



INSTITUTO FEDERAL DE SERGIPE
CORDENADORIA DO CURSO
DAVYSON CONCEIÇÃO SANTOS

Metálicas Escore: DESENVOLVIMENTO DE UMA APLICAÇÃO WEB PARA O
DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS PROVISÓRIAS DE CIMBRAMENTO
METÁLICO USADAS NO ESCORAMENTO DE LAJES MACIÇAS E TRELIÇADAS

ESTÂNCIA
2023

DAVYSON CONCEIÇÃO SANTOS

Metálica Escore: DESENVOLVIMENTO DE UMA APLICAÇÃO WEB PARA O
DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS PROVISÓRIAS DE CIMBRAMENTO
METÁLICO USADAS NO ESCORAMENTO DE LAJES MACIÇAS E TRELIÇADAS

Monografia apresentada ao Instituto Federal de
Sergipe como pré-requisito para a obtenção do grau
de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. D.S.c Thiago Augustus Remacre
Munareto Lima.

Co-orientador: Lincoln Costa Modesto dos Santos

S237m Santos, Davyson Conceição.
Metálicas Escore: desenvolvimento de uma aplicação web para o dimensionamento de estruturas provisórias de cimbramento metálico usadas no escoramento de lajes maciças e treliçadas. / Davyson Conceição Santos. - Estância, 2023.
66 f.; il.

Monografia (Graduação) – Bacharelado em Engenharia Civil. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – IFS, 2023.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Augustus Remacre Munareto Lima.
Coorientador: Lincoln Costa Modesto dos Santos.

1. Cimbramento. 2. Escoramento. 3. Sustentabilidade. 4. Dimensionamento. 5. Aplicação Web. I. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe - IFS. II. Lima, Thiago Augustus Remacre Munareto. III. Santos, Lincoln Costa Modesto dos. IV. Título.

CDU: 624:515.146+502.171

DAVYSON CONCEIÇÃO SANTOS

Metálica Escore: DESENVOLVIMENTO DE UMA APLICAÇÃO WEB PARA O
DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS PROVISÓRIAS DE CIMBRAMENTO
METÁLICO USADAS NO ESCORAMENTO DE LAJES MACIÇAS E TRELIÇADAS

Monografia apresentada ao Instituto Federal de
Sergipe como pré-requisito para a obtenção do grau
de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. D.S.c Thiago Augustus Remacre Munareto Lima
IFS – Instituto Federal de Sergipe

Prof. Me Adysson André Fortuna de Souza
IFS – Instituto Federal de Sergipe

José Augusto Andrade Filho
Diretor da Dinove - IFS

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a meu Deus, Jeová, por ter me dado sua força para que apesar das dificuldades eu pudesse concluir essa etapa tão importante da vida.

Agradeço a minha mãe, Ana Sueli da Conceição, por todo incentivo, cuidado, carinho e apoio incondicional. De certa forma, essa também é uma conquista sua. Obrigado por ter me ensinado tanto e por ter contribuído para eu ter me tornado o homem que sou.

Agradeço a minha tia, Maria Helena da Conceição, por ter sido uma segunda mãe e por me ajudar a lembrar das coisas mais importantes.

Agradeço a Deijean Flávio da Conceição, Darianne Fernanda da Conceição, Davy Fábio da Conceição e Delara Francine da Conceição Nascimento por todo companheirismo, carinho e cuidado por todos esses anos.

A Ketlem de França Santos e Roberta Carlos Santos de Jesus pela amizade, incentivo e carinho de longa data.

A Lincoln Costa Modesto dos Santos por toda ajuda, amizade e companheirismo.

Ao meu orientador Thiago Augustus Remacre Munareto Lima pela orientação, direção, conversas e principalmente por ter se mostrado mais que um orientador em momentos difíceis.

A todos os professores do Instituto Federal de Sergipe Campus Estância por contribuírem de forma majestosa com minha formação e crescimento profissional.

A todos os servidores do Instituto Federal de Sergipe Campus Estância por tornar o ambiente aconchegante, didático, amigável e propenso à aprendizagem.

“Se a educação sozinha não transforma a sociedade,
sem ela tampouco a sociedade muda.”
(Paulo Freire)

RESUMO

O crescimento da indústria da construção civil solicita da mesma, atualizações nos seus processos construtivos, com o intuito de atender a crescente demanda com qualidade, segurança e rapidez. Porém, aliado a esse crescimento industrial, desenvolve-se, também, a preocupação em usar de processos e materiais que pratiquem o desenvolvimento sustentável. O cimbramento das estruturas de concreto, é, no âmbito do dimensionamento e execução, um processo construtivo que precisa da inovação e sustentabilidade. Para isso, será desenvolvido uma aplicação web voltada ao dimensionamento de estruturas provisórias metálicas que, baseado nas sobrecargas estruturais e de concretagem, será capaz de selecionar e posicionar a escora metálica mais adequada para ser utilizada na obra. Fundamentado na ABNT NBR 15696 - Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto e ABNT NBR 8800 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mista de aço e concreto de edifícios, será desenvolvido pela metodologia ágil do tipo *Feature driven development*, cujo princípio é o desenvolvimento funcional. Apto a reconhecer as entradas do usuário sobre o elemento estrutural em questão e sugerir a escora a ser utilizada em cada caso, com a confiança dos processos industriais de fabricação das escoras metálicas bem como os requisitos das normas. Finaliza, portanto, com a entrega do projeto contendo o tipo, quantidade, posicionamento e taxa de utilização das escoras a serem executadas no canteiro de obra, garantindo, assim, que erros de execução sejam minimizados e a segurança na obra priorizada.

Palavras-chave: Cimbramento. Escoramento. Sustentabilidade. Dimensionamento. Aplicação Web.

ABSTRACT

The growth of the civil construction industry requires the same, updates in its construction processes, in order to meet the growing demand with quality, safety and speed. However, allied to this industrial growth, there is also a concern to use processes and materials for sustainable development. The scaffolding of concrete structures is, in the process of design and constructive execution, that needs innovation and sustainability. For this, a mobile assembly application will be developed for the design that, based on the structural and construction structures, can be selected and positioned for the most suitable strut to be used in the construction. Founded in ABNT NBR 15696 - Forms and reinforcements for concrete structures and ABNT NBR 8800 - Design of steel structures and mixed steel and concrete structures of buildings, will be developed by the goodwill methodology of the Feature-driven development type, whose principle is the functional development. Apt to be recognized as inputs on the structural element in question and suggestion to be used in each case, with the confidence of the industrial processes of fabrication of metallic schools as well as the requirements of the norms. Therefore, the positioning and implementation rate of the project, therefore, in the work, will be minimized and prioritized.

Keywords: Truss. Shoring. Sustainability. Sizing. Mobile Application.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Sistema de escoramento com escoras metálicas	12
Figura 2 – Esquema estrutural de uma dendrita	18
Figura 3 – Gráfico de tensão deformação convencional para o aço	21
Figura 4 – Valor de χ em função do índice de esbeltez λ_0	27
Figura 5 – Cimbramento metálico em torres e escoras	29
Figura 6 – Tipos de escoras metálicas	30
Figura 7 – Partes de uma escora metálica	31
Figura 8 – Esquema de deformação aplicada em função da distância entre apoios	35
Figura 9 – Processos desenvolvidos na metodologia FDD	38
Figura 10 – Diagrama do tipo UML do uso da aplicação	40
Figura 11 – Fluxograma 1 do processo de cálculo da segurança das escoras	42
Figura 12 – Fluxograma 2 do processo de cálculo da aplicação	44
Figura 13 – Escora 2T em perspectiva e perfil	46
Figura 14 – Ambiente de criação dos algoritmos da aplicação	55
Figura 15 – Página de exibição da aplicação em web e dispositivo móvel	55
Figura 16 – Logo da aplicação	56
Figura 17 – Botão calcular e área de cálculo	56
Figura 18 – Valores para validação e resultados	58
Figura 19 – PDF criado pela aplicação	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de aços usados na construção civil	20
Tabela 2 – Valores dos coeficientes de ponderação das ações $\gamma_f = \gamma_{f1} \gamma_{f3}$	23
Tabela 3 – Valores dos fatores de combinação Ψ_0 e de redução Ψ_1 e Ψ_2 para as ações variáveis	24
Tabela 4 – Valores dos coeficientes de ponderação das resistências γ_m	25
Tabela 5 – Valor de χ em função do índice de esbeltez λ_0	27
Tabela 6 – Modelos de Escoras Metálicas e Especificações para metodologia	37
Tabela 6A – Modelos de Escoras Metálicas e Especificações (Modificada)	50
Tabela 6B – Modelos de Escoras Metálicas e Especificações (Modificada)	53

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

API – *Application Programming Interface* (interface de programação de aplicações)

ASTM - American Society for Testing and Materials

FDD - *Feature-Driven Development* (Desenvolvimento orientado a recursos)

IDE – *Integrated Development Environment* (ambiente de desenvolvimento integrado)

IFS – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe

INPI – Instituto Nacional da Propriedade Intelectual

NBR – Norma Brasileira

UML - *Unified Modeling Language* (Linguagem de modelagem unificada)

OMG - *Object Management Group* (Grupo de Gerenciamento de Objetos)

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	11
1.1.	OBJETIVOS.....	13
1.1.1.	Objetivo geral	13
1.1.2.	Objetivos específicos.....	13
1.2.	JUSTIFICATIVA	14
1.2.1.	Sustentabilidade	14
1.2.2.	Racionalidade	15
1.2.3.	Segurança	16
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1.	AÇO	17
2.1.1.	Propriedades mecânicas.....	18
2.1.3.	Estruturas metálicas.....	20
2.1.4.	Dimensionamento de um elemento metálico	24
2.2.	CIMBRAMENTO	28
2.2.1.	Cimbramento Metálico	28
2.2.1.1.	<i>Escoras Metálicas</i>	<i>29</i>
2.3.	PROJETO DE CIMBRAMENTO METÁLICO.....	31
2.3.1.	Solicitações e Carregamentos	32
2.3.2.	Dimensionamento de Cimbramento Metálico	33
2.3.2.1.	<i>Estados-limites Últimos</i>	<i>33</i>
2.3.2.2.	<i>Estados-limites de Utilização</i>	<i>35</i>
2.3.3.	Desenho e Detalhamento de Projeto de Cimbramento.....	35
3.	METODOLOGIA	36
3.1.	PARÂMETROS E ESPECIFICAÇÕES DAS ESCORAS	36
3.2.	METODOLOGIA ÁGEIS PARA DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARES	37
3.2.1.	Metodologia FDD.....	37
3.3.	DESENVOLVIMENTO DA APLICAÇÃO	38
3.3.1.	Concepção e planejamento da aplicação.....	38
3.3.2.	Diagrama de uso da aplicação via linguagem UML	40
3.3.3.	Construção do <i>front-end</i>	40
3.4.	VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA DAS ESCORAS	41
3.5.	FUNCIONAMENTO E CÁLCULO DA APLICAÇÃO	42
4.	RESULTADOS	44
4.1.	RESULTADOS DA VALIDAÇÃO DAS PREMISSAS DE CÁLCULO.....	44
4.1.1.	Validação da resistência característica do fabricante	45
4.1.2.	Cálculo de validação da aplicação para uma laje treliçada	49

4.1.3. Laje Maciça	52
4.2.1. Validação do desenvolvimento da Aplicação	54
4.2.2. Validação dos cálculos da aplicação	57
5. CONCLUSÃO	60
REFERÊNCIAS	61

1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é de fato um dos ramos que mais tem crescido e se desenvolvido nos últimos anos. Entretanto, esse progresso solicita dessa indústria atualizações dos seus processos construtivos a fim de atender a demanda com qualidade e rapidez. Uma vez que os projetos buscam o uso racional do tempo, materiais e mão de obra, fica claro a necessidade de processos construtivos que prezem por respeitar essas necessidades. Dessa maneira, a tecnologia torna-se um importante aliado para que essas atualizações de processos aconteçam.

Ainda sob essa ótica, é notável que com o aumento do desenvolvimento da tecnologia, a grande maioria da população possui um *smartphone*, o qual tem feito, cada vez mais, parte do dia a dia das pessoas. O uso desses *smartphones*, por sua vez, faz com que aumentem as buscas e ofertas de aplicações que auxiliam no trabalho diário, seja ele pessoal ou profissional, com o intuito de solucionar problemas em um curto espaço de tempo (IDC, 2018).

De acordo com dados obtidos na pesquisa realizada pela IDC (*International Data Corporation*) (2018), a venda de *smartphones* no terceiro trimestre de 2018 atingiu 355,6 milhões por todo o mundo. E apesar desse número ter reduzido em 2020 devido a pandemia da COVID-19, conforme dados mais atuais da pesquisa, o IDC aponta que em 2021 esse número voltou a crescer. Consequentemente, o aumento da busca por aplicações para dispositivos móveis que ofereçam soluções simples e acessíveis para diversos tipos de problemas também deve aumentar.

Esse comportamento tem relação direta com a indústria 4.0, uma vez que, para atender as necessidades gerais da população o mercado precisa ser mais ágil, eficaz e eficiente, sendo criadas fabricas com o intuito de atender essas demandas com custo baixo e maior rapidez. E mesmo que no Brasil, ainda seja verificado uma combinação de técnicas convencionais e artesanais a métodos mecanizados de construção, com a máquina substituindo o homem nas operações mais pesadas (DACOL, 1996), em 2013, com a publicação da Norma de Desempenho NBR 15.575 (ABNT, 2013), foi instituído um nível mínimo de desempenho para os elementos mais importantes da obra, induzindo a utilização de sistemas construtivos mais inovadores (CBCI, 2016).

Dessa forma, como o ramo da construção civil é uma área culturalmente mais conservadora e resistente a mudanças inovadoras, é um grande desafio fazer o uso de tecnologia, principalmente voltada ao uso de dispositivos móveis (MICHALOSKI et al., 2010). Por isso, se faz necessário o desenvolvimento de aplicações competentes e didáticas a fim de

solucionar alguns problemas encontrados nessa área de atuação.

Na construção civil, ao falar de desafios ou dificuldades no quesito dimensionamento e execução, pode-se citar o cimbramento de estruturas como uma etapa que necessita de inovações. O cimbramento pode ser definido como um conjunto de elementos de suporte temporário de estruturas, utilizados para apoiar as formas de fundo da laje/vigas, resistindo aos esforços e evitando variações excessivas e propagando as cargas atuantes diretamente ao piso ou elemento estrutural inferior. Uma pequena variação ou distorção nessa estrutura de suporte pode gerar uma adversidade na estrutura de concreto armado, causando perda da durabilidade e qualidade estrutural. Os elementos que compõe o grupo do cimbramento de estruturas (figura 1) são o suporte, torres e escoras, a trama, longarinas e barrotes, e os acessórios, peças que unem, ajustam e posicionam os elementos (BARCELOS, 2014).

