

RELATÓRIO FINAL – IFSP

Base Cad-Lajes On-Line Para Programas de Engenharia Civil – Frente 1

Jonatan Vitor de Melo F, (18) 997505186, jonatan.fernandes@outlook.com.br

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo-IFSP

Rua Pedro Vicente, 625 – Canindé – São Paulo-SP

CEP: 01109-010

Telefone: 11-3775-4570

e-mail: prp@ifsp.edu.br

Gustavo Cabrelli Nirschl, (17) 99153-2885, nirschl@gmail.com

RESUMO

Nos dias atuais, com o avanço tecnológico, surgiram diversos *softwares* capazes de realizar cálculos complexos da Engenharia Civil, contudo, a maioria desses *softwares* apenas apresentam o resultado final, sem mostrar o verdadeiro processo de cálculo desses resultados. Por isso, esse projeto apresenta um *software* feito com linguagens *web* (HTML/JavaScript) chamado CAD-Lajes, que servirá de base para a criação de módulos por professores da área de Engenharia Civil, principalmente da área de estruturas, que participam do grupo de pesquisa cadastrado e ativo no CNPq. O *software* em questão foi elaborado por duas frentes. Nessa frente 1 são apresentadas algumas funcionalidades do *software*, tais como funções para desenho de laje, cargas pontuais, carga trem-tipo, medir, salvar arquivos, abrir arquivos, relatório em pdf, dentre outros.

APRESENTAÇÃO (INTRODUÇÃO, JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS)

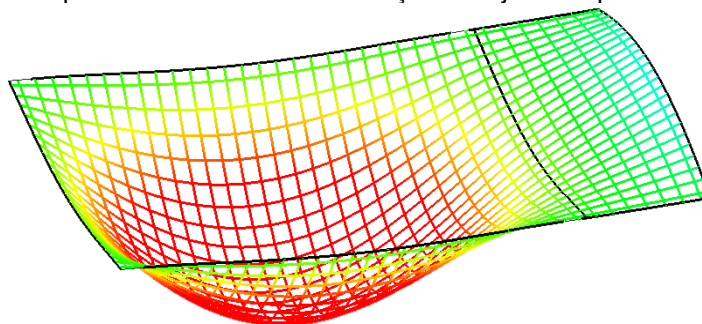
Introdução:

Com o avanço tecnológico, diversos modos de facilitar o processo de cálculo de uma estrutura foram surgindo, tornando-se assim desnecessário utilizar apenas métodos manuais. Por isso, nos dias atuais existem diversos

programas de computador cujo principal objetivo é realizar tais cálculos, especificamente falando, na Engenharia Civil.

Alguns exemplos desses programas são o TQS (2020), que trata do dimensionamento de concreto armado e o Eberick (2020) que também calcula as reações das lajes e mostra seus diagramas de deformações, como observado na Figura 1. Contudo, a maioria desses programas apenas retorna os resultados ou nem todos os passos realizados, sem mostrar qual o processo real desses cálculos.

Figura 1: Exemplo de resultado de deformação de laje dado pelo Eberick (2020).



Fonte: <https://www.altoqi.com.br/eberick/>

Neste contexto, um grupo de pesquisa cadastrado no CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) vem criando programas on-line que não só fazem cálculos, mas que demonstram todo o procedimento realizado, onde vários módulos foram criados para a análise de estruturas lineares planas. A criação dos programas é fracionada, de modo que se possam desenvolver projetos de iniciação científica sequenciais, sendo que o desenvolvimento dos aplicativos do grupo é realizado na linguagem HTML/JavaScript. Sendo assim, surgiu a ideia de criar um programa nos mesmos moldes para estruturas planas fletidas (lajes).

Por isso, nesse relatório final será apresentado um *software* de um ambiente gráfico 2D para lajes, voltado para o futuro cálculo dessas estruturas. Portanto, a criação de um ambiente gráfico 2D para lajes usando linguagem de página de internet servirá de base para a criação de programas por professores da área de Engenharia Civil, principalmente da área de estruturas, que participam do grupo de pesquisa cadastrado e ativo no CNPq chamado NEVE (Núcleo de Engenharia Virtual e Experimental), que tem

também como foco trabalhos voltados à Engenharia de cunho virtual, como *softwares*, vídeos, maquetes virtuais, etc.

Justificativa:

Apesar de atualmente existirem diversos *softwares* que realizam cálculos dentro da Engenharia Civil, a maioria desses *softwares* apenas retornam os resultados finais, sem mostrar todo o processo real desses cálculos. Por isso, um *software* que além de realizar tais cálculos, também mostre o processo de obtenção desses resultados, é um grande diferencial. Sendo assim, nesse relatório será apresentado um ambiente gráfico 2D para lajes, de maneira que esse programa será futuramente usado para a realização de cálculos relacionados a lajes e que demonstrará todo o processo de cálculo de tais estruturas.

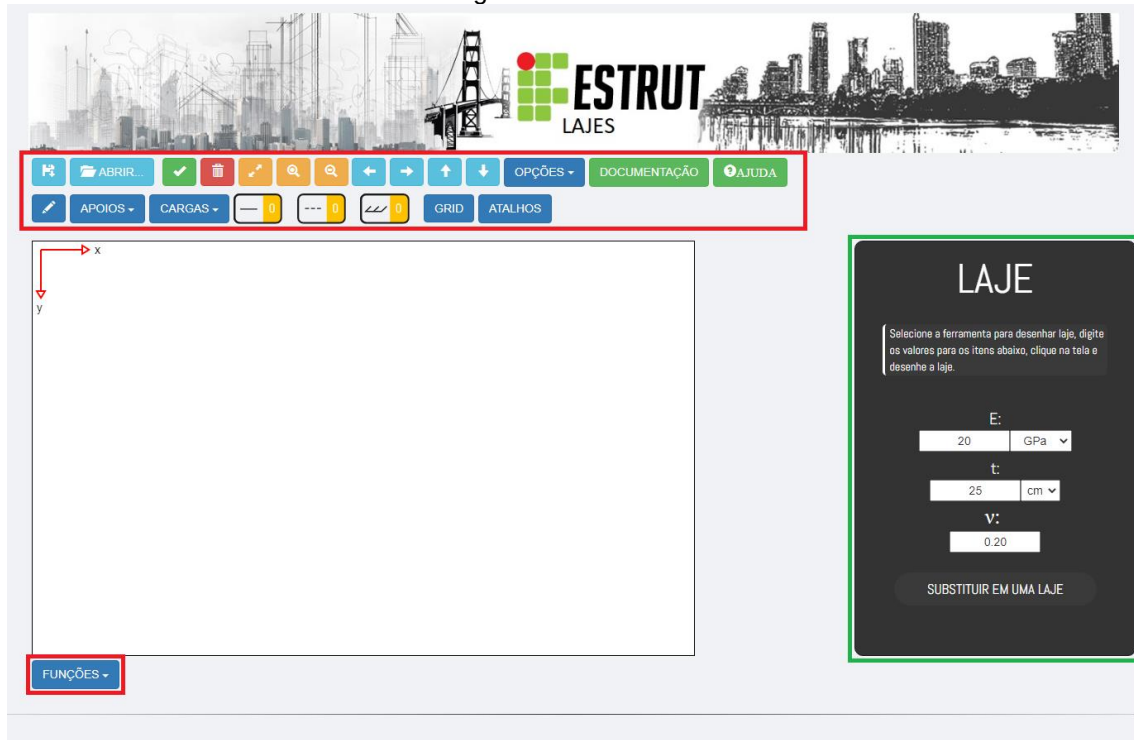
Objetivo:

