



ESTUDO DE PROTOTIPAGEM E REDUÇÃO DE ESFORÇOS EM MANGOTES PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL

Andressa Cristina da Silva
Universidade de Brasília
andressacsilva1310@gmail.com

Luciano Augusto Soto de Moura
Universidade de Brasília
au.luciano@gmail.com

Mateus Muniz da Silva Aguiar
Universidade de Brasília
munizmateusa@gmail.com

Pedro Langendorf da Costa Vieira
Universidade de Brasília
langendorf77@gmail.com

Raquel Guimarães Paiva
Universidade de Brasília
gupraquel@gmail.com

Categoria:

(x) Artigo completo

() Resumo expandido

[() Acadêmico () Industrial]

RESUMO

Este artigo foi elaborado com o foco na aplicação prática de conhecimentos, visando o desenvolvimento de um projeto para um cliente real, que ofereça uma solução para um problema existente. O projeto apresentado neste artigo tem como ponto de partida a vivência em canteiros de obras e a preocupação com a segurança do trabalhador no âmbito da construção civil. Após visitas presenciais em obras, identificou-se um problema de segurança no manuseio de mangotes de bombas de concreto, utilizadas para o preenchimento de estruturas como lajes, pilares e pisos. O enfoque inicial foi a ergonomia do trabalhador, uma vez que não existia uma maneira eficaz de facilitar o manuseio do mangote durante o bombeamento de concreto proveniente da bomba. A partir disso, realizou-se uma busca por tecnologias existentes que pudessem resolver o problema. A pesquisa revelou diversos tipos de bombas que não necessitam de um operador para manuseio, mas essas tecnologias têm um custo elevado e são geralmente implementadas apenas em obras de grande escala na indústria. Considerando os pontos apresentados, a equipe de projeto optou pelo desenvolvimento de um produto que atenda aos requisitos dos clientes a um custo mais acessível.

Palavras-chave: Segurança do trabalhador; Manuseio de mangotes; Bombeamento de concreto; Ergonomia; Construção civil.

1 INTRODUÇÃO

Este artigo tem como principal objetivo desenvolver um produto que promova Saúde e Segurança no Trabalho no setor da Construção Civil, com foco na melhoria do processo de bombeamento de concreto através de técnicas, métodos e abordagens de Engenharia do Produto. O bombeamento de concreto é uma operação essencial na construção civil, proporcionando agilidade, eficiência e redução de custos, além de aumentar a produtividade e a qualidade das estruturas (APL ENGENHARIA, 2019; Concreloc, 2023). No contexto deste projeto, voltado para construtoras de edifícios residenciais em Brasília, foi identificada a necessidade de melhorar o manuseio da mangueira de bombeamento, especialmente em lajes de concreto FCK 30, devido a desafios como a ausência de suportes adequados e interferências de estruturas de ferro.

O presente artigo abrange diversas fases, desde o pré-desenvolvimento, onde foram contextualizados o problema, o público-alvo e realizadas pesquisas iniciais, até as fases de projeto informacional e conceitual. No projeto informacional, foram definidos os requisitos do cliente e do produto, gerando o QFD (*Quality Function Deployment*) e as especificações metas. No projeto conceitual, foram realizadas modelagens funcionais e selecionadas soluções potenciais, culminando na escolha de uma opção para o desenvolvimento de um protótipo. A análise de valor e a prontidão tecnológica do produto foram também abordadas, posicionando o projeto dentro do TRL (*Technology Readiness Level*). O objetivo é criar um produto inovador que melhore a eficiência e a segurança no bombeamento de concreto em obras residenciais.

2 REVISÃO DA LITERATURA

O aprimoramento do processo de bombeamento de concreto em obras na região de Brasília enfrenta desafios que exigem uma análise detalhada dos principais atores envolvidos. A literatura destaca a importância de identificar as dores e necessidades específicas de cada ator para desenvolver soluções eficazes, promovendo eficiência, segurança e qualidade na construção civil.