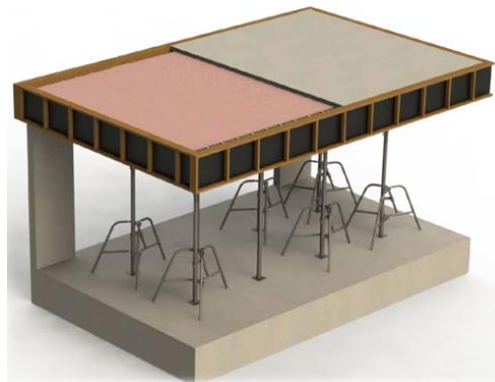


Figura 1: Sistema de escoramento com escoras metálicas (Fonte: Mills, 2016, adaptado)

O projeto de cimbramento, tem como principal objetivo, garantir que os elementos estruturais de concreto não sofram deformações, prejudicando assim a sua vida útil. As considerações a serem feitas nesse tipo de projeto vai desde o peso próprio da estrutura (carga permanente) até uma carga de circulação de equipamentos de concretagem ou mão de obra (cargas variáveis). Vale ressaltar que deve ser previsto, também, a ação de reescoramento, ou seja, a retirada ou desmontagem do cimbramento. Quando não feito, ou feito de forma errada, o projeto de cimbramento pode causar ruína envés de fortalecimento das estruturas.

Um exemplo de escoramento errado e que acabou comprometendo a estrutura foi o caso da obra da ponte da avenida Raul Barbosa, sobre o canal do Lagamar, no bairro Alto da Balança, em Fortaleza - CE. Depois de concluído o laudo da Prefeitura, foi apontado deficiências na estrutura de escoramento metálico como motivo do desabamento da obra. A

queda ocorreu, majoritariamente, por deficiência de projeto que levou a problemas na montagem. Esse erro culminou no óbito de 2 operários e deixou 7 feridos (O POVO, 2016).

Nota-se, portanto, a necessidade do cuidado redobrado nos projetos de escoramento metálico, a fim de evitar que casos como esse continuem acontecendo, uma vez que essa é uma etapa construtiva subestimada. Sendo assim, faz-se indispensável o investimento e desenvolvimento de novas tecnologias que busquem resolver os problemas relacionados às estruturas de cimbramento, mais especificamente, elementos de sustentação provisória do tipo escoras metálicas.

A crescente onda de aplicações e aplicativos nos mais diversos formatos e áreas abre espaço pra o desenvolvimento de tecnologias na área da construção civil. Entretanto, por ser uma etapa da obra subestimada, muito pouco é investido em tecnologias que aprimorem esse processo construtivo. Por esse motivo, quase não existem aplicações nesse nicho, tendo sido registrado, junto ao INPI (Instituto Nacional da Propriedade Intelectual), apenas duas versões do aplicativo ReEscore, para lajes e vigas, mas que concentra suas funções no dimensionamento de escoras de madeira.

Diante disso, o presente trabalho pretende atender as necessidades de melhoria no processo de cimbramento com o desenvolvimento de uma aplicação para o dimensionamento do escoramento metálico. Espera-se, contudo, que essa aplicação possa ajudar a resolver problemas encontrados no processo de escoramento metálico, nas etapas de cálculo e locação em canteiro de obras, primordialmente.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo geral

Produzir uma aplicação web utilizando framework Vue.js na linguagem *JAVA script*, direcionada ao dimensionamento e validação de elementos de cimbramento metálicos usados para escorar lajes maciças e treliçadas de concreto armado.

1.1.2. Objetivos específicos

- Desenvolver e validar uma rotina de dimensionamento estrutural voltada para

projetos de cimbramento metálico em lajes treliçadas e maciças;

- Implementar a linguagem computacional *JAVA script* nos cálculos de dimensionamento contidos na ABNT NBR 15696 – Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto – projeto, dimensionamento e procedimentos executivos;
- Escrever os algoritmos responsáveis por executar os comandos;

1.2. JUSTIFICATIVA

A construção do embasamento da presente monografia tem como pilares principais as seguintes características, a saber: a sustentabilidade, o uso racional e a segurança. A utilização do metal no cimbramento de estruturas de concreto, o que inclui o uso de escoras metálicas, garante que sejam alcançados os objetivos previstos em projetos, com segurança, rapidez e custo acessível.

1.2.1. Sustentabilidade

A Indústria da Construção Civil tem se tornado uma das atividades econômicas que mais degradam o meio ambiente por fazer a extração direta da sua matéria-prima, tornando-se urgente uma mudança do paradigma que caracteriza esse setor e que seja capaz de transacionar de um setor poluente para um mais sustentável (TORGAL; JALALI, 2007). Por esse motivo, tem se tornado cada vez mais necessária a substituição de materiais que degradem o meio ambiente por materiais reutilizáveis, proporcionando maior sustentabilidade e em alguns casos uma obra mais limpa.

A atenção voltada à sustentabilidade tem levado a Indústria da Construção Civil, mesmo que com certo retardo em relação a outros setores produtivos, a grandes transformações e à compreensão de novos conceitos gerenciais em virtude do aprimoramento profissional de seus administradores, da pressão exercida pela concorrência a nível internacional e pelo maior grau de entendimento e exigência do consumidor, que passa a valorizar cada vez mais empresas e produtos certificados em qualidade, ética e responsabilidade ambiental (CORTES et al, 2011). Dessa forma, obras com menores desperdícios, reaproveitamento de materiais, bem

como a melhoria dos processos construtivos tem sido fatores considerados importantes quando se pensa em construir um empreendimento.

De acordo com Windmöller et al (2017), a utilização de materiais ecológicos e melhoria dos processos de execução na construção civil pode influenciar na sustentabilidade do setor e contribuir no contexto de desenvolvimento regional. Por meio de um estudo junto a uma empresa familiar, Windmöller et al, pôde verificar como a substituição de alguns materiais pode tornar uma construção mais sustentável. Ou seja, para que a construção seja considerada sustentável, é importante que os materiais usados na obra obedeçam o mesmo princípio. Para isso, é necessário fazer a utilização de matérias-primas que não degradem, ou agredam de maneira pouco significativa, o meio-ambiente.

1.2.2. Racionalidade

O uso racional de materiais na construção civil, com o avanço dos anos, se tornou algo imprescindível, uma vez que nos deparamos com a dificuldade de extração, custos elevados e até escassez de alguns desses materiais. Por esse motivo, o cimbramento metálico torna-se uma ótima opção, visto que pode ser utilizado diversas vezes, em obras diferentes, em contraponto às de madeira que tem seu uso reduzido a uma única vez.

Ainda sob estudo de Windmöller et al (2017), a racionalidade é vista em prática quando observado seus resultados. Na obra analisada, um dos materiais envolvidos eram escoras, que foram substituídas, as de madeira por escoras metálicas. Como resultado, foi possível verificar que o grande ganho em termos econômicos se deu pelo fato de que as escoras metálicas poderiam ser reutilizadas em obras posteriores. Segundo os autores, o custo das escoras metálicas para a obra estudada foi de R\$ 21.800,00 e as escoras de eucalipto possuía custo de R\$ 29.800,00, e nesse caso já haveria uma vantagem da ordem de R\$ 8.000,00. No entanto, a vantagem passa a ser enorme considerando que as escoras metálicas podem ser utilizadas de 15 a 20 vezes e as de eucalipto apenas uma única vez.

Isto é, além de prezar pela sustentabilidade, o uso racional de estruturas provisórias metálicas podem proporcionar imediatamente um ganho econômico de 26,85% em relação as de madeira. Entretanto, esse ganho é potencializado quando pensamos numa série sucessiva de reutilizações em obras futuras, numa ordem de até 20 vezes a mais que escoras de eucalipto. Dessa maneira, fica ainda mais evidente a notória importância do emprego desse material nas construções atuais.

1.2.3. Segurança

Outro motivo determinante para a troca do cimbramento em madeira para o metálico, é a necessidade existente na construção civil de obras cada vez mais rápidas, bem acabadas, seguras e fiéis ao projeto. Os projetos têm três coisas em comum: i) A particularidade, pois possuem condições, recursos e envolvidos únicos; ii) Temporariedade, com duração de consumo dos recursos limitados; iii) Progressividade, por ter início, meio e fim bem definidos (SALOMÃO, P. E. A. 2019).

Sendo assim, o engenheiro precisa utilizar materiais com a finalidade de garantir que essas três características estejam presentes em seu projeto. O emprego de cimbramento metálico assegura esses três fatores na obra, uma vez que esse tipo de material pode garantir melhor acabamento, redução do tempo e precisão na execução e elevada capacidade de carga dispensando grandes deformações, garantindo, assim, a segurança na obra.

Ainda neste concerne, as escoras metálicas possuem suportes ajustáveis, concedendo a tais, a capacidade de reajuste de tamanho e maior precisão de apoio de grandeza milimétrica. Essa competência, por sua vez, garante a exatidão necessária que o projeto de vigas e lajes exige, certificando, portanto, que a flecha máxima seja preservada.

Somado a esse fato, pode-se citar, também, que a NR-18, bem como a NBR 15696 - Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto – projeto, dimensionamento e procedimentos executivos, impõe junto ao ministério do trabalho e emprego exigências que asseguram a estabilidade desse material conferindo a ele a medida de segurança necessária para a execução dos projetos. Além disso, pode-se destacar que a forma de fabricação do aço, que é normatizada e industrializada, diminui as deformações e imprecisões do material, mantendo suas propriedades e características particulares.

Apesar das diversas vantagens que o uso de materiais metálicos no cimbramentos de estruturas pode proporcionar, a ausência do dimensionamento ou um dimensionamento errado, seja por falta de conhecimento ou por mão de obra desqualificada, pode causar consequências as estruturas e danos futuros que prejudicarão e diminuirão vida útil da edificação. Torna-se imprescindível, nesse caso, o conhecimento e uso da ABNT NBR 15696 - Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto — Projeto, dimensionamento e procedimentos executivos (2009), para que aliado ao projeto estrutural, uma estrutura de cimbramento e escoramento seja projetada e dimensionada a fim de garantir o melhor e mais adequado desempenho da estrutura.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. AÇO

O aço é uma liga metálica, composta essencialmente de ferro e pequenas quantidade de carbono, onde este é responsável por sua baixa ou alta resistência (DE SOUZA, 2017). O que explica, e é um dos motivos do uso tardio do ferro (e consequentemente do aço), na construção civil, são as altas temperaturas, necessárias para sua fabricação. Portanto, para que o aço venha a ser produzido, é necessário que uma usina siderúrgica faça a transformação, por meio de processos industrializados e altas temperaturas, do minério de ferro em aço, resultando em um material com propriedades específicas para o uso na construção civil. (FERRAZ, 2003)

Apesar do nome aço ser abrangente, existem diversos tipos e eles se diferenciam entre si pela forma, uniformidade e tamanho dos grãos que o compõe, além de sua composição química. Mas o que faz o aço ser um ótimo material para determinadas estruturas na construção civil são suas propriedades mecânicas, a saber: elevada resistência a tração e compressão, homogeneidade, elasticidade, plasticidade, ductilidade, resiliência, fluência, etc.

Essas propriedades existem graças a estrutura molecular do aço, que igual aos outros metais, se solidificam pela formação de cristais que crescem em diferentes direções. O crescimento desses cristais dá origem aos eixos de cristalização. Primeiro surge um eixo principal, depois crescem eixos secundários que se desdobram em outros eixos e assim por diante, até que o metal tome forma. O nome dado ao conjunto formado pelo eixo principal e secundário é dendrita (Fig. 2). Essas dendritas ao se juntarem formam, no fim do processo de cristalização, os grãos que compõem os metais. (FERRAZ, 2003)



Figura 2: Esquema estrutural de uma dendrita (Fonte: FERRAZ, 2003)

Dessa forma, a microestrutura, condicionada pela composição química e sequência de tratamentos termomecânicos utilizados na fabricação, é responsável pelas propriedades mecânicas dos metais.

2.1.1. Propriedades mecânicas

- Elasticidade

É a propriedade do metal de retornar à forma original, uma vez removida a força externa atuante. Deste modo, a deformação segue a Lei de Hooke, sendo proporcional ao esforço aplicado:

$$F = K \times \Delta L \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

F é a força aplicada sobre o corpo elástico, nesse caso o metal

K é a constante elástica ou constante de proporcionalidade do material

ΔL é a deformação sofrida pelo material na aplicação da força

- Plasticidade

É a propriedade inversa à elasticidade, ou seja, o material não voltar à sua forma inicial após a remoção da carga externa, obtendo-se deformações permanentes. A deformação plástica altera a estrutura de um metal, aumentando sua dureza. Este fenômeno é denominado endurecimento pela deformação à frio ou encruamento.

- Ductilidade

É a capacidade do material de se deformar sob a ação de cargas antes de se romper, por isso ela é tão importante, já que estas deformações servem de aviso prévio à ruptura final do material, o que é de extrema importância para prevenir acidentes em uma construção, por exemplo.

- Resiliência

É a capacidade que o metal tem de absorver energia mecânica em regime elástico, ou seja, a capacidade de restituir a energia mecânica absorvida. Já a tenacidade é a energia total, plástica e elástica, que o material pode absorver até a ruptura.

- Fluência

É a capacidade dos metais de sofrer deformações plásticas quando submetidos por longos períodos a tensões constantes, porém inferiores ao limite de resistência normal do material.

- Dureza

É a propriedade do material de ser resistente ao risco ou a abrasão.

2.1.2. Aço Carbono utilizado nas estruturas de cimbramento metálico

Para a fabricação das escoras metálicas, o aço a ser utilizado precisa atender aos requisitos da NBR 8800 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mista de aço e concreto de edifícios, pois ele deve apresentar as características e propriedades que um elemento estrutural metálico necessita, mesmo sendo estruturas provisórias. Constituído basicamente de ferro e carbono, esse último variando em uma percentagem de 0,008% a 2,11%, o aço carbono pode ser mais resistente ou menos resistente, dependendo do percentual de carbono. De acordo com Gaspar (2008) os aços carbono são classificados em:

- baixo carbono $C < 0,15\%$
- moderado $0,15\% < C < 0,29\%$
- médio carbono $0,30\% < C < 0,59\%$
- alto carbono $0,60\% < C$

Dentre os tipos de aço usados na construção civil, tem-se:

Tabela 1 – Tipos de aços usados na construção civil

A36 (ASTM)	Usado geralmente em perfis, chapas e barras para a construção de edifícios, pontes e estruturas pesadas $C = 0,25\%$ a $0,29\%$ $f_y = 36 \text{ ksi} \approx 250 \text{ MPa}$ $f_u = 400$ a 550 MPa
A307 (ASTM)	Possui baixo teor de carbono e é usado para fabricação de parafusos comuns ($C < 0,15\%$) $f_u = 415 \text{ MPa}$
A325 (ASTM)	Possui médio teor de carbono e é usado para fabricação de parafusos de alta resistência ($0,30\% < C < 0,59\%$) $f_y = 550 \text{ MPa}$ $f_u = 750 \text{ MPa}$
A570 (ASTM)	Empregado para perfis de chapas dobradas devido a sua maleabilidade Grau 33: $f_y = 230 \text{ MPa}$ $f_u = 360 \text{ MPa}$ Grau 40: $f_y = 280 \text{ MPa}$ $f_u = 380 \text{ MPa}$ Grau 45: $f_y = 310 \text{ MPa}$ $f_u = 410 \text{ MPa}$

(Fonte: GASPAR, 2008)

Devido as características e propriedades o aço carbono ASTM A36, ele é o mais indicado e utilizado nas estruturas metálicas aqui no Brasil, e nesse caso, para o cimbramento metálico. É chamado de ASTM A-36 ou simplesmente A-36 ou ainda mais MR250 pela norma brasileira. Sendo a resistência dos aços definida pelo seu percentual de carbono, o A-36 é um aço que possui limite de resistência mecânica entre 400 e 450 MPa (PANNONI, 2010).