O principal objetivo desse projeto é a criação de um ambiente gráfico 2D para lajes, chamado CAD-Lajes, usando linguagem de página de internet que servirá de base para a criação de módulos por professores da área de Engenharia Civil, principalmente da área de estruturas, que participam do grupo de pesquisa cadastrado e ativo no CNPq.

DESENVOLVIMENTO (METODOLOGIA E ANÁLISE)

Para o desenvolvimento desse projeto de pesquisa foram utilizadas as linguagens de programação para *web* HTML/JavaScript, de maneira que a fundamentação teórica para o desenvolvimento do ambiente CAD-Lajes pode ser encontrada em W3Schools (2020), consistindo no estudo relacionado pelo comando *canvas*, que se trata de uma tela gráfica da linguagem HTML (*Hypertext Markup Language*). Nessa frente 1 foram implementadas as funcionalidades que serão detalhadas abaixo.

Figura 2: Tela Inicial.



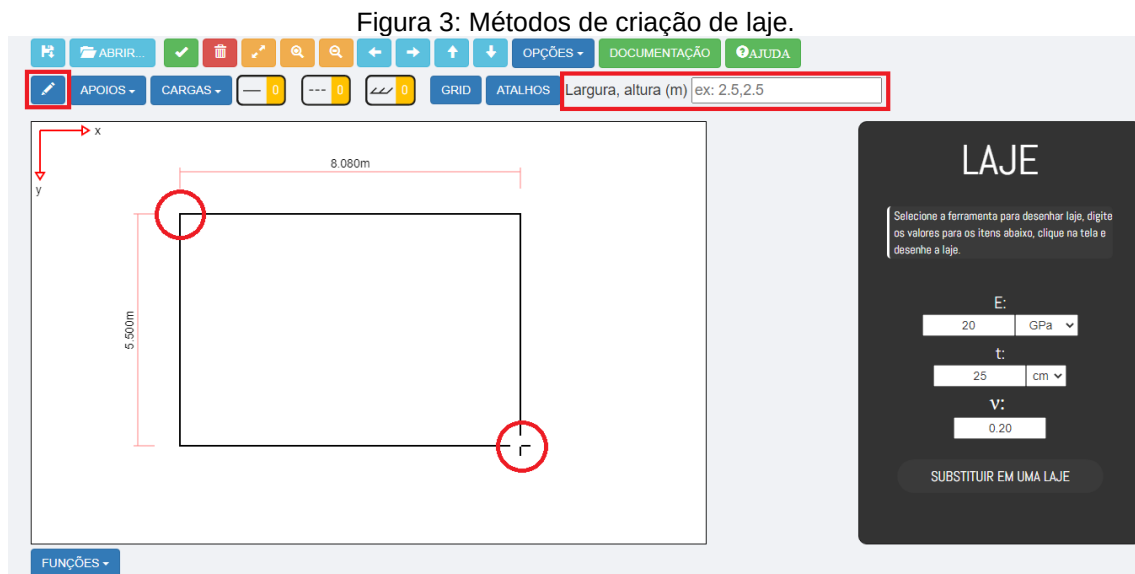
Fonte: O próprio autor.

Na Figura 2 encontra-se a tela inicial do programa desenvolvido pela frente 1 e frente 2, de maneira que nessa tela estão presentes todas as opções iniciais de entrada de dados, com botões (grifados em vermelho na figura), para as seguintes funcionalidades:

- Salvar e abrir arquivos do ambiente;
- Limpar o ambiente;
- Zoom que exibe todo o desenho na tela, zoom para aumentar o desenho e zoom para diminuir o desenho;
- Mover o desenho em quatro direções diferentes;
- Menu com opções de modificação dos dados de entrada, como por exemplo tamanho de letra, quantidade de casas decimais e sistema de unidades dos valores finais;
- Desenhar laje;
- Menu para inserir apoios na laje;
- Menu para inserir cargas na laje;
- Ativar/desativar o grid;
- Explicação de atalhos do teclado que chamam as funções do programa;
- Substituir dados da laje;

- Funções.

Além dos botões com diversas funcionalidades, do lado direito da tela inicial (grifado em verde na Figura 2), estão presentes as opções de valores para o módulo de elasticidade, espessura e coeficiente de Poisson da laje. Também está presente na parte grifada em verde o botão já mencionado anteriormente, que altera esses valores de alguma laje já existente, caso seja necessário.



Fonte: O próprio autor.

Existem dois métodos de criação de laje (Figura 3), de maneira que o usuário pode desenhar a laje por meio de dois cliques com o mouse (círculos grifados em vermelho no ambiente representando os dois lugares onde o usuário clicaria para desenhar a laje), ou usar apenas um clique e depois inserir a largura e altura da laje.

Figura 4: Dados da laje e do trem-tipo.



Fonte: O próprio autor.

Na Figura 4 está presente a opção do menu “OPÇÕES – DADOS DA LAJE” que mostra os dados da laje inseridos pelo usuário caso ele queira ver novamente. Contudo, quando um trem-tipo está presente, essa opção muda para “OPÇÕES – DADOS DA LAJE E DO TREM-TIPO”, que não só mostra os dados da laje, como também os dados do trem-tipo, que será explicado posteriormente.

