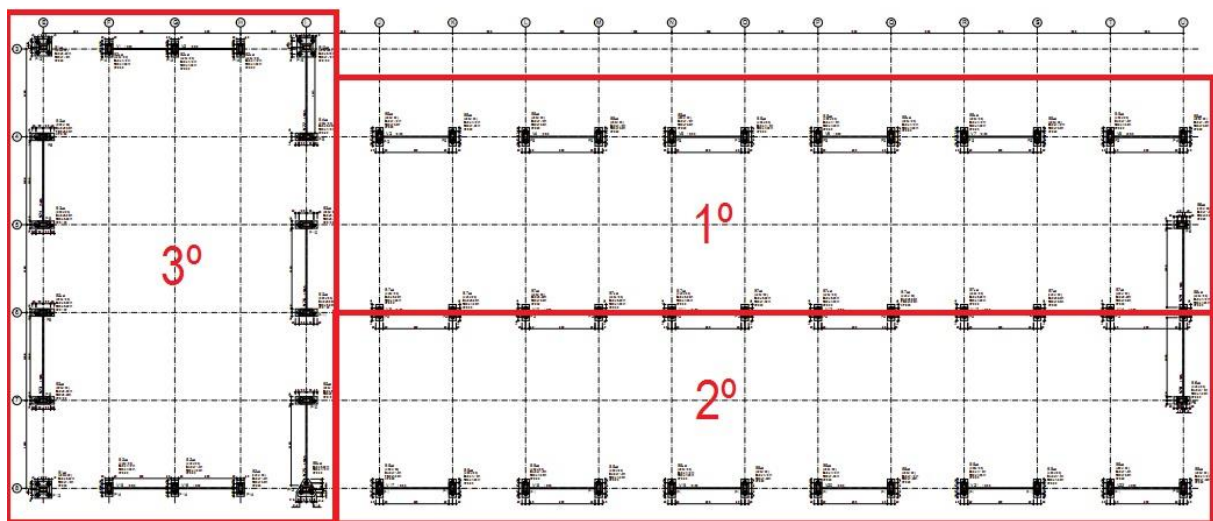
4 DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO

Este capítulo apresenta as etapas seguidas e decisões tomadas para a elaboração do PSP com base na pesquisa bibliográfica.

4.1 PLANO DE ATAQUE EXISTENTE DA OBRA

O plano de ataque definido na obra pelos engenheiros se baseou na divisão do pavilhão industrial em três zonas com tamanhos similares. O sequenciamento de execução destas zonas priorizou aquelas que seriam destinadas às linhas de corte da fábrica. Na Figura 6 estas zonas estão ilustradas e a sua seqüência de execução está ordenada pelos números.

Figura 6 - Plano de ataque definido pelos engenheiros da obra



Fonte: construtora

4.2 ELABORAÇÃO DO PROJETO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO

A elaboração do PSP utilizou parte do escopo de decisões sugerido por Schramm (2004) e as diretrizes de Reck *et al.*(2020). Desta forma, o escopo de decisões de Schramm não foi

exatamente replicado na elaboração do PSP deste estudo, mas foi adaptado de acordo com as especificidades da obra analisada.

4.2.1 Principais condicionantes

Algumas condicionantes do projeto limitam as decisões tomadas ao longo da elaboração do PSP, por isso é importante que elas sejam identificadas desde cedo para que sejam levadas em conta. A seguir são apresentadas as condicionantes relacionadas à duração da obra, ao acesso, ao sequenciamento de atividades e às etapas da obra com data de conclusão pré-definida:

- a) duração da obra: junho de 2021 até maio de 2022;
- b) acesso: a obra não apresenta restrições em relação ao acesso de pessoas e veículos. Por se tratar de uma obra em um terreno grande e rural, a movimentação aos arredores é baixa e as opções de acesso possibilitam a entrada e saída desde veículos pequenos até veículos grandes;
- c) sequenciamento de atividades: no pavilhão industrial, a cobertura deverá ser executada antes do piso. O acesso do equipamento que instalará a cobertura seria impossibilitado caso o piso já estivesse executado;
- d) etapas da obra com data de conclusão pré-definida: no pavilhão industrial, o piso das bases das máquinas deve estar totalmente executado até 31 de dezembro de 2021 para que se iniciem as instalações das máquinas em janeiro de 2022. Esta é uma restrição imposta pelo cliente.

4.2.2 Divisão do pavilhão industrial

O PSP desenvolvido neste estudo usou mais de uma forma de divisão do pavilhão industrial. Isso foi necessário, visto que a execução do pavilhão envolve várias atividades.

Atividades, estas, que, muitas vezes, fluem e se distribuem de maneira diferente dentro do canteiro de obras. Por isso, foi necessário trabalhar com três tipos de divisão da obra: em etapas, em lotes de produção e em zonas. Estas estruturas de divisão são baseadas em localização. A divisão em etapas se baseou nas etapas da obra que devem ser concluídas até a data pré-definida pelo cliente. A divisão em lotes de produção criou áreas menores dentro das delimitações da divisão em etapas. E, por fim, a divisão em zonas, cujas delimitações destoam das delimitações das divisões mencionadas anteriormente. O intuito da divisão em zonas foi atender ao fluxo de trabalho diferente de algumas atividades.

Cada tipo de divisão tem o seu pacote de atividades que foram consideradas para determinar as delimitações. A seguir, as escolhas envolvendo estas divisões serão explicadas.

4.2.2.1 Divisão em etapas

A primeira divisão realizada corresponde à divisão do pavilhão industrial em etapas, que teve como influência direta o tempo. Esta primeira divisão teve como critério a restrição de que o piso das bases das máquinas deve estar executado até 31 de dezembro de 2021, para que em janeiro de 2022, ocorra a entrada e instalação das máquinas sobre ele. A região condizente com as Etapa 1 abrigará máquinas, pois faz parte das linhas de corte de metal da fábrica. Já as regiões condizentes com a Etapa 2 e Etapa 3 não abrigarão máquinas. Sabendo disso, fez-se esta divisão em etapas de forma a delimitar a região que obrigatoriamente deveria estar com o piso finalizado para que a instalação das máquinas fosse possibilitada em janeiro de 2022, este é o caso da Etapa 1. A região da Etapa 2 e Etapa 3 não influenciam a instalação das máquinas, por isso elas não serão prioridade.

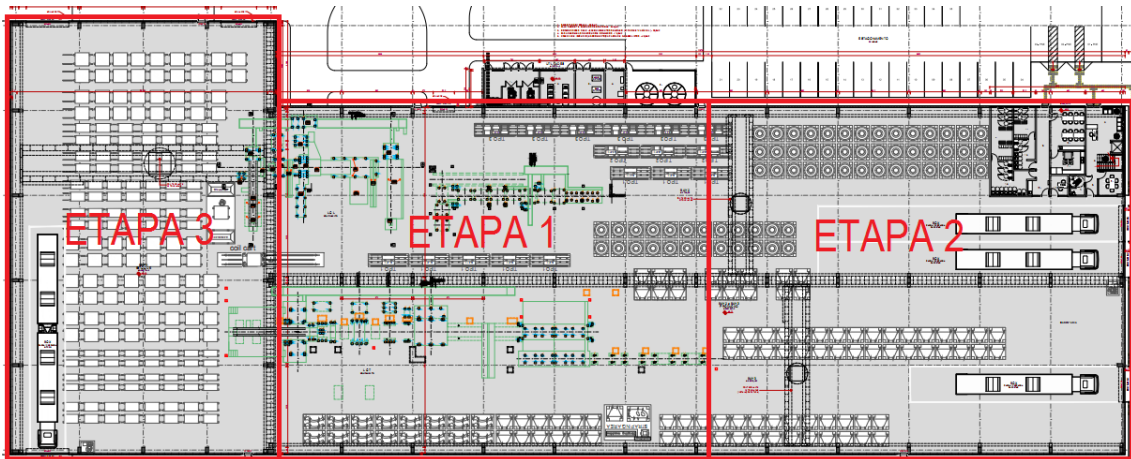
Além disso, estas regiões foram delimitadas com área em metro quadrado de piso similar, procurando garantir quantidades de trabalho semelhantes entre as regiões. O pacote de atividades consideradas nesta divisão foi: terraplenagem, fundações e concretagem do piso do pavilhão industrial. Com isso, criaram-se etapas com quantidades similares de volume de terra, número de estacas e área em metro quadrado de piso, como pode ser verificado na Tabela 2. Na Figura 7 estão representadas as delimitações da divisão em etapas.