A concreteira, responsável pelo fornecimento do concreto, desempenha um papel

crítico na qualidade do material utilizado para o bombeamento, bem como na logística de entrega nos canteiros de obras. Estudos indicam que uma das principais dificuldades enfrentadas por essas empresas é a manutenção de um alto padrão de qualidade no serviço de bombeamento de concreto, o que inclui a eficiência na aplicação e a durabilidade dos equipamentos utilizados (Alves; Mattioda; Cardoso, 2009). A melhoria nesse aspecto é essencial para garantir a satisfação do cliente e a competitividade.

As construtoras, por sua vez, são responsáveis pela gestão integral das obras e têm um interesse direto na otimização do processo de bombeamento de concreto. A literatura aponta que a eficiência, segurança e integridade estrutural são preocupações centrais para essas empresas, que precisam assegurar a conclusão dos projetos dentro dos prazos estipulados e com a qualidade desejada (Engenharia, 2023). Dessa forma, as construtoras buscam acelerar o processo de bombeamento e minimizar riscos operacionais para cumprir prazos e garantir qualidade.

Por fim, os operários, que lidam diretamente com o mangote, enfrentam problemas de ergonomia e manuseio dos equipamentos, o que afeta tanto a produtividade quanto a segurança (Diniz; Lima; Simões, 2024). Equipamentos ergonômicos são fundamentais para garantir que os operários possam desempenhar suas funções de maneira segura e eficaz.

Essas evidências mostram a necessidade de uma abordagem integrada que contemple as necessidades de todos os envolvidos no processo de bombeamento de concreto, promovendo eficiência, segurança e ergonomia, o que resultará em melhorias globais no processo construtivo.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O trabalho seguiu uma abordagem estruturada para desenvolver uma solução que atenda às necessidades dos clientes envolvidos no bombeamento de concreto. Após identificar as principais demandas de concreteiras, construtoras e operários, foram analisadas as tecnologias existentes e definidos os requisitos de cliente e transformadas em requisitos de produto por meio de visitas técnicas e ferramentas como matriz QFD, modelagem funcional e matriz morfológica. Com isso, foram geradas e avaliadas diferentes alternativas, resultando na prototipagem e teste da concepção final em ambiente laboratorial, onde foram realizados ajustes para atender às especificações técnicas e expectativas dos clientes.

4 DISCUSSÃO E ANÁLISE

4.1 PRÉ-DESENVOLVIMENTO

4.1.1 DEFINIÇÃO DE CLIENTES

No contexto do bombeamento de concreto em Brasília, identificam-se três clientes principais: concreteira, construtora e operários. A concreteira enfrenta desafios na eficiência da logística e qualidade do bombeamento, exigindo materiais de alto desempenho. A construtora busca otimizar o bombeamento para garantir eficiência, segurança e cumprimento de prazos, enfrentando baixa produtividade e preocupações com a segurança dos trabalhadores. Já os operários, que manuseiam o mangote, precisam de melhorias ergonômicas para garantir segurança e eficácia no trabalho.

4.1.2 TECNOLOGIAS EXISTENTES

O bombeamento eficiente de concreto depende de tecnologias modernas, com foco em aditivos químicos e manuseio de materiais. A composição do concreto evolui em resposta às demandas econômicas e ambientais. Contudo, poucas soluções atendem obras de pequeno e médio porte, onde operadores frequentemente dependem de métodos manuais ou adaptações improvisadas para facilitar o trabalho.

4.2 PROJETO INFORMACIONAL

4.2.1 ESTRATÉGIA DE PRODUÇÃO

A estratégia Make to Order (MTO) foi escolhida, iniciando a produção após a ordem do cliente. Isso permite adaptar o produto às necessidades específicas, garantindo personalização e competitividade. As diretrizes seguidas incluem estudos de campo, definição do escopo, viabilidade técnica e econômica, identificação de necessidades e criação do QFD.

4.2.2 NECESSIDADES DOS CLIENTES

Com base nas necessidades dos clientes identificadas e analisadas no ciclo de vida do produto, essas devem ser traduzidas em requisitos do cliente. Isso envolve classificar e organizar essas necessidades para entender sua origem e identificar os requisitos dos clientes.