Figura 5: Sistema de unidades finais.

OPÇÕES ▾ DOCUMENTAÇÃO ? AJU

DADOS DA LAJE

MEDIR

Tamanho da Fonte: 14

MÍNIMO DE CASAS DECIMAIS A EXIBIR: 3

SISTEMA DE UNIDADES DOS VALORES FINAIS (recalcule para aplicar):

O DAS CARGAS (SE IGUAIS; se não kN-m) ▾

O DAS CARGAS (SE IGUAIS; se não kN-m)

kN-m

kN-cm

kN-mm

N-m

N-cm

N-mm

kgf-m

kgf-cm

kgf-mm

tf-m

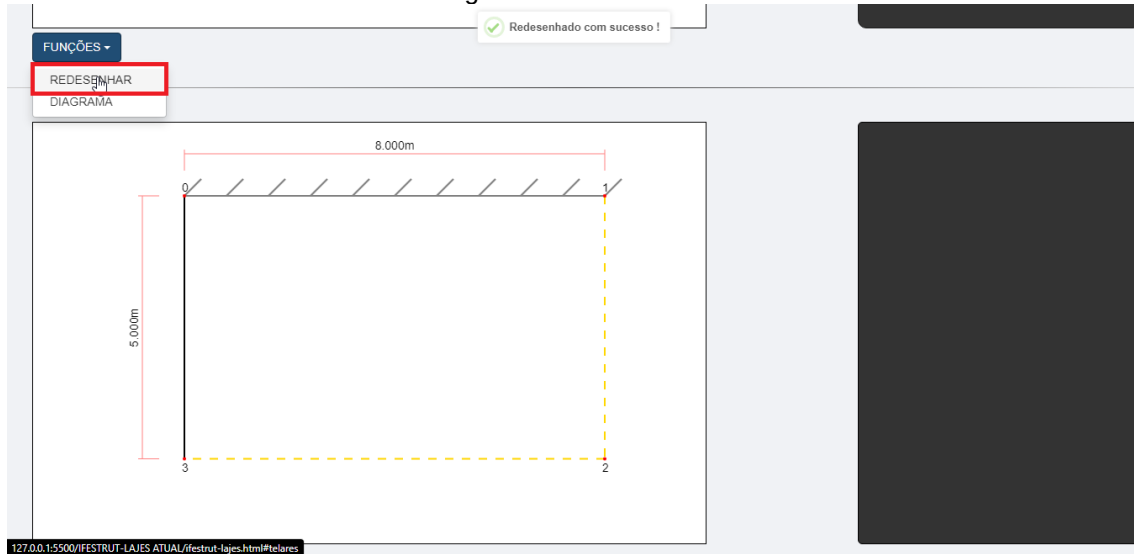
tf-cm

tf-mm

Fonte: O próprio autor.

Com a funcionalidade presente na Figura 5 o usuário pode escolher quais serão as unidades dos valores finais utilizando as opções do menu, de forma que se ele não escolher nenhuma, o programa identificará automaticamente se todas as cargas estão na mesma unidade e utilizará essa unidade. Caso as cargas não estejam na mesma unidade e o usuário não escolher nenhuma unidade do menu o programa utilizará as unidades do sistema padrão do programa (kN-m).

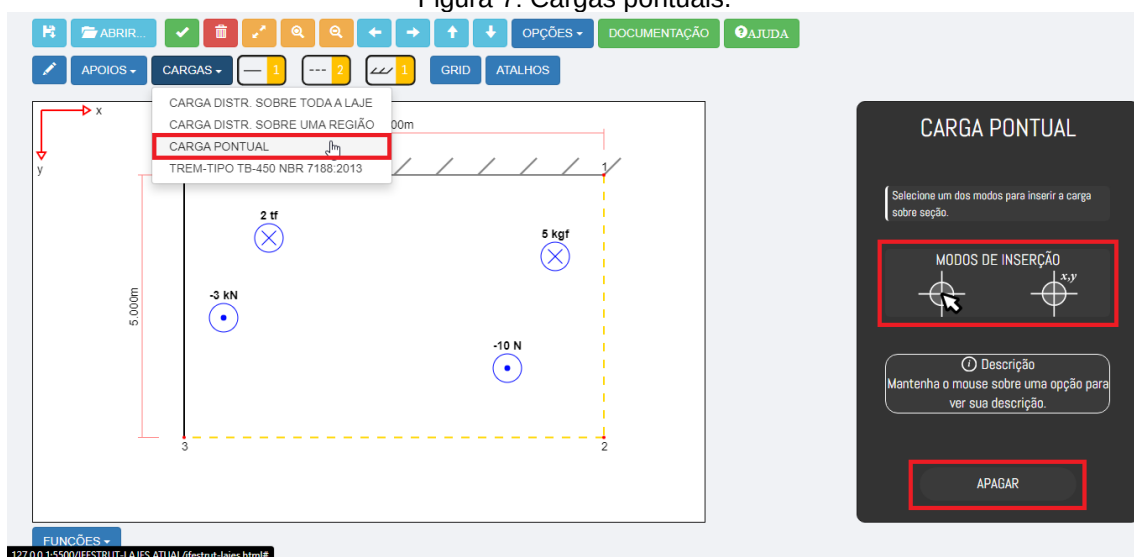
Figura 6: Redesenhar.



Fonte: O próprio autor.

