



LEONARDO MATILE SILVEIRA

**REDUÇÃO DE CUSTOS NO PROCESSO DE
ESTAQUEAMENTO EM USINA FOTOVOLTAICA:
PROPOSIÇÃO METODOLÓGICA E ANÁLISE DE IMPACTOS
ECONÔMICOS.**

LAVRAS – MG

2020

LEONARDO MATILE SILVEIRA

**REDUÇÃO DE CUSTOS NO PROCESSO DE ESTAQUEAMENTO EM USINA
FOTOVOLTAICA: PROPOSIÇÃO METODOLÓGICA E ANÁLISE DE IMPACTOS
ECONÔMICOS.**

Trabalho de conclusão de curso em formato de relatório de concepção básica apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Graduação em Engenharia Mecânica, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Fábio Lúcio Santos

Orientador

LAVRAS – MG

2020

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer a Deus por todas as oportunidades que tive em minha vida, por ter saúde e sabedoria para poder-las aproveitar e por sempre ter me amparado, colocando as pessoas certas em minha vida para que eu pudesse chegar aonde estou.

A meu pai Ebney e minha mãe Djanira e todos os meus familiares por não medirem esforços durante todos esses anos para que eu e minhas irmãs tivéssemos uma vida excelente, repleta de amor, carinho, educação e bons exemplos dentro e fora de casa.

As minhas irmãs Camila e Carolina por estarem sempre a meu lado, por serem sempre as melhores amigas e terem os melhores conselhos.

A Universidade Federal de Lavras pela qualificação profissional, pela oportunidade de estudo e pelo acolhimento.

A equipe BUFFALO BAJA UFLA pelo crescimento pessoal e profissional, a todos os membros da equipe, por todos os momentos de alegria, superação e também de dificuldade pelo qual passamos, ao Caio Cera por me apresentar esse projeto ÚNICO.

A minha segunda família, República Lambda Teta, Paulinho, Rural, Rondonia, Miru e Toddy por toda irmandade, parceria e bons momentos que tivemos.

A meus irmãos de curso, baja e cachaça Daniel, Mateus e Lucas

A meus amigos de faculdade Matheus, Mariana, Alex, Caio Guilherme por tornarem as aulas mais descontraídas e o caminho mais fácil.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para meu crescimento pessoal e profissional. Por último um agradecimento especial a meu professor orientador e amigo Fábio Lúcio Santos, por todos esses anos como professor na engenharia mecânica, pela orientação no projeto BUFFALO BAJA e neste trabalho, pela paciência e dedicação para que eu pudesse chegar até aqui.

RESUMO

A energia solar pode ser convertida em energia elétrica através do uso de módulos fotovoltaicos, essa energia pode ser utilizada em residências e comércios promovendo uma redução do valor da conta de energia paga pelo consumidor. Estes sistemas de geração têm aumentado muito ao longo dos anos devido ao desenvolvimento tecnológico e consequente barateamento dos sistemas fotovoltaicos. A energia solar pode ser considerada uma fonte limpa, renovável e inesgotável. A geração de energia através dos sistemas fotovoltaicos não produz qualquer tipo de poluição ou gases que aumentam o efeito estufa. Tais características associadas a redução das faturas de energia elétricas dos proprietários destes sistemas de geração têm estimulado o crescimento deste setor nos últimos anos. A presente proposta foi idealizada com base nas experiências durante o período de estágio do autor na empresa SolarGrid, durante a implementação do parque solar de Oliveira dos Brejinhos – BA com capacidade instalada de 5 MWp. Durante a execução da obra foram observados alguns procedimentos que apresentavam alto potencial de otimização reduzindo os custos totais da obra. A etapa foco de estudo foi a de estaqueamento onde foi evidenciado um alto consumo de concreto devido aos atuais procedimentos operacionais. Foi idealizado então um novo procedimento visando o controle da qualidade final da fundação sem impactar o tempo de execução da atividade, desta forma foi possível avaliar financeiramente a proposta de otimização do procedimento de estaqueamento a fim de garantir que em projetos futuros com procedimentos otimizados a empresa tenha uma melhor competitividade orçamentaria. A análise econômica entre o procedimento atual e o proposto identificou uma potencial redução do consumo de concreto de 44%, em termos financeiros representaria 27% dos custos totais que envolvem o procedimento de estaqueamento.

Palavras-chave: Fotovoltaico. Energia Solar. Otimização.

ABSTRACT

Solar energy can be converted into electrical energy through the use of photovoltaic modules, this energy can be used in homes and businesses promoting a reduction in the value of the energy bill paid by the consumer. These generation systems have increased a lot over the years due to the technological development and consequent cheapness of the photovoltaic systems. Solar energy can be considered a clean, renewable and inexhaustible source. The generation of energy through photovoltaic systems does not produce any type of pollution or gases that increase the greenhouse effect. Such characteristics associated with the reduction of the electric energy bills of the owners of these generation systems have stimulated the growth of this sector in the last years. The present proposal was idealized based on the experiences during the author's internship period at the company SolarGrid, during the implementation of the Oliveira dos Brejinhos - BA solar park with an installed capacity of 5 MWp. During the execution of the work, some procedures were observed that had a high potential for optimization, reducing the total costs of the work. The focus stage of the study was that of piling where a high consumption of concrete was evidenced due to the current operational procedures. A new procedure was then devised to control the final quality of the foundation without impacting the activity's execution time, thus it was possible to financially evaluate the proposal for the optimization of the staking procedure in order to ensure that in future projects with optimized procedures the company have better budget competitiveness. The economic analysis between the current and the proposed procedure identified a potential reduction in concrete consumption of 44%, in financial terms it would represent 27% of the total costs that involve the staking procedure.

Keywords: Photovoltaic. Solar energy. Optimization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – <i>Tracker</i> montado NCLAVE	12
Figura 4.1 – Furo com qualidade afetada pela presença de raízes	13
Figura 4.2 – Fluxograma operacional atual	14
Figura 4.3 – Fluxograma operacional proposto	15
Figura 4.4 – Disposição dos piquetes de referenciamento	15
Figura 4.5 – Procedimento de validação dos furos	16
Figura 4.6 – Representação do furo com broca de 30 cm de diâmetro	18
Figura 4.7 – Representação do furo com broca de 40 cm de diâmetro (seção transversal A)	19
Figura 4.8 – Seção transversal B	20
Figura 4.9 – Sobreposição das seções transversais A e B	20
Figura 4.10 – Área da seção transversal B	21
Figura 4.11 – Estaca concretada na usina em operação	22
Figura 4.12 – Medição de topo e concreto da estaca	23
Figura 4.13 – Representação esquemática da estaca e fundação com as medidas aferidas .	23
Figura 5.1 – Custos em reais	29
Figura 5.2 – Volume de concreto em m ³	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1 – Custos diários por colaborador	25
Tabela 5.2 – Dias para conclusão das atividades	25
Tabela 5.3 – Custos de mão de obra das novas etapas	25
Tabela 5.4 – Custos de ferramentas e equipamentos	26
Tabela 5.5 – Redução do volume de concreto devido a seção transversal	27
Tabela 5.6 – Redução de volume devido ao controle de profundidade	27
Tabela 5.7 – Redução de concreto em volume e financeira	27
Tabela 5.8 – Custos Fixos de estaqueamento	28
Tabela 5.9 – Comparativo de Gastos	28
Tabela 5.10 – Redução volumétrica de concreto e financeira da etapa de estaqueamento	28

