

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE CONSTRUÇÃO *LEAN* PARA GESTÃO DE SUPRIMENTOS EM UMA USINA FOTOVOLTAICA DE GRANDE PORTE

1st Amannda Laís Faheina Agra
DET/Mossoró
Universidade Federal Rural do Semi
Árido
Mossoró - RN, Brasil
amanndaagra@gmail.com

2nd Humberto Dionísio de Andrade
DET/Mossoró
Universidade Federal Rural do Semi
Árido
Mossoró - RN, Brasil
humbertodionisio@ufersa.edu.br

3rd Matheus Emanuel Tavares Sousa
Externo a UFRS - PPGECC/UFRRN
Universidade Federal do Rio Grande
do Norte
Natal - RN, Brasil
matheus.sousa@ufersa.edu.br

Resumo— Frente a necessidade de uma maior diversificação da matriz energética brasileira, o investimento na energia solar vem ganhando espaço. Porém, devido a intensa competitividade dentro do mercado da construção de grandes empreendimentos e os constantes desafios de inovação dessa área, a necessidade de reinventar processos se torna constante para apresentação de produtos cada vez mais eficientes, possibilitando a geração de melhores resultados em função de menores custos, tornando seu investimento mais atraente. Dentre os desafios da construção, especialmente as que ocupam grandes áreas, como usinas fotovoltaicas, se destacam os possíveis desperdícios e perdas de materiais, que acarretam despesas excepcionais e atrasos de cronograma. Desta forma, este trabalho apresenta uma aplicação dos princípios de produção enxuta por meio da utilização do *Last Planner System* para aplicar à gestão de materiais, compreendendo horizontes de curto, médio e longo prazo no desenvolvimento de uma usina fotovoltaica no Nordeste do Brasil. Também, além da definição de processos, propõe-se o desenvolvimento de uma ferramenta capaz de sinalizar visualmente possíveis desvios e acompanhar o processo de produção desde a compra de seus materiais até sua aplicação. Desta forma, foi possível verificar os impactos negativos de cronograma e financeiros que podem ser evitados por meio do mapeamento de processos e revisão rotineira de planejamento desde os principais materiais de uma UFV, como módulos fotovoltaicos, até pequenos detalhes de construção, como abraçadeiras de nylon para amarração de cabos.

Palavras-chave—metodologia *lean*, *last planner system*, gestão de suprimentos, construção, usina fotovoltaica

I. INTRODUÇÃO

No ano de 2021, a escassez de chuvas no Brasil e, consequentemente, desabastecimento de água nos reservatórios das hidrelétricas resultam em uma das maiores crises energéticas já vividas nos últimos 91 anos, sendo uma das razões causadoras da crise a alta dependência das usinas hidrelétricas para fornecimento de energia [1]. Desta forma, a diversificação da matriz energética toma um papel importante na prevenção desse tipo de instabilidade nos sistemas de geração, sendo a energia solar uma das grandes apostas de crescimento no país, com um crescimento de oferta interna de energia de 61,5% em 2020 com relação ao ano de 2019 de acordo com o Balanço Nacional Energético

(BEN) emitido pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) em 2021 [2].

Em contrapartida a esta problemática, se faz necessário tornar a geração convencional mais competitiva no mercado para garantir uma maior segurança energética no país. A competitividade na difusão da geração de energia solar fotovoltaica está atrelada diretamente aos desafios da construção e inovação no mercado solar. A cada ano que passa, com o aumento de exigências do mercado, novas tecnologias surgem para tornar os equipamentos como módulos e inversores cada vez mais eficientes, agregando mais valor ao sistema fotovoltaico. Por outro lado, mesmo o investimento em novas tecnologias com a promessa de um retorno financeiro maior pode ser impactado negativamente na construção do empreendimento, uma vez que a falta de uma boa gestão, controle e monitoramento de recursos pode acarretar prejuízos às partes interessadas [3].

O empreendimento fotovoltaico, além de trabalhar com materiais específicos de sua aplicação possui uma configuração horizontal. Assim, estes empreendimentos em grandes potências tendem a possuir uma área maior e, consequentemente, uma maior dificuldade de controle e gestão desses suprimentos uma vez que saem do controle do almoxarifado e vão à campo. Desta forma, o Método *lean* desempenha um papel essencial na área de produção de uma usina fotovoltaica, trazendo resultados a curto, médio e longo prazo. Esses princípios de execução e gestão evidenciam a prevenção de desperdícios, seja em tempo, mão de obra, equipamentos ou suprimentos [4].

Por fim, a execução de grandes projetos sempre acompanha grandes desafios, sendo um desses garantir sua construção assertiva e eficiente não só em sua geração, mas também por meio de uma boa gestão de recursos e processos até a entrega da usina solar, de forma a evitar erros, retrabalhos e prejuízos. Tendo em vista que desvios de produção na área de gestão de materiais, mesmo que pequenos, trazem grandes perdas para uma obra podendo acarretar a paralisação de atividades em campo, este trabalho busca, por meio da filosofia enxuta, evitar o desperdício de materiais, garantindo uma boa gestão dos mesmos, alinhado à utilização de metodologias ágeis como o *Last Planner System* relacionado aos princípios da cadeia de suprimentos. Assim, obtendo como objeto final, uma ferramenta visual de

controle dos processos de aquisição, movimentação e estoque.

II. REFERENCIAL TEÓRICO

A. FILOSOFIA LEAN DE PRODUÇÃO

O conceito *lean* teve seu início na indústria automobilística e possui o intuito de eliminar esforços que não agregam valor em um determinado sistema de produção, por esta razão, também é conhecido como metodologia enxuta de produção [5]. Baseado no Sistema Toyota de Produção (STP), a metodologia *lean* significou um marco na definição e aprimoração de processos quebrando o paradigma da produção em massa, que possui uma estrutura desordenada e, conseqüentemente, de difícil controle e gestão [6].