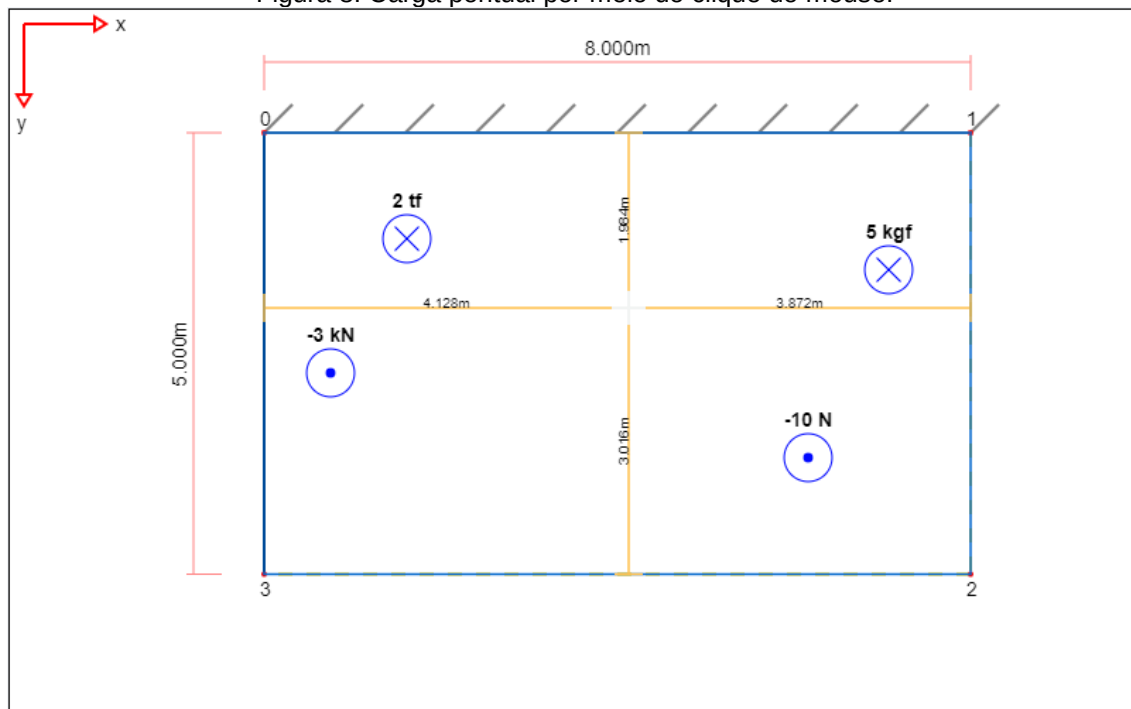
O redesenhar (Figura 6) é um conjunto de algoritmos que utiliza todos os dados dos objetos dos elementos inseridos no ambiente. Por meio dele é possível fazer uma “cópia” para outro canvas de tudo que está desenhado no canvas principal e com isso futuramente utilizá-lo em conjunto com novas funções para os cálculos das lajes. Além disso os algoritmos também servem como uma atualização de conteúdo toda vez que um novo elemento é adicionado no ambiente, evitando problemas de desaparecimento de elementos da laje conforme novos elementos são adicionados.

Figura 7: Cargas pontuais.



Fonte: O próprio autor.

Figura 8: Carga pontual por meio do clique do mouse.



Fonte: O próprio autor.

Figura 9: Menus de inserção de carga pontual.

CARGA PONTUAL

Aperte em inserir, selecione a laje e clique sobre o local que deseje adicionar a carga.

Módulo da carga

ex: 3.5 tf

Demonstração

INSERIR APAGAR

CARGA PONTUAL

Digite a coordenada da carga em relação ao vértice 0.

Posição da carga(m)

ex: 2.5,2.5

Módulo da carga

ex: 3.5 tf

DEMONSTRAÇÃO

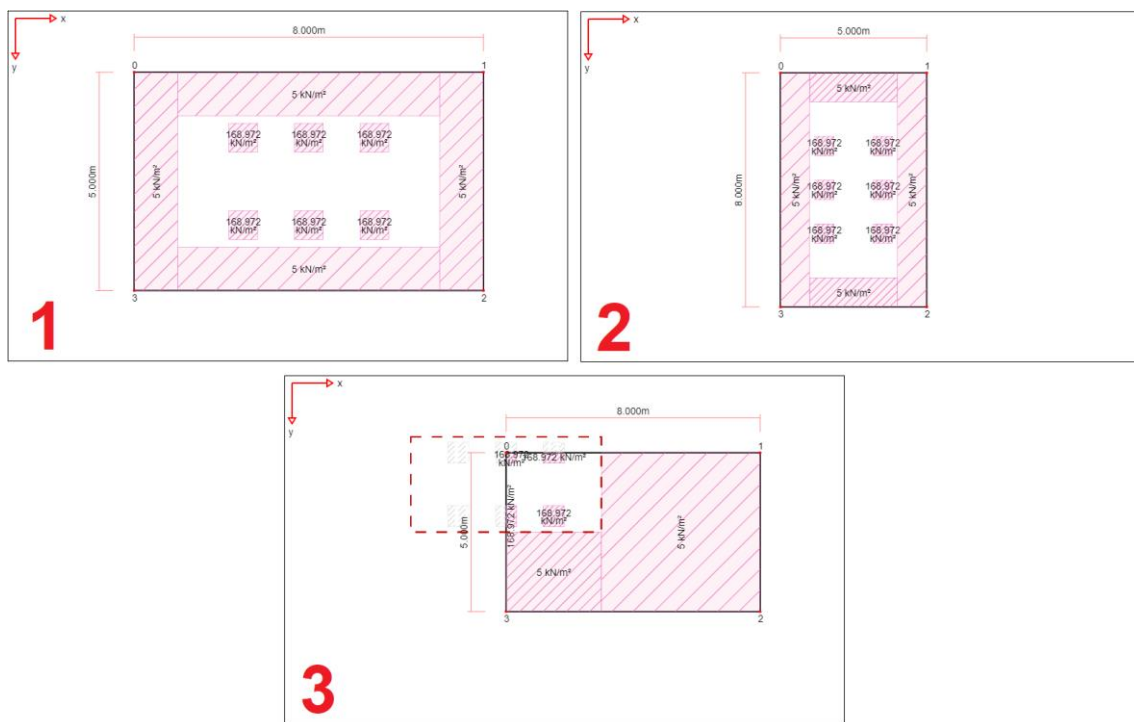
INSERIR APAGAR

Fonte: O próprio autor.

A Figura 7 destaca o menu de inserção de cargas pontuais, bem como o menu lateral direito de opções de entrada dessas cargas.

A carga pontual pode ser colocada por meio do clique do mouse e nesse caso, quando o mouse está sobre uma laje, são apresentadas cotas da posição do mouse em relação às dimensões da laje para o usuário conseguir determinar onde quer colocar a carga (Figura 8). Ela também pode ser colocada por coordenadas, com base no vértice 0 da laje. Na Figura 9 observam-se os menus dos dois métodos de inserção de carga pontual lado a lado. As cargas pontuais podem ser inseridas com módulo positivo ou negativo, de forma que, a depender do seu módulo, ela é representada de maneira diferente, conforme visto no ambiente gráfico da Figura 7 ou Figura 8. As cargas pontuais também podem ser apagadas através do botão “Apagar”, caso necessário. Esse botão serve para os dois modos de inserção de carga pontual.