2.1.3. Estruturas metálicas

De acordo com Segui (2013), dimensionar um elemento estrutural envolve usar os conhecimentos teóricos e cálculos, para no fim do dimensionamento, selecionar um perfil que deve resistir as forças aplicadas na estrutura de forma segura e econômica. De modo geral, no projeto de estruturas metálicas, busca-se a menor quantidade de aço, resultando em perfis com seções transversais menores. Por isso, existem vários métodos de fazer a determinação dessas seções de modo a garantir a segurança com economia, tendo como requisito fundamental que o esforço solicitante seja menor que a força resistente. (MACEDO, 2021).

Os métodos utilizados para o dimensionamento de elementos estruturais metálicos

são das tensões máximas admissíveis ou dos estados limites. A norma ABNT NBR 8800 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mista de aço e concreto de edifícios (2008) estabelece os requisitos para o dimensionamento com base no método dos estados limites. Nesse método, as cargas são majoradas por coeficientes variáveis de acordo com o tipo de carga, e a força resistente do elemento é minorada por outro coeficiente. Nas estruturas, em termo de segurança, o limite pode ser último ou de serviço. Sendo que para as estruturas metálicas, no limite de serviço pode ocorrer a deformação máxima da estrutura ou de um elemento estrutural e no limite último pode ocorrer fratura, escoamento ou flambagem do elemento (SEGUI, 2013).

O aço é um material cujas propriedades conferem a ele a possibilidade de se deformar antes de romper, diferentemente do concreto. Seu gráfico de Tensão x Deformação é bem particular, como ilustrado na figura 3. O regime elástico ocupa o primeiro trecho do gráfico, nesse trecho a tensão é linearmente proporcional a deformação. Logo depois do regime elástico o aço começa a escoar, aumentando, assim, a sua deformação mesmo com a tensão constante. Temos como limite elástico a tensão de proporcionalidade do regime linear representado por (σ_p) e o f_y representa a tensão ou limite de escoamento, por fim o f_u representa a tensão de ruptura no fim do gráfico.

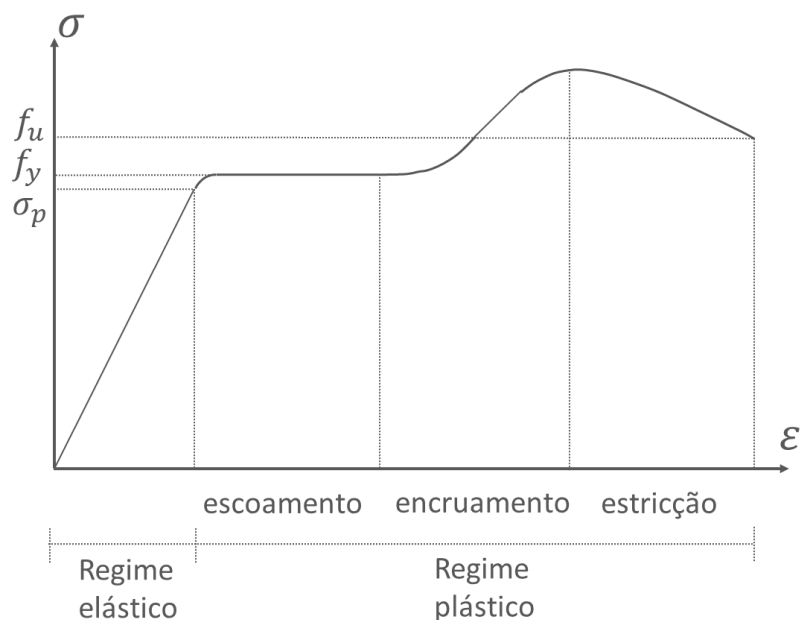


Figura 3: Gráfico de tensão deformação convencional para o aço (Fonte: Autor, 2021)

Para garantir a estabilidade da estrutura, no dimensionamento são levadas em consideração todas as ações submetidas à estrutura. Elas podem ser do tipo permanente,

variável ou excepcional e além de serem ponderadas por um coeficiente de segurança também são combinadas. Essa combinação, por sua vez, pode ser do tipo normal, especial ou de construção, quando levado em consideração o estado limite último. No estado limite de serviço elas podem ser do tipo quase permanente, frequente ou rara (ABNT NBR, 2008). O cálculo da combinação de ações no estado limite último do tipo normal e a do estado limite de serviço do tipo quase permanente é dado pelas formulações:

$$F_d = \sum_{i=1}^m (\gamma_{gi} F_{Gi,k}) + \gamma_{q1} F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n (\gamma_{qj} \Psi_{0j} F_{Qj,k}) \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

$F_{Gi,k}$ representa os valores característicos das ações permanentes;

$F_{Q1,k}$ é o valor característico da ação variável considerada principal para a combinação;

$F_{Qj,k}$ representa os valores característicos das ações variáveis que podem atuar concomitantemente com a ação variável principal;

γ_{gi} é o coeficiente de ponderação de uma ação permanente;

γ_{q1} é o coeficiente de ponderação da ação variável principal;

γ_{qj} é o coeficiente de ponderação de uma ação variável secundária;

Ψ_{0j} é o fator de combinação de uma ação variável secundária.

$$F_{\text{ser}} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \sum_{j=1}^n (\Psi_{2j} F_{Qj,k}) \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

$F_{Gi,k}$ representa os valores característicos das ações permanentes;

$F_{Qj,k}$ representa os valores característicos das ações variáveis que podem atuar concomitantemente com a ação variável principal;

Ψ_{2j} é o fator de combinação de uma ação variável para valores quase permanentes.

De acordo com a NBR 8800 o valor do coeficiente de ponderação (tabela 2) de cargas permanentes de mesma origem, num dado carregamento, deve ser o mesmo ao longo de toda a estrutura. Em geral o coeficiente utilizado para a ponderação das ações para o estado limite

de serviço, γ_f , é igual a 1,0.

Tabela 2 – Valores dos coeficientes de ponderação das ações $\gamma_f = \gamma_{f1} \gamma_{f3}$

Combinações	Ações permanentes (γ_g) ^{a c}					
	Diretas					Indiretas
	Peso próprio de estruturas metálicas	Peso próprio de estruturas pré-moldadas	Peso próprio de estruturas moldadas no local e de elementos construtivos industrializados e empuxos permanentes	Peso próprio de elementos construtivos industrializados com adições <i>in loco</i>	Peso próprio de elementos construtivos em geral e equipamentos	
Normais	1,25 (1,00)	1,30 (1,00)	1,35 (1,00)	1,40 (1,00)	1,50 (1,00)	1,20 (0)
Especiais ou de construção	1,15 (1,00)	1,20 (1,00)	1,25 (1,00)	1,30 (1,00)	1,40 (1,00)	1,20 (0)
Excepcionais	1,10 (1,00)	1,15 (1,00)	1,15 (1,00)	1,20 (1,00)	1,30 (1,00)	0 (0)
	Ações variáveis (γ_q) ^{a d}					
	Efeito da temperatura ^b		Ação do vento	Ações truncadas ^e	Demais ações variáveis, incluindo as decorrentes do uso e ocupação	
Normais	1,20		1,40	1,20	1,50	
Especiais ou de construção	1,00		1,20	1,10	1,30	
Excepcionais	1,00		1,00	1,00	1,00	

^a Os valores entre parênteses correspondem aos coeficientes para as ações permanentes favoráveis à segurança; ações variáveis e excepcionais favoráveis à segurança não devem ser incluídas nas combinações.

^b O efeito de temperatura citado não inclui o gerado por equipamentos, o qual deve ser considerado ação decorrente do uso e ocupação da edificação.

^c Nas combinações normais, as ações permanentes diretas que não são favoráveis à segurança podem, opcionalmente, ser consideradas todas agrupadas, com coeficiente de ponderação igual a 1,35 quando as ações variáveis decorrentes do uso e ocupação forem superiores a 5 kN/m², ou 1,40 quando isso não ocorrer. Nas combinações especiais ou de construção, os coeficientes de ponderação são respectivamente 1,25 e 1,30, e nas combinações excepcionais, 1,15 e 1,20.

^d Nas combinações normais, se as ações permanentes diretas que não são favoráveis à segurança forem agrupadas, as ações variáveis que não são favoráveis à segurança podem, opcionalmente, ser consideradas também todas agrupadas, com coeficiente de ponderação igual a 1,50 quando as ações variáveis decorrentes do uso e ocupação forem superiores a 5 kN/m², ou 1,40 quando isso não ocorrer (mesmo nesse caso, o efeito da temperatura pode ser considerado isoladamente, com o seu próprio coeficiente de ponderação). Nas combinações especiais ou de construção, os coeficientes de ponderação são respectivamente 1,30 e 1,20, e nas combinações excepcionais, sempre 1,00.

^e Ações truncadas são consideradas ações variáveis cuja distribuição de máximos é truncada por um dispositivo físico, de modo que o valor dessa ação não possa superar o limite correspondente. O coeficiente de ponderação mostrado nesta Tabela se aplica a este valor-limite.

(Fonte: ABNT NBR 8800, 2008)

Ainda na NBR 8800, os valores dos fatores de redução Ψ_1 e Ψ_2 , dados na tabela 3, servem para a obtenção dos valores frequentes e quase permanentes das ações variáveis, respetivamente.

Tabela 3 – Valores dos fatores de combinação Ψ_0 e de redução Ψ_1 e Ψ_2 para as ações variáveis

Ações		$\gamma_{\text{R2}}^{\text{a}}$		
		Ψ_0	Ψ_1^{d}	Ψ_2^{e}
Ações variáveis causadas pelo uso e ocupação	Locais em que não há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas ^{b)}	0,5	0,4	0,3
	Locais em que há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevadas concentrações de pessoas ^{c)}	0,7	0,6	0,4
	Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens e sobrecargas em coberturas (ver B.5.1)	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3
Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos	Passarelas de pedestres	0,6	0,4	0,3
	Vigas de rolamento de pontes rolantes	1,0	0,8	0,5
	Pilares e outros elementos ou subestruturas que suportam vigas de rolamento de pontes rolantes	0,7	0,6	0,4

^a Ver alínea c) de 4.7.5.3.
^b Edificações residenciais de acesso restrito.
^c Edificações comerciais, de escritórios e de acesso público.
^d Para estado-limite de fadiga (ver Anexo K), usar Ψ_1 igual a 1,0.
^e Para combinações excepcionais onde a ação principal for sismo, admite-se adotar para Ψ_2 o valor zero.

(Fonte: ABNT NBR 8800, 2008)

2.1.4. Dimensionamento de um elemento metálico

Para o dimensionamento de um elemento metálico é necessário fazer algumas verificações que garantirão a segurança do elemento e por consequência, de toda a estrutura. Essas verificações são feitas devido aos esforços axiais de tração, compressão, cortante, momento fletor ou torsor, podendo estes atuar de forma combinada ou isolada. O elemento metálico é, em todo caso, verificado quanto às instabilidades locais e globais. Se o elemento analisado atende a todas as verificações ele torna-se apto para o uso na edificação.

- Tração

Na tração, o elemento pode chegar ao seu limite por alcançar grandes deformações ou ocorrendo a fratura do mesmo. Mas a condição para que isso não ocorra, segundo a ABNT (2008), é que a força axial solicitante $N_{t,Sd}$ deve ser menor ou igual a força axial de tração resistente de cálculo $N_{t,Rd}$. O cálculo da força axial resistente é feito para o escoamento da seção bruta e para ruptura da seção líquida e é dado pelas formulações:

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}} \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde:

A_g é a área bruta da seção transversal da barra;

γ_{a1} é o coeficiente de ponderação de resistência para o escoamento, flambagem ou instabilidade;

f_y é a resistência ao escoamento do aço;

$$N_{t,Rd} = \frac{A_c f_u}{\gamma_{a2}} \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde:

A_c é a área líquida efetiva da seção transversal da barra;

f_u é a resistência à ruptura do aço;

γ_{a2} é o coeficiente de ponderação de resistência a ruptura;

Os valores dos coeficientes de ponderação, tanto para resistência ao escoamento, flambagem e instabilidade, quanto para resistência à ruptura são apresentados na tabela 4.

Tabela 4 – Valores dos coeficientes de ponderação das resistências γ_m

Combinações	Aço estrutural ^a		Concreto γ_c	Aço das armaduras γ_s
	γ_a			
	Escoamento, flambagem e instabilidade γ_{a1}	Ruptura γ_{a2}		
Normais	1,10	1,35	1,40	1,15
Especiais ou de construção	1,10	1,35	1,20	1,15
Excepcionais	1,00	1,15	1,20	1,00

^a Inclui o aço de fôrma incorporada, usado nas lajes mistas de aço e concreto, de pinos e parafusos.

(Fonte: ABNT NBR 8800, 2008)

O dimensionamento de estruturas metálicas, bem como de outros tipos de estruturas, prezam pela segurança, de modo que esses coeficientes de ponderação servem para minorar as resistências do material. Desse modo, a estrutura é projetada com resistência real do material maior que a de projeto.

- Compressão

A compressão é o esforço axial no qual a peça é forçada a diminuir seu tamanho. A ação do esforço de compressão, pensando de forma microscopia, tende a juntar os átomos que

constituem o material, reorganizando-os de forma mais compacta. Nesse caso, o elemento pode vir a falhar pelo escoamento da seção bruta, flambagem local e/ou global (MACEDO, 2021). Mas para que isso venha a ocorrer precisa existir uma força solicitante crítica, que é chamada de carga crítica de Euler P_{cr} , que considera, a depender do tipo de vínculo nas extremidades, o estado elástico do material, por esse motivo ela é o limite para a ocorrência da flambagem, podendo ser calculada por:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde:

L é o comprimento de flambagem e depende do tipo de vinculação do elemento;

E é o módulo de elasticidade do material;

I é o momento de inércia.

O tipo de falha no elemento metálico submetido ao esforço de compressão vai depender da sua esbeltez, por exemplo, quanto o elemento possui baixa esbeltez a falha vai ocorrer por meio do escoamento do aço, quando a esbeltez for elevada a falha ocorrerá por meio da carga crítica de Euler. (SALMON; JOHNSON; MALHAS, 2008).

Assim como na tração, a ABNT 8800 (2008) considera que para que a segurança seja assegurada, a força axial solicitante $N_{c,Ed}$ deve ser menor ou igual a força axial de compressão resistente $N_{c,Rd}$, essa última sendo calculada por:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi Q A_g f_y}{\gamma_{al}} \quad (\text{Eq. 7})$$

Onde:

χ é o fator de redução associado à resistência à compressão;

Q é o fator de redução total associado à flambagem local;

A_g é a área bruta da seção transversal da barra.