Por apresentar características voláteis devido a variação de suas especificações de acordo com cada projeto, muitas vezes não seguindo padrões constantes como na manufatura, a área da construção se torna um grande desafio na gestão de processos e recursos [6]. Desta forma, grandes empreendimentos tendem a possuir atrasos no cronograma e não cumprir o orçamento programado, o que afeta também a qualidade final do projeto, ou, em alguns casos em que o orçamento é apertado, a paralisação da obra [7].

Em 1992, Koskela destaca onze princípios que definem um fluxo de produção eficiente, em que ao longo do tempo, esse tipo de pensamento foi ganhando forma e definições que corroboraram com a disseminação e consolidação do pensamento enxuto [6]. Flavio Picchi (2003) destaca em sua pesquisa a comparação entre três visões abordadas em diferentes estudos sobre os princípios da metodologia *lean* de construção, sendo esses, Womack e Jones (1998), Spear e Bowen (1999) e Fujimoto (1999) apresentadas no Quadro 1, a seguir [6].

Womack e Jones (1998)	Spear e Bowen (1999)	Fujimoto (1999)
Valor – Entender o que é valor para o cliente e oferecer maior valor agregado, sem desperdícios.		
Fluxo de Valor – Identificar e eliminar desperdícios ao longo de toda a cadeia de valor, da matéria prima ao cliente final.		
Fluxo – produção em fluxo, estável, sem interrupções	Caminho – todo produto e serviço, deve ser simples e direto. Trabalho – deve ser altamente especificado quanto a conteúdo, sequência, ritmo e saídas.	Capacidade de manufatura rotinizada – forma padronizada de realizar atividades em todos os processos da empresa.
Puxar – produzir somente quando demandado pelo cliente ou processo posterior.	Conexões – todas as comunicações devem ser diretas e sem ambiguidades.	
Perfeição – melhoria contínua através da rápida detecção e solução de problemas na base.	Melhorias – devem ser feitas usando um método científico, nos mais baixos níveis hierárquicos da organização.	Capacidade de aprendizado rotinizado – rotinas para identificação e solução de problemas. Capacidade de aprendizado evolutivo – aprendizado intencional e oportunístico de lidar com mudanças e construir as capacidades rotinizadas de manufatura e aprendizado.

Quadro. 1. Comparação entre princípios STP (Adaptado) [6].

Por fim, é possível observar que o princípio de produção enxuta possui a versatilidade de diferentes abordagens e por esta razão se tornou base para o surgimento de novas ferramentas e aplicações específicas para várias áreas de atuação, sendo uma delas a construção. Neste trabalho, será tomado um maior foco nos princípios abordados por Womack e Jones (1998) que destacam com maior correspondência aos processos determinados na aplicação do *Last Planner System* (LPS) como metodologia de apoio para execução de uma usina solar fotovoltaica, de forma a alinhar os processos estabelecidos com a gestão de suprimentos.

Desta forma, a busca constante em obter um maior controle e eliminar desperdícios na definição de processos, equipamentos, mão de obra e suprimentos utilizados para compor a estrutura final do produto auxiliam na redução de perdas e atrasos no planejamento, minimizando erros e maximizando o valor do produto final, conseqüentemente, tornando-o mais competitivo [5].

B. LAST PLANNER SYSTEM

Na tentativa de tornar o ramo da construção cada vez mais competitivo, em confronto com o desenvolvimento da manufatura, o *Last Planner System* (LPS) busca reduzir desperdícios por meio da eliminação parcial ou completa de variabilidade na execução de um projeto. Como debatido anteriormente, a falta de previsibilidade assertiva em grandes obras por não seguirem padrões globais gera o constante surgimento de novos desafios ou imprevistos a serem solucionados. Como consequência desse fator, o direcionamento de recursos segue a demanda momentânea desses eventos, fazendo necessário que o planejamento seja adaptável e flexível aos acontecimentos de inúmeros cenários possíveis. Para cumprir esse objetivo, o LPS se destaca por padronizar processos e aumentar a previsibilidade de possíveis impactos no cronograma de forma que haja uma constante revisão no planejamento, tornando-o atualizado e mais próximo da realidade de campo [8].

O conceito primordial por trás dessa metodologia está no fato de que seus processos são capazes de atingir além de todas as etapas de um determinado projeto, todos os componentes responsáveis pela composição do produto final, agindo de forma colaborativa de forma a atingir todas as hierarquias. Assim, além do planejamento do ponto de vista macro de seu escopo, seus detalhamentos e pontos finais, mesmo que pequenos, são planejadas e controladas pelas pessoas ligadas diretamente a diversos setores que constituem o resultado entregável, por esta razão, ao pé da letra, a metodologia em questão envolve no processo até “o último planejador” [9]. Como consequência de suas características construtivas como as citadas anteriormente, o *Last Planner System* se transformou na ferramenta *lean* mais utilizada mundialmente no setor da construção [8].

Nos sistemas de planejamento tradicionais tem-se como principal ponto de gestão a verificação do avanço real em comparação ao previsto programado na concepção do projeto, estratégia que não se mostra confiável do ponto de vista de previsibilidade de possíveis desvios e geração de soluções ágeis em torno destes, uma vez que a causa raiz não é encontrada com antecedência [8]. Em contrapartida, o modelo enxuto trazido pelo LPS trata além do previsto e real, a garantia de que o planejado será atingido adicionando ao processo convencional de “*should*” (o que deve ser feito) e “*will*” (realização da tarefa), o controle dos recursos que são

considerados restrições para a realização da atividade por meio da etapa “*can*”, responsável por analisar restrições para garantir que a realização da atividade seja possível [9]. É exatamente nesta etapa que a gestão de suprimentos de uma obra, além de sua compra, se torna um dos principais fatores para o planejamento de construções de grande porte.