Figura 10: Trem-tipo



Fonte: O próprio autor.

Figura 11: Menu do trem-tipo.

TREM-TIPO TB-450 NBR

Selecione a direção do tráfego e digite a espessura da pavimentação.

Espessura da pavimentação (m)

0.05

Centro do trem em relação ao primeiro vértice da laje (m) - "padrão: centro"

4,2.5

Direção do tráfego: ▼

DEMONSTRAÇÃO

INSERIR APAGAR

Fonte: O próprio autor.

Foi criado também um outro tipo de carga no menu “CARGAS” para o usuário ter a possibilidade de utilizá-la, essa carga é o trem-tipo. O trem-tipo é um conjunto de cargas que a norma NBR 7188:2013 diz para carregar a laje de uma ponte. Ele se trata de um retângulo de 6 m por 3 m, de maneira que a dimensão de 6 m é na direção do tráfego, ou seja, a direção na qual o carro anda.

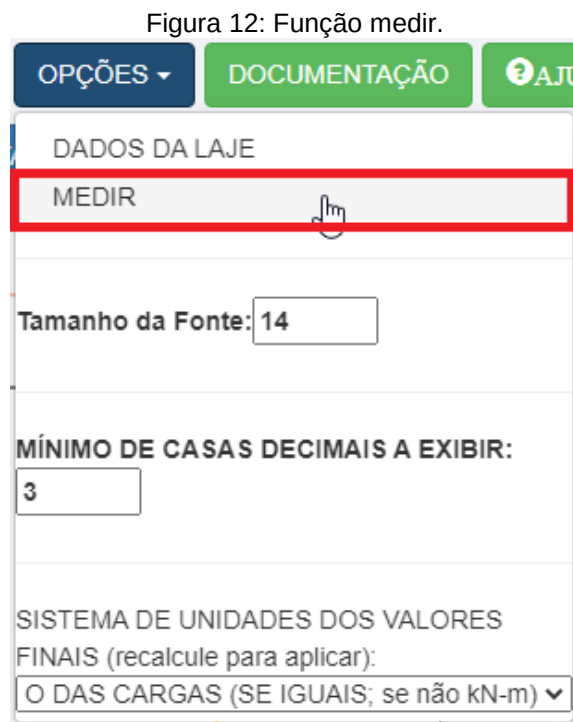
Na Figura 10 podem ser observadas três versões do trem-tipo TB-450 inseridas dentro dos ambientes canvas, de modo que no canvas numerado como 1 está presente o trem-tipo com direção paralela ao eixo x, no canvas numerado como 2 o trem-tipo com direção paralela ao eixo y e no canvas numerado como 3 o trem-tipo deslocado do centro da laje e com cargas fora da laje.

Por padrão foi definido que o trem-tipo seria colocado no centro da laje, mas existe uma opção na qual o usuário pode definir a posição do centro do

trem-tipo, conforme visto na Figura 11. Além da posição central, o usuário pode definir também qual será o valor da espessura da pavimentação, que por padrão será 0,05 m. Também é possível definir a direção do tráfego e, por fim, apagar o trem-tipo conforme necessidade. Contudo é importante ressaltar que como o trem-tipo é um conjunto de cargas definido por norma, ao colocar algum outro tipo de carga como a pontual por exemplo, o trem-tipo é apagado automaticamente.

No caso de o usuário entrar com uma posição central do trem-tipo que faça com que as cargas fiquem fora da laje, as cargas aparecerão com linhas tracejadas na cor cinza claro. No caso de alguma parte do trem-tipo ficar para fora da laje, mesmo que as cargas não fiquem, o trem-tipo aparecerá com linhas tracejadas na cor vermelha para que o usuário possa identificar onde o trem-tipo foi posicionado no desenho com base nos dados inseridos (Canvas inferior da Figura 10).

Figura 12: Função medir.



OPÇÕES ▾ DOCUMENTAÇÃO ? AJU

DADOS DA LAJE

MEDIR

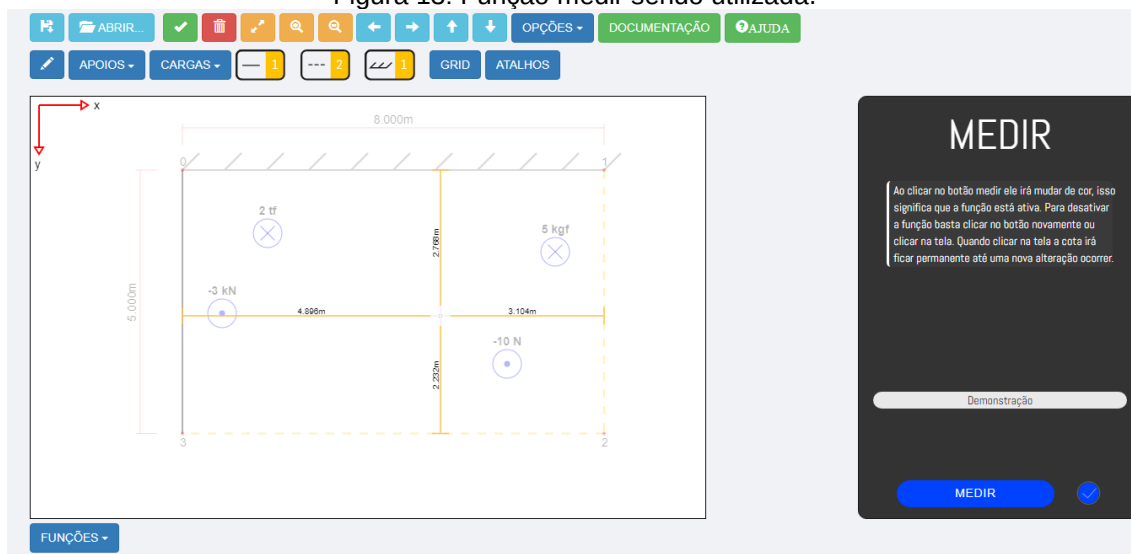
Tamanho da Fonte: 14

MÍNIMO DE CASAS DECIMAIS A EXIBIR:
3

SISTEMA DE UNIDADES DOS VALORES
FINAIS (recalcule para aplicar):
O DAS CARGAS (SE IGUAIS; se não kN-m) ▾

Fonte: O próprio autor.