Durante as visitas técnicas, foram identificadas que a máquina deve ser leve e fácil de manusear, pois os ajudantes de obra e as concreteiras necessitam de um equipamento que permita a realização de grandes áreas de bombeamento rapidamente, exigindo dinamismo na concretagem. Além disso, a simplicidade de uso é uma exigência para garantir agilidade na concretagem, permitindo maior eficiência no serviço.

As observações e conversas com os profissionais revelaram que os operadores valorizam um equipamento leve, que executa o trabalho rapidamente e com menos esforço físico. A facilidade de manuseio e o conforto durante a operação foram considerados fatores críticos. Concluindo, essas observações foram imprescindíveis para entender as necessidades reais dos clientes e orientar as decisões no desenvolvimento do equipamento.

4.2.3 MATRIZ DE ATRIBUTOS

A matriz de atributos foi usada para agrupar e classificar as necessidades ao longo do ciclo de vida do produto, evitando duplicações e aplicando a técnica de cenários para traduzir as necessidades em termos técnicos

Foram obtidos, a partir das necessidades do cliente apresentadas, os seguintes atributos para o produto: Funcionamento; Ergonomia; Usabilidade; Econômico e Logística.

Para o ciclo de vida do produto foi utilizado: Fabricação; Montagem/Embalagem; Transporte; Uso; Função; Manutenção; Desativação/Reciclagem; Descarte

Após a classificação e agrupamento das necessidades, foi possível definir os requisitos do cliente. Das 27 necessidades dos clientes levantadas, foi possível definir 13 requisitos do cliente: Embalagem compacta; Peças padronizadas; Material de qualidade; Baixo peso; Ser ergonômico; Produto de função única; Ser universal; Ser fácil aproveitamento de peças; Poucos componentes; Ser lavável; Ser de fácil manuseio; Ser apropriado ao ambiente; Design simplificado.

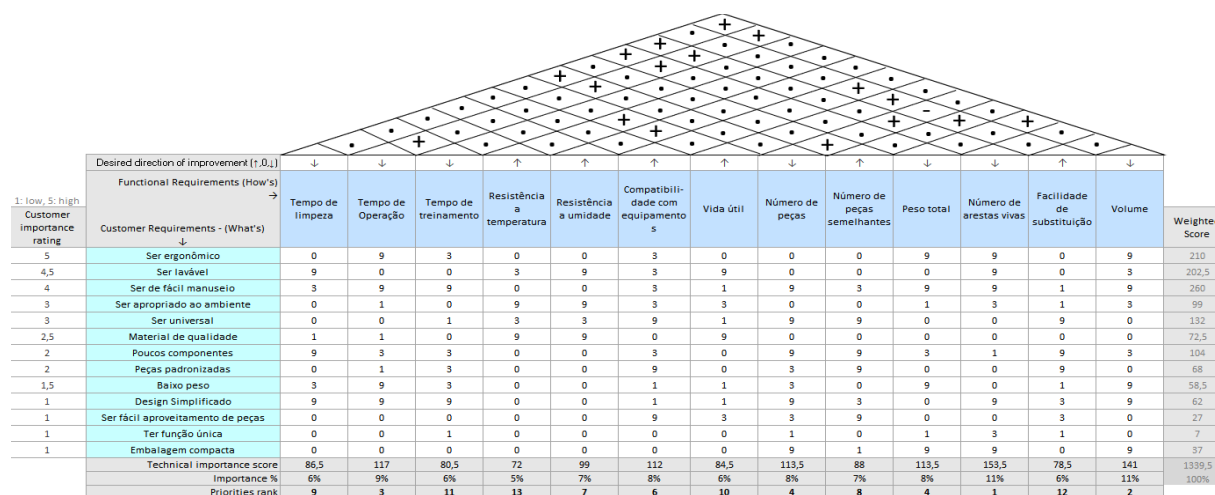
A partir dos resultados obtidos pela matriz de atributos, foi possível priorizar e elencar os principais requisitos a serem atendidos – o que os clientes esperam.

4.2.4 REQUISITOS DO PROJETO

A análise dos requisitos do cliente possibilitou a tradução das necessidades em requisitos técnicos e mensuráveis do produto. Após priorizar esses requisitos com base na sua relevância para o cliente, foram identificadas as características essenciais para atender às expectativas e garantir que o desenvolvimento do produto satisfaça as demandas do mercado.