Tabela 2- Número de estacas e área por etapa

Etapa	Estacas	Área (m ²)
1	36	2708,65
2	40	2708,65
3	43	2298,75

Fonte: autoria própria

Figura 7 - Divisão do pavilhão industrial em etapas



Fonte: construtora

Descrição de cada etapa do pavilhão industrial:

- etapa 1: região do meio do pavilhão onde serão instaladas as máquinas das linhas de produção da fábrica;
- etapa 2: região da extrema direita do pavilhão que será um local de entrada de caminhões e onde será feito o prédio administrativo;
- etapa 3: região da extrema esquerda do pavilhão que será destinada a estoque.

4.2.2.2 Divisão em lote de produção

Nas obras que utilizam estruturas de concreto pré-fabricadas, como é o caso da obra deste estudo, a divisão deve definir lotes relativamente pequenos que tenham certo grau de repetição (BULHÕES, 2009). Em lotes pequenos, o processo de montagem puxa a fabricação

e a entrega dos elementos na obra, desta forma, reduz-se o trabalho em progresso. (BULHÕES; PICCHI; FOLCH, 2006; BATAGLIN *et al.*, 2018; BORTOLINI; FORMOSO; VIANA, 2019).

Work in progress ou trabalho em progresso se refere aquelas atividades que foram iniciadas, mas ainda não foram concluídas, ou seja, é o volume de produtos ou serviços inacabados (ISATTO *et al.*, 2000). O trabalho em progresso não é interessante para os sistemas de produção, principalmente para os sistemas de produção utilizados na construção civil, porque uma atividade que fica em execução por muito tempo gera um excesso de gastos com mão de obra e equipamentos. Tempos de trabalho em progresso muito longos podem indicar falta de organização e dificuldade na execução das tarefas (TECHLISE, 2020). Uma forma eficaz de reduzir o trabalho em progresso é diminuir o tamanho do lote de produção. Esta prática contribui para a redução do tempo de ciclo (HOPP; SPEARMAN, 2004), que acaba fornecendo uma retroalimentação com mais frequência e ajuda a identificar problemas rapidamente, possibilitando uma rápida resposta com a implementação de melhorias (BALLARD; HARPER; ZABELLE, 2003).

É necessária a definição de pontos de confirmação na produção dos elementos em relação à fabricação e entrega, visto que estes processos devem estar alinhados com a execução no canteiro de obras. Ainda assim, o canteiro de obras é comumente marcado por incertezas relacionadas a indefinições de projeto e mudanças de estratégia, (VIANA, 2015; BATAGLIN *et al.*, 2018). Por isso, é interessante aplicar a definição de produção puxada proposta por Hopp e Spearman (2004), em que um processo é liberado para começar de acordo com o status do sistema, e não conforme a demanda do cliente final.

As obras industriais apresentam características diferentes das obras de edificações residenciais que devem ser levadas em consideração ao definir a sua divisão em lotes. As obras industriais não apresentam uma unidade repetitiva naturalmente definida, como um apartamento, uma casa ou um pavimento. Em função disso, a divisão em lotes deve considerar a capacidade das equipes de montagem, a capacidade de produção da fábrica e a logística de entrega dos elementos (BATAGLIN *et al.*, 2018).

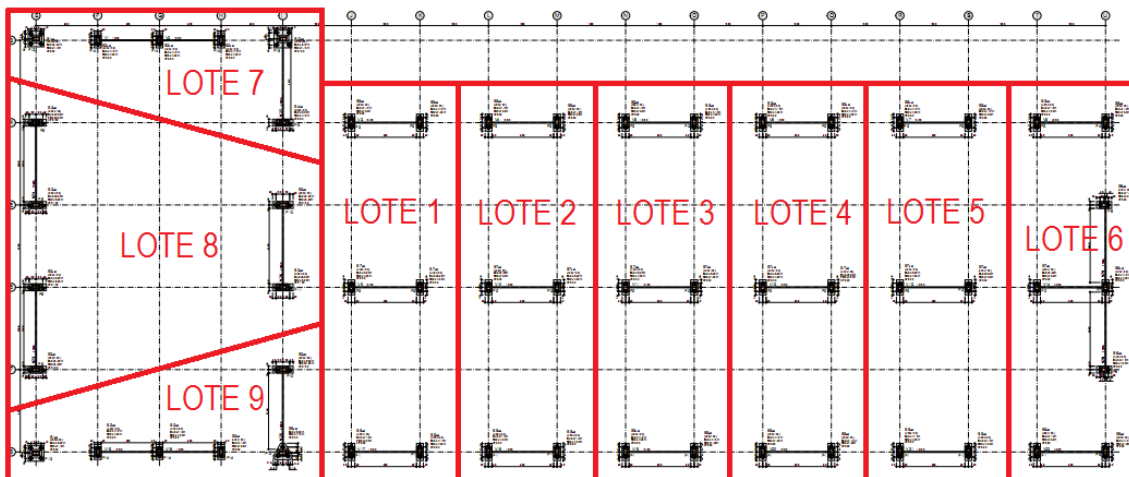
Reck *et al.* (2020) propõe diretrizes para a definição de lotes de montagem de sistema pré-fabricados de concreto. A primeira diretriz apresentada é:

“Realizar uma primeira definição dos lotes utilizando representações esquemáticas dos lotes em planta baixa e uma planilha de mapeamento de peças. Assim, é estimada a produtividade de montagem por lote e a quantidade de peças por lote.”

Para a análise e representação esquemática dos lotes de produção, foi utilizada a planta baixa de formas do pavilhão industrial, já que nele os elementos pré-fabricados de concreto, que estão sendo a base para a definição dos lotes, estão bem visíveis. A divisão definida, apresentada na Figura 8, procurou criar lotes com tamanhos similares e quantidades de trabalho semelhantes. O resultado foram lotes com áreas por metro quadrado e quantidade de peças parecidas (Tabela 3). A divisão em lotes com tamanhos similares e quantidades de trabalho semelhantes cria uma ideia de repetição e ciclo de produção, o que permite estabelecer um ritmo e favorece a curva de aprendizagem.

Quando estes lotes são pequenos, eles permitem uma liberação mais rápida do início de atividades sucessoras. Além disso, áreas menores possibilitam um maior controle do andamento das atividades, o que permite que ritmos mais lentos do que o planejado sejam identificados rapidamente, possibilitando uma resposta rápida ao desvio.

Figura 8 - Divisão do pavilhão industrial em lotes



Fonte: construtora

O Lote 8 é o único lote com uma área em metro quadrado bem superior à área da maioria dos lotes, entretanto a similaridade entre a quantidade de peças do Lote 8 com os demais foi mantida.

Tabela 3 - Número de blocos de fundação, vigas de fundação e pilares por lote

Lote	Blocos de fundação	Vigas de fundação	Pilares
1	6	3	6
2	6	3	6
3	6	3	6
4	6	3	6

5	6	3	6
6	8	5	8
7	6	3	6
8	6	3	6
9	6	3	6

Fonte: autoria própria

Como mencionado anteriormente, percebeu-se durante esta etapa do PSP que a divisão em lotes não atende bem a todas as atividades envolvidas na execução do pavilhão industrial, isso porque algumas atividades exigem um fluxo de trabalho diferente. Portanto, foi considerado o seguinte pacote de atividades para esta divisão em lotes: escavação e arrasamento de estacas, posicionamento e travamento das formas dos blocos e vigas de fundação, concretagem dos blocos e vigas de fundação, instalação dos pilares pré-fabricados, montagem de formas e armação do piso do pavilhão industrial. Estas atividades contemplam parte das atividades envolvidas na execução do pavilhão industrial.

4.2.2.3 Divisão em zonas

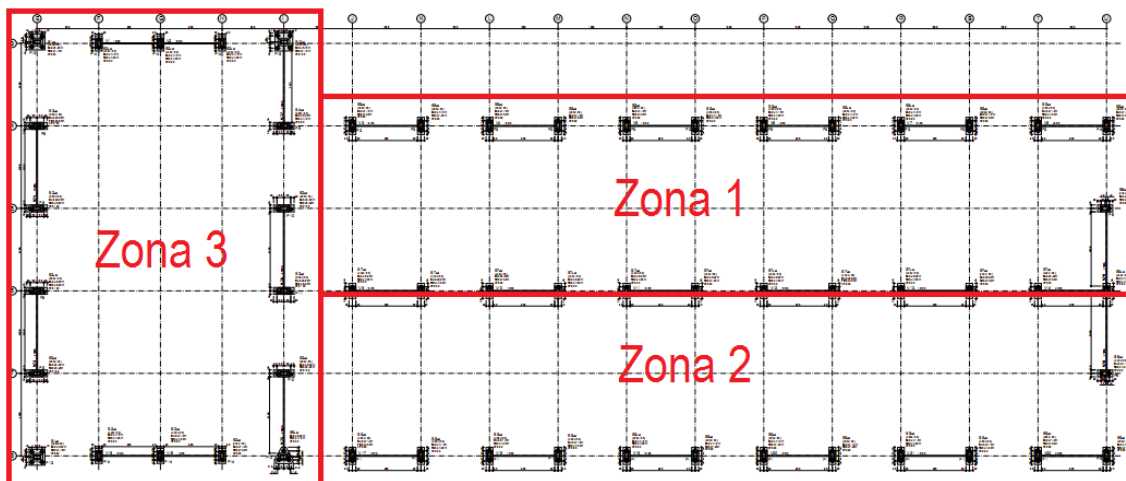
A divisão em zonas considera o seguinte pacote de atividades: montagem da estrutura metálica da cobertura, fechamento da cobertura com telhas, montagem da estrutura metálica da fachada, fechamento da fachada com telhas e instalações elétricas. Esta divisão faz delimitações diferentes das delimitações da divisão por etapas ou da divisão por lotes de produção, isso acontece porque para as atividades envolvidas seguem um fluxo diferente. Para as estruturas metálicas e os fechamentos com telha, fez mais sentido utilizar uma divisão que considerasse as águas da cobertura, isso geraria uma quantidade de trabalho mais parecida dentro das zonas e possibilitaria um plano de ataque mais eficaz (Tabela 4). A cobertura é composta por três águas, cada água possui suas tesouras em estrutura metálica, que são apoiadas nos pilares. A planta baixa da cobertura está apresentada na Figura 9, e a divisão em zonas está apresentada na Figura 10.