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	A Empresa	8
2	OBJETIVO	10
2.1	Objetivo geral	10
2.2	Objetivo específicos	10
3	CONSIDERAÇÕES GERAIS	11
3.1	Tipos de estruturas	11
3.2	Normas e tolerâncias de projeto	11
4	METODOLOGIA	13
4.1	Identificação dos problemas	13
4.2	Identificação das alternativas	15
4.3	Estimativa financeira	16
4.3.1	Custos com mão de obra	16
4.3.2	Custos de ferramentas e equipamentos	17
4.3.3	Redução de gastos com concreto	18
4.3.3.1	Redução da seção transversal do furo	18
4.3.3.2	Redução devido ao controle da profundidade da fundação	21
4.4	Análise financeira dos resultados da implementação da metodologia de validação	24
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
5.1	Análise dos custos	25
5.1.1	Custos com mão de obra	25
5.1.2	Custos de ferramentas e equipamentos	26
5.2	Análise de redução de gastos com concreto	26
5.2.1	Análise de redução de gastos com concreto	26
5.2.2	Redução de gastos devido ao controle da profundidade da fundação	27
5.2.3	Redução total de volume de concreto	27
5.3	Análise financeira dos resultados da implementação da metodologia de validação	28
6	CONCLUSÃO	31
	REFERÊNCIAS	32

ANEXO A – Dados de campo das estacas	33
ANEXO B – Dados de campo das estacas - Continuação	34
ANEXO C – Dados de campo das estacas - Continuação	35
ANEXO D – Dados de campo das estacas - Continuação	36

1 INTRODUÇÃO

A energia gerada pelo sol pode ser considerada inesgotável e pode ser aproveitada na forma de calor ou luz. A energia solar foto térmica pode ser utilizada para aquecimento de fluidos e, posterior, conversão da energia térmica em energia elétrica. Já a energia fotovoltaica é a conversão da luz (fótons) em energia elétrica, sem uma outra forma de energia intermediária. (FERREIRA, 1993).

Com os avanços tecnológicos os sistemas de conversão de energia solar vêm crescendo em todo o mundo de maneira elevada, seja em aplicações térmicas ou fotovoltaicas. Entre 2010 e 2016, os sistemas fotovoltaicos apresentaram um crescimento médio de 40% enquanto os setores eólicos e hídricos cresceram cerca de 16% e 3% respectivamente (REN21, 2017). No Brasil, segundo os dados do EPE (Empresa de Pesquisa Energética) no ano de 2017 a produção energética solar foi de 832 GWh e no ano de 2019 de 6655 GWh, um crescimento de cerca de 700%.

O uso de sistemas fotovoltaicos permite a geração distribuída a partir de pequenas e médias plantas instaladas próximas as unidades consumidoras, sendo estas instaladas em prédios, edifícios, telhados ou estruturas metálicas onde produzem a energia para consumo próprio e injetam o excedente na rede para distribuição, essa proximidade com os centros consumidores favorece uma redução das perdas ligadas aos sistemas de transmissão (PEREIRA et al., 2017).

A partir de 1º de março de 2016, com a REN 687/2015, a ANEEL revisou a regulamentação de mini e micro geração estendendo a abrangência dos telhados solares para os conceitos de condomínio, consórcio, cooperativa e também autoconsumo remoto. A partir da revisão fica permitido a instalação de plantas geradoras em áreas diferentes do local de consumo, sendo assim é permitido que pessoas ou empresas que não possuem em telhado ou área para instalação dos geradores, que instalem em outros locais e que estes créditos de energia sejam compensados em quaisquer unidades consumidoras, desde que estejam dentro da mesma área de concessão. Com esta flexibilização, as estimativas da ANEEL para 2024 preveem a instalação de aproximadamente 1,2 milhões de centros geradores fotovoltaicos dentro da classificação de micro e mini geração distribuída com potência máxima de 5 MWp (PEREIRA et al., 2017).

1.1 A Empresa

Fundada na cidade do Rio de Janeiro – RJ em 2014, a SolarGrid iniciou suas atividades em formato de startup com a missão de levar soluções de consumo de energia sustentáveis a

seus clientes, proporcionando uma redução de suas faturas de energia elétrica. Este formato de startup foi mantido até o ano de 2019, em que o foco da empresa foram serviços conhecidos como varejo, ou seja, instalações residenciais classificadas como micro geração (REN 687/2015). Nesta modalidade, a empresa se desenvolveu e alcançou novos mercados ao longo de toda região sudeste, concluindo mais de 500 projetos neste setor, tornando-se líder de mercado no RJ (SOLARGRID, 2019).

Com a crescente demanda por energias limpas no país a SolarGrid passou por uma reestruturação interna, deixando de ser uma *startup* e se tornando uma corporação. Essa mudança foi necessária para a empresa se lançar em um novo mercado de mini geração. A partir de então, a empresa vem realizando diversos projetos de usinas fotovoltaicas de até 5 MWp instalada por todo território nacional.

No início de 2019, a Solargrid dá início a sua primeira Usina Fotovoltaica em Francisco Sá – MG e outras 3 usinas no segundo semestre do mesmo ano, em Canas -SP, Presidente Alves-SP e Oliveira dos Brejinhos – BA.

Já em 2020 a Solargrid conta com aproximadamente 20 MWp em plena operação, no primeiro trimestre do mesmo ano é iniciada e concluída mais uma Usina no estado da Bahia, na cidade de Bom Jesus da Lapa.

A pesar das dificuldades do ano de 2020 a empresa ainda pretende entregar mais 35MWp para plena operação até o final do ano.

Durante o período de estagio do autor da Solargrid, foram evidenciados alguns procedimentos ainda pouco otimizados, devido à recente inserção da empresa no setor. A etapa foco do estudo foi o procedimento de estaqueamento, onde foi observado um consumo excessivo de concreto nas fundações das estacas devido ao procedimento de perfuração, motivando a proposição de um novo procedimento operacional.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

Otimização do procedimento de estaqueamento de usinas fotovoltaica, visando a redução de custos durante a execução de projetos.

2.2 Objetivo específicos

- Elaborar um procedimento operacional padrão para as atividades necessárias durante o estaqueamento;
- Avaliar os impactos econômicos em função da implantação do novo procedimento de estaqueamento.

3 CONSIDERAÇÕES GERAIS

3.1 Tipos de estruturas

Para as estruturas do sistema de geração fotovoltaico existem duas opções, o primeiro, e mais comumente utilizados para micro geração, é a estrutura fixa, onde os módulos estão em uma posição fixa, seja em um telhado de uma casa, uma laje ou uma estrutura metálica. Esse tipo de sistema apresenta um custo de instalação e de manutenção muito baixo, porém sua eficiência energética é menor.

O segundo é o sistema sol-seguidor ou *Tracker*, que varia a posição dos módulos ao longo do dia para garantir uma maior eficiência na geração, entre 20 e 30%, devido a estrutura favorecer um ângulo de irradiação mais favorável ao longo do dia (AL-MOHAMAD, 2004). São sistemas mais robustos e complexos, porém com um custo inicial elevado se comparado a estruturas fixas e maior frequência de manutenções. Em geral, na mini geração, é utilizado o sistema de *Trackers*, não sendo uma regra.

O sistema utilizado pela Solargrid em seus projetos de mini geração é o *Tracker* de eixo horizontal. Nesse sistema, os módulos estão fixos em um eixo horizontal que é atrelado a um motor, esse sistema permite que os módulos rotacionem de leste para oeste ao longo do dia. A estrutura móvel é atrelada as estacas utilizando mancais rotativos, que dão sustentação ao sistema. As estacas são concretadas no solo respeitando exigências de projeto de cada estrutura utilizada.

As estruturas utilizadas são adquiridas de diferentes fornecedores especializados, que possuem estruturas que se adéquam aos diferentes tipos de solo e necessidades dos clientes. Em geral, os projetos dos parques solares são desenvolvidos considerando os portfólios de estruturas disponíveis no mercado.