Desta forma, os tópicos a seguir retratam etapas construtivas desta ferramenta de produção enxuta que posteriormente serão abordadas em sua aplicabilidade à gestão de recursos materiais, sendo estes o planejamento a longo, médio e curto prazo que atuam como filtros para expor possíveis imprevistos, aumentando a previsibilidade e diminuindo a variabilidade que constitui o processo de construção.

- Planejamento a Longo Prazo

Destinado a alta gerência, o planejamento a longo prazo se trata do planejamento inicial para a construção do empreendimento. Desta forma, leva em consideração os objetivos que devem ser atingidos sem necessariamente atender a níveis muito específicos, gerando uma visão macro do planejamento baseada nos pontos que devem ser atendidos e suas durações base previstas [10,11]. É nesta etapa que é incorporado o princípio *lean* de determinação de valor agregado.

O cronograma físico-financeiro é resultado do orçamento e define as principais datas de entrega das tarefas necessárias, bem como os marcos do projeto. Por mais que não se aprofunde em altos níveis de detalhe, se faz necessário a contribuição de todas as áreas envolvidas na construção do empreendimento, uma vez que este deve conter todo o escopo das atividades de forma a resumir, em entendimento simples, as tarefas que deverão ser realizadas em campo, destacando também suas atividades predecessoras e antecessoras [11,12].

- Planejamento a Médio Prazo

Atuando entre as visões macro e micro, o planejamento a médio prazo se estabelece como pilar importante para a retroalimentação do cronograma físico-financeiro e para adentrar níveis maiores de detalhamento [9, 10]. Por sua vez, este horizonte de planejamento revela possíveis restrições em um futuro próximo para tomada de ações que possam neutralizá-las, consequentemente, baseando o planejamento a curto prazo para que seja de fato exequível, garantindo um fluxo de trabalho contínuo [10]. Desta forma, esta etapa compreende o planejamento puxado e planejamento *look ahead*.

O “*pull planning*”, ou planejamento puxado, é realizado posteriormente à elaboração do cronograma físico-financeiro de acordo com a demanda de entregas, representa o princípio de determinação de fluxo de valor da filosofia de construção enxuta [8]. Como as etapas de construção abordadas no cronograma podem ser consideradas como “pastas” resumos das tarefas necessárias para atingir um determinado objetivo, o planejamento puxado busca esmiuçar estes valores criando um fluxo contínuo de atividades para garantir o cumprimento de entregas acordadas ao cliente [8]. Compreendendo uma visão de em média 3 meses, dependendo do tipo e grandiosidade da obra, o *pull planning*, diferentemente dos métodos tradicionais, é realizado com base na data de

conclusão para trás, determinando não só o fluxo de trabalho, mas também o fluxo de recursos necessários para atendimento do prazo final [8, 10].

Tendo em mãos os recursos necessários, seja ele mão de obra, equipamentos, máquinas ou suprimentos, apontados no planejamento puxado, é necessário revisitar essas etapas ao longo do processo e analisar o possível surgimento de novas restrições para garantir a confiabilidade da execução do fluxo determinado, uma vez que neste ponto, as incertezas são menores [13]. A partir deste conceito temos o planejamento *look ahead* que complementa a etapa anterior no horizonte de semanas, de forma a expor se os recursos reais estão de acordo com o previsto, viabilizando ou não a realização das atividades. Caso contrário, esta etapa é crucial para estabelecimento de ações para evitar a interrupção de atividades e visualizar quais podem ser realizadas para possível diminuição de impactos [14]. Comumente este tipo de evento acontece de forma colaborativa entre todos os setores envolvidos por meio de reuniões que buscam horizonte de observação de 6 semanas, conhecida como 6WLA (*Six Week Look Ahead*) sendo a última oportunidade de alinhamento para solução de imprevistos e eliminação de restrições, representando o princípio de “fluxo” na filosofia *lean* [8].

- Planejamento a Curto Prazo

Após a análise de todas as etapas de planejamento citadas anteriormente temos o fluxo de trabalho, metodologias de execução, e todos os recursos necessários disponíveis para performance em campo sem nenhum tipo de restrição identificada. A partir deste ponto, o planejamento a curto prazo busca tornar real toda a programação desenvolvida, orientando as equipes em campo sobre os próximos passos a serem tomados e atribuições de cada colaborador [10]. Esse tipo de planejamento constitui a visão em um horizonte de até 7 dias, sendo assim, ciclos semanais de programação onde é desenvolvido metas diárias esperadas para cada equipe [10]. A programação semanal representa o princípio “puxar”, onde a atividade é realizada apenas com a sua demanda e certeza de que pode ser executada sem interrupções [8].

Para aplicação do quinto, e último, princípio de construção enxuta desse estudo, representado pela busca à “perfeição” e melhoria contínua do processo, temos as ferramentas de controle e acompanhamento para que seja possível realizar o aprendizado das rotinas de trabalhos definidas previamente. Para esta etapa há inúmeras ferramentas de controle que podem ser utilizadas na identificação de problemas e suas soluções, como o acontecimento de reuniões diárias rápidas de *feedback* e análise de resultados por meio do percentual de planos completos na semana (PPC) [8, 10, 11]. Neste trabalho, será utilizado como base de dados para avanço físico o acompanhamento por EAPs (Estrutura Analítica do Projeto) que tende a gerar indicadores mais precisos e representativos dos avanços reais em campo em comparação ao previsto, garantindo que seu andamento em porcentagem seja checado de acordo com sua atualização [12].