Figura 9 - Planta baixa da cobertura do pavilhão industrial



Fonte: construtora

Figura 10 - Divisão do pavilhão industrial em zonas



Fonte: construtora

Tabela 4 - Tesouras metálicas, perímetro de fachada e área por zona

Zona	Tesouras metálicas	Perímetro da fachada (m)	Área (m ²)
1	12	144	2708,65
2	12	144	2708,65
3	6	144	2298,75

Fonte: autoria própria

A Zona 3 possui metade da quantidade de tesouras metálicas que a Zona 1 e a Zona 2, porque foi levado em conta que as tesouras metálicas da Zona 3 são maiores por conta do vão maior entre os pilares que elas se apoiam. Estas tesouras metálicas maiores levam mais tempo para serem montadas, pois são compostas por mais peças, e por serem mais pesadas, levam

mais tempo para serem içadas e instaladas. Estes aspectos foram levados em consideração para que as zonas não tivessem velocidades de produção muito diferentes, por isso foi considerado não só a quantidade de trabalho, mas a densidade de trabalho também.

Para as instalações elétricas, esta divisão também fez mais sentido, uma vez que, analisando o projeto elétrico, as instalações se concentravam dentro destas delimitações. Isso acontece, porque a Zona 1 corresponde à linha de corte longitudinal da fábrica e possui sua própria estrutura de instalações, a Zona 2 corresponde à linha de corte transversal da fábrica e também possui sua própria estrutura de instalações. A Zona 3 é um espaço destinado ao armazenamento de bobinas de metal e possui instalações elétricas diferentes das instalações presentes nas outras zonas. Cada zona do pavilhão tem instalações elétricas específicas para atender suas necessidades. Por isso, esta divisão foi utilizada para esta atividade a fim de garantir maior continuidade ao fluxo de trabalho.

4.2.2.4 Estrutura hierárquica entre as divisões

Definidas as divisões do pavilhão industrial da maneira apresentada anteriormente, obtém-se uma estrutura hierárquica entre eles.

Em primeiro nível, temos o pavilhão industrial como um todo.

Em segundo nível, temos a divisão em etapas, que separa o pavilhão em três áreas, baseadas na presença ou não de linhas de produção da fábrica e em quantidades de trabalho similares.

Em segundo nível, também temos a divisão em zonas de trabalho, os tamanhos das zonas são parecidos com os tamanhos das etapas, entretanto suas delimitações são diferentes. Esta divisão em zonas é específica para as atividades que seguem um fluxo de trabalho diferente.

Em terceiro nível, tem-se a divisão das etapas em lotes de produção, necessária para a elaboração de um plano de ataque mais ordenado e para um melhor controle do andamento das atividades durante a execução da obra.

Na Figura 11 é possível visualizar a hierarquia entre os diferentes níveis de divisão.

Figura 11 - Estrutura hierárquica entre os níveis de divisão do pavilhão industrial

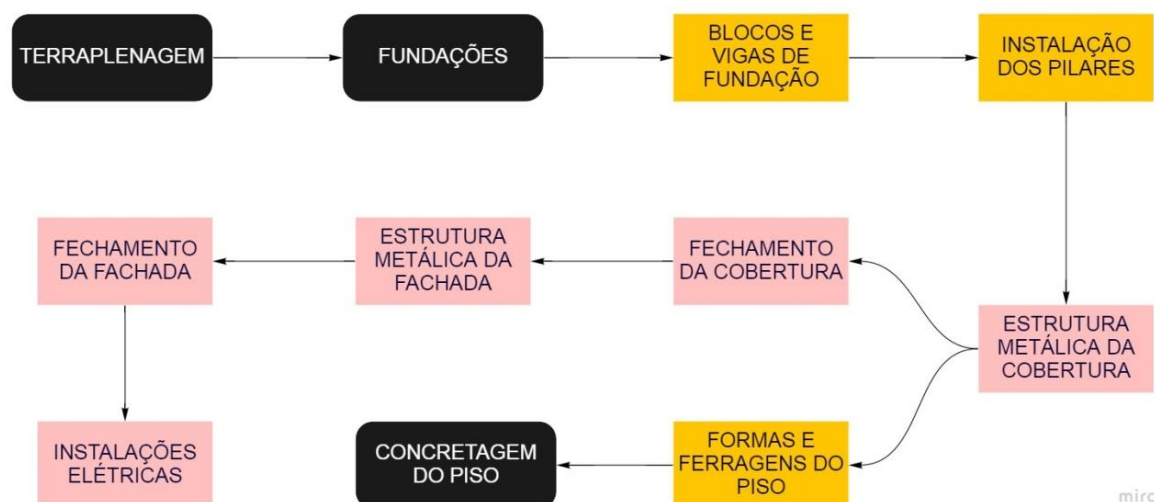
Nível 1	Pavilhão industrial						
Nível 2	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3		Zona 1	Zona 2	Zona 3
Nível 3	L1, L2, L3	L4, L5, L6	L7, L8, L9				

Fonte: autoria própria

4.2.3 Sequência de execução nos lotes de produção

A sequência de execução do pavilhão industrial foi definida com base na precedência entre as atividades da obra. Estas precedências consideram as dependências que existem entre os serviços, por exemplo, para que a estrutura metálica da cobertura seja instalada, os pilares pré-fabricados de concreto precisam estar instalados, uma vez que servem de apoio para as tesouras do telhado. Schramm (2004) propõe que esta sequência de execução seja definida para a unidade base do empreendimento, entretanto, o fato da obra de estudo ser industrial, resulta na inexistência natural de uma unidade base repetitiva. Por isso, escolheu-se fazer este sequenciamento para o lote de produção, que corresponde à divisão com menores tamanhos e menor hierarquia. O sequenciamento das atividades pode ser visualizado na Figura 12.

Figura 12 - Fluxograma do sequenciamento de atividades



Fonte: autoria própria

No diagrama, a cor preta identifica as atividades pertencentes ao pacote de atividades da divisão em etapas, a cor amarela, ao pacote de atividades da divisão em lotes de produção e a cor rosa, ao pacote de atividades da divisão em zonas.

É importante ressaltar, como se pode observar no diagrama, que a estrutura metálica da cobertura deve terminar antes que as atividades relacionadas ao piso do pavilhão industrial iniciem. Isso é necessário devido à impossibilidade do acesso do caminhão *munk* que instala a estrutura metálica da cobertura caso o piso de concreto armado esteja sendo executado ou já esteja executado. Esta foi uma das condicionantes identificadas anteriormente.

4.2.4 Pré-dimensionamento da capacidade de recursos de produção

O pré-dimensionamento foi elaborado com base nas equipes e equipamentos que foram observados em obra. Os engenheiros responsáveis também foram consultados para garantir que o pré-dimensionamento não se distanciasse da realidade. O prazo da obra foi uma restrição importantíssima a ser considerada nesta etapa do PSP, já que a capacidade de recursos de produção dita o ritmo de produtividade e os tempos de ciclo da obra. Estes ambos fatores acarretarão no tempo de duração da obra, que não pode ser maior que o prazo estabelecido pelo cliente. A Tabela 5 mostra o pré-dimensionamento de recursos detalhado.