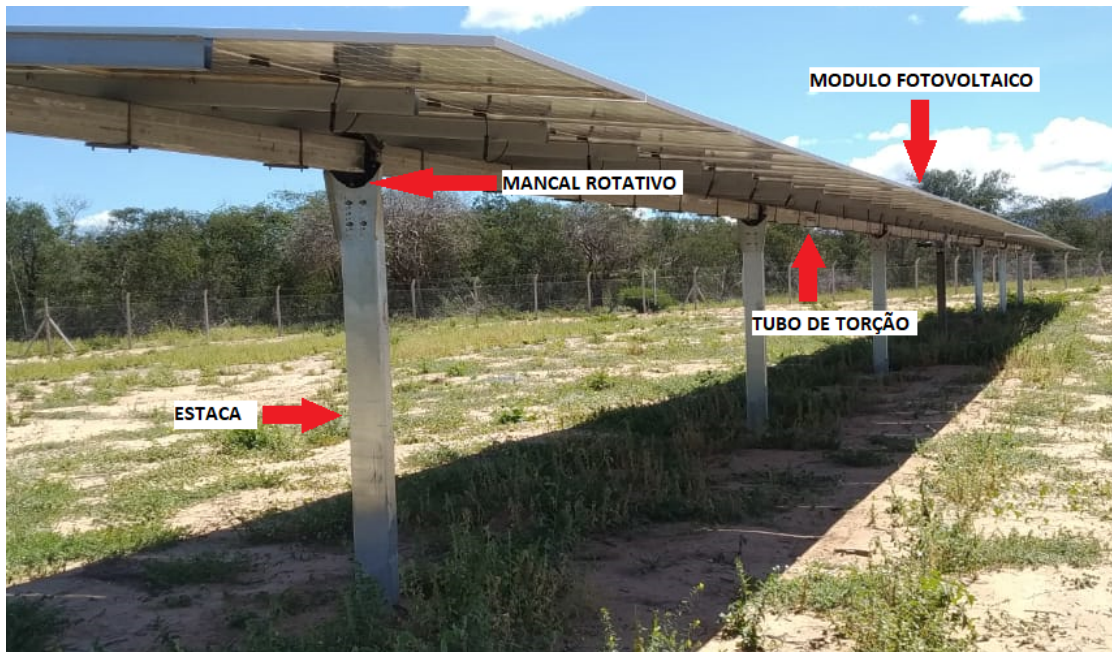
3.2 Normas e tolerâncias de projeto

Para cada tipo de estrutura, fixa ou móvel, existem inúmeros fornecedores com as mais variadas estruturas para implementação dos empreendimentos fotovoltaicos. Neste trabalho todas as avaliações serão feitas com base nos projetos de montagem e fundação das estruturas utilizadas para a instalação do parque solar de Oliveira dos Brejinhos – BA

Na instalação deste empreendimento foi utilizado o sistema de *Tracker* de eixo horizontal da fornecedora espanhola NCLAVE. Sua estrutura é composta por 7 estacas que são

concretadas ao solo e por meio de mancais rotativos sustentam um tubo de torção onde são fixados 90 módulos fotovoltaicos que são orientados em relação ao sol com auxílio de um motor. Na FIGURA 3.1 é apresentado um sistema de **Tracker** montado.

Figura 3.1 – *Tracker* montado NCLAVE



Fonte: Autor

O projeto de fundação das estacas, fornecido pela NCLAVE, exige uma fundação concretada de 30 centímetros de diâmetro e 1,6 metros de profundidade, o afastamento ou distância entre duas estacas subsequentes deve ser de 7 metros com uma tolerância de mais ou menos 5 centímetros, em termos de alinhamento entre as estacas a tolerância é de 2 centímetros pra leste ou oeste existe também uma tolerância na verticalidade das estacas de 1° para qualquer direção.

4 METODOLOGIA

O presente trabalho tem como proposta realizar uma concepção básica de uma metodologia operacional durante a execução de projetos de usinas fotovoltaica para uma empresa nacional do ramo de energia renovável, a metodologia visa aumentar a eficiência do processo de estaqueamento atualmente empregado, resultando na redução dos custos e uma maior competitividade da empresa no setor.

4.1 Identificação dos problemas

Durante a etapa de perfuração do solo para a fundação das estacas diversos obstáculos podem ocasionar a perda da centralidade e do prumo do furo, entre esses agentes estão o cascalho e, principalmente, raízes profundas que não são arrancadas durante a supressão da vegetação e limpeza do terreno. A FIGURA 4.1 apresenta um furo que teve sua qualidade afetada por raízes.

Figura 4.1 – Furo com qualidade afetada pela presença de raízes

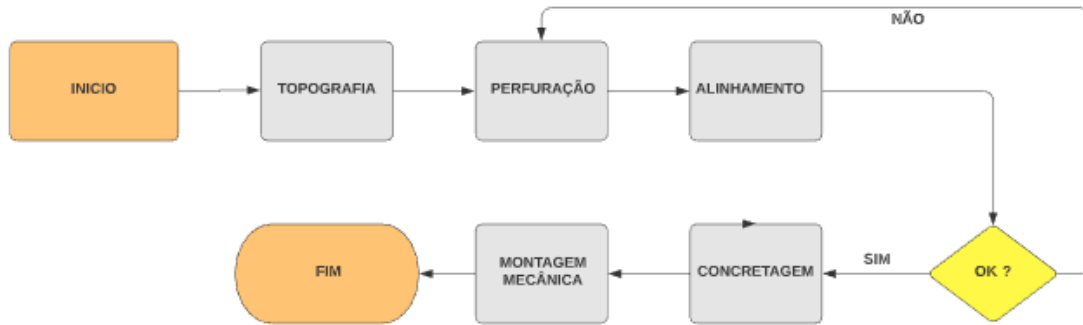


Fonte: Autor

Este problema de qualidade dos furos, atualmente, só é percebido durante a etapa de alinhamento, quando este procedimento não é possível de ser efetuado, sendo necessário retornar

a etapa anterior para corrigir os problemas detectados. Atualmente o fluxograma das etapas até a concretagem pode ser representado e compreendido a partir da FIGURA 4.2.

Figura 4.2 – Fluxograma operacional atual



Fonte: Autor

Na primeira etapa, os pontos georreferenciados das estacas são marcados por uma equipe de topografia, em seguida a perfuratriz realiza os 7 furos que compõem um mesmo *Tracker*. Uma equipe de alinhamento distribui e posiciona as estacas nos furos, com auxílio de referências em solo deixadas pela equipe de topografia as estacas são alinhadas, respeitando as tolerâncias de alinhamento e afastamento entre elas e conferindo se o furo é maior ou pelo menos igual ao mínimo exigido para a fundação (o procedimento de alinhamento não será trabalhado nesse projeto para resguardar segredos de produção da empresa). Se todas as estacas forem posicionadas respeitando-se as tolerâncias, então as estacas são concretadas por outra equipe que também é responsável pelo nivelamento correto das estacas.

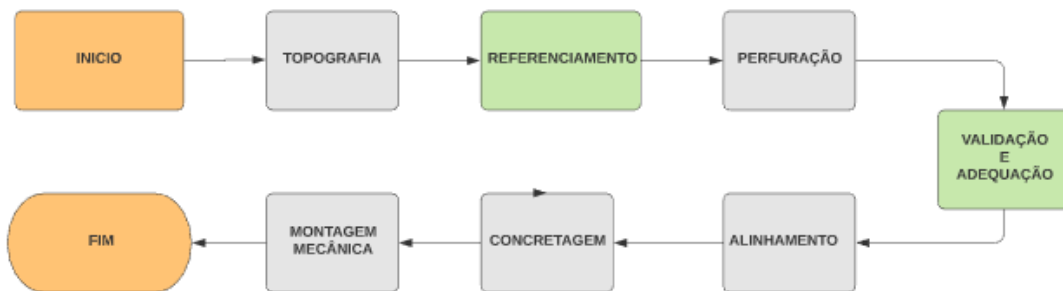
Quando o alinhamento não é possível devido a má qualidade de algum furo é necessário retornar à atividade de perfuração, o que impacta negativamente no tempo de execução da atividade. Atualmente, visando a eliminação quase total do retrabalho a perfuração é realizada por uma broca de 40 cm de diâmetro ao invés dos 30 cm exigido pelo projeto de fundação, algo que é eficiente em termos de eliminação de retrabalho, porém eleva o volume de concreto utilizado devido ao aumento da área da secção transversal.