Já o fator de redução χ , associado à resistência a compressão, é dado por:

$$\text{- para } \lambda_0 \leq 1,5: \chi = 0,658^{\lambda_0^2} \quad (\text{Eq. 8})$$

$$\text{- para } \lambda_0 > 1,5: \chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2} \quad (\text{Eq. 9})$$

(Fonte: ABNT NBR 8800, 2008)

2.2. CIMBRAMENTO

A estrutura de cimbramento é utilizada como suporte temporário de elementos estruturais. Sua função primordial é resistir as cargas geradas pela concretagem e peso dos materiais, direcionando-as para o solo ou piso imediatamente inferior. Garantir que não existam deformações nos elementos concretados e, dessa forma, certificar que a sua vida útil seja preservada.

O cimbramento usualmente pode ser de madeira ou metálico. A madeira pode se dividir em dois tipos, a madeira serrada e a madeira bruta. O metal utilizado por sua vez, é o aço, geralmente e na grande maioria, aço comercial industrializado e sob processos rigorosos de qualidade. Diante das opções existentes, é necessário, portanto, que o engenheiro em questão analise profundamente para decidir qual material irá utilizar na obra para garantir que o objetivo do projeto seja atingido (DO CARMO, 2007).

Apesar das duas opções apresentadas a cima, o presente trabalho direcionará a atenção para o cimbramento metálico, com foco em obras e construções em centros urbanos que são lugares cuja aquisição de madeira para o cimbramento é dificultosa. Outro motivo para o foco no cimbramento metálico é o custo-benefício, racionalidade e segurança que o mesmo oferece para a construção em comparação ao cimbramento em madeira.

2.2.1. Cimbramento Metálico

O cimbramento metálico (figura 5) diz respeito ao uso do metal como material usual para contenção e sustentação de elementos de concreto na concretagem e durante o tempo de cura dos mesmos. Sendo assim, as escoras do tipo metálicas são bastante recomendadas quando não é admitido deformidades na laje (Do Carmos, 2007). Hoje, existem várias empresas especializadas nesse tipo de equipamento que pode ser confeccionado de alumínio ou aço e podem ser de dois tipos: escoras e torres. Esses equipamentos podem ser comprados ou alugados e possuem uma grande diversidade em tamanhos e modelos.



Figura 5: Cimbramento metálico em torres e escoras (Fonte: PERI, 2017)

Devido as propriedades do metal como material de construção, segundo Pagno (2012) o aço, em especial, possui vantagens que lhe torna um grande acréscimo na construção civil, como por exemplo:

- Menor prazo de execução;
- Flexibilidade;
- Maior área útil
- Racionalização de materiais;
- Garantia de qualidade;
- Reciclabilidade
- Preservação do meio ambiente
- Precisão construtiva

Por esses motivos, pode-se dizer que o cimbramento metálico é o mais indicado em grandes construções nos centros urbanos, uma vez que nesses casos são requeridos segurança, rapidez e nos dias atuais, preservação do meio ambiente.

2.2.1.1. *Escoras Metálicas*

Assim como todo elemento de cimbramento, as escoras metálicas (figura 6) têm como finalidade transmitir as cargas verticais para o apoio. São compostas por um tubo base, um tubo

telescópico, rosca e pino trava. O tubo telescópico possui uma furação contínua, que com o auxílio do pino permite a regulagem da altura. A regulagem fina é realizada através da rosca (MILLS, 2016).

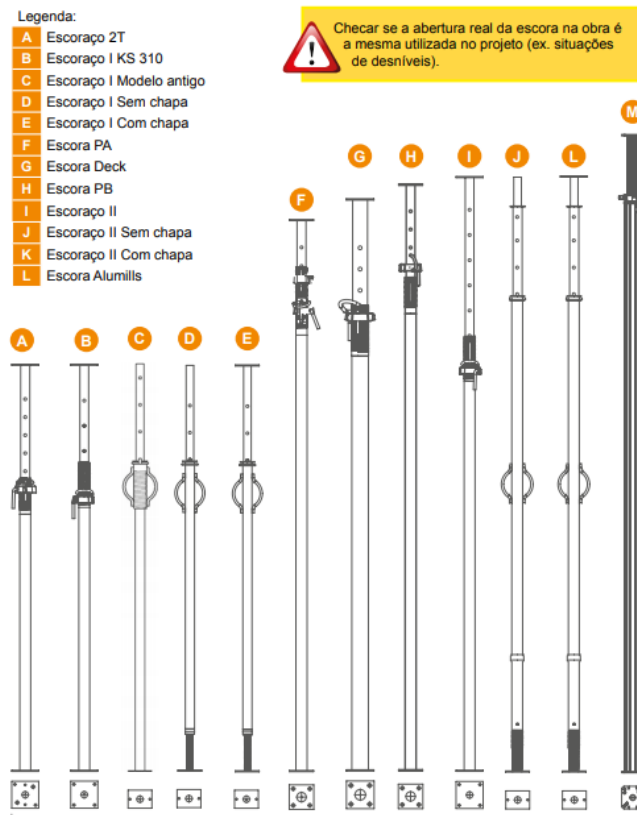


Figura 6: Tipos de escoras metálicas (Fonte: Mills, 2016)

As escoras metálicas, devido ao seu sistema regulável, são capazes de serem utilizadas de diversas maneiras em tamanhos diferentes de pés-direitos. Desse modo, é imprescindível que, ao fazer a aquisição desse material, o engenheiro responsável analise o menor e maior pé direito do projeto, para que as escoras possam abranger esse intervalo. Para isso, as escoras metálicas possuem um tipo flauta, com perfurações em todo o seu corpo, que permitem a introdução do grampo e por consequência o travamento da escora, que podem ser observados na (figura 7).

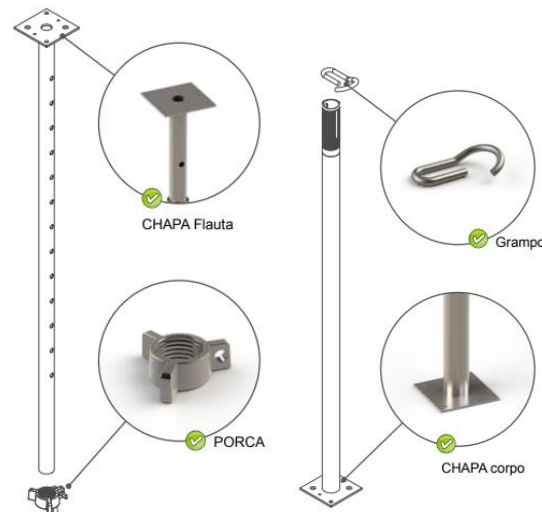


Figura 7: Partes de uma escora metálica (Fonte: Mills, 2016)

Mas além das partes comuns em cada escora metálica, existem acessórios que podem ser adicionados para garantir a elas algumas especificidades. O suporte fixo, por exemplo, é utilizado como uma estrutura para apoiar o vigamento e transmitir as cargas oriundas deste para as escoras. Já os tripés são acessórios para posicionar as escoras no momento da montagem dos escoramentos de lajes ou vigas. Também existem os forçados alumills com a função básica de sustentar o vigamento, as cruzetas, como acessório para apoiar o fundo de vigas e o suporte T, também para apoiar o fundo de vigas, mas que são para escoras que não possuem chapa na flauta (MILLS, 2016).

A aquisição desses acessórios vai depender da função que a escora irá desempenhar e também do elemento estrutural que ela irá suportar. Por esse motivo, é importante conhecer bem o projeto e saber o tipo de cimbramento necessário em casa estrutura.

2.3. PROJETO DE CIMBRAMENTO METÁLICO

Para o projeto, dimensionamento e procedimentos executivo de um escoramento metálico, é usada a ABNT NBR 15696 (2009), que fixa os procedimentos e condições que devem ser obedecidos na execução de estruturas provisórias que servem de escoramento na execução de estruturas de concreto moldadas *in loco*. São incluídos, nestes procedimentos, os equipamentos e materiais e também os critérios para o dimensionamento dos projetos e execução.

Sobre os requisitos para a concepção de um projeto de escoramento, a Associação Brasileira de Normas Técnicas prevê na NBR 15696 (2009) que todo projeto deve:

- a) Especificar as cargas admissíveis dos equipamentos utilizados;

- b) Definir clara e objetivamente o posicionamento de todos elementos;
- c) Definir as cargas na base de apoio;
- d) Ser detalhado com planta, vistas e demais detalhes, de tal forma que não fiquem dúvidas para a correta execução da montagem.

O correto dimensionamento e confecção de um projeto de estruturas provisórias para o escoramento metálico, além da execução seguindo arrisca o projeto, garantirá a edificação a preservação da sua vida útil. Entretanto, quando não feito de forma correta, pode acarretar diversos problemas a estrutura ou acidentes na hora da execução. Sendo assim, é imprescindível o desenvolvimento de metodologias que facilitem essa etapa de projeto e execução.

2.3.1. Solicitações e Carregamentos

Toda estrutura é criada com o intuito de ser capaz de suportar solicitações e carregamentos, garantindo a segurança para os usuários. Desse modo, “na análise estrutural deve ser considerada a influencia de todas as ações que possam produzir efeitos significativos para a estrutura, levando-se em conta os estados-limites últimos e de serviço” (ABNT NBR 8800, 2008 p. 15). A consideração dessas ações no projeto proporcionará segurança e garantirá que a ocorrência delas não cause danos a edificação e a sua vida útil. Porém, no projeto de escoramento, as cargas a serem consideradas, quando existentes, de acordo com a NBR 15696 (2009) são:

- a) peso próprio dos elementos da estrutura de escoramento e das fôrmas;
- b) peso de todos os elementos da estrutura de concreto a serem suportados pela estrutura do escoramento, tais como lajes, vigas, paredes, capitéis etc.;
- c) cargas provenientes do método de lançamento do concreto sobre as fôrmas e o escoramento;
- d) carregamentos assimétricos sobre as fôrmas e escoramento;
- e) sobrecarga de trabalho na execução dos serviços de lançamento, adensamento e acabamento do concreto. A sobrecarga de trabalho deve ser de no mínimo $2,0 \text{ kN/m}^2$, sendo que a carga estática total a ser considerada, além daquela em a) do item 4.2 da norma, não pode ser inferior a $4,0 \text{ kN/m}^2$;
- f) impacto do lançamento do concreto: As cargas variáveis, em alguns casos, já incluem os efeitos normais de impacto. Entretanto, devem ser considerados no projeto, além dos valores estáticos das cargas, também os efeitos dinâmicos ou de impactos causados por máquinas, equipamentos utilizados no lançamento do

concreto etc.;

g) o impacto máximo a ser considerado no lançamento do concreto sobre a face horizontal da fôrma está limitado ao esforço resultante do lançamento de uma altura de 0,20 m acima do nível acabado;

h) no caso de alturas maiores que 0,20 m, o cálculo deve prever sobrecargas adicionais;

i) vibrações do concreto e as decorrentes de equipamentos de adensamento do concreto;

j) pressões de vento conforme determinações da ABNT NBR 6123, sendo que não deve ser inferior a 0,6 kN/m²;

k) quando utilizadas plataformas de trabalho, deve ser considerada a sobrecarga mínima de 1,5 kN/m².

l) esforços horizontais aplicados nas laterais das fôrmas da laje, para efeito de cálculo de contraventamento e/ou ancoragem em pontos fixos externos, devem ser adotados iguais a 5 % da carga vertical aplicada neste mesmo nível nos dois sentidos principais da laje, se não considerados os efeitos dinâmicos devidos a bombas de concreto. Neste caso, deve-se considerar este efeito somado ao primeiro esforço horizontal;

m) cargas provenientes da pressão horizontal do concreto, conforme Anexo D. (ABNT NBR 15696, 2009)

Para o aço como material das escoras a serem projetadas a norma considera como peso específico $\gamma_A = 78 \text{ kN/m}^3$.

2.3.2. Dimensionamento de Cimbramento Metálico

O método de cálculo de resistência para o dimensionamento do cimbramento metálico, de acordo com a Norma Brasileira Regulamentadora 15696, deve ser feito pelo método dos estados-limites. Entretanto, “o método de tensões admissíveis pode ser aplicado em caráter transitório, desde que o fator de segurança usado assegure o atendimento das mesmas condições dos estados-limites” (ABNT NBR 15696, 2009 p. 4).

2.3.2.1. Estados-limites Últimos

Para essa verificação basta que seja garantida a seguinte condição:

$$F_d \leq R_d \quad (\text{Eq. 11})$$

Sendo:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_w} \quad (\text{Eq. 12})$$

Onde:

R_d é a resistência de projeto;

R_k é a resistência característica do material;

F_d é o valor de calculo da ação;

γ_w é o coeficiente de ponderação do material.

Sendo que embora fôrmas e escoramentos sejam de caráter provisório, as combinações de cargas a serem consideradas nos cálculos devem ser provenientes de construções normais, dadas por:

$$F_d = \gamma_Q [F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \Psi_{0j,ef} F_{Qj,k}] \quad (\text{Eq. 13})$$

Onde:

$F_{Q1,k}$ representa o valor característico da ação variável considerada como principal para a situação transitória;

$\Psi_{0j,ef}$ é igual o fator Ψ_{0j} adotado nas combinações normais e tomado como 1,0

$$\gamma_Q = 1,4$$

De forma que, se não possuir ação variável atuando, a equação se dá da seguinte forma:

$$F_d = 1,4 \cdot \sum_{j=1}^n F_{Qj,k} \quad (\text{Eq. 14})$$

De acordo com a NBR 8800 (2009) as resistências características dos materiais são apresentadas pelos valores característicos como aqueles que, em um lote de material, têm apenas 5% de probabilidade de não serem atingidos. Dessa forma, a resistência do aço deve ser minorada por um coeficiente de segurança γ_m , sendo a resistência de calculo dada por:

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m} \quad (\text{Eq. 15})$$

Sendo que para o caso de equipamentos metálicos sujeitos à compressão, como no caso das escoras, o coeficiente de ponderação deve ser $\gamma_m=1,5$.

2.3.2.2. Estados-limites de Utilização

Diferentemente do estado-limite de serviço, nos estados-limites de utilização, os efeitos incompatíveis com as condições de uso da estrutura são causados pela ocorrência, repetição ou duração desses mesmos estados. Algumas condições são: deslocamentos excessivos, vibrações e deformações permanentes. De modo que a condição para o dimensionamento nesse estado é:

$$U_{total} \leq U_{lim} \quad (\text{Eq. 16})$$

Onde:

U_{total} é a máxima flecha que ocorre no elemento em consideração, calculada com a carga de peso próprio do concreto e sobrecarga de $1,0\text{kN/m}^2$, sem aplicação de coeficiente de segurança;

U_{lim} é a deformação-limite,

Sendo:

$$U_{lim} = 1 + \frac{L}{500} \quad (\text{Eq. 17})$$

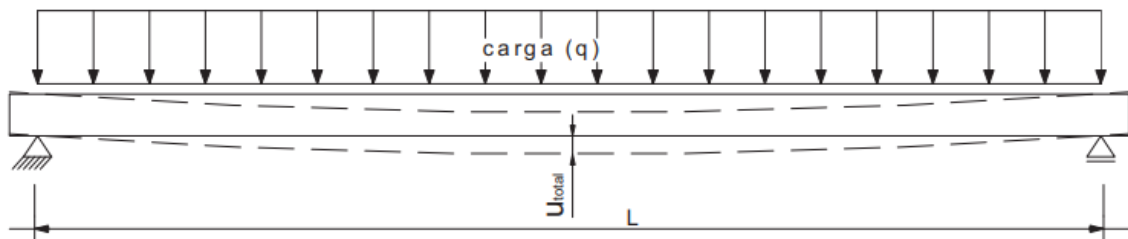


Figura 8: Esquema de deformação aplicada em função da distância entre apoios (Fonte: ABNT NBR 15696, 2009)

2.3.3. Desenho e Detalhamento de Projeto de Cimbramento

Para a elaboração do desenho e detalhamento do projeto de uma estrutura provisória de cimbramento metálico, a ABNT NBR 15696 - Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto — Projeto, dimensionamento e procedimentos executivos (2009) esclarece que deve conter a planta baixa (vista superior), cortes, vistas e demais detalhes. O desenho e detalhamento serve para que quando for ser executado o projeto, o escoramento possa ocorrer

como planejado e seja mantido assim a segurança e qualidade da concretagem dos elementos.