Tabela 5 - Pré-dimensionamento de recursos

PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE RECURSOS								
Sequência	Atividade	Duração	Mão de obra	Equipamentos	Produção	Precedente	Tempo ciclo	
01	Terraplenagens							
	Supressão vegetal	3 dias	1 Funcionário	1 Motosserra	1 Etapa		1 dia/etapa	
	Decapagem do terreno	15 dias		2 Escavadeira + 2 Caminhão caçamba	1 Etapa		5 dias/etapa	
	Cortes e aterros	21 dias		2 Escavadeira + 2 Retroescavadeira + 2 Caminhão caçamba + 2 Rolo compactador	1 Etapa		7 dias/etapa	
02	Fundações					01		
	Estacas hélice contínua	9 dias	5 Funcionários + 5 Operadores	1 Perfuratriz hélice contínua	1 Etapa		3 dias/etapa	
03	Fosso					01		
	Estacas raiz	9 dias	5 Operadores	1 Perfuratriz estaca raiz + 1 Compressor	-		-	
	Escavação	5 dias	3 Funcionários	1 Escavadeira + 1 Mini escavadeira	-		-	
	Concretagem	4 dias	4 Funcionários		-		-	
04	Blocos e vigas de fundação					02		
	Escavação e arrasamento de estacas	18 dias	6 Funcionários	3 Martelos rompedores + 1 Retroescavadeira	1 Lote		2 dias/lote	
	Posicionamento e travamento de formas	18 dias	4 Funcionários	1 Compactador de solo + 1 Retroescavadeira	1 Lote		2 dias/lote	
	Concretagem	18 dias	4 Funcionários	1 Vibrador com mangote	1 Lote		2 dias/lote	
05	Supraestrutura					04		
	Instalação dos pilares pré-fabricados	18 dias	5 Funcionários	1 Betoneira + 1 Guindaste	1 Lote		2 dia/lote	
06	Cobertura					05		
	Estrutura metálica	18 dias	6 Funcionários	1 Caminhão munk + 1 PTA	1 Zona		6 dias/zona	
	Telhas	6 dias	6 Funcionários	1 Guindaste	1 Zona		2 dia/zona	
07	Piso em concreto armado					06		
	Preparação da base	9 dias	5 Funcionários	1 Retroescavadeira + 1 Placa compactadora	1 Lote		1 dias/lote	
	Formas	27 dias	5 Carpinteiros		1 Lote		3 dias/lote	
	Ferragens	37 dias	3 Ferreiros		1 Lote		3 dias/lote	
	Concretagem	6 dias	5 Funcionários		1 Etapa		2 dias/etapa	
08	Fechamentos laterais					07		
	Estrutura metálica	18 dias	6 Funcionários	1 Caminhão munk	1 Zona		6 dias/zona	
	Telhas	6 dias	6 Funcionários	1 Caminhão munk	1 Zona		2 dia/zona	
09	Instalações Elétricas					08		
	Infra subterrânea	9 dias	4 Funcionários		1 Lote		1 dia/lote	
	Infra aérea	18 dias	4 Funcionários		1 Lote		6 dias/zona	
	Fiação	18 dias	4 Funcionários		1 Lote		6 dias/zona	

Fonte: autoria própria

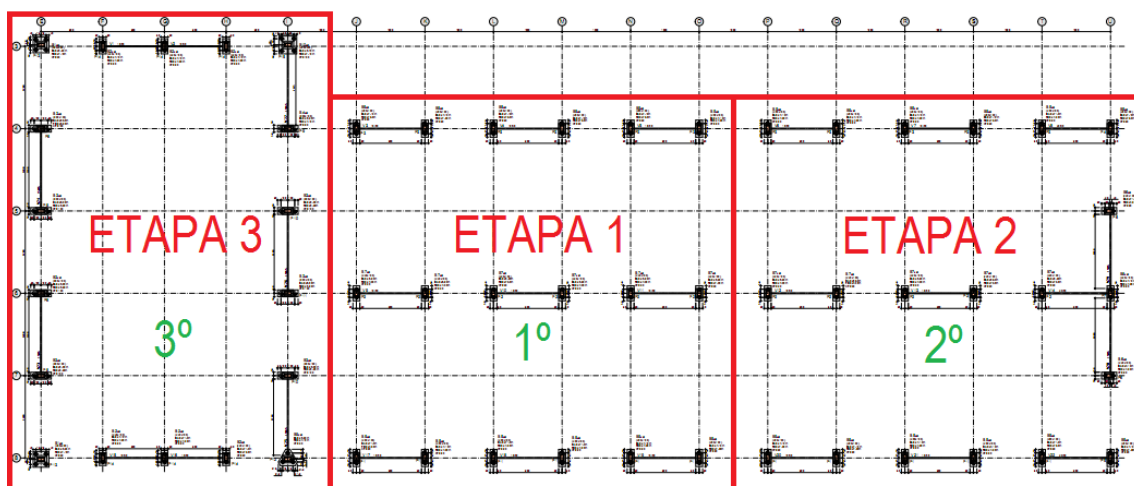
4.2.5 Plano de ataque

O plano de ataque se refere à sequência que as etapas, lotes de produção e zonas serão executadas.

4.2.5.1 Etapas

O plano de ataque das etapas considera a restrição de que o piso das bases das máquinas deve estar executado até final de dezembro para que no início de janeiro comece a instalação das máquinas. Ciente disso, é prioridade executar o piso da Etapa 1, que abrange a região de linhas de corte de metal onde haverá máquinas. A Etapa 2 será feita em seguida, mas não influencia na instalação das máquinas. A Etapa 3 foi deixada por último, pois é uma área destinada a estoque de bobinas metálicas, e a sua execução também não influencia na instalação das máquinas. O plano de ataque seguirá a ordem numérica com que as etapas estão identificadas, como se pode ver na Figura 13.

Figura 13- Plano de ataque das etapas

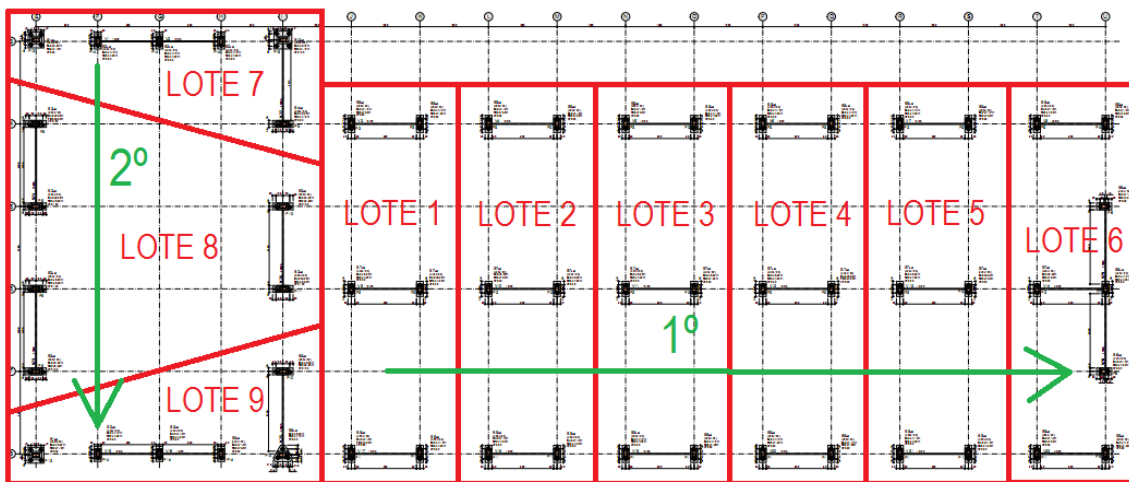


Fonte: construtora

4.2.5.2 Lotes de produção

O plano de ataque dos lotes de produção foi definido com base na liberação das áreas das etapas, por isso o sequenciamento de execução dos lotes fluirá na mesma direção que o sequenciamento das etapas e, além disso, possibilitará o plano de ataque das zonas de trabalho. A sequência segue a ordem numérica dos lotes de produção e está representada na Figura 14.