Outro ponto importante a ser observado é a profundidade dos furos imediatamente antes do alinhamento. No processo atual, não existem métodos para garantir que a dimensão não ultrapasse a recomendação de projeto, gerando assim um consumo excessivo de concreto.

4.2 Identificação das alternativas

Considerando o cenário descrito, houve a oportunidade de se propor uma abordagem alternativa, visando melhorar o processo empregado pela empresa. Na FIGURA 4.3 um novo fluxograma descreve a nova abordagem para o processo.

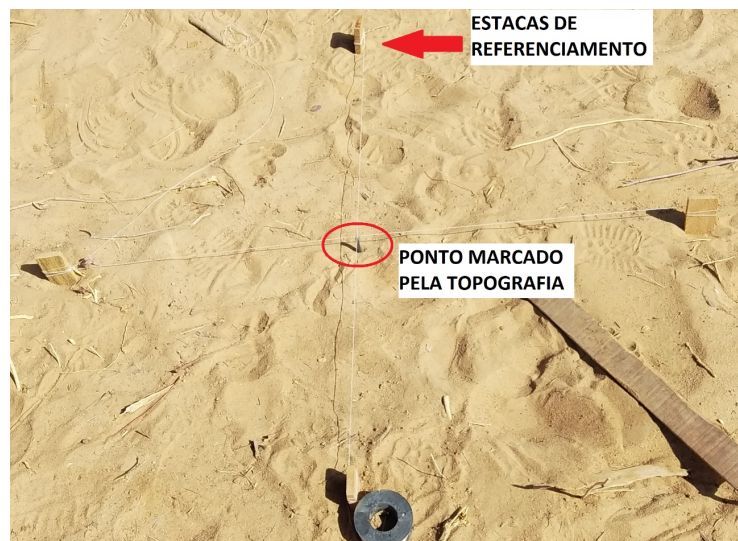
Figura 4.3 – Fluxograma operacional proposto



Fonte: Autor

Nesta nova abordagem operacional, a equipe de topografia inicia marcando os pontos onde a perfuratriz irá realizar os furos, então na etapa seguinte, de referenciamento, um colaborador coloca 4 piquetes no chão, dispostos como uma cruz, de modo que o centro da cruz coincida com o ponto marcado pela topografia, como apresentado na FIGURA 4.4.

Figura 4.4 – Disposição dos piquetes de referenciamento



Fonte: Autor

Após a perfuração, este terá de ser validado por uma outra equipe, com auxílio de um gabarito, um prumo e das referências no solo. Dessa forma, é feita conferência da qualidade do

furo em relação a centralidade, profundidade e no tocante as adequações necessárias a serem feitas pela própria equipe de validação. A FIGURA 4.5 ilustra o procedimento de validação.

Figura 4.5 – Procedimento de validação dos furos



Fonte: Autor

Com a qualidade de todos os 7 furos que compõem um mesmo *Tracker* validadas, a etapas de alinhamento das estacas e, posterior, concretagem podem ser realizadas.

4.3 Estimativa financeira

A estimativa financeira foi realizada por meio do estudo de caso da usina solar implementada em Oliveira dos Brejinhos – BA, os custos com equipamentos, ferramentas, mão de obra e concreto foram ponderados conforme as considerações da empresa e custos reais da obra em questão. Por fim, foi discutido o impacto econômico na redução do consumo de concreto a partir da implementação da nova metodologia de estaqueamento.

4.3.1 Custos com mão de obra

Para monetização da execução das novas atividades propostas foi considerado a contratação de novos colaboradores, exclusivos para cada atividade, foi considerado o custo padrão adotado pela empresa para a função de ajudante geral de obra. Esses custos são calculados considerando o salário base para a função, encargos trabalhistas, entre outros. A empresa em questão possui valores de referência que são utilizados em previsões de gastos semanais de operação. A Equação 4.1 fornece o custo por colaborador para cada dia trabalhado.

$$CC_{dia} = \left(\frac{\text{Salário} \cdot \text{Jornada diária}}{\text{Jornada mensal}} \right) \cdot \text{Multiplicador} + \text{Alimentação} \quad (4.1)$$

Onde:

- CC_{dia} = Custo por colaborador por dia;

- Salário = Pagamento do colaborador para uma determinada jornada mensal;
- Jornada diária = Horas trabalhadas por dia;
- Jornada mensal = Horas trabalhadas por mês;
- Multiplicador = Valor para conversão do salário em custos reais do trabalhador para a empresa, considerando causas e encargos trabalhistas;
- Alimentação = Custos com refeição em ambiente laboral por dia.

Para a quantidade de dias da atividade foi dividido a quantidade de estacas na usina pelo rendimento por dia do equipamento de perfuração. Esse rendimento foi obtido do controle interno de obras da empresa, como mostrado na Equação 4.2.

$$\text{Dias para conclusão} = \frac{\text{Total de estacas}}{\text{Rendimento}} \quad (4.2)$$

Por fim, foi estimado o número de colaboradores para cada atividade afim de acompanhar o rendimento do equipamento de perfuração.

O custo total com mão de obra pode ser calculado pela Equação 4.3.

$$Total_{MO} = \text{Funcionários} \cdot \text{Dias para conclusão} \cdot CC_{dia} \quad (4.3)$$

4.3.2 Custos de ferramentas e equipamentos

Para a realização das atividades das novas etapas foi necessário a produção de um gabarito em formato cilindro, piquetes para o referenciamento e de outras ferramentas como: marretas, linha de pedreiro, prumo de centro, cavador reto, cavador articulado, enxada, pá e carrinho de pedreiro. Algumas dessas ferramentas já são de uso rotineiro nas obras, mas para efeito de monetização seus custos foram inseridos como se fossem utilizados unicamente nessas atividades.

Ainda para evitar possíveis interrupções das atividades devido a avaria ou perda todos os equipamentos ou ferramentas utilizadas possuem ao menos uma unidade para substituição em estoque, esse custo também foi contabilizado.

4.3.3 Redução de gastos com concreto

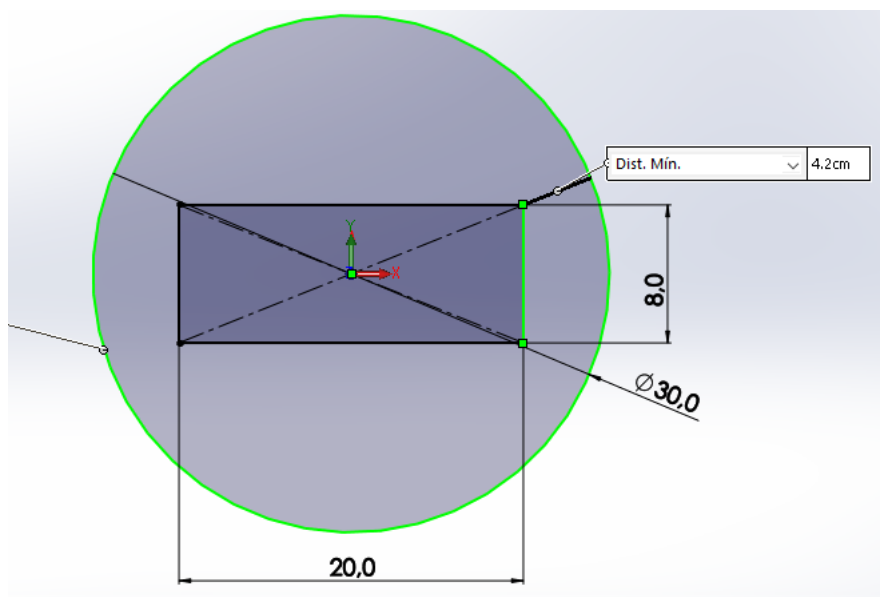
Com a metodologia operacional sugerida o volume dos furos sofrerá uma redução, devido ao controle de sua profundidade e redução da área de sua seção transversal. Isso irá impactar em um consumo menor de concreto, insumo de elevado valor e alto consumo.