3. METODOLOGIA

3.1. PARÂMETROS E ESPECIFICAÇÕES DAS ESCORAS

Dimensionar uma estrutura provisória de metal, nesse caso em específico, do tipo escoras metálicas, envolve escolher, baseado nas especificações do projeto e carregamentos atuantes na estrutura, o tipo, tamanho e resistência de uma escora metálica de modo que seja assegurada a segurança na execução do projeto. Para isso, será desenvolvido uma aplicação capaz de, com base nas especificações de *input* do usuário, escolher a escora que mais se adeque a situação de projeto.

Uma particularidade das escoras metálicas é que devido a sua fabricação ser realizada de forma industrial por processos controlados e normatizados, as empresas já informam em suas especificações a carga que cada escora pode suportar. Ou seja, nesse caso, não é necessário buscar, por meio de formulações, a carga crítica de Euler (P_{cr}) ou menor carga capaz de flambar a peça, uma vez que ela já é informada pelo fabricante. É necessário, portanto, verificar se a capacidade de resistência das escoras é superior aos carregamentos causados pelo peso próprio da estrutura e equipamentos de concretagem.

Portanto, para a aplicação, foram selecionados 6 modelos de escoras da *Mills Estruturas e Serviços de Engenharia S. A.* As escoras foram escolhidas desse fabricante pelo fácil acesso as informações de fabricação, modelos e especificações. Entretanto, podem ser substituídas por qualquer outra desde que a resistência ao carregamento seja igual a da escora selecionada pela aplicação. Na tabela 6, são listadas as escoras metálicas e suas especificações segundo o manual de utilização TS MILLS.

O fabricante trabalha com escoras que possuem aberturas. Essas aberturas nada mais são do que a capacidade da escora de aumentar e diminuir seu tamanho, ou seja, a utilização desse tipo de escora possibilita o reuso das mesmas para várias alturas de pés-direitos. Entretanto, quanto maior for a altura menor será a capacidade de carga que a escora irá suportar. Portanto, foram encontradas algumas funções lineares de 1º grau que a partir de uma altura específica (x) em metros, fornece um valor de carga que se aproximam do valor real de carga suportado pelas escoras dentro do seu intervalo de abertura. Essas equações em função da altura do pé-direito podem ser observadas na tabela 6.

Tabela 6 – Modelos de Escoras Metálicas e Especificações para metodologia

NOME	CARGA ADMISSÍVEL (Kgf)	Função Carga adm. (Kgf)	ABERTURA (m)	ABERTURA MED. (m)	PESO (Kg)
ESCORAÇO I	1000 - 1400	$Y=-285,71x+1885,70$	1,70 - 3,10	2,80	13,58
ESCORAÇO II	700 - 1300	$Y=-291,26x+2010,67$	2,44 - 4,50	3,80	18,41
ESCORA 2T	2000 - 2500	$Y=-416,66x+3250$	1,80 - 3,00	2,50	17,8
ESCORA DECK	2450 - 3250	$Y=-571,42x+4827,14$	2,76 - 4,16	3,86	25,77
ESCORA PA	1800 - 2350	$Y=-447,15x+3253,25$	2,02 - 3,25	2,80	17,08
ESCORA PB	1500 - 1900	$Y=-261,43x+2611,11$	2,72 - 4,25	3,0	22,8

(Fonte: Autor, 2021)

3.2. METODOLOGIA ÁGEIS PARA DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARES

O desenvolvimento de um aplicativo ou aplicação pode ser feito de diversas maneiras e por diversos métodos. Entretanto, um que se destaca pela praticidade de gerenciamento do tempo e atividades a serem desenvolvidas é o uso das metodologias ágeis. Esse método consiste num acompanhamento contínuo e na maioria das vezes diário que acelera e qualifica os processos de desenvolvimento. Podendo, de acordo com (SILVA et al, 2013), com baixo custo e rápidas entregas contribuir no desenvolvimento de projeto de *software* para qualquer empresa e podendo ser agregada à metodologia tradicional.

3.2.1. Metodologia FDD

Silva et al, (2009) descreve a *Feature-Driven Development* (FDD) como uma metodologia que inclui processos rigorosos, como planejamento prévio e controle do projeto, modelagem e características de processos ágeis como foco na programação, entrega frequente de versões do produto e interação constante com o cliente. Sendo assim, por meio dessa metodologia, é buscado o desenvolvimento por funcionalidade. Baseado em um conjunto de ações (figura 9) que levarão, quando cumpridas, ao resultado final: o *Software*.

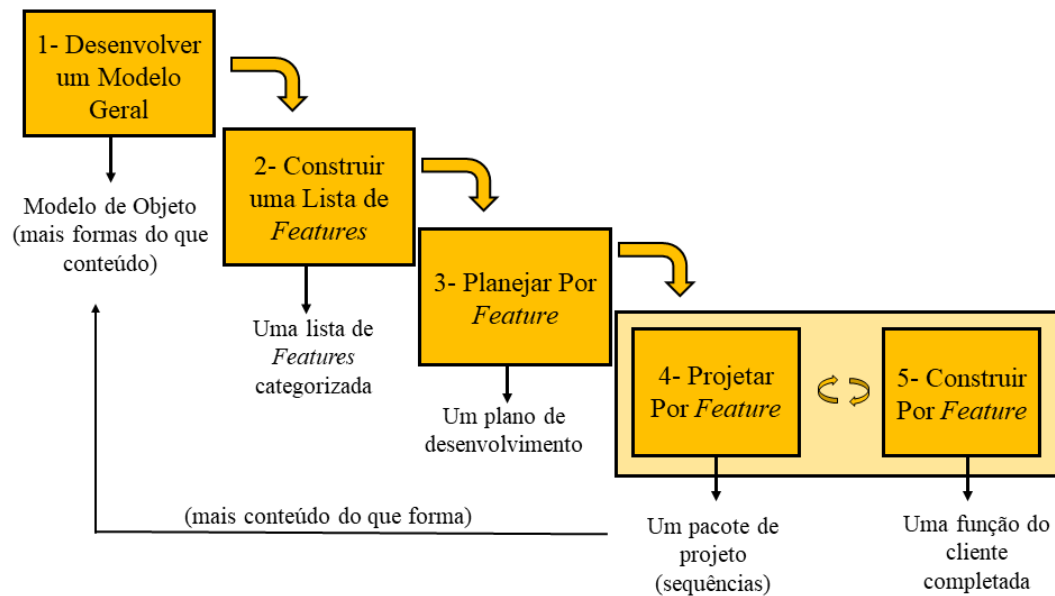


Figura 9: Processos desenvolvidos na metodologia FDD (Fonte: CEDRO Techlonogies, modificado)

3.3. DESENVOLVIMENTO DA APLICAÇÃO

Para o desenvolvimento da aplicação, será utilizado o Vue js, que é um framework progressivo, de código aberto e focado no desenvolvimento de interfaces web juntamente com o editor de código visual Studio code. A aplicação será desenvolvida em ambiente web, tendo um domínio próprio, hospedagem e será acessível a dispositivos mobile e desktop através de browsers (exceto Internet explorer).

Para um desenvolvimento prático e objetivo do *software* optou-se por usar a metodologia ágil, já supracitada, mantendo a transparência nos processos. Dentre as metodologias ágeis existentes, a utilizada será a *Feature-Driven Development* (FDD) obedecendo as ações descritas abaixo:

3.3.1. Concepção e planejamento da aplicação

1º - Desenvolver um Modelo Geral (Análise orientada por objetos): O modelo geral deve ser pensado partindo da análise das funções e conceitos por trás da aplicação. Ou seja, é necessário já ter uma ideia (protótipo), para que as hipóteses que surgirem sejam em prol de um objetivo comum. Para o desenvolvimento dessa etapa, uma pesquisa bibliográfica foi realizada a cerca da linguagem envolvida, as ferramentas e bibliotecas direcionadas à aplicação em questão.

2º - Construção de uma Lista de Funções (Decomposição Funcional): Nessa parte da construção do *software* acontece a listagem das funções que o mesmo oferecerá. Algumas dessas funções são relacionadas a escolha do usuário entre laje maciça e laje treliçada e inputs solicitados pela própria aplicação. Além da concepção prévia das telas da aplicação.

3º - Planejar por Funcionalidade (Planejamento incremental): Objetiva-se, nessa fase, produzir o plano de desenvolvimento do *software*. É planejada a ordem na qual as funcionalidades serão implementadas, baseada nas dependências entre elas, na carga de trabalho da equipe de desenvolvimento e também na complexidade das funcionalidades a serem implementadas. As principais atividades neste processo não são uma sequência estrita. Como muitas atividades de planejamento, elas são consideradas em conjunto, com refinamentos feitos a partir de uma ou mais atividades e então considerando os outros novamente. (HEPTAGON, 2008).

Deve-se levar em conta a sequência de desenvolvimento, depois levar em conta a atribuição das atividades de negócio aos programadores e, ao fazê-lo, considerar quais das classes principais são atribuídas a quais desenvolvedores. Tendo sido alcançado esse equilíbrio, e a sequência de desenvolvimento e a atribuição das atividades de negócio aos programadores estiver essencialmente completada, então a posse das classes estará completada. (HEPTAGON, 2008).

No caso da aplicação Metálicas Escore, tem-se dois desenvolvedores que seguirá o plano de funcionalidade a seguir:

- Planejamento dos algoritmos que sustentará a aplicação;
- Idealização das entradas de dados do usuário como: tipo de elemento, dimensões, cargas, dimensões das lajes e demais características;
- Planejamento das saídas e respostas às entradas fornecidas pelo usuário;
- Elaboração das pranchas do projeto de escoramento com planta, cortes e vistas que serão geradas em .pdf para o usuário, conforme as determinações nas normas ABNT NBR 14931 - Execução de estruturas de concreto – Procedimento e da ABNT NBR 15696 Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto — Projeto, dimensionamento e procedimentos

executivos.

3.3.2. Diagrama de uso da aplicação via linguagem UML

Como apresentado em Alhir (2002) a UML (*Unified Modeling Language*) é uma linguagem utilizada para a visualização, construção, especificação e documentação de unidades do processo de um sistema. É um tipo de processo que independe da linguagem de programação, pois constitui-se de um padrão para a criação de modelos de forma flexível (PENDER, 2002; LIMA, 2011)

Pelo fato de fazer uso de uma notação padrão, esse tipo de sistema pode ser representado por modelos gerados, fazendo a utilização de qualquer tipo de linguagem de programação ou metodologia (LIMA, 2011). Esse tipo de notação padrão faz uso de diagramas, que por sua vez, descrevem todo o sistema por meio de modelos usados para projetar sistemas orientados a objetos. Os modelos são formados a partir de conjuntos de ideias que incluem as informações imprescindíveis para o entendimento do usuário e do sistema bem como eliminam informações desimportantes capaz de dificultar o entendimento do usuário sobre o sistema (ALHIR, 2002)

A UML foi criada pela OMG® no ano de 1997 como um padrão de notações gráficas e vem sendo utilizada até hoje como no caso do diagrama de uso da aplicação via linguagem UML que se segue:

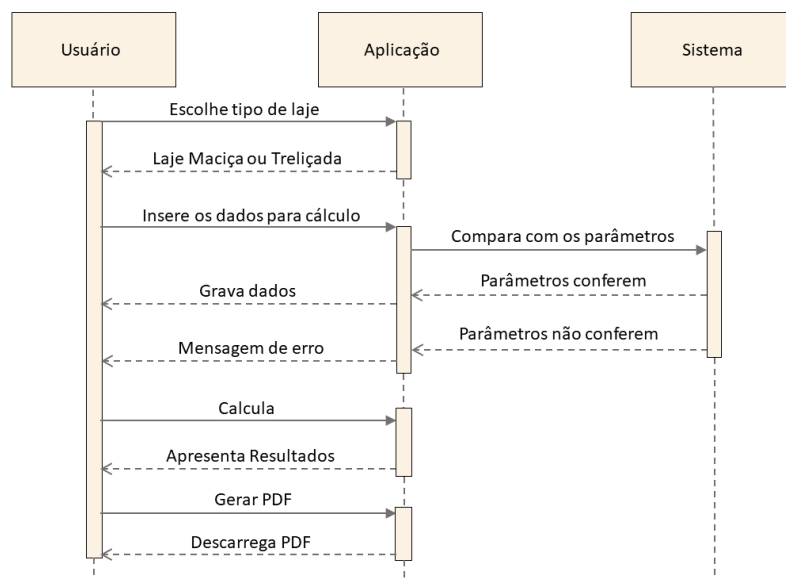


Figura 10: Diagrama do tipo UML do uso da aplicação (Fonte: Próprio autor, 2023)

3.3.3. Construção do *front-end*

4º - Detalhar por Funcionalidade (Desenho orientado a objetos): É uma atividade para cada

funcionalidade, para produzir o pacote de projeto (*design*) para a funcionalidade.

Certos números de funcionalidades são agendados para desenvolvimento ao atribuí-las a um programador. Ele seleciona as funcionalidades para desenvolvimento a partir de sua “caixa de entrada” de funcionalidades atribuídas. Pode escolher diversas funcionalidades que utilizem as mesmas classes (e, portanto, desenvolvedores). Operacionalmente, com frequência acontece o caso de “conjuntos” de funcionalidades serem agendados para desenvolvimento de uma vez pelo programador. Tal conjunto é chamado de Pacote de Trabalho do programador. (HEPTAGON, 2008).

É produzido o diagrama de sequência para as funcionalidades atribuídas. O programador, então, refina o modelo de objetos, baseado no conteúdo do diagrama de sequência. O desenvolvedor escreve os prefácios das classes e métodos. Realiza-se uma inspeção no projeto (*design*) (HEPTAGON, 2008).

5º - Construção por Funcionalidade (Programação e teste orientado a objetos): É uma atividade para cada funcionalidade, para produzir uma função com valor.

Começando com o pacote de projeto (*design*), os proprietários de classes implementam os itens necessários para que suas classes suportem o projeto para esta funcionalidade. O código desenvolvido passa pelo teste de unidade e pela inspeção – a ordem aqui é determinada pelo programador líder. Após passar pela inspeção, o código é promovido à versão atual (*build*) (HEPTAGON, 2008).

