

## Construção de uma Calculadora de Estado Plano de Tensões no Excel: Uma Abordagem Prática

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2023.4637

Mateus Barbosa Santos - mbarbosa.engcivil@gmail.com  
Instituto Federal de Alagoas

Thamyrys Morgana Pontes de Almeida - thamyrys.almeida@ifal.edu.br  
Instituto Federal de Alagoas

Gabriel Silva de Aquino - Gsa7@aluno.Ifal.Edu.br  
Instituto Federal de Alagoas

**Resumo:** O presente artigo aborda o desenvolvimento de uma ferramenta no Excel que realiza cálculos de estado plano de tensões. Com o intuito de facilitar a vida de engenheiros, tornando cálculos repetitivos mais práticos. A planilha foi organizada de forma didática, com diferentes seções para cada tipo de cálculo necessário. A ferramenta abrange três funções principais: transformação de tensões, cálculo das tensões principais e utilização do círculo de Mohr. É possível inserir os dados relevantes, como os valores das tensões originais e o ângulo de rotação do plano de tensões. Para a transformação de tensões, foram criadas fórmulas específicas em células designadas, essas aplicam as equações correspondentes e retornam os resultados de acordo com o ângulo fornecido. Da mesma forma, para o cálculo das tensões principais, há células específicas que identificam os dados inseridos e aplicam as fórmulas adequadas para obter as tensões principais no plano. No entanto, é importante mencionar que essa ferramenta tem algumas limitações. É necessário ter conhecimentos básicos de Excel para utilizá-la e ela só permite o cálculo de estado plano de tensões, excluindo o cálculo de tensões em espaços tridimensionais ou deformações do corpo. No geral, essa calculadora é uma forma prática e eficiente de realizar cálculos de estado plano de tensões. Embora tenha suas limitações, é um exemplo claro de como as ferramentas computacionais podem facilitar o trabalho dos engenheiros, economizando tempo e reduzindo erros.

**Palavras-chave:** Excel, Círculo de Mohr, Estado Plano de tensões, Transformação de tensões;

## Construção de uma Calculadora de Estado Plano de Tensões Utilizando Planilhas Eletrônicas: Uma Abordagem Prática

### 1 INTRODUÇÃO

A análise de tensões em componentes estruturais desempenha um papel fundamental no projeto e na avaliação da segurança de estruturas (BEER, 2010). Quando as tensões atuantes são limitadas a um plano específico, temos o chamado estado plano de tensões. Essa abordagem simplificada facilita a análise e nos permite compreender de forma mais clara o comportamento estrutural.

Nesse contexto, ferramentas computacionais se tornaram essenciais para engenheiros, estudantes e pesquisadores, oferecendo eficiência e precisão ao lidar com cálculos complexos ou extensos. Planilhas eletrônicas, embora não seja uma ferramenta especializada para esse propósito, pode ser um instrumento poderoso para auxiliar no cálculo do estado plano de tensões, já que pode ser amplamente utilizado em diversas aplicações.

Este artigo apresenta uma abordagem prática para construir uma calculadora do estado plano de tensões utilizando planilhas eletrônicas. Nele, serão discutidos os principais conceitos teóricos relacionados a esse estado, juntamente com as fórmulas e algoritmos necessários para implementar a calculadora. Também serão abordados aspectos como a entrada de dados pelo usuário, os cálculos automatizados e a visualização dos resultados.

Além disso, serão fornecidos exemplos de casos de aplicação da calculadora, abrangendo diferentes tipos de carregamento e configurações geométricas. Esses exemplos práticos auxiliarão os leitores a compreender melhor como utilizar a calculadora e interpretar corretamente os resultados obtidos.

Ao final do artigo, serão apresentadas considerações sobre as limitações e possíveis melhorias da calculadora, bem como sugestões para expandir suas funcionalidades. A construção dessa ferramenta oferece uma alternativa viável e acessível para estudantes ou pesquisadores que desejam realizar análises rápidas e confiáveis do estado plano de tensões. Com isso, contribui-se para um melhor entendimento do comportamento do elemento analisado e auxilia-se no processo de resolução de problemas ou questões relacionadas a esse tema.

.

.

### 2 ESTADO PLANO DE TENSÕES

Chama-se de mecânica dos meios contínuos o modelo físico unificado para os sólidos deformáveis, rígidos e os fluídos (KRISHAN, 2008). grosso modo, este, dita um modelo matemático onde o material é contínuo e coeso, onde à medida que reduzimos as dimensões de análise de um material suas propriedades como a distribuição da matéria é uniforme, ou seja, sem vazios e que todas as suas porções são bem interligadas.

Entender este conceito é necessário para entender o estado geral de tensões e consequentemente o estado plano de tensões que se trata de um caso particular do caso geral.

O estado geral de tensões refere-se à distribuição das tensões em um ponto específico de um material ou estrutura, considerando todas as direções possíveis (TIMOSHENKO, 1985). Em outras palavras, o estado geral de tensões fornece informações sobre as tensões atuantes em três direções ortogonais: tensão normal (ou tensão de tração/compressão) e tensões de cisalhamento nas direções horizontal e vertical.