4.3.3.1 Redução da seção transversal do furo

A atual solução de se utilizar uma broca com diâmetro de 40 cm é uma solução fácil e que empiricamente, com as obras já realizadas pela empresa, provou-se eficaz garantindo boa fluidez de serviço entre as diversas etapas que envolvem o estaqueamento.

As FIGURAS 4.6 e 4.7 são uma representação, onde o círculo é a seção do furo e o retângulo é a delimitação da região onde a estaca de perfil C estará inserida, ou seja se a estaca (ou o centro do retângulo) for fixada no ponto de projeto, o círculo ou furo tem que envolver toda a região do retângulo sem tocar nos vértice. Para um círculo, ou seja, uma broca de 30 cm de diâmetro a distância mínima entre o vértice e o perímetro da circunferência é de 4,2cm como indicado na FIGURA 4.6. Esse valor representa também a máxima distância entre o centro do furo real e furo projetado aceito não importando para qual direção ou sentido está essa diferença, ou seja, respeitando-se essa tolerância à estaca ainda pode ser colocada em seu ponto de projeto.

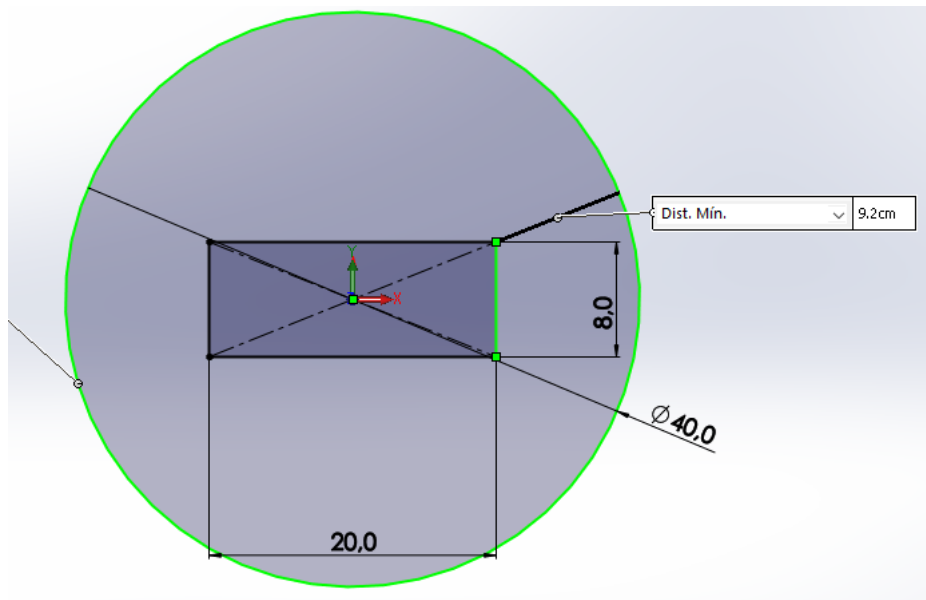
Figura 4.6 – Representação do furo com broca de 30 cm de diâmetro



Fonte: Autor

A FIGURA 4.7 ilustra que atual escolha da empresa pela broca de 40cm eleva tolerância entre o centro do furo real e furo projetado para 9,2 cm ou seja aumenta a tolerância em 5 cm. Essa seção transversal do furo será tratada como seção transversal A.

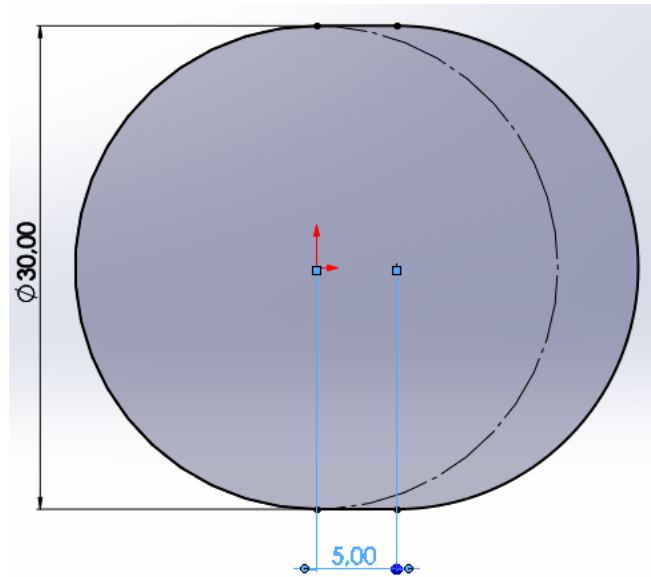
Figura 4.7 – Representação do furo com broca de 40 cm de diâmetro (seção transversal A)



Fonte: Autor

A proposta em questão visa a utilização da broca de 30 cm de diâmetro para diminuir o volume total de concreto, porém com isso grande parte dos furos não serão aprovados na validação e terão de ser adequados manualmente. Para considerar esse volume do furo aberto nessa etapa de adequação será considerado que todos os furos tenham que ser aumentados deslocando seu centro em 5 cm, dessa maneira a tolerância do furo com a broca de 30 cm se iguala a tolerância do furo com broca de 40 cm. A FIGURA 4.8 ilustra a nova seção transversal do furo, que será chamada nesse trabalho de seção transversal B.

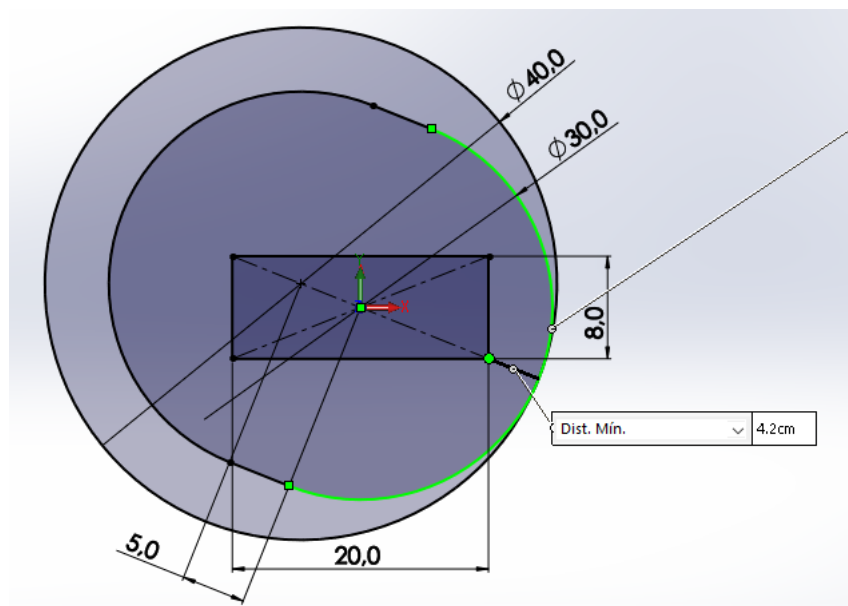
Figura 4.8 – Seção transversal B



Fonte: Autor

A FIGURA 4.9 é uma sobreposição entre a seção transversal A e B para furos, a partir do vértice do retângulo, pode-se inferir que a tolerância de centralidade para as duas seções em questão é a mesma. Porém, com uma área de seção transversal inferior, o que acarretará em um menor consumo de concreto.