C. GESTÃO DE SUPRIMENTOS

Conforme apresentado anteriormente, o *Last Planner System* garante uma maior previsibilidade de imprevistos que possam interferir na continuidade das atividades realizadas

em campo por trazer uma padronização de processos que possuem estrutura colaborativa, composta pelo alinhamento constante entre vários planejadores de diferentes hierarquias e pontos de vista [14]. A utilização de filtros em três tempos para garantir essas características, assegura uma boa gestão de recursos, estes que vão além de mão de obra e equipamentos e corroboram diretamente na gestão de suprimentos que, por sua vez, é a razão número um de falhas de continuidade de planejamento, conforme apresentado na Figura 1 [14].

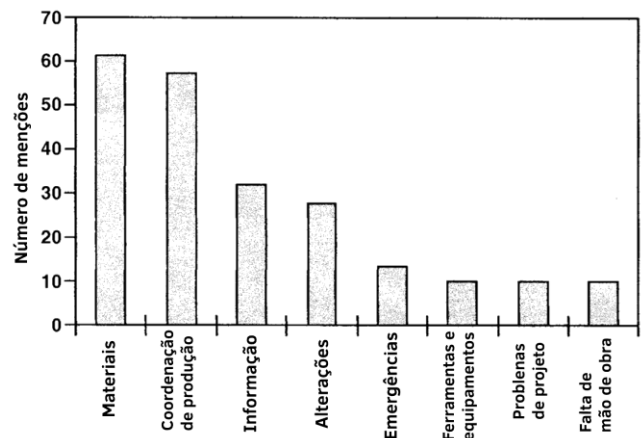


Fig. 1. Razões de atrasos no planejamento (Adaptada) [14].

A má gestão de suprimentos em uma obra acarreta equipes de produção e equipamentos parados, gerando não só atrasos no cronograma, mas também altos custos que podem chegar a ultrapassar a quantidade determinada no orçamento. Desta forma, é relevante destacar a importância dessa estrutura colaborativa e transparente, uma vez que os pontos de atenção estão constantemente alinhados entre as partes interessadas e a detecção de possíveis desvios se torna um dever coletivo [12].

Assim, o “supply chain” ou gerenciamento da “cadeia de suprimentos” engloba a área da logística que busca o lucro máximo por meio da gestão da cadeia de valores atreladas aos suprimentos de uma obra, sendo elas a aquisição, movimentação e estoque [15]. Ao que tange a metodologia de construção enxuta, os principais desperdícios a serem reduzidos são a espera, transporte, defeito, atraso, estoque e produção excessiva [16]. No caso dos desperdícios ligados a aquisição na cadeia de suprimentos, representados por espera, transporte e em alguns casos defeitos, o conhecimento de *lead time* de fabricação e sua possível redução pode oferecer melhorias na programação de compras dos materiais [17].

A definição desse *lead time* para a determinação da data de início ideal para compra de materiais acontece no planejamento a longo prazo, conforme exemplo apresentado na Figura 2. A elaboração de um plano mais detalhado de compra e fornecimento do material até a obra ocorre nas etapas referentes ao planejamento em médio prazo, como o planejamento puxado [12].

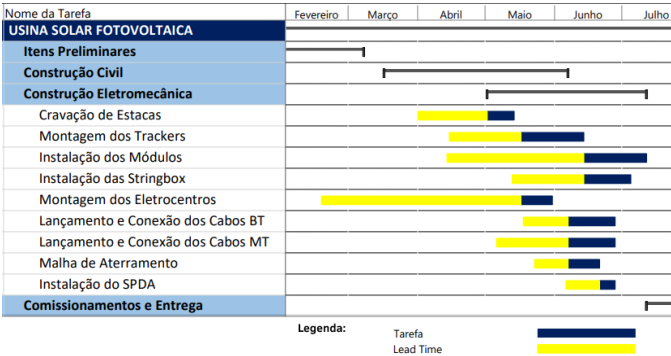


Fig. 2. Exemplo de cronograma de aquisição de materiais.

Desta forma, tem-se um modelo base de cronograma onde é possível observar a programação da aquisição de materiais sendo projetada de acordo com o tempo previsto da compra até chegada em obra, representado pelas barras amarelas. Neste exemplo, o cronograma se apresenta ilustrativo para visualização da estrutura temporal necessária para esse tipo de planejamento, uma vez que em obras de grande porte normalmente se tem uma divisão por setores, então suprimentos previstos em grandes quantidades, como por exemplo módulos fotovoltaicos, tendem a ser recebidos também em paralelo com as atividades, respeitando os princípios básicos do estoque zero, mantendo um fluxo saudável de entrada e saída de materiais.

Por fim, a aquisição desses materiais só acontece no momento correto e na quantidade necessária de acordo com a demanda de construção, baseando-se no método *just-in-time*. Nesse método, o ciclo de produção ideal busca com que os suprimentos atendam às necessidades do projeto com o mínimo de estoque possível, ou seja, a compra e gestão devem ser realizadas de forma eficiente, gerando o mínimo de desperdícios possíveis e, ao mesmo tempo, garantindo que não haja interrupções no fluxo de produção [13].