A metodologia FDD na construção da aplicação garantirá o desenvolvimento de forma gradual, precisa e ágil. Os códigos responsáveis pelo processamento e cálculo dos inputs do usuário baseiam-se na ABNT NBR 15696 – Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto – projeto, dimensionamento e procedimentos executivos.

3.4. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA DAS ESCORAS

Na aquisição de escoras metálicas é imprescindível a consideração da capacidade de carga, pois isso garantirá a segurança do projeto de cimbramento. Por isso, uma particularidade das escoras metálicas em comparação com as de madeira que deve ser levada em consideração é que sua capacidade de carga já é informada pelo fabricante no momento da compra tornando mais fácil a escolha da escora a ser utilizada no projeto. No entanto, para a comprovação desse dado tão importante se faz necessária uma verificação de calculo manual com o objetivo de

encontrar o quanto de folga ou de coeficiente de segurança as escoras da Mills possuem.

As escoras metálicas são conhecidas por terem um alto coeficiente de segurança, porém esse coeficiente não é informado na compra e aquisição das mesmas. Desse modo será realizado uma verificação de segurança utilizando como base a ABNT NBR 15696 – Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto – projeto, dimensionamento e procedimentos executivos e a ABNT NBR 8800 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mista de aço e concreto de edifícios. Esses cálculos já foram descritos de maneira mais completa nos tópicos 2.1.4 e 2.3.2, mas podem ser compreendidos de melhor maneira a partir do fluxograma 1 da figura 11.

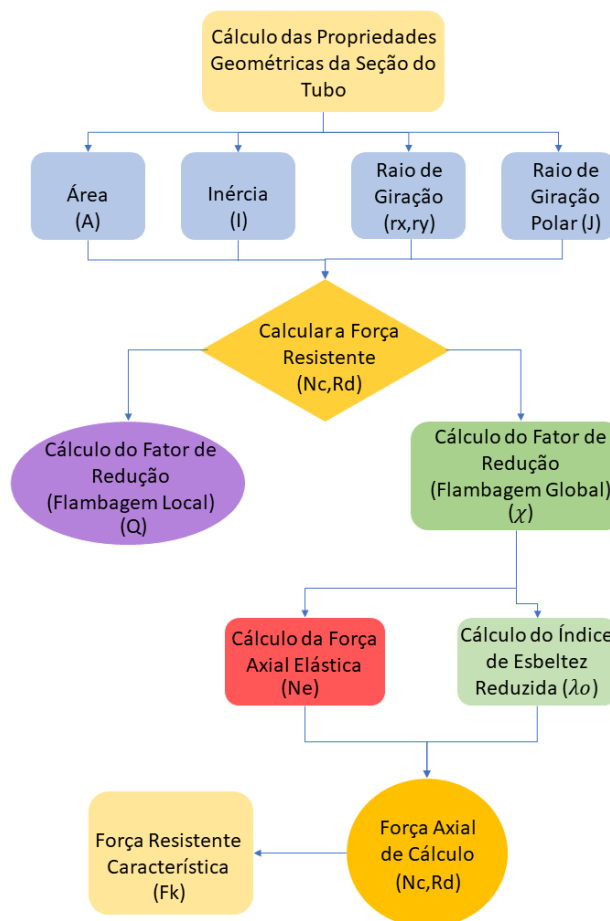


Figura 11: Fluxograma 1 do processo de cálculo da segurança das escoras (Fonte: Próprio autor, 2022)

3.5. FUNCIONAMENTO E CÁLCULO DA APLICAÇÃO

Para o desenvolvimento do cálculo da aplicação foi levado em considerações os

seguintes requisitos: abertura que atenda ao pé-direito de projeto, capacidade de carga da escora e peso da escora. Esses requisitos são importantes para que a aplicação consiga atingir a otimização, ou seja, escolha a escora mais leve e que possua a capacidade de carga requerida no projeto.

A aplicação web funcionará do seguinte modo: no início, o usuário precisará escolher se as informações que ele informará será para uma laje maciça ou treliçada. Após essa escolha, ele precisará inserir os dados de acordo com cada tipo de laje e dados que se aplicam as duas lajes. No caso da laje maciça, será necessário a informação da espessura da laje e no caso da laje treliçada, a camada de capeamento que revestirá as lajotas, essas informações serão extremamente necessárias para o cálculo da carga da laje. Depois será necessário informar o pé-direito, largura e comprimento para que a aplicação seja capaz de selecionar a escora que melhor se adeque ao projeto.

Como já mencionado, as informações geométricas da laje serão necessárias para o cálculo do peso da laje. A partir da informação do pé direito, a aplicação selecionará as escoras com aberturas que abrangem essa medida. Depois, fará um comparativo entre essas escoras selecionadas, buscando nesse caso, as com capacidade de carga superior ao peso da laje. Nesse momento, a aplicação preocupa-se especialmente com a segurança. Após selecionar as escoras com capacidade de carga superior ao peso da laje, a aplicação escolhe, por fim, a escora com menor peso, para que o peso da estrutura de cimbramento sobre a estrutura da edificação seja o menor possível e haja otimização no projeto de cimbramento. Para melhor compreensão do processo de calculo feito pela aplicação web Metálicas Escore, segue o fluxograma 2 da figura 12 com o passo a passo do método:

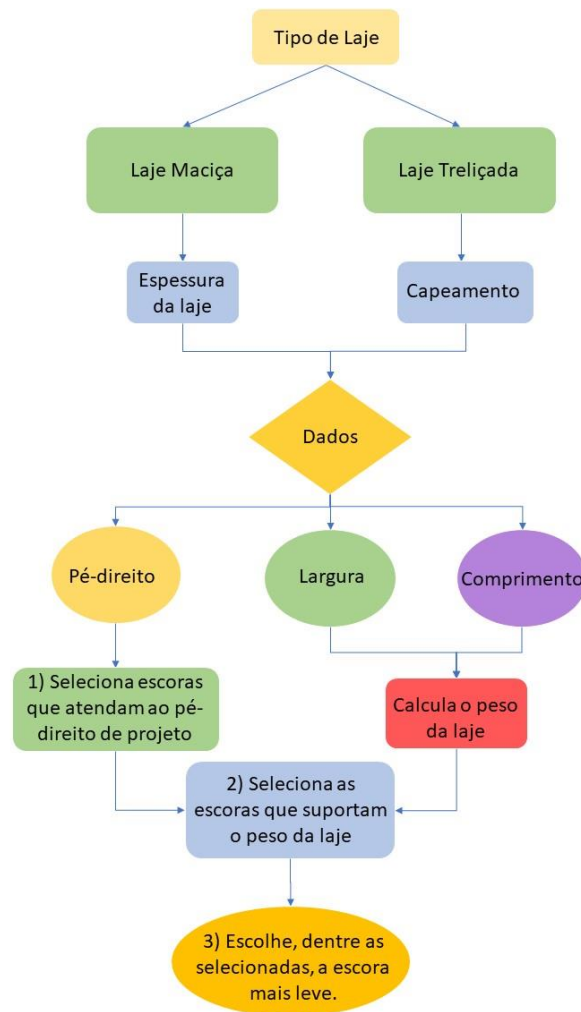


Figura 12: Fluxograma 2 do processo de cálculo da aplicação (Fonte: Próprio autor, 2022)

Após o cálculo e a escolha da escora mais indicada para ser utilizada no projeto de cimbramento, a aplicação deverá gerar um relatório contendo algumas informações primordiais para execução no canteiro de obra. O relatório apresentará a escora escolhida, a quantidade de escoras necessárias para o ambiente em questão, a disposição dessas escoras por meio de uma planta-baixa e algumas informações adicionais.

O Certificado de Registro de Software se encontra no Apêndice A deste trabalho sob número de processo BR512022003640-1 válido por 50 anos e o link para acessar a versão mais recente da aplicação, a 2023.1 é: <https://metalicas-escore.vercel.app/#/>.

4. RESULTADOS

4.1. RESULTADOS DA VALIDAÇÃO DAS PREMISSAS DE CÁLCULO

O cálculo do dimensionamento da estrutura de escoramento metálico feito pela aplicação obedecerá a condição encontrada na ABNT NBR 15696 (2009) já abordada neste trabalho no tópico 3.5 seguirá os seguintes parâmetros:

Parâmetros do elemento estrutural:

- Vigota TR 08;
- Camada de capeamento: 6 cm;
- Enchimento em lajota cerâmica;
- Comprimento: 3 metros;
- Largura: 2 metros.

Parâmetros do escoramento

- Escoras metálicas MILLS®
- Comprimento: 1,70 – 4,50 metros;
- Diâmetros: 4,22 – 7,8 cm
- Pé direito: 3 metros

4.1.1. Validação da resistência característica do fabricante

Para ser possível a utilização das escoras da Mills, se faz necessário a validação da resistência que é fornecida no seu catálogo de escoras metálicas. Essa validação dará base para a escolha das escoras no momento do dimensionamento e na inserção das escoras no algoritmo da aplicação. Também será possível observar qual o fator de segurança utilizado pelo fabricante e quanto de folga cada escora tem, o que garante mais segurança na hora de projetar.

Para essa validação, foi escolhida a escora da Mills 2T (Figura 13). No catálogo do fabricante, a escora 2T possui uma resistência característica que varia entre 2000-2500kgf (20-25 KN) dependendo da sua abertura que vai de 1,80-3,00 metros.

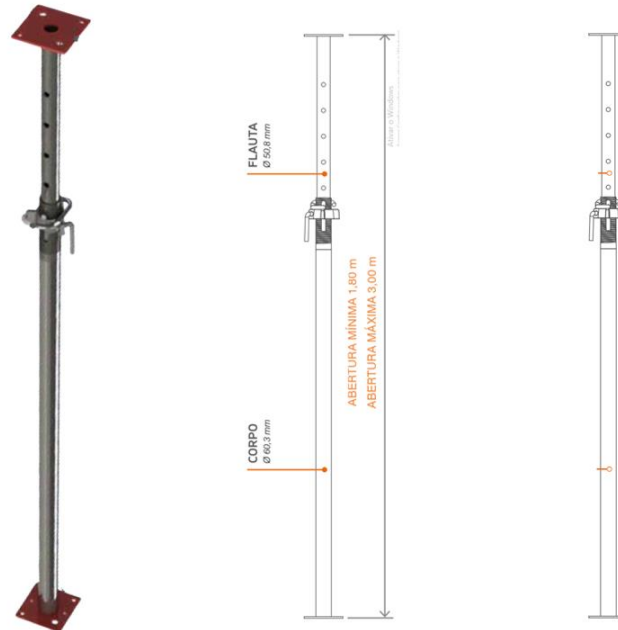


Figura 13: Escora 2T em perspectiva e perfil (Fonte: Mills, 2016)

Cálculo das propriedades geométricas da seção transversal do tubo

$$\varnothing_e = 6,03cm$$

$$t = 0,95cm$$

$$\varnothing_I = 5,08cm$$

- Área bruta da seção

$$Ag = \pi \frac{(\varnothing_e^2 - \varnothing_I^2)}{4} \quad (\text{Eq. 18})$$

$$Ag = \pi \frac{(6,03^2 - 5,08^2)}{4}$$

$$Ag = 8,29cm^2$$

- Cálculo da inércia da peça

Como se trata de uma peça circular, sua inércia em torno do eixo x será exatamente igual a inércia do eixo y e é dada pela seguinte equação:

$$Ix = Iy = \pi \frac{(\varnothing_e^4 - \varnothing_I^4)}{64} \quad (\text{Eq. 19})$$

$$Ix = Iy = \pi \frac{(6,03^4 - 5,08^4)}{64}$$

$$Ix = Iy = 32,21cm^4$$

$$J1 = 2 * Ix$$

$$J1 = 64,42cm^4 \quad (\text{Eq. 20})$$

- Cálculo do raio de giração

$$\begin{aligned}
 r_x &= r_y = \sqrt{\frac{I_x}{A_g}} \\
 r_x &= r_y = \sqrt{\frac{32,21}{8,89}} \\
 r_x &= r_y = 1,97 \text{ cm}
 \end{aligned}
 \tag{Eq. 21}$$

- Cálculo do raio de giração polar

$$\begin{aligned}
 r_o &= \sqrt{r_x^2 + r_y^2} \\
 r_o &= \sqrt{1,97^2 + 1,97^2}
 \end{aligned}
 \tag{Eq. 22}$$

Propriedades mecânicas do material

Aço comercial ASTM A36

$f_y = 25 \text{ KN/cm}^2$

$E = 20000 \text{ KN/cm}^2$

$f_u = 40 \text{ KN/cm}^2$

$G = 7700 \text{ KN/cm}^2$

- Cálculo da força resistente

$$N_c, R_d = \frac{\chi * Q * A_g * f_y}{\gamma_{a1}} \tag{Eq. 23}$$

Cálculo do fator de redução associado a flambagem local pela NBR 8800

De acordo com a NBR 8800 o fator de redução associado a flambagem local deve obedecer a seguinte situação:

$$Q = 1 \text{ se } \frac{D}{t} \leq 0,11 \frac{E}{f_y} \tag{Eq. 24}$$

$$Q = \frac{0,38}{\frac{D}{t}} * \frac{E}{f_y} + \frac{2}{3}$$

$$\frac{D}{t} \leq 0,11 \frac{E}{f_y} \tag{Eq. 25}$$

$$\frac{6,03}{0,95} \leq 0,11 \frac{20000}{25}$$

$$6,53 \leq 88 \quad \text{OK!}$$

Dessa forma, temos que o fator de redução associado a flambagem local **Q = 1**.

- Cálculo da força axial de flambagem elástica (N_e)

Pela NBR 8800, a força axial de flambagem será dada pelo valor mínimo entre as forças axiais nas direções x, y e z.

$$N_e = \min(N_{ex}, N_{ey}, N_{ez})$$

$$N_{ex} = N_{ey} = \frac{\pi^2 E I_x}{(k \cdot l_{barra})^2} \quad (\text{Eq. 26})$$

$$N_{ex} = N_{ey} = \frac{\pi * 20000 * 32,21}{(1 * 300)^2}$$

$$N_{ex} = N_{ey} = 70,64 \text{ KN}$$

$$N_{ez} = \frac{1}{r_o^2} \left[\frac{\pi^2 E c w^*}{(k \cdot l_{barra})^2} + G * J_1 \right] \quad (\text{Eq. 27})$$

$$N_{ez} = \frac{1}{2,78^2} [7700 * 64,42]$$

$$N_{ez} = 64183,27 \text{ KN}$$

Por ser a menor força das que foram calculadas, o valor escolhido foi: N_{ex} e $N_{ey} = 70,64$ KN.