A Figura 1 ilustra a matriz de planejamento de qualidade (QFD), uma ferramenta que converte as necessidades do cliente em especificações técnicas e prioriza esses requisitos. A matriz inclui os requisitos do cliente (o que é importante) e os requisitos do produto (como será atendido). Os requisitos do cliente são ranqueados de acordo com sua importância, e a direção desejada para cada requisito funcional é indicada por setas. As relações entre os requisitos do cliente e os funcionais são representadas por valores que variam de 0 (sem relação) a 9 (relação forte).

Figura 1: QFD.



Fonte: Elaboração própria.

A pontuação ponderada dos requisitos do cliente totalizou 1339,5, destacando "ser de fácil manuseio" (260), "ser ergonômico" (210) e "ser lavável" (202,5) como os mais importantes. A pontuação de importância técnica identificou os seguintes requisitos com suas respectivas porcentagens: Número de arestas vivas (11%), Volume (11%), Tempo de

Operação (9%), entre outros.

O QFD demonstra como os requisitos do produto se correlacionam. As correlações positivas incluem: tempo de operação com tempo de treinamento, tempo de limpeza com número de peças, e resistência à temperatura com vida útil, entre outras. A única correlação negativa foi entre número de peças e facilidade de substituição. Os requisitos que mais se correlacionam são tempo de limpeza, tempo de operação e facilidade de substituição

4.2.5 ESPECIFICAÇÕES-META

A especificação meta do sistema de bombeamento de concreto para lajes visa otimizar o manuseio da mangueira, melhorar a distribuição do concreto e reduzir o esforço físico dos operadores. A Tabela 1 mostra os requisitos levantados.

Tabela 1: Especificações-meta.

Requisito do produto	Objetivos	Sensor	Saídas Indesejáveis	Observações
Tempo de Limpeza	Tempo hábil para realizar a limpeza diária, pós uso	Cronômetro	Acúmulo de resíduos, dificuldades na limpeza.	Material do produto deve facilitar a limpeza
Tempo de Operação	Aumentar a produtividade da operação	Cronômetro	Aumentar o tempo da Operação	Medir por descarregamento de caminhão
Tempo de Treinamento	Reduzir o tempo de aprendizado de manuseio	Feedback dos operadores, visualmente na operação	Complexidade durante o uso.	Instruções de uso claras e intuitivas.
Resistência a Temperatura	Funcionar nas condições de obra com as variações do ambiente	Testes em diferentes temperaturas, Termômetro.	Degradação do equipamento.	Adequação ao ambiente
Resistência a Umidade	Funcionar em Ambientes Úmidos	Testes de Umidade, Higrômetro	Corrosão, quebração	Material resistente a umidade

Requisito do produto	Objetivos	Sensor	Saídas Indesejáveis	Observações
Tempo de Limpeza	Tempo hábil para realizar a limpeza diária, pós uso	Cronômetro	Acúmulo de resíduos, dificuldades na limpeza.	Material do produto deve facilitar a limpeza
Compatibilidade com Equipamentos	Adaptar-se a Diferentes mangotes	Verificação de Compatibilidade, Medição de diâmetro (Paquímetro)	Incompatibilidade com os diversos Mangotes	Padronizar as Peças
Vida Útil	Aumentar a Durabilidade do Produto	Teste de desgaste	Desgaste Precoces	Manutenção Diária
Número de Peças	Reduzir o Número total de componentes	Visualmente - Contagem das peças	Maior complexidade de montagem	Design Simples
Número de Peças Semelhantes	Aumentar Intercambiabilidade de Peças	Verificação Visual	Dificuldade de Substituição	Padronização
Peso Total	Reduzir o peso para facilitar o manuseio	Balança	Peso excessivo	Uso de Materiais leves
Número de Arestas Vivas	Minimizar Arestas para maior Segurança	Verificação visual	Acidentes	Design Seguro
Facilidade de Substituição	Permitir troca rápida de componentes	Testes com tempo de substituição	Dificuldade na manutenção	Encaixes rápidos e simples
Volume	Reduzir o Volume para facilitar o armazenamento	Medição do Volume	Dificuldade de transporte e armazenamento	Design compacto

Fonte: Elaboração própria.