É possível questionar a lógica por trás do princípio atrelado ao estoque zero, uma vez que tradicionalmente ter um quantitativo reserva a mais pode suprir a necessidade de possíveis imprevistos em campo e sua compra com antecedência garante um estoque para uma sequência contínua de atividades. Porém, do ponto de vista estratégico, um super estoque exige uma super gestão, um maior espaço físico e uma maior quantidade de movimentações, o que resulta em gastos desnecessários e riscos de danificação dos materiais, bem como a possível perda de seus seguros [18]. Também, esse tipo de despesa na compra de suprimentos para atividades não previstas em um horizonte de médio prazo é capaz de desregular o planejamento de gastos, e, em uma possível programação estreita do orçamento da obra, podem trazer também uma insegurança financeira para solução de imprevistos em tarefas correntes.

À uma visão de curto prazo adentra-se nas programações semanais, onde é necessário um maior controle de saídas e movimentação de estoque. É possível a partir da programação semanal, tendo as metas diárias em mãos, controlar a liberação de recursos para atender o que uma equipe é capaz de executar de acordo com a capacidade produtiva, uma vez que perdas em campo são comuns, especialmente quando a obra ocupa grandes áreas. A partir do momento que esses materiais vão a campo, o controle deles se torna um desafio, gerando dois estoques de materiais

ao mesmo tempo, onde, em um deles, não há nenhum tipo de controle, consequentemente, se obtém materiais sem gestão e maior possibilidade de perdas.

III. METODOLOGIA

É possível observar ao longo do desenvolvimento da base teórica do trabalho que o bom planejamento de tarefas e recursos é essencial para gerar resultados mais assertivos, e, consequentemente, eficientes. Por outro lado, só é possível garantir essa boa gestão por meio da utilização de ferramentas de controle, de forma a analisar e avaliar o desempenho da produção em contrapartida à gestão dos recursos, viabilizando a tomada de ações no tempo certo, bem como a detecção de pontos de melhoria.

Desta forma, o presente trabalho se trata de uma pesquisa explicativa de estratégias aplicadas na construção de uma usina fotovoltaica de 400 MWp, com área estimada de 800 ha, no interior do Nordeste brasileiro, em Mossoró no Rio Grande do Norte. Assim, possuindo o intuito de abordar meios de planejamento e controle acerca da filosofia enxuta de forma a evitar o desperdício de materiais, garantindo uma boa gestão dos mesmos. Para atingir esses resultados a abordagem de desenvolvimento deste trabalho se baseia na análise qualitativa do mapeamento do processo e utilização de dados quantitativos para controle por meio da elaboração de uma ferramenta de monitoramento de diligenciamento e estoque dos materiais, sendo o ato de “diligenciar” garantir, por meio de uma sequência pré-definida de atividades, o fornecimento adequado de materiais em quantidade e tempo necessário.

A ferramenta anexa ao controle de suprimentos no processo descrito consiste em uma *dashboard* para visualização dos status de recebimento e transporte de todos os suprimentos da usina fotovoltaica, bem a relação de dados da movimentação do estoque para aplicação em campo e dos avanços físicos entregues.

Para elaboração desta ferramenta para controle dos materiais de obras são necessários os seguintes *inputs*:

- Descrição do item, bem como seus detalhes (Categoria, Subcategoria e Especificação), exemplo: Rede de Baixa Tensão, Cabos de Baixa Tensão, Seção de 150 mm². Neste projeto estes foram separados em colunas diferentes para aplicação de filtros de acordo com nível de necessidade de pesquisa;
- Fornecedor: esse tipo de dado é importante para rastreabilidade do material, podendo ser necessário no caso de pesquisa de custos e contato com responsáveis;
- Quantidade prevista: é o dado inicial para o processo, sendo referência dos valores comprados e constante comparativo com avanços em campo e saída de materiais, auxiliando na detecção de utilização além do previsto;
- Quantidade comprada: é necessário ter controle do que será recebido em obra e ciência dos quantitativos em processo de aquisição para verificação se atende o previsto para execução das atividades necessárias;

- Quantidade recebida: controle de recursos disponibilizados para execução das atividades em campo;
- Quantidade em estoque: controle de recursos disponíveis para execução de atividades e ferramenta de base para geração da informação de saídas de materiais para campo;
- Datas de compra, envio e chegada: Essas datas servem para atualização do status e controle de fornecimento dos materiais;
- Data de previsão de chegada: possui o intuito de deixar o recebimento no radar dos planejadores para programação de atividades e mão de obra para inspeções e possíveis descarregamentos e movimentações;
- Data prevista de montagem: se refere a data prevista de execução, sendo assim a data limite para fornecimento dos materiais;
- Avanço físico da atividade: Compreende a atualização de quanto, em porcentagem, foi executado de uma determinada atividade e seus níveis de execução. Essa informação é comumente proveniente de EAPs (Estrutura Analítica do Projeto).

A partir dessas informações é possível gerar os indicadores necessários que resultam no controle proposto deste trabalho. Os *outputs* desenvolvidos nesta análise estão listados a seguir:

- Confirmação de compra e envio: Por meio da inclusão das datas de compra e envio no controle é possível sinalizar em qual processo de entrega o material se encontra e consequentemente se há a restrição ou atraso em algum passo para que seja recebido em obra como previsto, como por exemplo o atraso de algum pagamento ou na inspeção do material para liberação do fornecedor;
- Controle de previsão de chegada e data de recebimento: Após as etapas citadas anteriormente as datas de previsão de chegada atuam diretamente no planejamento das atividades, podendo ser utilizado como base no planejamento *look ahead* para geração de programações semanais;
- Porcentagem recebida de acordo com o previsto: Essa informação é responsável pela indicação de conclusão da entrega de materiais relacionados a uma determinada atividade, também, caso não concluída, o saldo que deve ser adquirido;
- Saída de estoque: Resultado do comparativo entre a quantidade recebida e quantidade em estoque, obtendo o quantitativo retirado para campo que deve ser transformado em avanço físico do empreendimento;
- Desvio: Sinaliza o quanto os materiais que foram retirados do estoque se transformaram em produtos entregáveis, uma vez que compara o avanço físico com as saídas de estoque.