Figura 4.9 – Sobreposição das seções transversais A e B



Fonte: Autor

Para o cálculo do volume do furo foi utilizada a Equação 4.4.

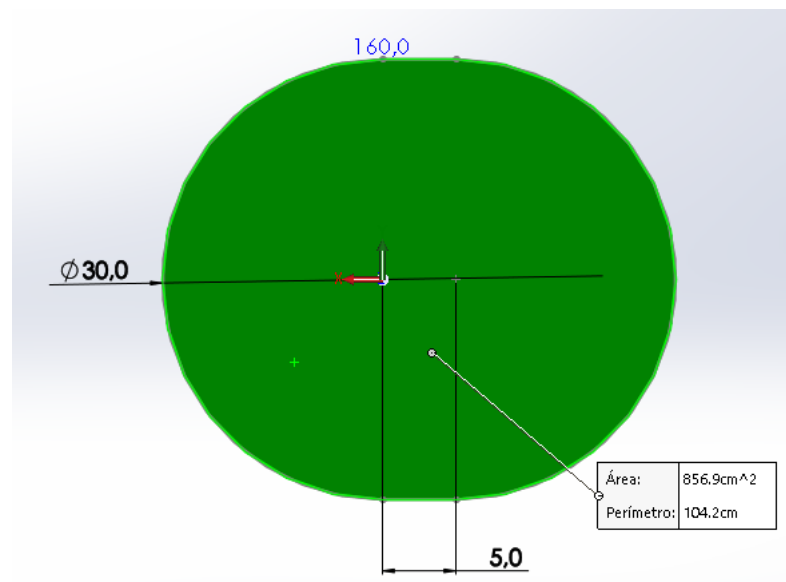
$$V = \text{Área} \cdot \text{Profundidade} \quad (4.4)$$

Para a seção de diâmetro de 40 cm temos a Equação 4.5.

$$V = \frac{\pi \cdot (0,4)^2}{4} \cdot \text{Profundidade}(m^3) \quad (4.5)$$

Para a nova seção sugerida no projeto, a área foi calculada usando a ferramenta computacional SOLIDWORKS, como indicado pela FIGURA 4.10.

Figura 4.10 – Área da seção transversal B



Fonte: Autor

Então, tem-se a Equação 4.6.

$$V = 0,0856 \cdot \text{Profundidade}(m^3) \quad (4.6)$$

4.3.3.2 Redução devido ao controle da profundidade da fundação

A economia de concreto devido ao ajuste da profundidade do furo para a profundidade de projeto foi calculada considerando um levantamento feito em campo a partir das estacas já concretadas em uma usina instalada.

Para uma estimativa do volume de concreto utilizado devido a fundações com profundidade maior que 1,6 m, ou seja, maior do que a requerida em projeto, foram feitas de maneira

aleatória 129 medições em estacas já concretadas, esse valor corresponde a aproximadamente 10% das estacas da usina solar utilizada no estudo.

Para o procedimento de alinhamento e concretagem, inicialmente as estacas são alinhadas com a base em contato com o fundo do furo, em seguida é realizada a concretagem e por último, com o concreto ainda fresco, as estacas são puxadas para cima até o nivelamento ideal. Esse procedimento deixa uma marca de concreto nas estacas, que pode ser utilizado para aferir indiretamente a profundidade do furo antes do processo de concretagem, na mesma estaca também é medido a altura de topo. A FIGURA 4.11 apresenta uma estaca na usina já em funcionamento, onde foi aferido as medidas em questão, nela é indicado a marca de concreto após todo o procedimento.

Figura 4.11 – Estaca concretada na usina em operação



Fonte: Autor

Na FIGURA 4.12 é apresentado processo de medição de topo e de concreto em uma das estacas utilizadas para o estudo.

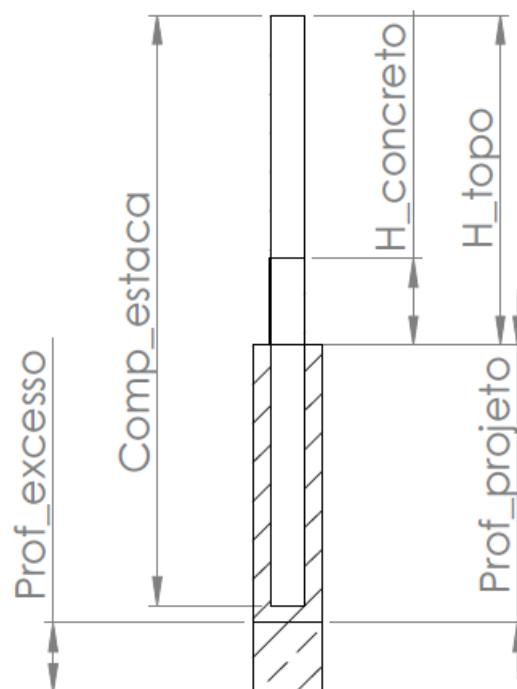
Figura 4.12 – Medição de topo e concreto da estaca



Fonte: Autor

A FIGURA 4.13 é um corte em seção de uma estaca e sua fundação, para facilitar o entendimento dos cálculos utilizados para determinação do volume excessivo de concreto.

Figura 4.13 – Representação esquemática da estaca e fundação com as medidas aferidas



Fonte: Autor

Onde:

- $Comp_estaca = 340$ cm, estaca padrão utilizada no projeto em estudo;
- $Prof_projeto = 160$ cm, profundidade da fundação para o projeto em estudo;
- H_topo = Variável medida em campo, é a distância entre o topo da estaca e o solo;
- $H_concreto$ = Variável medida em campo, é a distância entre o topo da marca de concreto até o solo;
- $Prof_excesso$ = Variável de interesse, representa a profundidade do furo a mais do que o exigido pelo projeto.

A Profundidade do furo em excesso é calculada pela Equação 4.7.

$$Prof_excesso = Comp_estaca - H_topo + H_concreto - Prof_projeto \quad (4.7)$$

4.4 Análise financeira dos resultados da implementação da metodologia de validação

Para a análise foram considerados os valores gastos durante todo o procedimento de estaqueamento que não são alterados pelos procedimentos propostos. Esses custos ou gastos são referentes a diária da equipe de topografia, locação da perfuratriz e custos com os funcionários envolvidos nas etapas de alinhamento e concretagem. Os valores utilizados serão os reais oriundos do controle financeiro da obra utilizada para estudo.

Estes valores foram considerados como os custos fixos do procedimento de estaqueamento e foram utilizados em um comparativo que relaciona o custo final do procedimento de estaqueamento com e sem as alterações aqui propostas. E por fim a redução financeira pôde ser calculada conforme a Equação 4.8.

$$\% \text{ redução} = 100 - \frac{(\text{Gastos com validação} \cdot 100)}{\text{Gastos sem validação}} \quad (4.8)$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise dos custos

Para toda a análise de custos foi considerado o rendimento médio de uma perfuratriz por dia com base nos registros internos da empresa durante a execução a obra avaliada. Foi verificado um valor médio de 54 furos por dia. Para cálculos mais conservadores foi utilizado o rendimento de 50 furos por dia.

5.1.1 Custos com mão de obra

A Tabela 5.1 apresenta os custos para a empresa por colaborador por dia, onde os encargos trabalhistas são considerados pelo multiplicador.

Tabela 5.1 – Custos diários por colaborador

Salário base (R\$/mês)	Jornada Diária (h/dia)	Jornada Mensal (h/mês)	Multiplicador	Alimentação (R\$/dia)	CC_{dia} (R\$/dia)
1300,00	8	220	1,65	15,00	93,00

Fonte: Autor

A Tabela 5.2 mostra a quantidade de dias necessários para conclusão das atividades, para melhores ajustes dos cálculos a quantidade de dias para conclusão será arredondado.