A análise do estado geral de tensões envolve o cálculo e a representação das tensões em um ponto específico, chamado ponto infinitesimal, geralmente utilizando conceitos da mecânica dos sólidos, como as leis de Hooke e os princípios da estática (HIBBLER, 2010). Essas análises podem ser realizadas por meio de métodos analíticos, numéricos ou experimentais.

O estado geral é caracterizado por seis componentes independentes da tensão normal e de cisalhamento que agem nas faces de um elemento material do ponto infinitesimal analisado, como dito, apesar de ser possível a análise por métodos analíticos através de equações e métodos já conhecidos como, método das superposições, da álgebra vetorial e entre outros e bem como métodos numéricos, como método dos elementos finitos. Este estado de tensões não é comum na prática da engenharia, ao contrário, engenheiros fazem aproximações ou simplificações de cargas sobre um corpo de modo que a tensão produzida em um elemento estrutural possa ser analisada em um único plano.

Para esta análise, considera-se que a tensão normal e de cisalhamento a um dos planos principais é zero e se diz que o material está no estado plano de tensões. Esta situação simplifica bastante a análise de tensões no material já que o estado de tensões pode ser reduzido a um tensor de dimensão dois, caracterizado por uma matriz 2x2 ao invés de uma matriz 3x3, como ocorre no estado geral.

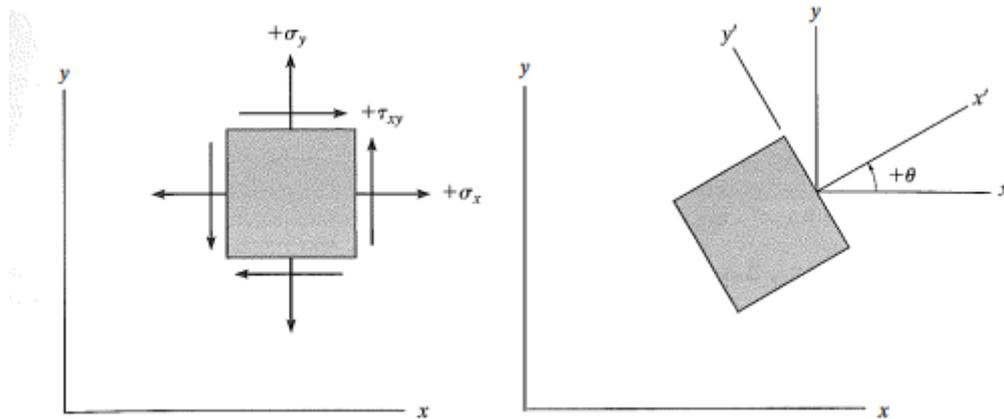
Se for conhecido um estado de tensão para um determinado ponto e orientação do material, pode ser descrito equações gerais para transformação do estado plano de tensões o estado de tensão para qualquer outra orientação através da solução destas equações. Através destas mesmas equações pode-se deduzir qual seria o ponto onde as tensões normais e de cisalhamento são máximas, para este novo conjunto de equações se dá o nome de tensões principais no plano.

### **3 A CALCULADORA DO ESTADO PLANO TENSÕES**

#### **3.1 O PROBLEMA ABORDADO**

Durante o ensino e aprendizado das disciplinas de mecânica dos sólidos e ou resistência dos materiais, durante pesquisas ou extensões, ou até mesmo em situações mais práticas pode se deparar com o problema de análise das tensões de um material em determinado ponto ou orientação. De forma que já se conheça ou se tenha o estado plano de tensões neste ponto, sendo necessária a análise deste em outra orientação ou ponto, como é mostrado na figura 1. Bem como na prática da engenharia, muitas vezes é de suma importância determinar em quais destas orientações dos planos, ocorrem as tensões máximas e mínimas das tensões normais e de cisalhamento.

Figura 1 – Transformação do estado plano de tensões.



Fonte: R. C. Hibbler (2010)

Para realizar a análise do estado plano dado em outra orientação é necessário aplicar uma série de equações, chamadas equações gerais de transformação do estado plano, para se descobrir quais seriam as tensões atuantes no plano dado uma certa orientação, ou, variação de um ângulo  $\theta$  em relação ao eixo X deste estado plano. As equações necessárias para esta análises estão descritas em:

$$\sigma_{x'} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\theta + \tau_{xy} \sin 2\theta \quad (1)$$

$$\sigma_{y'} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\theta - \tau_{xy} \sin 2\theta \quad (2)$$

$$\tau_{x'y'} = -\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin 2\theta - \tau_{xy} \cos 2\theta \quad (3)$$

Onde  $\sigma_x$  se trata da tensão normal no eixo x,  $\sigma_y$  a tensão normal no eixo y,  $\tau_{xy}$  é a tensão de cisalhamento do plano, conseqüentemente  $\sigma_{x'}$ ,  $\sigma_{y'}$  e  $\tau_{x'y'}$  são respectivamente as tensões normais e de cisalhamento no eixo rotacionado  $x'$  e  $y'$ .