Por fim, a Figura 3 apresenta o resumo do processo de constituição da ferramenta. Sendo possível por meio destes dados de saída, analisar com mais clareza as etapas da

corrente de suprimentos, de forma a deter um maior controle do processo antes que se tornem críticos.

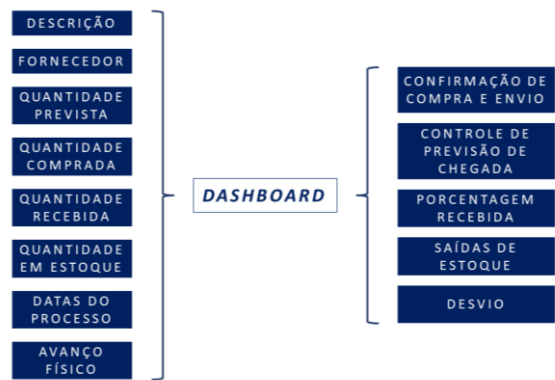


Fig. 3. Relação de entradas e saídas do sistema.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir do estudo de processos acerca da metodologia enxuta de produção, *last planner system* e o cruzamento desses processos com os princípios relacionados ao *supply chain* se adquire o fluxograma apresentado na Figura 4.



Fig. 4. Fluxograma da aplicação do LPS com foco na Gestão de Suprimentos.

O Figura 4 consiste em um fluxograma com as etapas de planejamento de longo, médio e curto prazo de forma a conciliar como cada item pode ser representado em termos de gestão de materiais e seus princípios de aquisição, movimentação e estoque. A padronização desses processos e as rotinas geradas provenientes destes asseguram que todos os pontos de gestão da relação entre produção e recursos serão constantemente revisitados e aprimorados juntamente com o levantamento das ações aprendidas.

Como apresentado anteriormente, no processo discutido ao longo deste trabalho, e em qualquer outro tipo de planejamento, há a necessidade e dependência de ferramentas de controle para assegurar uma análise mais crítica dos avanços reais em comparação ao previsto. Assim, a Figura 5 apresenta uma ferramenta de controle desenvolvida para gestão dos indicadores que além de mapear, de forma visual os processos de diligenciamento, também gera um gerenciamento de possíveis perdas.

DASHBOARD		BANCO DE DADOS		DATA 07/06/2022		38,90%				
ITEM	COMPRA	ENVIO	ENTREGA	PREVISÃO DE ENTREGA	% RECEBIDA	% SAÍDAS ESTOQUE	% AVANÇO FÍSICO	% DESVIO		
TRACKERS					83%	71%	69%	-2,1%		
ESTACAS 8X10					100%		96%	95%		-0,5%
ESTACAS 10X12					100%		92%	92%		-0,4%
EXIOS					100%		57%	52%		-5,0%
SUPOSTES				10/05/2022	57%	53%	52%		-0,9%	
KIT PARAFUSOS				10/05/2022	60%	56%	52%		-3,8%	
MÓDULOS					0%	0%	0%	0%	0,0%	
400 Wp				15/06/2022	0%		0%	0%		0,0%
445 Wp				15/06/2022	0%		0%	0%		0,0%
STRINGBOX					0%	0%	0%	0%	0,0%	
CAIXA PRÉ-MONTADA				01/06/2022	0%		0%	0%		0,0%
KIT MISCELÂNEAS				01/06/2022	0%		0%	0%		0,0%
ELETROCENTROS					100%	100%	100%	100%	0,0%	
INVERSORES					100%	100%	100%	100%	0,0%	
TRANSFORMADORES					100%	100%	100%	100%	0,0%	
REDE DE BAIXA TENSÃO					79%	10%	9%		-0,6%	
CABOS BT 150 MM²				05/06/2022	75%	25%	21%		-4,0%	
CABOS BT 185 MM²					100%		30%	30%		0,0%
TERMINAIS BT 150 MM²					100%	0%	0%	0%		0,0%
TERMINAIS BT 185 MM²					100%	15%	14%		-0,1%	
CABOS SOLAR 6 MM²				05/06/2022	75%	0%	0%	0%		0,0%
CABOS SOLAR 10 MM²					100%	0%	0%	0%		0,0%
ABRAÇADEIRAS				05/06/2022	0%		0%	0%		0,0%
REDE DE MÉDIA TENSÃO					0%	0%	0%	0%	0,0%	
CABOS MT				05/06/2022	0%		0%	0%		0,0%
CABOS MT				05/06/2022	0%		0%	0%		0,0%
TERMINAIS MT				05/06/2022	0%		0%	0%		0,0%
TERMINAIS MT				05/06/2022	0%		0%	0%		0,0%
MALHA DE ATERRAMENTO					0%	0%	0%	0%	0,0%	
CABO DE COBRE 35 MM²				-	0%		0%	0%		0,0%
CABO DE COBRE 50 MM²				-	0%		0%	0%		0,0%
CONNECTOR C				-	0%		0%	0%		0,0%
HASTES				-	0%		0%	0%		0,0%
SPDA					0%	0%	0%	0%	0,0%	
CAPTOR FRANKLIN				-	0%		0%	0%		0,0%
CAIXAS DE INSPEÇÃO				-	0%		0%	0%		0,0%
POSTES				-	0%		0%	0%		0,0%
KIT MISCELÂNEAS				-	0%		0%	0%		0,0%

Fig. 5. Layout do Dashboard desenvolvido

O objetivo principal do acompanhamento visual dos indicadores apresentados é a necessidade de visualização de futuras restrições que possam interromper o fluxo contínuo de atividades. Ao contrário da percepção comum, as possibilidades de atrasos não ocorrem somente no trânsito dos materiais até a obra, mas também no gerenciamento e liberação desses materiais para campo, podendo resultar em perdas não esperadas e uma necessidade de nova aquisição repentina. Como os imprevistos no trânsito de materiais é algo fora do controle de gerenciamento por parte dos responsáveis da obra, as principais tomadas de ações ocorrem na gestão interna de movimentação desses itens.