Tabela 5.2 – Dias para conclusão das atividades

Total de estacas	Rendimento	Dias para conclusão
1281	50	25,62

Fonte: Autor

Por fim com a estimativa do número de colaboradores para cada atividade foi compilado a Tabela 5.3 com os custos adicionais de mão de obra devido as novas etapas.

Tabela 5.3 – Custos de mão de obra das novas etapas

Atividade	Funcionários	Dias para conclusão	CC_{dia} (R\$/dia)	Subtotal(R\$)
Referenciamento	1	26	93,00	2418,00
Validação e adequação	2	26	186,00	4836,00
			$Total_{MO}$	7254,00

Fonte: Autor

5.1.2 Custos de ferramentas e equipamentos

Para os custos de ferramentas foi compilada a Tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Custos de ferramentas e equipamentos

Item	Quantidade	Valor uni (R\$/unidade)	Subtotal(R\$)
Gabarito	2	150,00	300,00
Piquete	400	0,50	200,00
Marreta	2	40,00	80,00
Linha	10	4,50	45,00
Prumo	2	25,00	50,00
Cavador reto	2	30,00	60,00
Cavador articulado	2	80,00	160,00
Enxada	2	35,00	70,00
Pá	2	30,00	60,00
Carrinho de mão	2	200,00	400,00
Total_F_E			1425,00

Fonte: Autor

5.2 Análise de redução de gastos com concreto

Para a análise dos gastos com concreto foi considerado o valor de 400 reais por metro cúbico, valor real pago pela empresa em uma de suas obras.

5.2.1 Análise de redução de gastos com concreto

Para o cálculo da redução do volume de concreto exclusivamente pela redução da seção transversal, foi considerado a área de cada seção e a profundidade de 1,6 metro como exigido no projeto de fundação. Na Tabela 5.5 são apresentados esses valores em volume de concreto.

Tabela 5.5 – Redução do volume de concreto devido a seção transversal

Seção transversal	Área (m ²)	Volume por estaca (m ³)	Total de estacas	Volume total (m ³)
A	0,126	0,201	1281	257,56
B	0,086	0,137	1281	175,45
			Redução (m ³)	82,11

Fonte: Autor

5.2.2 Redução de gastos devido ao controle da profundidade da fundação

Para a estimativa da redução do volume de concreto devido ao controle da profundidade do furo foi utilizado o valor médio aferido indiretamente através das 129 medições em campo. Nos Anexos A, B, C e D são apresentadas a tabela com todos os valores medidos em campo e os calculados a partir dessas medições.

O volume de concreto reduzido pelo controle de profundidade é apresentado na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 – Redução de volume devido ao controle de profundidade

Área (m ²)	Prof_excesso_Med (m)	Volume (m ³)	Total de estacas	Volume total (m ³)
0,126	0,350	0,044	1281	56,34

Fonte: Autor

5.2.3 Redução total de volume de concreto

Portanto para a obra em estudo a redução de concreto e seu impacto financeiro é apresentada pela TABELA 5.7.

Tabela 5.7 – Redução de concreto em volume e financeira

Redução devido a	Volume (m ³)	Financeiro (R\$)
Seção transversal	82,11	31203,70
Controle da profundidade	56,34	21409,58
Total	138,46	52613,28

Fonte: Autor

5.3 Análise financeira dos resultados da implementação da metodologia de validação

A Tabela 5.8 apresenta os custos fixos do procedimento de estaqueamento.

Tabela 5.8 – Custos Fixos de estaqueamento

	Custos fixos de estaqueamento (R\$)
Topografia	12810,00
Perfuratriz	8036,36
Mão de obra	24180
Total	45026,36

Fonte: Autor

Na Tabela 5.9 é apresentado um comparativo entre os custos com e sem a metodologia aqui proposta.

Tabela 5.9 – Comparativo de Gastos

Gastos	Com concreto (R\$)	Mão de obra adicional (R\$)	Equipamentos adicionais (R\$)	Custos fixos (R\$)	Total (R\$)
Sem validação	125560,40	-	-	45026,36	170586,76
Com validação	70178,40	7254,00	1425,00	45026,36	123883,76
				% de redução	27,38

Fonte: Autor

A Tabela 5.10 apresenta os impactos em volume de concreto e financeiro da aplicação ou não da metodologia proposta, por estaca concretada bem como a porcentagem de redução pela aplicação metodológica.

Tabela 5.10 – Redução volumétrica de concreto e financeira da etapa de estaqueamento

Gastos	Em volume (m ³)	Em reais (R\$)
Sem validação	313,90	170586,76
Com validação	175,45	123883,76
Economia	138,45	46703,00
% de redução	44,11	27,38

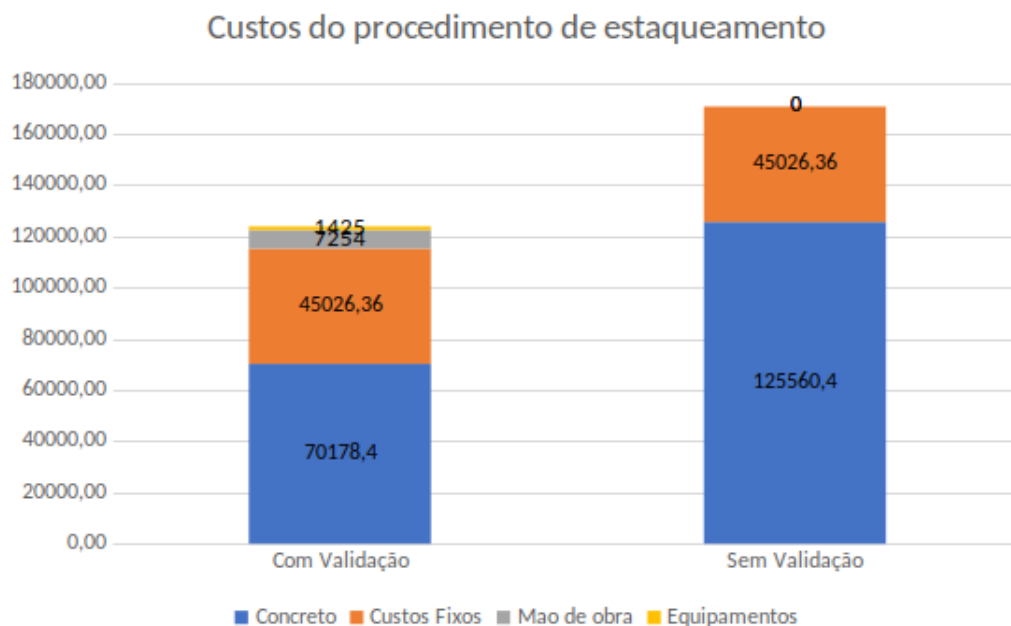
Fonte: Autor

As Tabelas 5.9 e 5.10 nos permite evidenciar claramente o quão vantajoso é a aplicação de uma metodologia de controle para a qualidade dos furos antes do procedimento de concretagem, considerando apenas os custos financeiros a metodologia apresentada tem um potencial

de prover uma redução de aproximadamente 27% dos custos totais que envolvem toda a etapa de estaqueamento.