- Cálculo do índice de esbeltez reduzida

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q * A_g * f_y}{N_e}} \quad (\text{Eq. 28})$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{1 * 8,29 * 25}{70,64}}$$

$$\lambda_0 = 1,71$$

- Cálculo o fator de redução associado à flambagem global

$$\chi = 0,658^{\lambda_0^2} \text{ se } \lambda_0 \leq 1,5 \quad (\text{Eq. 29})$$

$$\chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2} \text{ se } \lambda_0 > 1,5 \quad (\text{Eq. 30})$$

Sendo $\lambda_0 > 1,5$, temos que o χ será:

$$\chi = \frac{0,877}{1,71^2}$$

$$\chi = 0,29$$

- Cálculo da força axial de cálculo

$$N_c, R_d = \frac{\chi * Q * A_g * f_y}{\gamma_{a1}} \quad (\text{Eq. 31})$$

$$N_c, R_d = \frac{0,29 * 1 * 8,29 * 25}{1,1}$$

$$N_c, R_d = 54,63 \text{ KN}$$

- Cálculo da Força resistente característica

$$F_k = \frac{N_c, R_d}{\gamma} \quad (\text{Eq. 32})$$

$$F_k = \frac{54,63}{1,5}$$

$$F_k = 36,42 \text{ KN}$$

$$F_k = 3642 \text{ Kgf}$$

A partir dessa validação, é constatado que existe uma grande margem de segurança entre o valor real calculado e a resistência característica da escora 2T informada no manual de utilização da TS mills. Como já mencionado anteriormente, no manual essa escora apresenta suporte de carga de no máximo 2500 Kgf, entretanto conseguimos nos cálculos um valor de suporte de carga de 3642 Kgf já aplicados alguns coeficientes de minoração, uma diferença de um pouco mais de 31%. Portanto, fica claro que na utilização da aplicação Metálicas Escora a segurança será um fator que não vai ser desconsiderado.

4.1.2. Cálculo de validação da aplicação para uma laje treliçada

Para o cálculo do peso próprio da estrutura foi levado em consideração a utilização de lajotas cerâmicas com peso específico de 0,627 kN/m². Também foi feita uma correlação junto a ABNT NBR 6120 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações, tabela 2 – valores mínimos de cargas verticais, no item terraços com acesso ao público – 3kN/m², carga de

movimentação de pessoas majorada e 4 kN/m² de montagem e possíveis cargas de vento de difícil determinação descritas na ABNT NBR 7190.

$$\begin{aligned}\text{Peso próprio} &= (\text{Camada de capeamento da laje} * 25 \text{ kN/m}^3 * 0,01) + (0,627 \text{ kN/m}^2 \\ &\quad + 3 \text{ kN/m}^2 + 4 \text{ kN/m}^2) \\ \text{Peso próprio} &= 9,127 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

Dimensionando pelo método do estado-limite último, majora-se a carga com um coeficiente $\gamma_Q = 1,4$, e tem-se:

$$\begin{aligned}F_d &= 9,127 \text{ kN} * 1,4 & (\text{Eq. 33}) \\ F_d &= 12,777 \text{ kN/m}^2 = 1277,70 \text{ kgf/m}^2\end{aligned}$$

A partir do resultado encontrado, comprova-se que quase todas as escoras listadas na tabela 6 atendem a esses parâmetros de cálculos, sendo excluída apenas o Escorço I, cuja capacidade de carga máxima é de 1000 kg para alturas maiores que 2,80m. Além disso, para a escolha da escora a ser adotada, nesse caso, o engenheiro precisará analisar outros fatores além da carga admissível, como seu peso, abertura e até preço de mercado. Desse modo, a aplicação será programada para estabelecer, quando o resultado abranger mais de um tipo de escora, uma ordem de peso, das mais leves às mais pesadas.

Além disso, depois de selecionada a escora a ser usada no projeto de escoramento, será gerado um arquivo em formato .pdf com a planta baixa, vista e detalhes do projeto de escoramento. Para que, dessa forma, sejam minimizados os erros na execução.

Nesse caso, para a continuação da verificação de cálculo, foi escolhida a escora PA (Tabela 6 modificada). A escolha dessa escora dentre as outras que também suportariam a carga da laje se deu considerando que seu peso próprio é menor que os das demais escoras, o que garante uma diminuição das cargas geradas pelo escoramento na estrutura.

Tabela 6 – Modelos de Escoras Metálicas e Especificações (modificada A)

NOME	CARGA ADMISSÍVEL (Kgf)	ABERTURA (m)	PESO (Kg)
ESCORAÇO I	1000 - 1400	1,70 - 3,10	13,58
ESCORAÇO II	700 - 1300	2,44 - 4,50	18,41
ESCORA 2T	2000 - 2500	1,80 - 3,00	17,8
ESCORA DECK	2450 - 3250	2,76 - 4,16	25,77

ESCORA PA	1800 - 2350	2,02 - 3,25	17,08
ESCORA PB	1500 - 1900	2,72 - 4,25	22,8

(Fonte: Autor, 2022)

Entretanto, para que a escora seja realmente utilizada ela ainda precisa passar por mais uma verificação: de suporte de carga de projeto.

$$F_d \leq R_d \quad (\text{Eq. 34})$$

$$F_d = 1277,70 \text{ kgf/m}^2$$

Usando a função carga admissível da escora PA com um pé direito de 3 metros encontramos uma carga R_k de 1911,8 kgf. A resistência de projeto precisa necessariamente ser maior que o valor de cálculo da ação e é calculada pela equação:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_w} \quad (\text{Eq. 35})$$

$$R_d = \frac{1911,8}{1,5}$$

$$R_d = 1274,53 \text{ kgf}$$

Sendo a resistência de projeto menor que o valor da ação atuante sobre a estrutura, $R_d \leq F_d$, essa escora não atende ao projeto, portanto, é preciso fazer a escolha de outra escora que atenda a situação. O requisito para escolher a próxima escora a ser verificada ainda é com base no menor peso entre as escoras a serem escolhidas com o objetivo de diminuir a carga que elas depositarão sobre a estrutura. Por esse motivo, a segunda escora mais leve e consequentemente a escolhida para a verificação foi a escora 2T (Tabela 6 modificada), assim temos:

$$R_d = \frac{2000}{1,5} \quad (\text{Eq. 36})$$

$$R_d = 1333,33 \text{ kgf}$$

$$F_d \leq R_d$$

$$1277,70 \leq 1333,33 \text{ OK!}$$

$$\text{Taxa de utilização (\%)} = \frac{1274,53}{1333,33}$$

$$\text{Taxa de utilização (\%)} = 95,5$$

Nesse caso, a resistência de projeto é maior que a ação atuante sobre a estrutura, de modo que a escora 2T poderá ser usada para essa situação. Percebe-se, também, que a taxa de

utilização da escora está muito alta, sendo de 95%, no entanto essa não é uma taxa real, afinal foi comprovado pela validação da resistência característica do fabricante no item 4.1.1 que existe uma grande margem de segurança entre o valor real de suporte de carga e o valor que o fabricante informa.

4.1.3. Laje Maciça

Assim como na laje treliçada, para o cálculo da laje maciça foram adotados alguns parâmetros:

Parâmetros do elemento estrutural:

- Espessura da laje: 15 cm
- Comprimento: 4 metros;
- Largura: 3 metros.

Parâmetros do escoramento

- Escoras metálicas MILLS
- Comprimento: 1,70 – 4,50 metros;
- Diâmetros: 4,22 – 7,8 cm
- Pé direito: 3 metros

O cálculo será realizado de acordo com as formulações da norma, sendo os coeficientes de carga os mesmos da seção anterior, com exceção do peso específico da lajota, uma vez que a laje em questão é maciça. Têm-se como peso próprio o resultado a seguir:

$$\text{Peso próprio} = (\text{Espessura da laje em centímetros} * 25 \text{ kN/m}^3 * 0,01) + (7 \text{ kN/m}^2)$$

$$\text{Peso próprio} = 10,75 \text{ kN}$$

Dimensionando pelo método do estado-limite último, majora-se a carga com um coeficiente $\gamma_Q = 1,4$, e tem-se:

$$P = 10,75 \text{ kN} * 1,4 \quad (\text{Eq. 37})$$

$$P = 15,05 \text{ kN/m}^2 = 1505 \text{ Kg/m}^2$$

No caso da laje maciça, por ser completamente preenchida de concreto a carga solicitante calculada foi de 1505 Kgf/m², sendo assim, as escoras do tipo escorço I, escorço II e a escora PB, apresentadas na tabela 6 não poderão ser utilizadas, pois estas escoras possuem capacidade de carga inferior a 1505 Kgf/m². Neste caso, as escoras 2T, escora deck e escora PA seriam as mais indicadas para esse caso de cimbramento de laje maciça, pois possuem capacidade de carga superior ao necessário.

Tabela 6 – Modelos de Escoras Metálicas e Especificações (modificada B)

NOME	CARGA ADMISSÍVEL (Kgf)	ABERTURA (m)	PESO (Kg)
ESCORAÇO I	1000 - 1400	1,70 - 3,10	13,58
ESCORAÇO II	700 - 1300	2,44 - 4,50	18,41
ESCORA 2T	2000 - 2500	1,80 - 3,00	17,8
ESCORA DECK	2450 - 3250	2,76 - 4,16	25,77
ESCORA PA	1800 - 2350	2,02 - 3,25	17,08
ESCORA PB	1500 - 1900	2,72 - 4,25	22,8

(Fonte: Autor, 2022)

A aplicação Metálicas Escolhe escolhe em ordem crescente de peso, portanto, a escora mais leve dentre as em questão é a escora PA.

Verifica-se, agora, a partir da aplicação de um coeficiente de segurança, se a resistência de projeto da escora PA é maior que o valor de cálculo da ação pela equação:

$$F_d \leq R_d \quad (\text{Eq. 38})$$

$$F_d = 1505 \text{ kgf/m}^2$$

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_w} \quad (\text{Eq. 39})$$

$$R_d = \frac{1911,8}{1,5}$$

$$R_d = 1274,53 \text{ kgf}$$

Nota-se que a resistência de projeto é menor que o valor da ação atuante sobre a estrutura, portanto essa escora não atende ao projeto sendo necessário fazer a escolha de outra escora que atenda a situação. Logo, a aplicação já escolhe a próxima escora mais leve e conseqüentemente a escolhida para essa verificação é a escora 2T, assim temos:

$$R_d = \frac{2000}{1,5}$$

$$R_d = 1333,33 \text{ kgf}$$

Assim como a escora PA, a escora 2T também não poderá ser utilizada nesse caso porque o valor da ação atuante ainda continua maior que a resistência de projeto calculada. Nesse caso, como última verificação e levando em conta apenas os 6 modelos de escoras escolhidas para a elaboração dessa aplicação, escolhe-se a escora deck para averiguar se a mesma tem capacidade de ser utilizada nessa situação.

$$R_d = \frac{3112,88}{1,5} \quad (\text{Eq. 40})$$

$$R_d = 2075,25 \text{ kgf}$$

$$F_d \leq R_d$$

$$1505 \leq 2075,25 \text{ OK!}$$

$$\text{Taxa de utilização (\%)} = \frac{1505}{2075,25}$$

$$\text{Taxa de utilização (\%)} = 73,0$$

Tendo sido satisfeita a condição estabelecida acima, a escora que deve ser utilizada nessa situação hipotética será a escora deck. Ela não é a escora mais leve, no entanto é a escora cuja capacidade de carga é superior ao valor da ação solicitante, conferindo segurança na hora de cimbrar o elemento estrutural. É importante destacar que, apesar de na escrita ser relatado todo esse passo a passo para a compreensão de como funciona o cálculo da aplicação, na prática, de forma instantânea já é mostrado para o usuário o resultado final, ou seja, a escora a ser utilizada no projeto de cimbramento, não sendo relatado ou mostrado para o usuário as escoras verificadas anteriormente.

4.2. APLICAÇÃO METÁLICAS ESCORE

4.2.1. Validação do desenvolvimento da Aplicação

A aplicação foi desenvolvida utilizando framework vue.js na linguagem *JAVA script* com o objetivo de ser adaptável para web e dispositivos móveis, funcionando exatamente como um aplicativo instalável. O desenvolvimento seguiu os passos listados no item 3 desta monografia uma vez que a metodologia ágil é eficiente para esse tipo de aplicação pois segue uma lógica simples e executiva. Foi desenvolvido um modelo geral pensado no alcance dos

objetivos, contruía uma listagem das funções que a aplicação fornecerá, planejou-se a ordem de implementação das funcionalidades bem como o designer da aplicação e foram desenhadas as plantas e vistas geradas na aplicação em formato pdf.

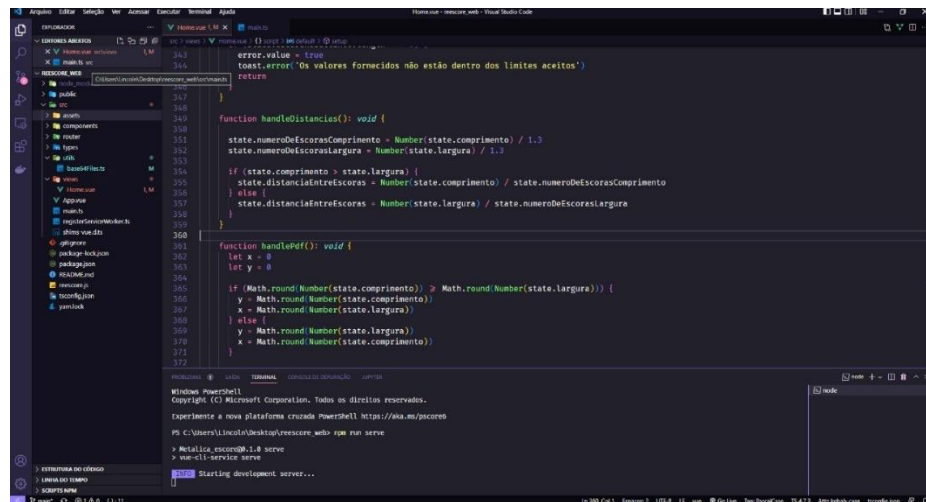


Figura 14: Ambiente de criação dos algoritmos da aplicação (Fonte: autor, 2022)

Visto que se trata de uma aplicação web adaptável para dispositivos móveis ela não precisa de várias telas para a execução, ela é exibida em uma tela única rolável (Figura 15). Nessa interface, logo no início, é possível aprender um pouco sobre o objetivo da aplicação e sua importância para a engenharia civil, mas há também uma descrição breve sobre o processo de cálculo e os dados que será preciso para o cálculo.

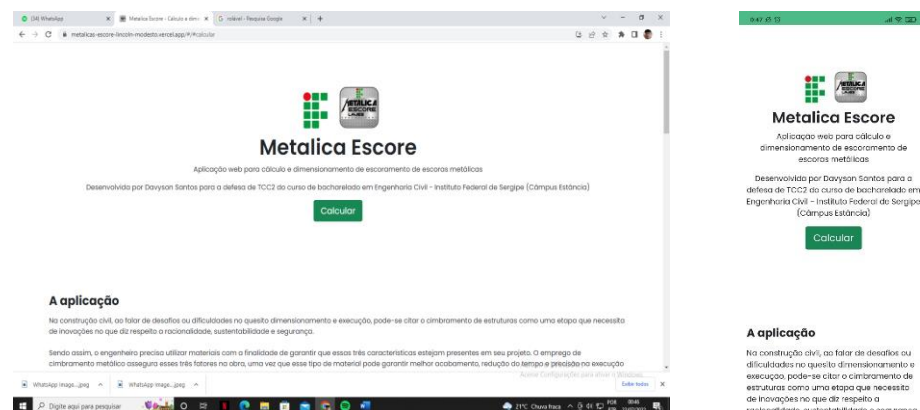


Figura 15: Página de exibição da aplicação em web e dispositivo móvel (Fonte: autor, 2022)

Na figura 16, observa-se a logo que foi criada para a exibição do ícone da aplicação ao ser instalada como um aplicativo nos dispositivos móveis. A logo foi desenvolvida em tons de cinza para fazer alusão aos materiais metálicos, a letra “M” do nome metálica faz referência

ao símbolo da banda norte-americana *Metallica* e funciona como um trocadilho para quem conhece a banda deixando o visual mais atrativo.