Desta forma, a última coluna da *dashboard* apresenta os pontos de desvios na utilização de materiais, onde é possível sinalizar de forma grosseira as maiores perdas, para que seja verificado e destacar possíveis itens de atenção. Estes desvios podem acontecer de diversas formas, como no caso da utilização maior que previsto e eventuais perdas, que comumente podem ocorrer com itens pequenos de difícil controle, como parafusos, arruelas e conectores, especialmente se tratando de uma usina fotovoltaica de grande porte, uma vez que a potência do sistema reflete diretamente na área do projeto.

De forma a estimar os impactos negativos em custos fora do previsto e atrasos no cronograma por falta de controle de materiais será considerado como exemplo a construção de uma usina fotovoltaica de 400MWp, localizada na cidade de Mossoró – RN. A usina base é constituída por 1.000.000 de módulos fotovoltaicos de 400Wp instaladas em 1.000 *trackers* com capacidade de 100 placas solares cada.

No caso de uma má gestão no controle dos módulos fotovoltaicos, detecção de falhas em comissionamento e termografia aérea e possíveis danificações por transporte, movimentação, aplicação incorreta em campo ou imprevistos após montagem, espera-se que em torno de 0,3% módulos sofram das avarias citadas em uma estimativa média e devam ser adquiridos com urgência para andamento contínuo e finalização das atividades. Na usina estudada, esse quantitativo equivale a 3.000 painéis que comumente são adquiridos diretamente do fornecedor por se tratar de compras em grandes quantidades desde o início da obra.

O tempo de entrega para esses itens depende da localização da sede de fabricação e da obra, neste caso, considerando um fornecedor localizado na China e um cenário otimista de pronta entrega, um tempo estimado para recebimento é em média 2 meses para transporte em navio, sem considerar a ocorrência de imprevistos em trânsito, como a liberação alfandegária. O impacto de 2 meses desajusta o cronograma da obra e afeta diretamente atividades sucessoras, como o seriamento de módulos para formação de *strings* e amarração dos cabos solares, gerando um efeito dominó que pode prolongar ainda mais o atraso e impactos no orçamento da obra, sem contar com o alto custo envolvido.

É evidente que o impacto de uma nova compra de módulos para finalização de atividades seria alto, uma vez que é um dos itens principais de um sistema fotovoltaico. Porém, no outro oposto, as abraçadeiras de nylon, por mais que comparado aos demais itens pareçam insignificantes, ainda assim podem gerar impactos financeiros no orçamento de obras. Em usinas fotovoltaicas, esses itens são utilizados em massa para amarração de cabos e etiquetagem, sendo adquiridos em unidades de milhão, e, por mais que não necessitem de mão de obra específica qualitativamente, quantitativamente é necessário que a produção cubra grandes frentes de trabalho. Também, por se tratar de um material de pequenas dimensões em uma área com muitos hectares devido à alta potência da usina, a facilidade de perdas é um fator considerável.

Para iniciar essa atividade recomenda-se que algumas atividades predecessoras já tenham sido entregues, como a montagem dos *trackers*, instalação dos módulos, seriamento das *strings*, lançamento de cabos, montagem das *string box*, montagem dos eletrocentros, etc. Consequentemente, ocorre após algumas desmobilizações de mão de obra direta, uma vez que há uma redução das atividades sendo executadas em campo. Desta forma, com a falta desses materiais e interrupção do fluxo de trabalho as chances de haver equipes completamente paradas são altas, acarretando, além do atraso, desperdício de custos.

No caso de pronta entrega, o transporte desses materiais, se compartilhado (menor custo), pode durar até 20 dias corridos, totalizando em média 2,5 semanas de trabalho interrompidos. Para equipes constituídas por 50 auxiliares de produção e 4 líderes, considerando um salário estimado, os auxiliares são pagos R\$6,30/h e os líderes R\$13,6/h, levando em consideração 44 horas semanais de trabalho, obtém-se 110 horas de desperdício de mão de obra, resultando em média R\$40.634,00 em equipes paradas, sem a contabilização dos custos de aquisição das abraçadeiras em questão.

Desta forma, é possível observar que desde os itens primordiais para a construção de uma usina fotovoltaica, como os módulos, até os pequenos detalhes, como abraçadeiras de nylon e etiquetas, o impacto da presença de uma ferramenta como a desenvolvida neste trabalho com comparação constante entre os avanços físicos e materiais que saíram para campo pode sinalizar com antecedência essas perdas para análise e controle de restrições futuras.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante as problemáticas ao que se relacionam a competitividade da energia solar no panorama de geração de energia brasileiro, juntamente com os desafios da construção de um empreendimento, se destaca que os investimentos em eficiência vão além da compra de materiais de última geração, abrangendo a definição de processo e metodologias de planejamento, controle e gestão em obras de grande porte, como a de usinas fotovoltaicas.

Dada à importância do assunto e as exigências do mercado que sempre busca os melhores resultados com os menores custos, este trabalho aborda a gestão dos recursos necessários para execução do empreendimento como pontos de constante atenção, uma vez que se apresenta como uma das principais razões em desvios de cronograma, como no caso de módulos avariados apresentados neste trabalho com um impacto médio de dois meses de atraso, acarretando também gastos abruptos podendo resultar em um efeito dominó nas demais atividades fazendo com que essas despesas fujam do orçamento.