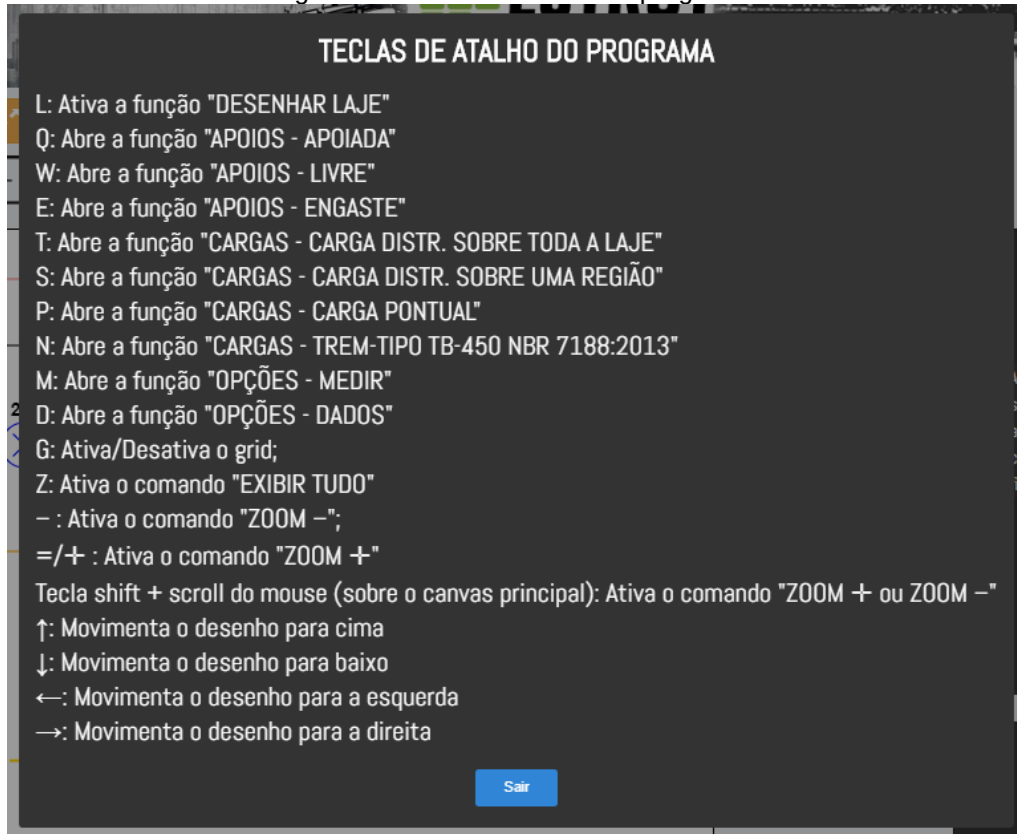
Figura 13: Função medir sendo utilizada.



Fonte: O próprio autor.

A função medir (Figura 12) foi criada tanto pela frente 1 quanto pela frente 2, para que o usuário possa verificar as posições das cargas inseridas no programa, de maneira que essa função mostra as cotas da posição do mouse em relação às dimensões da laje e, além disso, se o mouse estiver próximo à uma carga ele ativa um snap que mostra exatamente as posições importantes para a carga, como por exemplo o centro e os vértices da carga por região, o centro da carga sobre toda laje, os vértices do trem-tipo e o centro de suas cargas, a posição exata da carga pontual, etc. Quando o botão medir é ativado, o ambiente fica com uma opacidade mais baixa para facilitar a visualização das cotas, mas após desativar a função o canvas volta para a opacidade padrão. Na Figura 13 observa-se o comportamento da função medir ativa.

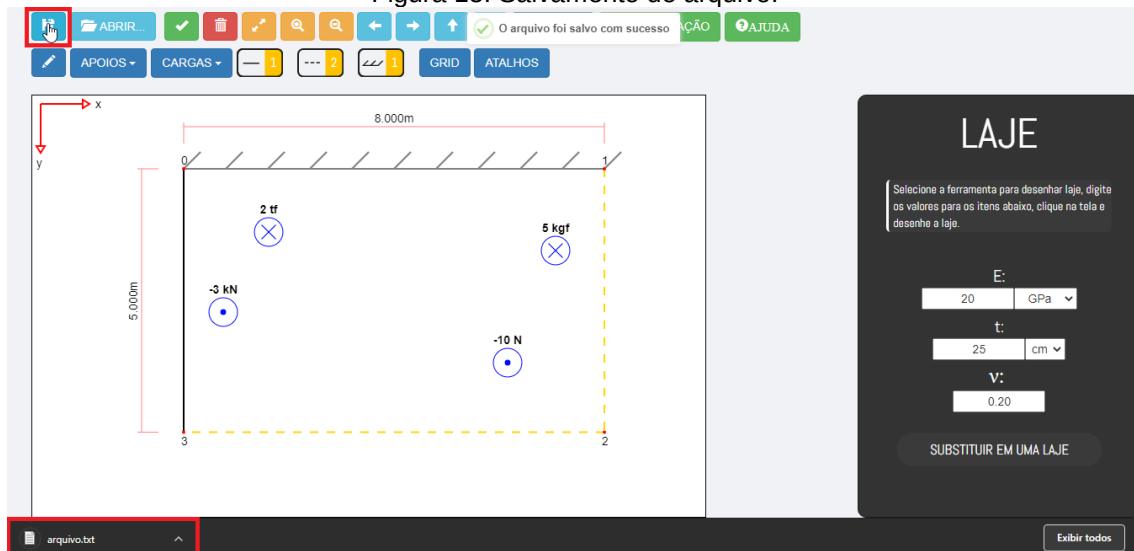
Figura 14: Teclas de atalho do programa.



Fonte: O próprio autor.

Para facilitar a utilização do programa foram criadas teclas de atalhos para utilizar a maioria dos comandos, tais atalhos podem ser vistos na Figura 14. Para entrar nessa guia de atalhos basta selecionar o botão "ATALHOS" visto na Figura 2. Para utilizar os atalhos basta pressioná-los conforme usa o programa.