Figura 14 - Plano de ataque dos lotes



Fonte: construtora

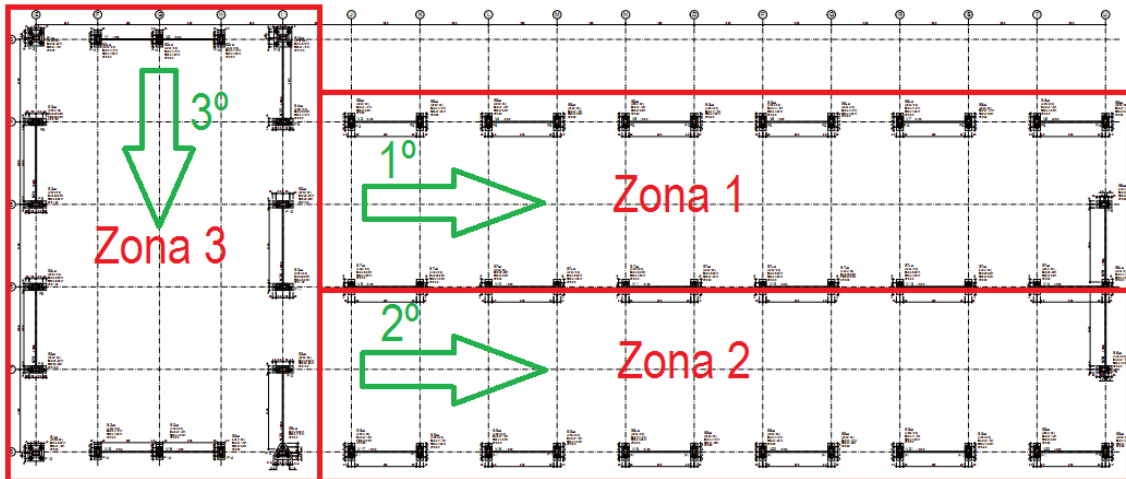
4.2.5.3 Zonas

O plano de ataque das zonas foi elaborado com base no plano de ataque das etapas. A sequência de execução das zonas precisa acatar a prioridade das regiões onde serão instaladas máquinas. Além disso, deve-se permitir a sequência de execução dos lotes de produção, de forma que as atividades correspondentes às zonas não atrapalhem as atividades correspondentes aos lotes de produção.

A água da cobertura correspondente a Zona 3 se sobrepõe aos dois planos da cobertura correspondente as Zonas 1 e 2, com o intuito de evitar que esta sobreposição atrapalhe a montagem da cobertura, foi decidido começar pelas águas da cobertura correspondentes às Zonas 1 e 2, que são mais baixas. Nas Zonas 1 e 2, a empresa terceirizada, responsável pela montagem da cobertura, impôs a condição de que o fechamento que será feito com telha zipada deve ser

realizado da esquerda para a direita, a fim de garantir o encaixe adequado entre as telhas. Com estas informações, elaborou-se o plano de ataque para as zonas de trabalho apresentado na Figura 15, a sequência está indicada pela seta e segue a ordem da numeração das zonas.

Figura 15 - Plano de ataque das zonas



Fonte: construtora

4.2.6 Estudo dos principais fluxos de trabalho

O estudo dos principais fluxos de trabalho foi realizado com a elaboração da linha de balanço, que possibilitou a identificação de interferências entre equipes e equipamentos no mesmo espaço simultaneamente.

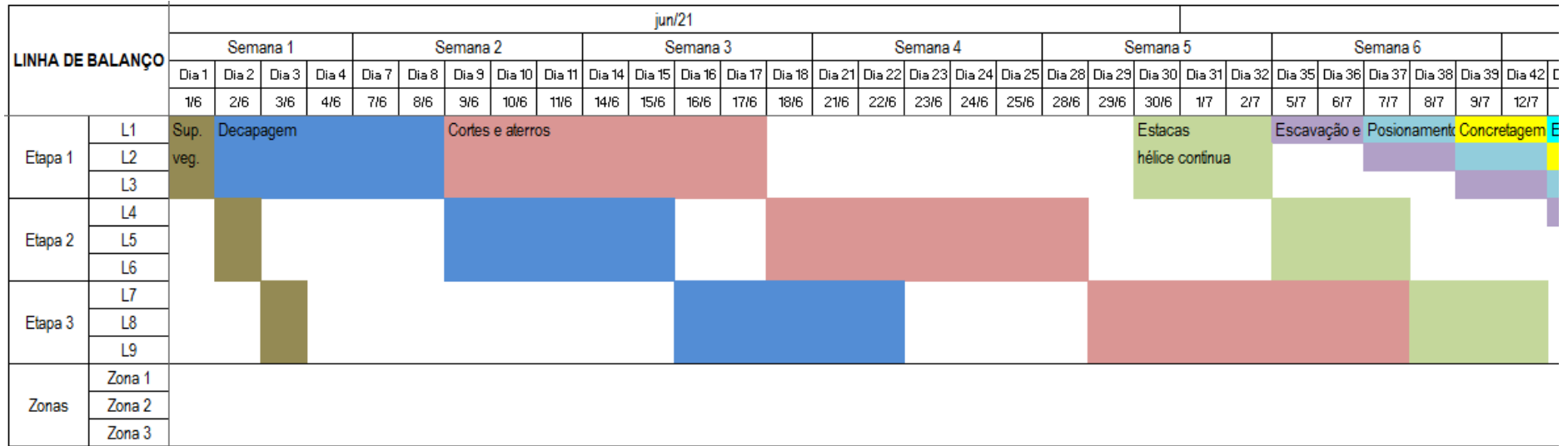
Definidos a sequência de execução e o pré-dimensionamento da capacidade dos recursos de produção, tem-se o pacote de dados de entrada necessários para a elaboração da linha de balanço. Os dados de entrada utilizados para elaborar a linha de balanço foram:

- duração da obra;
- restrições;
- divisão da obra;
- sequência de execução;
- pré-dimensionamento da capacidade de recursos de produção;
- buffers obrigatórios.

4.2.7 Linha de balanço

As quatro primeiras atividades do sequenciamento de execução foram planejadas com base na divisão do pavilhão industrial em etapas. Estas atividades são: supressão vegetal, decapagem do terreno, cortes e aterros do terreno e execução das estacas hélice contínua. As regiões das etapas possuem quantidades de árvores, terra e estacas semelhantes, o que gera uma quantidade de trabalho também semelhante entre elas. A supressão vegetal é a atividade mais rápida entre estas quatro, levando um dia por etapa. Posteriormente à supressão vegetal, aconteceria a decapagem vegetal, que levaria cinco dias por etapa. A próxima atividade corresponde aos cortes e aterros, com duração de sete dias por etapa. Realizadas estas três atividades, a terraplenagem da obra é finalizada. Com isso é possível iniciar a execução das estacas hélice contínua. Esta atividade tem uma duração menor que a atividade anterior, o estaqueamento dura três dias por etapa enquanto os cortes e aterros duram sete dias por etapa, isso significa que estas duas atividades convergiriam caso se mantivesse o sequenciamento e a continuidade do estaqueamento entre etapas. A execução das estacas hélice contínua é realizada por uma empresa terceirizada, e é importante que a execução tenha continuidade entre as etapas para que não exista a entrada e saída da empresa terceirizada repetidas vezes na obra. Considerou-se que o término dos cortes e aterros da Etapa 3 deveria dar início imediato ao estaqueamento desta mesma etapa, garantindo a continuidade desta atividade entre as etapas. Estas atividades estão representadas na linha de balanço na Figura 16.

Figura 16 - Parte 1 da linha de balanço



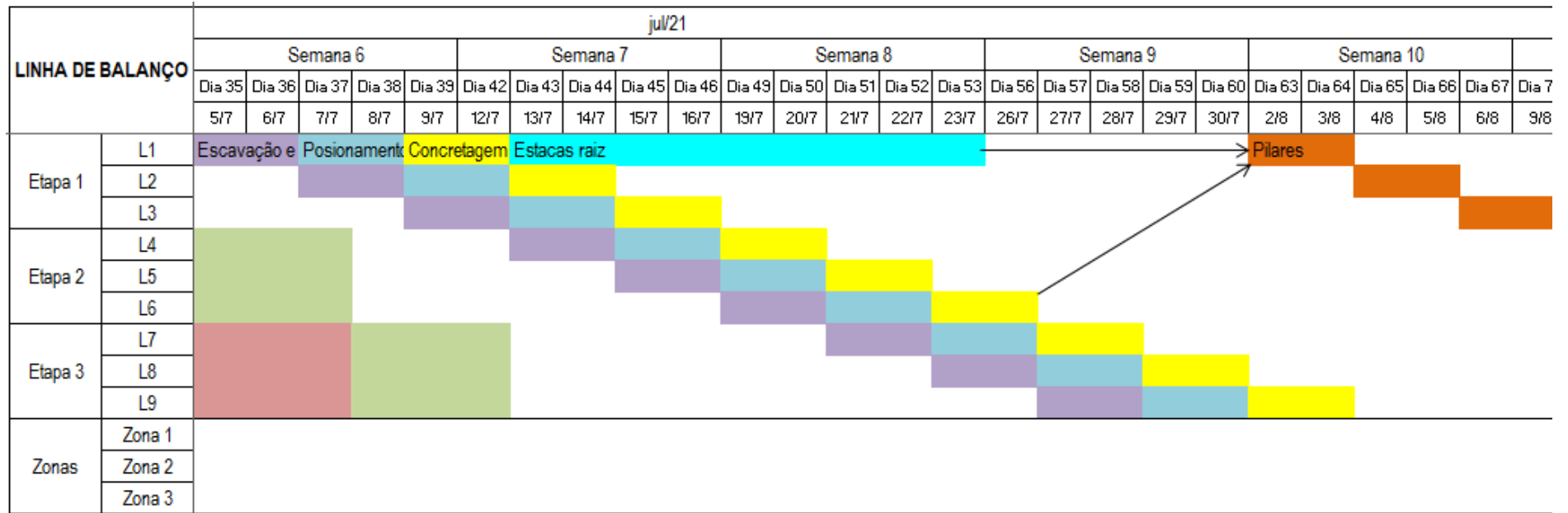
Fonte: autoria própria

As próximas três atividades são parte da execução dos blocos e vigas de fundação, são elas: escavação e arrasamento de estacas, posicionamento e travamento de formas e concretagem dos blocos e vigas de fundação. Estas atividades tem um mesmo tempo de ciclo, dois dias por lote. A divisão em áreas menores proporciona um maior controle da produção e percepção do andamento das atividades, o que nos possibilita agir de forma rápida, criando planos de ação o mais cedo possível caso alguma atividade tenha um ritmo menor do que o planejado (Figura 17).