Além do desvio em tempo, foi possível analisar no trabalho a importância do controle de perdas por meio de cálculos de simulação acerca das abraçadeiras de nylon, onde apenas a mão de obra para execução pode custar em média R\$40.634,00 no aguardo do recebimento do material. Destaca-se que o item em questão é de fácil aquisição, baixo peso e custo e mesmo assim pode impactar as despesas da obra, mesmo que em menor quantidade. Desta forma, usando a equivalência, em custos e serviços que necessitam de maiores investimentos, se mal controlados, podem trazer impactos muito mais relevantes.

Assim, o mapeamento de processos e a revisão rotineira de planejamento, além de se apresentar como essencial para cumprimento de cronograma, também se fazem importantes no atendimento de pré-requisitos da cadeia de suprimentos. Por fim, de forma complementar ao processo estudado, a ferramenta desenvolvida busca neutralizar esses pontos de perdas onde a detecção é mais acessível, de forma a sinalizar de forma visual com antecedência a ocorrência de desvios de produção de acordo com os materiais que foram disponibilizados, permitindo agilizar a tomada de decisões ou notar uma possível futura restrição.

Por fim, mesmo com esse tipo de controle, ainda se faz necessário o empenho do usuário de verificação além da ferramenta, uma vez que a mesma não se abrange em todos os detalhes, como itens segregados e, também, dependendo da composição e formato da EAP as porcentagens podem não representar avanço de forma alinhada com a de saída de materiais. De forma a refinar a análise por meio da ferramenta, o usuário pode realizar adaptações para detalhar ainda mais as atividades que estão inseridas em cada material e unificar bancos de dados para preenchimento automático, como também abordar os dados do setor de qualidade que compõem itens que foram recebidos em obra mas não podem ser utilizados devido a reprovações de inspeção.

REFERÊNCIAS

- [1] GUITARRARA, Paloma. "Crise energética no Brasil"; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/historiab/crise-energetica-no-brasil.htm>. Acesso em 23 de outubro de 2021.

- [2] Ministério de Minas e Energia. Balanço Energético Nacional 2021: Ano base 2020/Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2021.
- [3] CATTELAN, Verônica. Desempenho do Ecossistema de Inovação do Setor de Energia Solar Fotovoltaica. Tese de Doutorado – Administração – Universidade Federal de Santa Maria, 2019.
- [4] WANG, Yishu. Lean Approach to Production Planning for Large Solar Photovoltaic Installations. Tese de Graduação – Engenharia Arquitetônica – Pennsylvania State University, 2014.
- [5] MELO, Maury; DESCHAMPS, Fernando; COSTA, Sergio. Aplicação da construção enxuta – Uma análise sistemática da literatura. *Journal of Lean Systems*, 2017, Vol. 2, Nº 3, pp. 02-21.
- [6] PICCHI, Flávio. Oportunidades da Aplicação do Lean Thinking na construção. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 3, n. 1, p. 7-23, jan./mar. 2003.
- [7] AL-AOMAR, Raid. A lean construction framework with Six Sigma rating. *International Journal of Lean Six Sigma*, Vol. 3 Iss 4 pp. 299 – 314. 2012.
- [8] COSTA, Bruno. Estudo sobre os ganhos obtidos com a adoção do Last Planner System aplicado ao Planejamento e Controle na Construção de uma Usina Hidrelétrica de Grande Porte. Projeto de Graduação – Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2017.
- [9] BALLARD, Glenn; HOWELL, Gregory. Implementing Lean Construction: Stabilizing Work Flow. 2nd Annual Conference on Lean Construction at Catolica Universidad de Chile Santiago. Chile, 1994.
- [10] PROENÇA, Vera. O Last Planner System (LPS) Aplicado a Casos de Estudo. Tese de Mestrado – Engenharia Civil – Instituto Superior de Engenharia do Porto. 2017.
- [11] ROEHRS, Rodrigo. Planejamento e Controle de Produção: Aplicação do Sistema Last Planner. Tese de Graduação – Engenharia Civil – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. 2012.
- [12] MATTOS, Aldo. Planejamento e Controle de Obras. São Paulo: Pini, 2010.
- [13] RODRIGUEZ, Lady. Diretrizes para a Implementação do Last Planner System - Uma Conexão entre o Planejamento de Longo e Curto Prazo. Dissertação de Mestrado – Engenharia Civil – Universidade Estadual de Campinas. 2018.
- [14] BALLARD, Glenn; HOWELL, Gregory. Lean Project Management. Building Research & Information, California – USA. Spon Press, 2003.
- [15] MARTINS, Ernane. Gestão da Produção: Organização e Planejamento. Guarujá: Editora Científica Digital, 2020
- [16] LIMA, Lucas; MARACAJÁ, Flávio. Logística: Fatores de Custos Logísticos No Scm (Supply Chain Management) de uma Construção Civil. Projeto de Graduação – Administração – Centro Universitário de João Pessoa (UNIPÊ). 2020.
- [17] AZAMBUJA, Marcelo; FORMOSO, Carlos. Aplicação de conceitos da gestão da cadeia de suprimentos na indústria da construção civil: um estudo dos processos de projeto, aquisição, pré-instalação e instalação de elevadores em edifícios. XXIII Encontro Nac. de Eng. de Produção - Ouro Preto, MG, Brasil, 21 a 24 de out de 2003.
- [18] PEREIRA, Milena; FACCHINI, Eduardo. Estoque Zero – Uma Solução para a Otimização. *South American Development Society Journa*, Vol. 04, Nº. 11. 2018.