Figura 15: Salvamento de arquivo.



Fonte: O próprio autor.

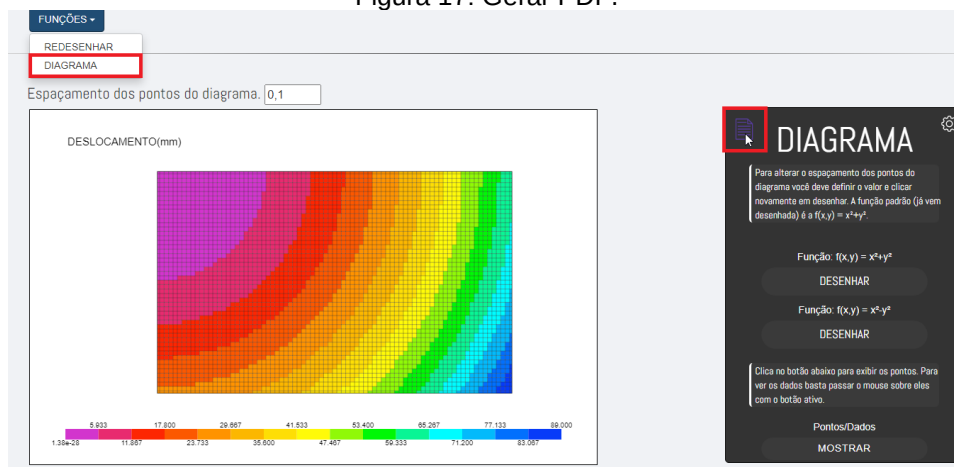
Figura 16: Abertura de arquivo.



Fonte: O próprio autor.

Também é possível fazer o download do arquivo do ambiente canvas, sendo que nesse arquivo estão presentes todos os elementos inseridos pelo usuário em forma de texto, ou seja, um arquivo .txt (Figura 15), para que o usuário possa salvar uma laje desejada e abrir posteriormente (Figura 16).

Figura 17: Gerar PDF.



Fonte: O próprio autor.

Figura 18: Parte do relatório PDF.

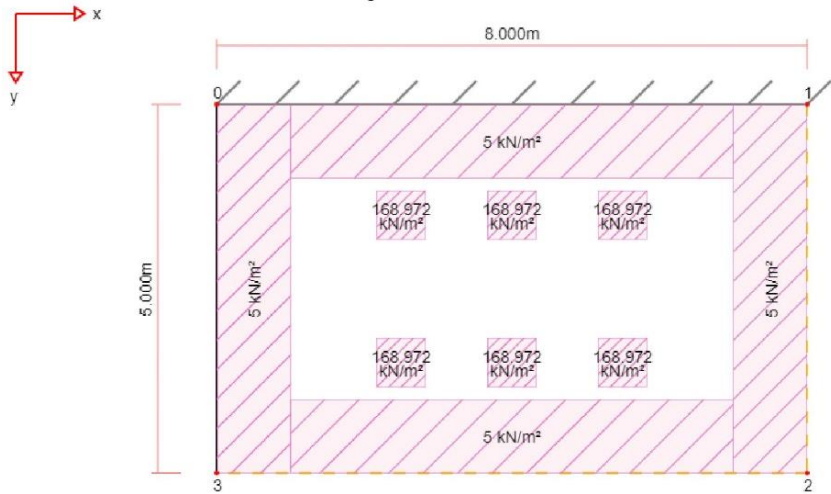
DADOS DE ENTRADA

Observações gerais:

- Os índices são ordenados de acordo com a inserção dos elementos;
- Todas as coordenadas "x,y" são em relação ao vértice 0 da laje, sendo as orientações dos eixos observadas no canto superior esquerdo da Figura 1.
- As resoluções de equações consideraram todas as casas decimais de suas variáveis. Entretanto, nas tabelas os valores serão mostrados com a quantidade de algarismos significativos escolhida (3).

Na Figura 1 podem ser vistos todos os elementos inseridos na laje.

Figura 1 - Tela de Entrada.



A partir daqui, o relatório utilizará o sistema kN-m, mostrando os valores convertidos em relação aos dados de entrada do usuário.

LAJE

Tabela 1 - Propriedades da Laje.

Módulo de elasticidade(E) (kN/m²)	Espessura da laje(h) (m)	Coefficiente de Poisson(v)
20000000.000	0.250	0.200

APOIOS

Tabela 2 - Dados dos apoios.

Tipo de apoio	Índice	Lado
Apoiada	0	3-0

Figura 19: Parte do relatório PDF.

Tipo de apoio	Índice	Lado
Livre	0	1-2
Livre	1	2-3
Engaste	0	0-1

TREM-TIPO TB-450 NBR 7188:2013

Trem-tipo é um conjunto de cargas que a norma diz para carregar a laje de uma ponte. Ele se trata de um retângulo de 6 m por 3 m, de maneira que a dimensão de 6 m é na direção do tráfego, ou seja, a direção na qual o carro anda.

A norma utilizada para o trem-tipo é a NBR 7188:2013, que define os valores característicos básicos das cargas móveis rodoviárias de veículos sobre pneus e ações de pedestres, em projeto de pontes, viadutos, galerias, passarelas e edifícios-garagem.

Neste caso específico observamos, na Figura 1, o TB-450, que é um trem-tipo rodoviário brasileiro definido por um veículo de 450 kN, com seis rodas $P=75$ kN (7,5 tf) e p distribuído igual a 5 kN /m², segundo a NBR.

Sendo:

- P - O valor da carga estática concentrada, em quilonewtons, de uma roda do veículo, aplicada no nível do pavimento e sem nenhuma majoração;
- p - O valor estático da carga móvel uniformemente distribuída que fica ao redor do trem-tipo, em quilonewtons por metro quadrado.

Os valores de P e p sofrem alterações de acordo com os coeficientes CIV, CNF e CIA que serão explicados detalhadamente abaixo.