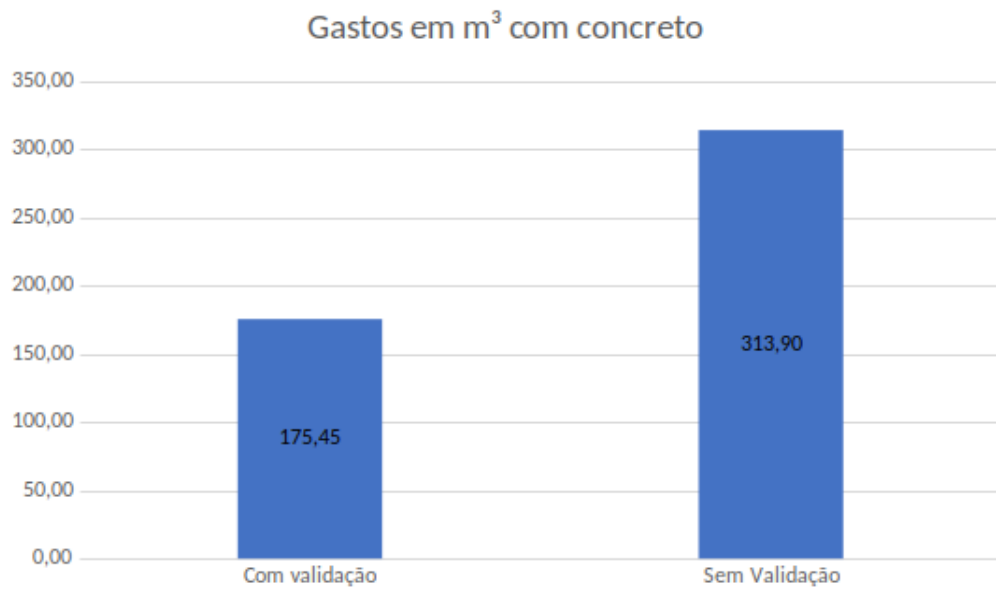
O gráfico apresentado na FIGURA 5.1 apresenta os valores totais em reais para o procedimento atual e o proposto, auxiliando a visualização dos dados apresentados na Tabela 5.10.

Figura 5.1 – Custos em reais



Fonte: Autor

Se analisarmos em volume de concreto essa redução está na casa dos 44%, algo extremamente expressivo e que pode até apresentar outros impactos positivos, mas que são difíceis de mensurar em estimativas ou monetizações, tendo em vista que uma diminuição de consumo desse insumo tem potencial de reduzir também o tempo total de execução da atividade, e com isso reduzir ainda mais os custos intrínsecos. Essa redução de tempo está associada principalmente ao tempo de produção e descarregamento do concreto, tendo em vista que o rendimento em estacas por metro cubico seria otimizado. O gráfico apresentado na Figura 5.2 ilustra o comparativo entre o gasto de concreto em volume para o procedimento atual e o proposto.

Figura 5.2 – Volume de concreto em m³

Fonte: Autor

6 CONCLUSÃO

Com o desenvolvimento tecnológico e visões de mercado cada vez mais ambientalistas, formas de geração de energia de maneira limpa vem ganhando espaço na medida que novas leis e novas tecnologias favorecem seus desenvolvimentos. Neste contexto, o Brasil experimenta um crescimento do setor fotovoltaico significativo a partir do ano de 2016, quando a ANEEL flexibiliza as normativas para geração de distribuição de energia em mini e micro unidades geradoras (REN 687/2015).

Devido à recente inserção da empresa no setor alguns de seus procedimentos ainda não são otimizados. Este trabalho buscou aprimorar o procedimento atual de estaqueamento utilizado na empresa, implementando o controle de profundidade das fundações e procedimentos de validação para garantir o posicionamento ideal das fundações reduzindo o consumo de concreto necessário.

Por fim foi feita a análise econômica comparando os custos do procedimento de estaqueamento anterior com os custos do procedimento atualizado. O consumo de concreto apresenta um potencial de redução de aproximadamente 44% o que em termos financeiros representaria uma redução de 27% dos custos totais do procedimento.

REFERÊNCIAS

AL-MOHAMAD, A. Efficiency improvements of photo-voltaic panels using a sun-tracking system. **Applied Energy**, Elsevier, v. 79, n. 3, p. 345–354, 2004.

ANEEL. **Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa n. 435/2011.** Brasília, 2019.

EPE. **Empresa de Pesquisa Energética.** 2017. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2018>>. Acesso em: 23 ago. 2020.

EPE. **Empresa de Pesquisa Energética.** 2019. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2020>>. Acesso em: 23 ago. 2020.

FERREIRA, M. J. G. **Inserção da energia solar fotovoltaica no Brasil.** Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 1993.

PEREIRA, E. et al. 2^a edição atlas brasileiro de energia solar, inpe, são josé dos campos, brazil. 2017.

REN21, R. Global status report, ren21 secretariat, paris, france. In: **Tech. Rep.** [S.l.: s.n.], 2017. p. 91–93.

SOLARGRID. **Empresa de Energia Solar Fotovoltaica.** Brasil: [s.n.], 2019. Disponível em: <<https://www.solargrid.com.br/>>. Acesso em: 05 fev. 2020.

ANEXO A – Dados de campo das estacas

Dados de campo das estacas			
Comp_estaca (cm)	340		
Prof_projeto (cm)	160		
Estaca	H_Topo	H_Concreto	Prof_excesso
1	193	60	47
2	191	23	12
3	192	66	54
4	204	23	-1
5	201	42	21
6	191	30	19
7	200	65	45
8	196	60	44
9	199	49	30
10	196	66	50
11	199	70	51
12	197	60	43
13	201	40	19
14	197	47	30
15	195	57	42
16	203	29	6
17	196	48	32
18	199	52	33
19	191	35	24
20	188	40	32
21	196	70	54
22	192	75	63
23	197	46	29
24	200	63	43
25	202	35	13
26	203	60	37
27	204	64	40
28	197	60	43
29	200	40	20
30	204	64	40
31	205	109	84
32	189	58	49
33	195	48	33
34	203	62	39
35	197	48	31
36	192	48	36
37	200	38	18
38	202	54	32
39	198	60	42
40	195	56	41

ANEXO B – Dados de campo das estacas - Continuação

Dados de campo das estacas			
Comp_estaca (cm)	340		
Prof_projeto (cm)	160		
Estaca	H_Topo	H_Concreto	Prof_excesso
41	195	58	43
42	195	70	55
43	208	89	61
44	200	63	43
45	204	81	57
46	197	60	43
47	198	87	69
48	203	70	47
49	202	40	18
50	203	50	27
51	204	62	38
52	192	30	18
53	187	40	33
54	185	53	48
55	194	94	80
56	202	44	22
57	201	40	19
58	205	50	25
59	204	40	16
60	201	60	39
61	204	62	38
62	199	70	51
63	196	60	44
64	204	79	55
65	199	74	55
66	195	56	41
67	193	50	37
68	200	66	46
69	202	86	64
70	198	75	57
71	196	76	60
72	193	78	65
73	191	54	43
74	196	45	29
75	197	60	43
76	201	70	49
77	195	60	45
78	189	46	37
79	205	60	35
80	198	53	35

ANEXO C – Dados de campo das estacas - Continuação

Dados de campo das estacas			
Comp_estaca (cm)	340		
Prof_projeto (cm)	160		
Estaca	H_Topo	H_Concreto	Prof_excesso
81	202	22	0
82	201	49	28
83	203	20	-3
84	205	35	10
85	201	24	3
86	205	32	7
87	199	40	21
88	210	36	6
89	202	43	21
90	202	36	14
91	195	41	26
92	193	60	47
93	200	48	28
94	196	26	10
95	197	50	33
96	192	63	51
97	196	49	33
98	200	55	35
99	208	43	15
100	198	40	22
101	201	30	9
102	196	38	22
103	202	30	8
104	197	32	15
105	201	33	12
106	193	69	56
107	193	41	28
108	196	30	14
109	206	66	40
110	205	73	48

ANEXO D – Dados de campo das estacas - Continuação

Dados de campo das estacas			
Comp_estaca (cm)	340		
Prof_projeto (cm)	160		
Estaca	H_Topo	H_Concreto	Prof_excesso
111	205	60	35
112	208	52	24
113	200	38	18
114	203	67	44
115	206	67	41
116	206	40	14
117	204	40	16
118	198	50	32
119	206	50	24
120	208	70	42
121	206	89	63
122	205	53	28
123	203	55	32
124	198	60	42
125	205	54	29
126	204	77	53
127	197	66	49
128	194	68	54
129	192	60	48