4.3 PROJETO CONCEITUAL

4.3.1 MODELAGEM FUNCIONAL

Nesta etapa, cada membro da equipe realizou uma modelagem funcional de modo a

definir entradas, como energia, material e sinal, e saídas, onde seriam inseridas as principais funções que o produto deveria atender. Foi definida a função global do produto: facilitar o manuseio. A partir disso, fez-se uma decomposição de funções de menor complexidade.

A quarta estrutura funcional resultou em uma resposta que atende aos requisitos propostos. Dessa forma, a Modelagem 4, desenvolvida por toda a equipe tornou-se a opção que melhor atende aos requisitos definidos para o produto.

4.3.2 MATRIZ MORFOLÓGICA

A fim de elaborar os princípios de solução, foi utilizada a matriz morfológica, que tem como objetivo gerar alternativas de solução para o problema do projeto. Para iniciar o seu desenvolvimento, foi feita a listagem das funções elementares do produto, encontradas nas modelagens funcionais.

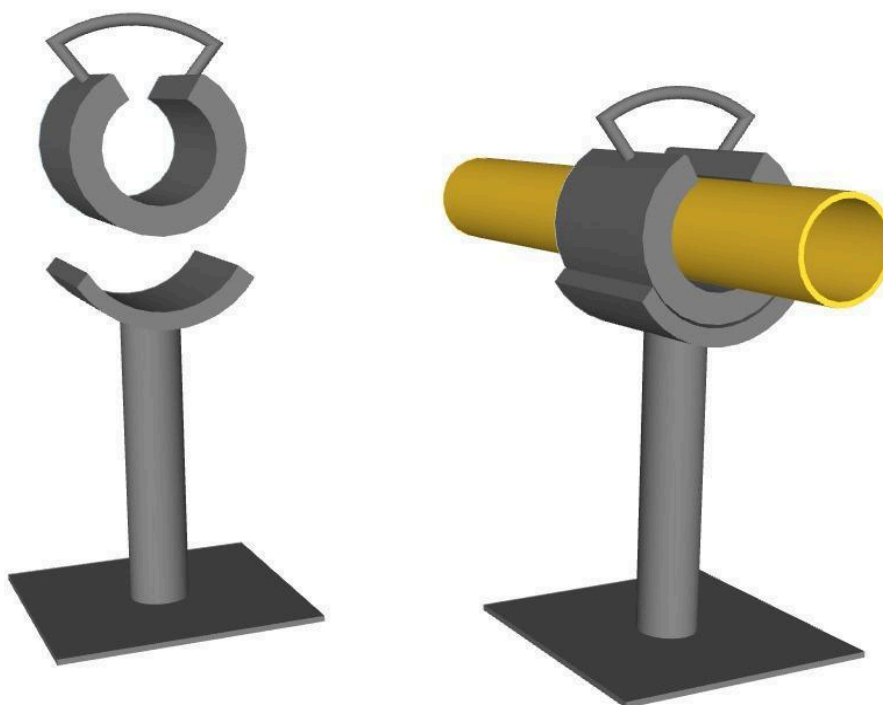
Em seguida, são adicionados os princípios de solução para cada função, que foram criados por meio de pesquisas da equipe, com o auxílio do Laboratório Aberto de Brasília, que contribuiu com o desenvolvimento das concepções.

Conforme a criação da matriz morfológica, tem-se a criação de três modelos de arquitetura do produto, com suas respectivas funções parciais, elementares e princípios de solução – os quais deram opções e embasamento à concepção que foi adotada pelo time de projetistas.

4.3.3 DESENVOLVIMENTO DAS CONCEPÇÕES

Durante o desenvolvimento das concepções, foram analisadas as tecnologias, princípios de funcionamento e formas que o produto poderia adquirir, destacando-se o projeto conceitual como essencial para entender como o produto atenderá às necessidades do cliente. A decomposição do produto em sistema, subsistema e componente é utilizado para visualizar a concepção e a importância de cada função, servindo de base para a arquitetura e o BOM (Bill of Materials) inicial. Portanto, o grupo desenvolveu cinco concepções, das quais uma foi escolhida como base para a concepção final do produto.