CIV - Coeficiente de impacto vertical

O coeficiente de impacto vertical aumenta a ação da carga estática para simular o efeito dinâmico da carga em movimento e a suspensão dos veículos automotores, contudo, o CIV não simula e/ou elimina a necessidade de análise dinâmica nas estruturas sensíveis e/ou de baixa rigidez, em especial estruturas de aço e estruturas estaiadas (ABNT NBR 7187). Os valores para esse coeficiente são:

$CIV = 1,35$ para estruturas com vão menor do que 10 metros

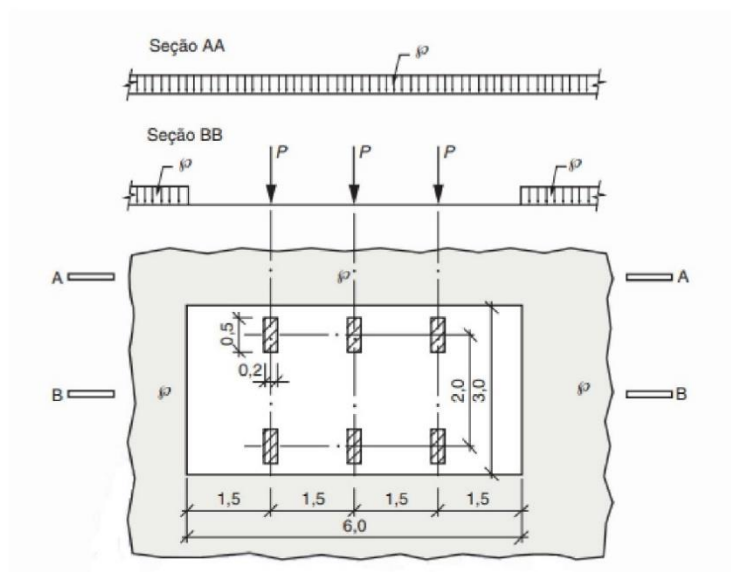
$CIV = 1 + 1,06 \times \left(\frac{20}{Liv} + 50 \right)$ para estruturas com vão entre 10 metros e 200 metros

De maneira que Liv é o vão em metros para o cálculo do CIV, conforme o tipo de estrutura, sendo:

- Liv para estruturas de vão isostático: média aritmética dos vãos nos casos de vãos contínuos;
- Liv é o comprimento do próprio balanço para estruturas em balanço;
- L é o vão, expresso em metros.

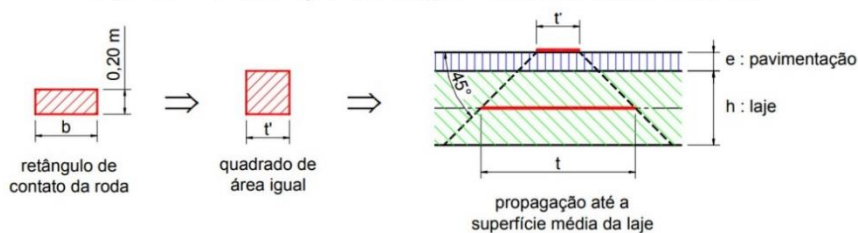
CNF - Coeficiente de número de faixas

Figura 20: Parte do relatório PDF.



De acordo com a norma, a carga distribuída deve ser aplicada na posição mais desfavorável, independentemente das faixas rodoviárias. Com isso, admite-se a distribuição espacial da carga concentrada no elemento estrutural a partir da sua superfície de contato em um ângulo de 45°. Portanto, essas cargas não são aplicadas pontualmente, mas aplicadas cada uma num quadrado t x t, conforme visto abaixo.

Figura 3 - Transformação do retângulo de contato da roda do veículo.



Fonte: <https://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/2015/05/tabelasrusch.pdf>. Acesso em junho 2020.

Geometricamente, da figura anterior tem-se:

$$t' = \sqrt{0,2 \times b}$$

$$t = t' + 2 \times \left(e + \frac{h}{2}\right)$$

Sendo:

- e - Espessura da pavimentação em metro.
- h - Espessura da laje em metro.

Para a classe TB-450, o valor de b vale 0,5 m, portanto pode-se resumir a equação da seguinte maneira:

Foi implementado uma função que gera um arquivo em PDF (Figura 17), essa função foi criada utilizando uma biblioteca chamada PDFMake, de maneira que esse algoritmo foi feito tanto pela frente 1 quanto pela frente 2. Esse relatório

PDF mostra algumas informações que não estão presentes para o usuário no ambiente.

No caso da frente 1, foi criado o relatório para quando o usuário insere a carga trem-tipo. Nesse relatório existem tabelas com os dados de entrada dos elementos inseridos já convertidos para o sistema padrão de unidades do programa (kN-m), bem como uma introdução teórica do trem-tipo TB-450. Algumas páginas desse relatório podem ser vistas na Figura 18, Figura 19 e Figura 20.

Figura 21: Alerta feito com a biblioteca SweetAlert2.



Fonte: O próprio autor.

Como existem diversos tipos de “erros” que podem surgir conforme o usuário insere dados equivocados ou tenta utilizar o programa de forma errônea, foi inserida uma biblioteca de alertas para JavaScript, de forma a tornar a utilização do programa mais intuitiva. Um exemplo de erro mostrado por essa biblioteca pode ser visto na Figura 21.

CONCLUSÃO (RESULTADOS DA PESQUISA)

Foi proposto a criação de um ambiente gráfico 2D para lajes com o objetivo de ser utilizado futuramente para a criação de módulos por professores da área de Engenharia Civil, principalmente da área de estruturas, que participam do grupo de pesquisa cadastrado e ativo no CNPq. Portanto, o

resultado atingido foi o esperado e poderá ser utilizado para a criação de módulos de cálculo de estruturas planas fletidas (lajes). Esses módulos terão o diferencial de gerar um pdf com o processo de cálculo de tais estruturas.

Portanto, pretende-se continuar a pesquisa implementando algoritmos para resolver diversos tipos de lajes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Eberick, 2020. Disponível em: <<https://www.altoqi.com.br/eberick/>>. Acesso em: 09 jul. 2020.

TQS, versão 21.11. Disponível em: <<https://www.tqs.com.br/>>. Acesso em: 09 jul. 2020.

W3Schools. Disponível em <<http://www.w3schools.com>>. Acesso em: 09 jul. 2020.

SweetAlert2, versão 9.10.12. Disponível em: <<https://sweetalert2.github.io/>>. Acesso em: 09 jul. 2020.

PDFMake, versão 0.1.66, 2020. Disponível em: <<http://pdfmake.org/#/>>. Acesso em: 09 jul. 2020.

Assinatura do orientador:_____

Assinatura do bolsista:_____