No Lote 1 acontece uma atividade não recorrente nos outros lotes, que é a execução do fosso de 12 metros. A atividade da execução das estacas raiz deste fosso terá duração de nove dias e iniciará logo após o término da concretagem dos blocos e vigas de fundação do Lote 1 (Figura 17).

O início da instalação dos pilares acontece cinco dias após o término da execução das estacas raiz do fosso. Estas duas atividades utilizam equipamentos de grande porte, o que torna inviável que sejam feitas simultaneamente no mesmo espaço. Um buffer de cinco dias foi colocado entre estas atividades para garantir a cura da argamassa das estacas antes que o guindaste, equipamento utilizado para a instalação dos pilares, gere grandes esforços sobre o terreno onde elas estão situadas. Os blocos e vigas de fundação dos Lotes 1 ao 6 estarão concretados quando a instalação dos pilares começar, o que evita a convergência de equipes, que neste caso é muito importante, já que os equipamentos utilizados exigem uma área de isolamento para operar, a fim de garantir a segurança do trabalho (Figura 17).

Figura 17 - Parte 2 da linha de balanço



Fonte: autoria própria

A escavação do fosso de 12 metros, atividade não recorrente, que acontece somente em parte do Lote 1, iniciará assim que a estrutura metálica da cobertura Zona 1 for finalizada, liberando espaço para o trabalho da escavadeira e mini escavadeira (Figura 18).

Após a escavação do fosso, inicia-se a preparação da base do terreno para o posterior piso de concreto armado. A preparação da base levará um dia por lote. Em seguida serão montadas e posicionadas as formas das vigas do piso, esta atividade durará três dias por lote. Logo após, serão posicionadas as tubulações elétricas subterrâneas, necessárias para o funcionamento das máquinas da fábrica, o que levará um dia por lote. Depois, as ferragens do piso e das vigas serão armadas e posicionadas em seus devidos locais, esta atividade durará quatro dias por lote (Figura 18).

No Lote 1, antes da concretagem do piso, ocorrerá a concretagem do fosso, que levará 4 dias e será iniciado assim as ferragens do piso do Lote 1 estiverem armadas (Figura 18).

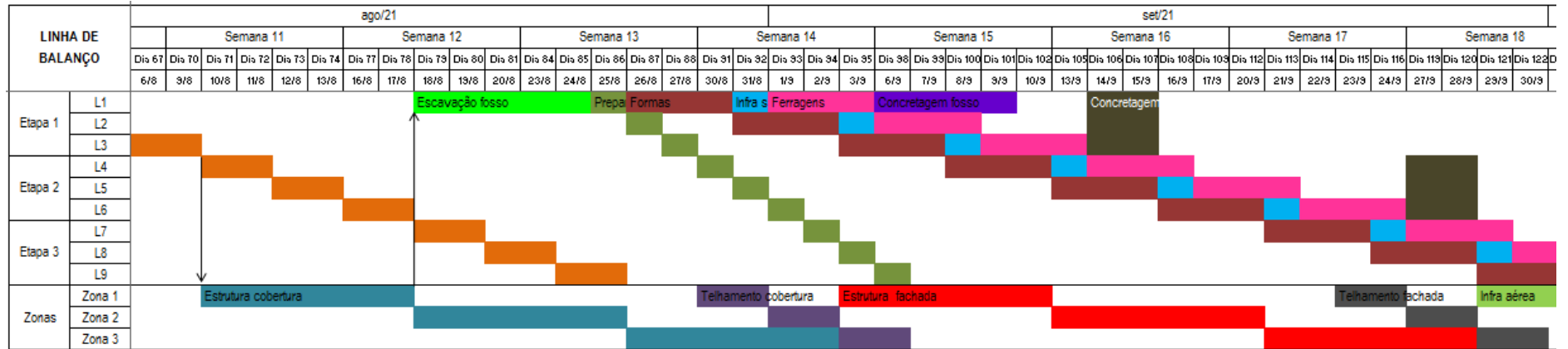
A concretagem do piso será feita com base nas regiões das Etapas, cada etapa só será concretada quando os lotes que a constituem estiverem com as ferragens prontas. A Etapa 1, por exemplo, será concretada quando os Lotes 1 ao 3 estiverem com suas ferragens armadas. Desta forma, a concretagem do piso será realizada em 3 Etapas (Figura 18).

Voltando um pouco na linha de balanço para comentar o fluxo de trabalho na divisão por zonas, quando a instalação dos pilares nos Lotes 1 ao 3 for finalizada, espaço suficiente é liberado para a próxima atividade começar, que é a montagem da estrutura metálica da cobertura, com uma duração de seis dias por zona. Para as atividades que envolvem estruturas metálicas e fechamentos, tanto da cobertura quanto da fachada, foi decido dividir o pavilhão industrial em regiões diferentes que as utilizadas para as atividades até então apresentadas. À vista das atividades que envolvem estruturas metálicas e fechamentos exigirem um plano de ataque diferente para um melhor aproveitamento do tempo, definiu-se uma divisão do pavilhão em zonas de trabalho que correspondem às águas do telhado. A estrutura metálica da cobertura da Zona 1 iniciará após o término da instalação dos pilares dos Lotes 1 ao 3 (Figura 18).

O fechamento da cobertura com telhas tem uma duração por zona menor que a montagem e instalação da estrutura metálica, que é de dois dias por zona. Em função disso, esta atividade foi estabelecida da frente para trás, quando a estrutura metálica da Zona 3 estiver pronta, o fechamento desta zona deve começar logo em seguida. Com isso, a duração de dois dias por zona foi levado para trás, garantindo a continuidade deste serviço que utiliza equipamentos específicos e cuja desmobilização não é fácil (Figura 18).

Acabado toda a estrutura metálica da cobertura, é possível começar a estrutura metálica da fachada, já que o equipamento necessário, que é um caminhão *munck*, estará liberado. Esta atividade levará seis dias por zona e o fechamento desta estrutura com telha levará dois dias por zona. Como o fechamento é uma atividade mais rápida, ela foi posicionada na linha de balanço da rente para trás, assim como aconteceu com o fechamento da cobertura em relação a sua estrutura metálica (Figura 18).

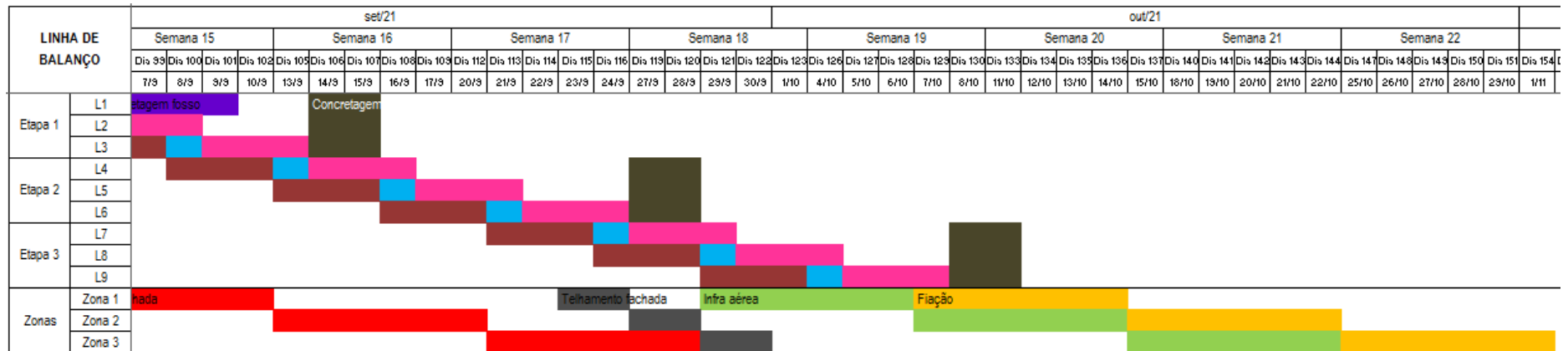
Figura 18 - Parte 3 da linha de balanço



Fonte: autoria própria

Após concretadas as Etapa 1 e Etapa 2, será iniciado a montagem dos dutos aéreos das instalações elétricas. Esta atividade foi planejada com base na divisão por zonas. Esta decisão levou em consideração que a infra-aérea elétrica é uma rede contínua presente em toda a região correspondente às Zonas 1 e 2, por isso, seria interessante iniciar esta atividade somente quando essas regiões estivessem liberadas para que não houvessem descontinuidades no serviço. O início da atividade de fiação acontece após o término da infra-aérea elétrica (Figura 19).