Figura 2: Concepção base.



Fonte: Elaboração própria.

4.3.3.1 ARQUITETURA DO PROTÓTIPO E PRODUTO FINAL

A partir das concepções desenvolvidas, o grupo definiu a arquitetura final do produto, representando a versão definitiva do projeto. O protótipo validou o princípio tecnológico escolhido para facilitar o manuseio do mangote de bombeamento de concreto. A equipe optou por uma concepção base que inclui um anel interno ajustável, capaz de suportar diferentes diâmetros, além de um tripé para sustentar o mangote.

Ao levar a concepção escolhida para o Laboratório, foram apresentadas pelos especialistas outras sugestões de aprimoramento, que foram:

- Introdução de uma base com rolamento, permitindo a movimentação do suporte sem a necessidade de deslocar o tripé;
- Modificação do tripé para uma estrutura piramidal com base circular, aumentando a resistência e reduzindo o peso;
- Inclusão de um segundo suporte para as mãos, proporcionando uma melhora significativa na pega do suporte.

Essas melhorias resultaram em um SSC mais robusto, com maior detalhamento e

usabilidade aprimorada. Tal arquitetura pode ser vista nas Figuras 3.

Figura 3: Arquitetura final do produto.



Fonte: Elaboração própria.

4.3.4 ANÁLISE DE SSC

A análise de SSCs é uma etapa essencial do desenvolvimento de produtos para garantir a viabilidade técnica do projeto. A partir da definição da arquitetura das diferentes alternativas apresentadas para o projeto, foi possível organizar os elementos funcionais do produto de maneira a facilitar a implementação da engenharia simultânea. Neste contexto, essa análise forneceu uma visão detalhada das propriedades essenciais para o funcionamento do produto.

Módulo 1:

- Sistema: Encaixar o suporte
 - Subssistema: Ajustar a pegada do suporte
 - Componente: Alça e Grip de borracha (Item comprado)
 - Subssistema: Reduzir o esforço

Módulo 2:

- Sistema: Direcionar o fluxo de concreto
 - Subssistema: Facilitar a mobilidade
 - Componente: Coluna de apoio, Base de apoio e Rolamento do tripé (Item comprado)

Módulo 3:

- Sistema: Desmontar o suporte
 - Subssistema: Adaptar a diferentes mangotes
 - Componente: Cinta para ajuste
 - Componente: Travas da cinta (Item comprado)

Outros Sistemas (não associados a subsistemas ou componentes):

- Limpar o Suporte
- Guardar o suporte

A partir do entendimento de cada sistema, subsistema e componente, foi possível avançar já tendo a visão de como cada módulo se organizaria e a base de como o produto iria funcionar. Assim, garantiu-se que o desenvolvimento do produto fosse eficiente e bem estruturado para atender às necessidades finais.

4.3.5 ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA

Após alcançar uma concepção inicial do produto, é essencial verificar o andamento do projeto e validar se estamos alinhados com os requisitos levantados previamente, tanto para os clientes quanto para o produto. Dos treze requisitos identificados, seis foram atendidos:

- Peças Padronizadas
- Ser ergonômico
- Ser Universal
- Poucos componentes
- Ser de fácil manuseio
- Design Simplificado

Cinco estão a caminho de serem atendidos:

- Material de qualidade
- Baixo peso
- Ser fácil aproveitamento de peças
- Ser Lavável
- Ser apropriado ao ambiente

E dois requisitos não foram atendidos:

- Embalagem compacta.
- Produto de Função única

Além disso, os requisitos relacionados ao produto indicam que seis foram cumpridos, como compatibilidade com equipamentos e facilidade de substituição de peças. Outros seis requisitos estão em andamento, como tempo de limpeza e resistência a condições ambientais, que dependerão principalmente da escolha de materiais para garantir que a maioria dos requisitos sejam atendidos.