Figura 16: Logo da aplicação (Fonte: autor, 2022)

Ao acessar a aplicação, o usuário pode ir diretamente para o cálculo de dimensionamento clicando no botão “Calcular” (Figura 17a). Nesse caso, ele é levado para a área de cálculo (Figura 17b) onde será solicitado previamente que ele informe o tipo de laje em questão e posteriormente os dados para a execução dos algoritmos de cálculo. Entretanto, se ele quiser saber mais sobre a proposta de desenvolvimento da aplicação ele pode descer a página com o *scroll* do *mouse*, pois no corpo da interface da aplicação estão descritas algumas informações sobre o porque do desenvolvimento da aplicação.

a)

b)

A aplicação

Na construção civil, ao falar de desafios ou dificuldades no quesito dimensionamento e execução, pode-se citar o cimbramento de estruturas como uma etapa que necessita de inovações no que diz respeito a racionalidade, sustentabilidade e segurança.

Figura 17: Botão calcular e área de cálculo (Fonte: autor, 2022)

Na área de cálculo, o usuário precisa preencher corretamente os dados necessários pois isso implicará num resultado fiel ou não da situação. O pé direito é de suma importância pois é ele quem vai limitar ou definir o tamanho da escora a ser utilizada. Todas as escoras da fabricante MILLS® possuem aberturas, ou variações do tamanho, e essas variações implicam ainda em uma variação no suporte de carga. Essa variação do tamanho leva em consideração a carga necessária para que a escora (coluna) não flambe e é conhecida como carga de flambagem de Euler, devido a Leonhard Euler (1707 – 1783), um matemático suíço que estabeleceu a primeira teoria para flambagem de colunas. Desse modo, tem-se que quanto maior for o tamanho da escora menor será sua capacidade de carga.

O capeamento, também usado no cálculo, é a camada de concreto que reveste a laje e é um dos materiais que mais contribuem com o peso da estrutura. Sendo assim, é de suma importância que esse dado seja devidamente consultado antes da concretagem para que o escoramento possa suportar de forma eficaz o peso gerado por essa camada de concreto juntamente com os outros elementos da estrutura. Outros dados que também serão usados no cálculo do peso da estrutura são as dimensões de largura e comprimento da laje.

4.2.2. Validação dos cálculos da aplicação

Para a validação, usamos os mesmos valores calculados no item 4.1 a fim de comprovar a funcionalidade e assertividade da aplicação como pode ser observado na figura 18. Observa-se que, assim como no caso calculado no item anteriormente citado, a aplicação identificou a escora 2T como a mais apropriada para a situação em questão. Nesse caso não é mostrado, mas o algoritmo faz a escolha levando em consideração a segurança e a minoração do peso da estrutura de escoramento sobre a estrutura da edificação.

0:15 0:15

para a correta distribuição das escoras em toda área da estrutura.

Por favor, preencha os campos abaixo e certifique-se de que as respectivas unidades estão corretas

Parâmetros estruturais

Pé direito (m)

Capecamento (cm)

Distâncias

Largura da laje (m)

Comprimento da Laje (m)

Calcular

Resultados

Escora 2T



Cargas

Peso Próprio: **912.70 kgf/m²**

Peso Próprio Majorado: **1277.78 kgf/m²**

Escora Seleccionada

Nome: **Escora 2T**

Carga Admissível: **2000.00 kgf/m²**

Carga Minorada: **1333.33 kgf/m²**

Figura 18: Valores para validação e resultados (Fonte: autor, 2022)

Depois de calculada e escolhida a escora para a situação em questão, a aplicação junta esses dados e gera um arquivo em formato PDF (Figura 19) contendo os dados de escoramento, os resultados do cálculo, vista da escora escolhida e um detalhamento contendo a distribuição das escoras e seu posicionamento na laje. A importância desse arquivo pdf se dá partindo de um princípio fundamental da aplicação: ela necessita de internet para realizar suas funcionalidades, ou seja, em territórios mais remotos, nos quais a rede móvel não possui cobertura, o arquivo pdf, salvo previamente na memória do dispositivo móvel poderá ser consultado e utilizado.

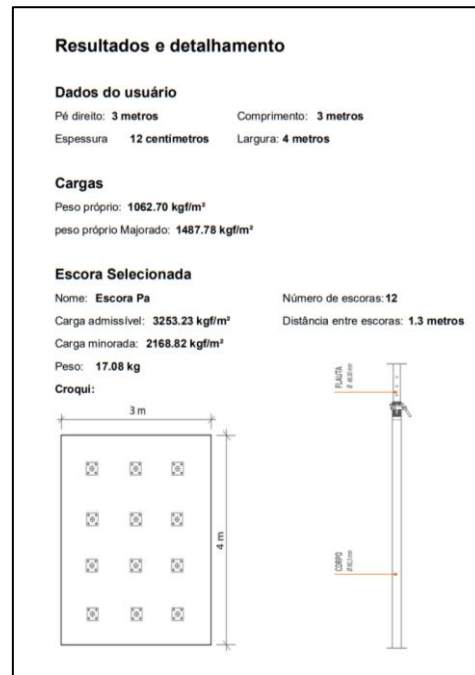


Figura 19: PDF criado pela aplicação (Fonte: autor, 2022)

Depois de todo o exposto, é clara a importância e relevância de uma aplicação como essa para os projetos de cimbramento no que se refere a escoras metálicas. Por isso, espera-se que essa aplicação possa ser usada bastante por estudantes para o aperfeiçoamento do conhecimento adquirido em sala de aula, mas também por profissionais em canteiros de obra.

5. CONCLUSÃO

Por conseguinte, a aplicação Metálicas Escore conseguiu atingir os objetivos propostos inicialmente de forma íntegra, sendo capaz de calcular e selecionar a escora ideal para o projeto de cimbramento levando em conta a segurança, racionalidade e sustentabilidade. A aplicação conta com uma interface simples, de fácil acesso e manuseio, de modo que qualquer pessoa de forma intuitiva já consegue utilizar.

Para garantir a segurança da aplicação foram feitos cálculos baseados nas normas ABNT NBR 15696 - Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto — Projeto, dimensionamento e procedimentos executivos (2009) e ABNT NBR 8800 — Projeto de estruturas de aço e de estruturas mista de aço e concreto de edifícios (2008), a princípio para verificar a segurança das escoras da empresa Mills, que foram as utilizadas nesse trabalho, e em sequência para inserção do modelo de cálculo no algoritmo da aplicação.

Após feitos os testes com a aplicação, observou-se que ela atingia os mesmos resultados dos cálculos feitos anteriormente, o que demonstra que os algoritmos estão calculando de forma correta e escolhendo a escora obedecendo os requisitos de altura de pé direito, suporte de carga e menor peso da escora. Dessa forma, consegue-se otimização no projeto de cimbramento.

Diante de tudo que já foi discutido e exposto neste trabalho, nota-se que a aplicação Metálicas Escore possui grande potencial enquanto uma aplicação voltada para projetos de escoramento metálico, cumprindo sua função de forma primordial. É necessário, portanto, que haja a partir desse momento uma divulgação no meio acadêmico e posteriormente no mercado para a aquisição da aplicação, para que desse modo os interessados possam se beneficiar das funcionalidades da aplicação.

Como sugestão para futuros trabalhos vale mencionar a possibilidade de aprimoramento da aplicação aumentando o número de escoras para seleção uma vez que o mesmo possui limitação de 6 escoras do catálogo da Mills disponíveis para escolha. Outro ponto a ser aprimorado é a dimensão das lajes a serem calculadas, pois no momento existe uma limitação de 5 metros de largura por 5 metros de comprimento, que é o máximo que a aplicação pode calcular. Além disso, ainda sob a ótica do cimbramento metálico, pode ser desenvolvido algum aplicativo ou aplicação para o dimensionamento ou estruturação de torres metálicas, nesse caso em específico, para pés-direitos mais altos ou lugares que necessitam de uma estrutura contraventada.

REFERÊNCIAS

ALHIR, S. S. **Guide to Applying the UML**. Nova Iorque: Springer, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 8800: 2008: **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro, ago. 2008;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15696: **Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto – Projeto, dimensionamento e procedimentos executivos**. Rio de Janeiro, 2009;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15575: 2013: **Desempenho de edificações habitacionais**. Rio de Janeiro, ago. 2013;

Barcelos, C. A. A. (2014). Pró-Reitoria de Graduação Curso de Engenharia Civil Trabalho de Conclusão de Curso;

BASTOS, C. B. L.; LIMA, C. P & VALIATI; M. L. S. **Manual de utilização e montagem | SISTEMA TSMills**. 2. Ed. Rio de Janeiro. Ed. Engenharia Nacional, 2016.

CEDRO TECHNOLOGIES, **Feature Driven Development**. 2019. Disponível em: <
<http://blog.cedrotech.com/feature-driven-development-fdd> >Acessado em 12 de ago. 2021;

CBCI. **Câmara Brasileira da Construção Civil. Catálogo da Construção Civil**. Brasília: CBIC, 2016;

CORTÊS, R. G.; França, S. L. B.; Quelhas, O. L. G.; Moreira, M. M.; Meirino, M. J. **Contribuições para a sustentabilidade na construção civil**. Revista Eletrônica Sistema & Gestão. v6. n3. Pp 384-397, 2011.

DACOL, Silvana. **O Potencial Tecnológico da Indústria da Construção Civil – Uma Proposta de Modelo**. Dissertação de Mestrado: Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis, 1996;

DE SOUZA, Alex Sander Clemente. **Dimensionamento de elementos e ligações em estruturas de aço**. EdUFSCar, 2017;

Do Carmo, E.J.Z. **Fôrmas e escalonamento**. Monografia, Engenharia Civil da Universidade São Francisco, 2007.

FERRAZ, H. **O Aço na Construção Civil**. Revista Eletrônica de Ciências, Arquitetura e Urbanismo, São Carlos: Universidade de São Paulo, n. 22, 2003. 16 p.

GASPAR, R. **Estruturas Metálicas**.

Heptagon Tecnologia da Informação Ltda. **FDD – Feature-Driven Development – Descrição de processos**. 2008. Disponível em: < <https://silo.tips/download/feature-driven-development> > Acessado em: 13 de ago. de 2021.

LIMA, A. S. **UML 2.3: Do Requisito à Solução**. 1. ed. São Paulo: Editora Érica, 2011.

MACEDO, N.P. **Dimensionamento de vigas em estruturas metálicas utilizando redes neurais artificiais e o método de elementos finitos**. Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Paraná, 2021.

MICHALOSKI, A.O.; COSTA, A.P.C.S. **A survey of it use by Small and Medium-Sized Construction Companies in a City in Brazil**. Journal of Information Technology in Construction, vol.15, 2010;

PENDER, T. A. **UML Weekend Crash Course**. 1. ed. Indianapolis: Wiley Publishing, 2002.

Ponte em obra do viaduto na Raul Barbosa desaba e deixa dois mortos. **O POVO**, Fortaleza 22 de fev. de 2016. Disponível em: < <https://www.opovo.com.br/noticias/fortaleza/2016/02/ponte-em-obra-do-viaduto-na-raul-barbosa-desaba-e-deixa-dois-mortos.html> > Acesso em: 03 de agosto de 2021.

SEGUI, William T. **Steel Design**. 5. ed. [S.l.]: Cengage Learning, 2013;

SILVA, D. E. S.; SOUZA, I. T.; CAMARGO, T. **Metodologias ágeis para o desenvolvimento de software: aplicação e o uso da metodologia scrum em contraste ao modelo tradicional de gerenciamento de projetos**. Revista computação aplicada v. 2, n. 1, 2013;

SILVA, F. G.; HOENTSCH, S. C. P.; SILVA, L. **Uma análise das Metodologias Ágeis FDD e Scrum sob a Perspectiva do Modelo de Qualidade MPS.BR**. Scientia plena vol. 5, num. 12, 2009;

SALMON, Charles G.; JOHNSON, John E.; MALHAS, Faris A. **Steel Structures: Design and Behavior**. 5. ed. [S.l.]: Prentice Hall, 2008;

SALOMÃO, P. E. A., Oliveira, L. L. S., Rhis, A. R., & Coelho, S. S. F. (2019). **Analysis and study of materials for perutable floor water advantage when compared with conventional pavement**. Research, Society and Development, 8(4), 3584912;

PAGNO, Virginia Fernandes; Alisson Christian Lobato. 2012. **Levantamento do emprego da estrutura metálica na construção civil**. 2012. Belém/PA;
PANNONI, Fabio Domingos; **Aços Estruturais**. Disponível em: <
http://www.engmarcoantonio.com.br/cariboost_files/A_C3_A7os_estruturais.pdf>. Acesso em: 04 de ago. 2021;

TORGAL, F. Pacheco, JALALI, Said. **Construção sustentável, os casos dos materiais de construção**. Congresso Construção 2007 – 3º Congresso Nacional. Universidade de Coimbra, Portugal, 2007.

APÊNDICE A - Certificado de Registro de Software**REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL**

MINISTÉRIO DA ECONOMIA

INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL

DIRETORIA DE PATENTES, PROGRAMAS DE COMPUTADOR E TOPOGRAFIAS DE CIRCUITOS INTEGRADOS

Certificado de Registro de Programa de ComputadorProcesso Nº: **BR512022003640-1**

O Instituto Nacional da Propriedade Industrial expede o presente certificado de registro de programa de computador, válido por 50 anos a partir de 1º de janeiro subsequente à data de 29/09/2022, em conformidade com o §2º, art. 2º da Lei 9.609, de 19 de Fevereiro de 1998.

Título: Metálicas Escore**Data de publicação:** 29/09/2022**Data de criação:** 22/07/2022**Titular(es):** INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE**Autor(es):** LINCOLN COSTA MODESTO DOS SANTOS; DAVYSON CONCEIÇÃO SANTOS; THIAGO AUGUSTUS REMACRE MUANRETO LIMA**Linguagem:** JAVA SCRIPT**Campo de aplicação:** CC-03; CC-05; CC-07**Tipo de programa:** AP-02; GI-04; UT-01**Algoritmo hash:** SHA-512**Resumo digital hash:**

23b6ff67a176a0f6a5643b6a3d3461a7cba506b82fcd8a258bd301b01c35057dfe2ea019bb07f3f5bc11f275d07da1d250743b88e37a5c272b04b7ca9141d0c2

Expedido em: 03/01/2023**Aprovado por:**

Joelson Gomes Pequeno

Chefe Substituto da DIPTO - PORTARIA/INPI/DIRPA Nº 02, DE 10 DE FEVEREIRO DE 2021