Figura 19 - Parte 4 da linha de balanço



Fonte: autoria própria

Finalizada a linha de balanço, obtém uma data de término do pavilhão industrial no dia 1º de novembro de 2021.

4.2.8 Processos críticos

A atividade crítica identificada neste PSP foi a execução do piso do pavilhão industrial. Esta é uma atividade que pode parecer simples, porém no caso da obra de estudo, o piso de concreto armado é marcado por várias peculiaridades. As linhas de fabricação da indústria exigem diferentes níveis e a alocação de nichos no piso para a posterior instalação das máquinas. Estes níveis e nichos precisam ser posicionados com bastante precisão conforme os projetos para garantir o alinhamento dos eixos das máquinas. Estes detalhes demandam tempo de execução e é este processo precisa ser executado com atenção para evitar retrabalhos. Analisando a linha de balanço, é possível observar que o conjunto de atividades que compõe a execução do piso de concreto forma um processo com um ritmo relativamente lento. Esta é uma característica dos processos críticos, eles são um gargalo na produção. Além disso, é restrição do cliente que o piso esteja pronto até o final de dezembro de 2021 para a viabilização da instalação das máquinas no início de janeiro de 2022.

5 DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este estudo obteve como resultado o PSP de uma obra industrial, mais especificamente de um pavilhão industrial. A elaboração do PSP se mostrou um processo com etapas extremamente iterativas, como afirmado por Schramm (2004). A maneira como o pavilhão industrial foi dividido sofreu diversas alterações até chegar a um consenso. Estas alterações foram motivadas por quantidades de trabalho por lote muito distintas e ritmos de produtividade nos lotes diferentes.

Houve dificuldade em seguir as etapas do escopo de decisões propostas por Schramm (2004) em relação à elaboração do PSP, pois o trabalho do autor se baseia em edificações habitacionais, que se caracterizam por ter uma unidade base naturalmente repetitiva. Para este PSP, bastante tempo foi dedicado à divisão da obra em lotes, com o objetivo de criar repetição e facilitar os fluxos de trabalho. Para a divisão em lotes, baseou-se em algumas das diretrizes para definição de lotes de Reck *et al.* (2020).

A montagem da linha de balanço do pavilhão industrial foi muito importante, pois permitiu a visualização das vantagens de separar a obra em lotes de tamanhos pequenos. Os lotes menores geram tempos de ciclo menores. O tempo de ciclo mais curto permite que o lote esteja apto a receber determinada atividade sucessora em um intervalo de tempo menor. Como consequência, a obra consegue entrar em um ritmo de produtividade mais rápido e o trabalho em progresso é diminuído. Estas pequenas economias de tempo entre lotes geram uma grande economia de tempo para o empreendimento como um todo.

Outro ponto importante é a sincronização dos processos. A fim de que a divisão em lotes pequenos seja realmente vantajosa, é necessário garantir que as atividades que fazem parte dele estejam sincronizadas. A sincronização dos processos gera um fluxo contínuo entre as atividades e evita intervalos ociosos entre as atividades nos lotes. O método utilizado para obter este resultado neste PSP, foi dimensionar as equipes de produção com capacidades semelhantes para gerar ritmos de produção semelhantes entre as atividades.

As atividades de terraplenagem dependem bastante de condições meteorológicas, pois condições meteorológicas não favoráveis dificultam o acesso de veículos pesados, como escavadeiras, retroescavadeiras e caminhões. No planejamento, optou-se por não deixar *buffers* após estas atividades sensíveis ao tempo, o motivo foi para não proporcionar a sensação de segurança que os *buffers* não obrigatórios podem transmitir, induzindo os responsáveis pela

execução a reduzir o ritmo de produção. O resultado foi que estes *buffers* não utilizados ao longo da linha de balanço se acumularam no seu final. Esta é uma recomendação do *Critical Chain Project Management*, um método de planejamento da Teoria das Restrições. Esta filosofia gerencial analisa e controla os sistemas operacionais através do planejamento e controle de produção do conjunto do sistema produtivo, de tal maneira que há uma preocupação maior com o resultado final do sistema produtivo e não com os resultados individuais em cada processo (GLAUCHE, 2005). Apesar de não ser uma filosofia muito alinhada com o *Lean Construction*, a prática de acumular os *buffers* no final da linha de balanço é interessante. Na linha de balanço, a execução do piso do pavilhão industrial está terminando no dia 11 de outubro de 2021, aproximadamente 11 semanas antes da data de conclusão imposta pelo cliente, 31 de dezembro de 2021.

Para que o planejamento seja cumprido, muito mais eficaz que a utilização ou não de *buffers* não obrigatórios entre as atividades é o controle da produção durante a execução da obra, que é indispensável, pois a produção real não segue exatamente a produção planejada (HOPP; SPEARMAN, 1996). A função controle deve ser efetuada em tempo real, de forma que possibilite a realização de ações corretivas enquanto os processos estiverem acontecendo (FORMOSO *et al.*, 1999).

Atualmente, apesar de existirem diversas ferramentas tecnológicas bastante desenvolvidas para auxiliar no gerenciamento de obras, as ferramentas simples utilizadas neste trabalho, como o *Microsoft Excel*, foram suficientes para a elaboração deste PSP. Isso mostra que o PSP é uma prática acessível que pode ser aplicada independentemente da utilização de *softwares* especializados.

A data de término da construção do pavilhão industrial no dia 1º de novembro de 2021, segundo a linha de balanço, indica uma obra dentro do prazo, já que a necessidade para o início de janeiro de 2022 era apenas a execução do piso de concreto estar finalizada.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O PSP é similar ao projeto de uma fábrica. No caso da construção civil, a fábrica é o canteiro de obras. Dentro do PSP são tomadas várias decisões relacionadas à estruturação e organização das atividades de execução do empreendimento, entre elas se podem destacar a definição de lotes de produção, o dimensionamento de recursos e a determinação dos fluxos de trabalho. O PSP é um processo colaborativo que leva em conta as diferentes atividades que acontecerão ao longo da execução da obra, por isso é importante a participação tanto dos engenheiros responsáveis quanto dos empreiteiros encarregados, desta forma, são reunidos diferentes conhecimentos e experiências que contribuirão para a elaboração de um PSP aplicável e efetivo.

A elaboração do PSP é um processo que exige a cooperação de todos os envolvidos na execução da obra. Quanto mais informação e experiência forem utilizadas como conteúdo para a sua elaboração, mais eficácia e aplicabilidade ele terá. O PSP faz uma concepção prévia da obra. Ele exige o conhecimento das principais características do projeto e a visualização da execução deste projeto. A sua elaboração exige um esforço inicial, porém é muito compensatória, pois nos traz uma visão macro da obra, que nos possibilita identificar oportunidades de aprimorar a logística da sua execução.

Na prática, a empresa contratada para executar a obra, apesar de não formalizar o planejamento pré-obra, denominando-o de PSP, utiliza técnicas contempladas por ele, como a divisão da obra em lotes menores, o sequenciamento de atividades e o pré-dimensionamento de recursos. A definição das divisões do PSP deste trabalho procurou seguir delimitações diferentes das definidas pelos engenheiros da obra, pois o intuito deste trabalho é elaborar um PSP, e não apenas replicá-lo. Constatou-se que durante a execução da obra, as estratégias estabelecidas no seu início pelos engenheiros responsáveis sofreram modificações e adaptações por conta de imprevistos, como atraso de materiais, condições meteorológicas não favoráveis e demora na obtenção de licenças ambientais. Este cenário com variáveis e incertezas é comum em obras e exige que as estratégias de execução sejam atualizadas ao longo da obra.

Este trabalho foi desenvolvido com base em um empreendimento industrial com características únicas e condições específicas. As definições do PSP foram diretamente influenciadas por estas peculiaridades e, portanto, não se aplicam a qualquer empreendimento.

Realizado o estudo deste trabalho, abaixo seguem sugestões de estudo para trabalhos futuros:

- a) estimar o impacto do PSP nos custos de uma obra;
- b) implementar o PSP em uma obra e analisar os seus efeitos;
- c) utilizar *softwares* para auxiliar na visualização dos fluxos de trabalho e na elaboração do PSP.