4.3.6 *TECHNOLOGY READINESS LEVEL (TLR)*

O produto atingiu o nível 2 de maturidade tecnológica (TRL) e está iniciando o nível 3. No TRL 2, foi necessário desenvolver um conceito tecnológico e aplicação, iniciando o processo de invenção. Nesse estágio, foram identificados princípios básicos que permitiram conceber aplicações práticas, ainda especulativas, mas fundamentadas em estudos analíticos. Para avançar nos níveis do TRL, o próximo passo envolve a validação do produto em ambiente laboratorial, seguido pela validação e demonstração em ambientes relevantes. Por fim, o produto deverá ser comprovado em uso contínuo no ambiente operacional para estar pronto para a comercialização.

4.3.7 ANÁLISE DE VALOR

A Análise de Valor busca otimizar o valor de um produto, equilibrando funções necessárias com o menor custo, sem comprometer a qualidade. O processo inclui a identificação das funções do produto, a atribuição de valores a essas funções e a busca de formas de realizá-las ao menor custo.

A partir dessa abordagem, foi criada uma Matriz de Análise de Valor para os componentes do produto. As funções do produto foram classificadas como de "estima" (que aumentam o desejo do consumidor) e de "uso" (essenciais para o funcionamento).

Funções de Estima:

- Ajustar a pegada do suporte: Alça e gripe borracha.
- Facilitar a mobilidade: Base de apoio e rolamento do tripé.

Essas funções são voltadas para a ergonomia e a facilidade de uso, aumentando a atratividade do produto para o consumidor.

Funções de Uso:

- Reduzir o esforço: Coluna de apoio.
- Adaptar a diferentes mangotes: Cintas de ajuste e trava de segurança.

No entanto, a análise revelou que os componentes associados às funções de uso têm um custo maior do que o valor atribuído à sua função, indicando a necessidade de revisá-los para reduzir custos, seja por meio de mudanças no material ou no processo de fabricação.

5 CONCLUSÕES

O bombeamento de concreto é técnica fundamental na construção civil moderna, especialmente em projetos que demandam a eficiente movimentação do material em áreas de difícil acesso. Este artigo analisou os desafios e soluções no bombeamento de concreto, com foco na construção de lajes em edifícios residenciais em Brasília. O pré-desenvolvimento, identificou os principais clientes e suas necessidades, permitindo criar propostas de valor para melhorar a eficiência, segurança no trabalho e qualidade das estruturas.

No Projeto Informacional, as especificações do produto foram definidas para se alinhar às necessidades dos clientes, com ênfase na personalização e adaptação às demandas do mercado (MTO). A análise das necessidades dos clientes, traduzidas em requisitos técnicos e organizadas na matriz de atributos, priorizou características como ergonomia, facilidade de manuseio e adequação ao ambiente.

No Projeto Conceitual, a modelagem funcional definiu entradas como energia, material e sinal, e saídas esperadas. A função global do produto, facilitar o manuseio no bombeamento de concreto, levou à concepção de várias arquiteturas até o protótipo, aprofundando a análise dos sistemas, subsistemas e componentes.



Por fim, a análise de viabilidade identificou os requisitos atendidos, os em progresso e os não atendidos, mensurando o avanço do projeto e orientando as próximas etapas, com uma análise do TRL e de valor.

REFERÊNCIAS

APL ENGENHARIA. Entenda o que é e como funciona o bombeamento de concreto. APL Engenharia, 10 mai. 2019. Disponível em:

<https://blog.apl.eng.br/entenda-o-que-e-e-como-funciona-o-bombeamento-de-concreto/>.

Acesso em: 10 mai. 2024.

CONCRELOC. **Bombeamento de concreto**: o que é e como funciona. Concreloc, 18 set. 2023. Disponível em:

<https://concreloc.com.br/bombeamento-de-concreto-o-que-e-e-como-funciona>. Acesso em: 10 mai. 2024.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Normas Regulamentadoras – NR**. gov.br, 22 out. 2020. Disponível em:

<https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/assuntos/inspecao-do-trabalho/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/normas-regulamentadoras-nrs>. Acesso em: 10 mai. 2024.

BRASIL. **Instituto Nacional da Propriedade Industrial. INPI**. Disponível em: <http://www.inpi.gov.br>. Acesso em: 10 mai. 2024.

ROZENFELD, Henrique et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos**: uma referência para a melhoria do processo. São Paulo: Saraiva, 2006.