7 REFERÊNCIAS

ALVAREZ, R.; ANTUNES JÚNIOR., J. A. V. Takt-Time: conceitos e contextualização dentro do Sistema Toyota de Produção. **Revista Gestão; Produção**, v. 8, n. 1, p. 1-18, abr. 2001.

ALVES, T.C.L. **Diretrizes para Gestão dos Fluxos Físicos em Canteiros de Obra: proposta baseada em estudo de caso**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 139 páginas, 2000.

BALLARD, G.; HARPER, N.; ZABELLE, T. Learning to see work flow: an application of lean concepts to precast concrete fabrication. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 10, n. 1, p. 6-14, 2003.

BILDSTEN, Louise. Buyer-supplier relationships in industrialized building. **Construction Management and Economics**, v.32 , n.1-2, p.146-159, 2013.

BULHÕES, I. R.; PICCHI, F. A.; FOLCH, A. T. Actions to implement continuous flow in the assembly of pre-fabricated concrete structure. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 14., Santiago, 2006. **Proceedings** [...] Santiago, 2006.

BULHÕES, I.R.; PICCHI, F.A. Diretrizes para a implementação de fluxo contínuo em obras de edificações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 4, p. 205-223, out./dez. 2011.

BURGAN, Bassam A.; SANSOM, Michael R. Sustainable steel construction. **Journal of Constructional Steel Research**, v.62, p.1178-1183, 2006.

CADEIA LOGÍSTICA: EFICÁCIA X EFICIÊNCIA. **Prestex**, 2016. Disponível em: <<https://www.prestex.com.br/blog/eficacia-x-eficiencia-na-cadeia-logistica/>>. Acesso em: 16 de novembro de 2021.

COUTINHO, Thiago, O que é e qual é a importância da cadeia de suprimentos? **Voitto**, 2019. Disponível em: <<https://www.voitto.com.br/blog/artigo/cadeia-de-suprimentos>>. Acesso em 16 de novembro de 2021.

UŠ-BABIČ, N. *et al.* Supply-chain transparency within industrialized construction projects. **Computers in Industry**, v. 65, n. 2, p. 345–353, 2014.

DO BRASIL, Cristina Índio. Indústria do aço volta a ter produção pré-pandemia. **AgênciaBrasil**, 2021. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2021-09/industria-do-aco-volta-ter-producao-no-nivel-pre-pandemia>>. Acesso em: 31 de outubro de 2021.

EASTMAN, C. *et al.* **BIM handbook**: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors. New York: John Wiley; Sons, 2011.

EFICIÊNCIA, EFICÁCIA E EFETIVIDADE: SAIBA QUAIS SÃO OS TRÊS ES DA ADMINISTRAÇÃO E QUAL A DIFERENÇA ENTRE ELES. **Rockcontent**, 2018. Disponível em: <<https://rockcontent.com/br/blog/eficiencia-eficacia-efetividade/>>. Acesso em: 16 de novembro de 2021.

FABRO, F. **Diretrizes para o planejamento e controle da produção em obras de sistemas construtivos metálicos**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 165 páginas. 2012.

FORMOSO, C.T. *et al.* **Termo de referência para o processo de planejamento e controle da produção em empresas construtoras**. São Paulo: SINDUSCON/SP, 1999.

GAITHER, N. **Production and Operations Management: a problem-solving and decision-making approach**. Hinsdale: Dryden, 1980.

GAITHER, N.; FRAZIER, G. **Administração da Produção e Operações**. 8 ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2001.

GAYER, B.D. **Método de avaliação do uso de sistemas de produção enxuta**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 151 páginas. 2019.

GLAUCHE, R.W. **Diretrizes para identificação de gargalos em processos de produção de obras de construção civil residenciais**. Trabalho de Conclusão de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 127 páginas. 2005.

HICKS, C.; MCGOVERN, T.; EARL, C. Supply chain management: a strategic issue in engineer to order manufacturing. **International Journal of Production Economics**, v. 65, n. 2, p. 179–190, 2000.

HOPP, W.; SPEARMAN, M. **Factory Physics: foundation of manufacturing management**. Boston: McGraw-Hill, 1996.

HOPP, W.J. E SPEARMAN, M.L. To pull or not to pull: what is the question? Manufacturing; service operations management. **INFORMS**, Maryland, v. 6, n. 2, p. 133-128, 2004.

ISATTO, E.L.; FORMOSO, C.T.; CESARE, C.M.de; HIROTA, E.H.; ALVES, T. da C.L. **Lean construction: diretrizes e ferramentas para o controle de perdas na Construção Civil**. 1 ed. Porto Alegre: SEBRAE, 2000.

KENLEY, R.; SEPPÄNEN, O. **Location-based management for construction: planning, scheduling and control**. London: Spon Press, 2010.

KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to construction**. Technical Report. Stanford: Centre of Integrated Facility Engineering, 75 páginas, 1992.

LESSING, J.; STEHN, L.; EKHOLM, A. Industrialised housing: definition and categorization of the concept. In: INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION CONFERENCE, 13., Sydney, 2005. **Proceedings [...]** Sydney, 2005.

LIKER, J. K.; MEIER, D. **O Modelo Toyota**: manual de aplicação. Porto Alegre, Bookman, 2007. 432 p.

OHNO, T. **Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production**. 1 ed. Cambridge: Productivity Press, 1988.

OLIVEIRA, A. B. F.; SOUZA, H. A. de. Sistemas construtivos industrializados nos cursos de graduação em arquitetura e engenharia civil do Brasil. **Revista de Ensino de Engenharia**, Ouro Preto, v. 34, n. 2, p. 53-60, set. 2014.

PREÇO DO AÇO SOBE COM AUMENTO DA DEMANDA E BAIXA OFERTA. **EmbTec**, 2021. Disponível em: <https://www.embtec.com.br/br/noticias/interna/preco-do-aco-sobe-com-o-aumento-da-demanda-e-baixa-oferta-162?rdst_srcid=2222489>. Acesso em: 31 de outubro de 2021.

PREÇOS RECORDES DÃO NOVA VIDA À INDÚSTRIA DO AÇO. **InfoMoney**, 2021. Disponível em: <<https://www.infomoney.com.br/mercados/precos-records-dao-nova-vida-a-industria-do-aco/>>. Acesso em: 31 de outubro de 2021.

RECK, R. H.; BATAGLIN, F. S.; FORMOSO, C. T.; BARTH, K. B.; DIEPENBRUCK, T.; ISATTO, E. L. Diretrizes para a definição de lotes de montagem de sistemas pré-fabricados de concreto do tipo Engineer-to-order. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 20, n. 1, p. 105-127, jan./mar. 2020.

RIBEIRO, Virgílio. **Logística, Sistema Toyota de Produção e Suas Implicações na Construção Civil**. Curitiba: Editora Appris, 2015.

ROTHER, M.; HARRIS, R. **Criando o Fluxo Contínuo**: um guia de ação para gerentes, engenheiros e associados da produção. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2002.

SCHRAMM, F. K.; FORMOSO, C. T. Projeto de sistemas de produção na construção civil empregando simulação no apoio à tomada de decisão. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 15, n. 4, p. 165–182, 2015.

SCHRAMM, F.K. **O projeto do sistema de produção na gestão de empreendimentos habitacionais de interesse social**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 182 páginas. 2004.

SCHRAMM, F.K.; COSTA, D.B.; FORMOSO, C.T. O projeto do sistema de produção na gestão de empreendimentos de interesse social. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 6, n. 2, p. 59-74, abr./jun. 2006.

SHIGAKI, J.S. **Understanding the context for the implementation of Building Information Modelling in engineer-to-order prefabricated building systems**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 180 páginas, 2016.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2002.

SMALLEY, A. The Starting Point for Lean Manufacturing: achieving basic stability. **Management Services**, v. 49, n. 4, p. 8-12, winter 2005.

UMBLE, M.M.; SRIKANTH, M.L. **Synchronous Manufacturing: principles for world-class excellence**. Wallingford: The Spectrum Publishing Company, 1995.

VARGAS, F.B. de; FORMOSO, C.T. Método para planejamento e controle da produção baseado em zonas de trabalho com o apoio de BIM. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 20, n. 1, p. 129-151, jan./mar. 2020.

VIANA, D. D. **Integrated production planning and control model for engineer-to-order prefabricated building systems**. Porto Alegre, 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

VIEIRA, Helio Flavio. **Logística Aplicada à Construção Civil**. São Paulo: Editora Pini, 2006.

WIP: O QUE É E POR QUE USAR? **Techlise**, 2020. Disponível em: <<https://www.techlise.com.br/blog/wip-o-que-e-e-por-que-usar/>>. Acesso em: 06 de novembro de 2021.

YANG, I.; IOANNOU, P. G. Resource-Driven Scheduling for Repetitive Projects: a Pull-System Approach. In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 9., Singapore, 2001. **Proceedings...** Singapore: IGLC, 2001.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

212 p.