Como dito, existem situações em que se faz necessário saber quais são as tensões normais máximas e mínimas de um determinado plano de tensões e a tensão de cisalhamento máxima. Este conjunto de equações são chamados de tensões principais e são designados por  $\sigma_{(1,2)}$  para as tensões normais mínimas e máximas e de  $\tau_{\text{máx}}$  para a tensão de cisalhamento máxima, também é necessário encontrar em qual orientação se dão estas tensões principais, este conjunto de equações são descritos a seguir:

$$\sigma_{(1,2)} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (4)$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}} \quad (5)$$

$$tg2\theta_s = \frac{-\frac{(\sigma_x - \sigma_y)}{2}}{\tau_{xy}} \quad (6)$$

Onde  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  e  $\tau_{m\acute{a}x}$  são respectivamente as tensões principais máximas e mínimas e a tensão de cisalhamento máxima e  $tg\ 2\theta_s$ , refere-se ao ângulo de inclinação onde se ocorre a tensão de cisalhamento máxima.

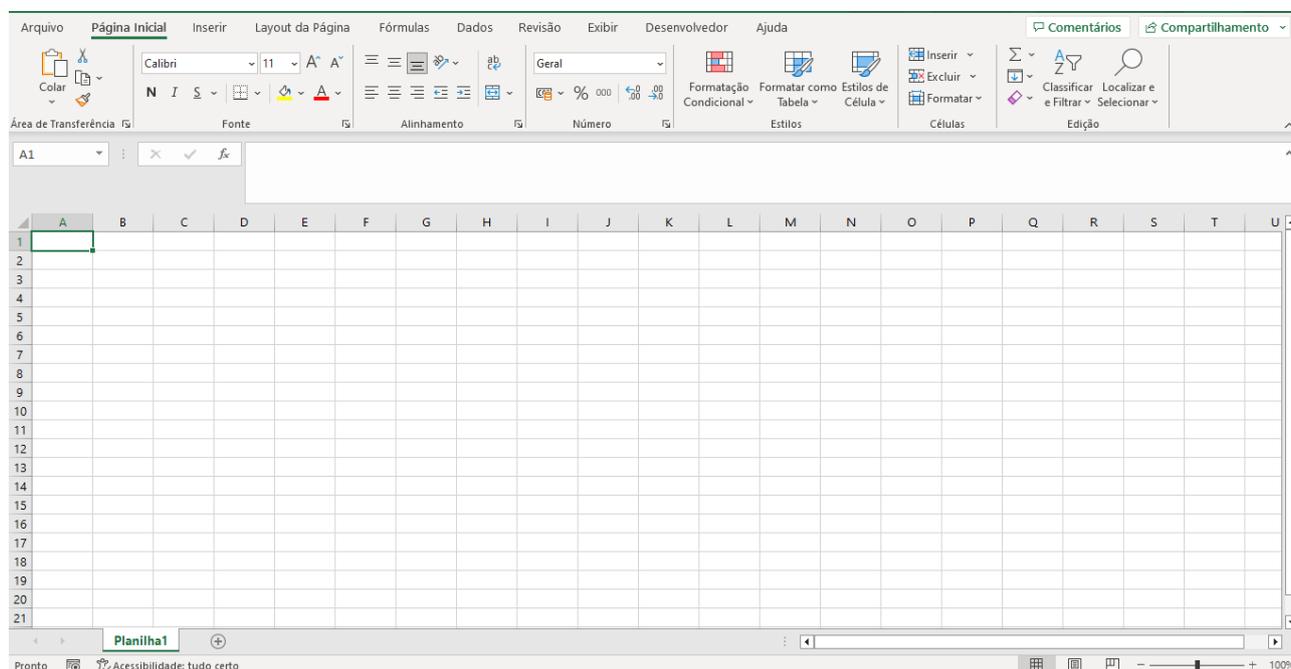
Como pode se notar pela sequência de passos descritos a resolução de um problema envolvendo estados planos de tensões pode se tornar extensa e complexa, especialmente se for necessário calcular variados estados planos de tensões. Tendo isto em mente foi pensando no desenvolvimento de uma ferramenta prática que auxilia nestes cálculos de forma automatizada, na qual fosse necessária somente os conhecimentos de mecânica dos sólidos, tendo em vista que para soluções mais complexas se faz necessário conhecimento em ferramentas de programação mais robustas.

Foi decidido então a implementação desta ferramenta através de software de planilha eletrônica, que traz consigo uma série de possibilidades da implementação de resolução de equações como estas e representação gráfica delas.

### 3.2 DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA UTILIZANDO PLANILHA ELETRONICA

Para o desenvolvimento da ferramenta se faz necessário compreender como é o funcionamento do Excel, que é uma ferramenta extremamente popular devido sua versatilidade e aplicabilidade em diversas situações, sendo mais utilizada no ramo financeiro ou de gestão administrativa.

Figura 2 – Interface gráfica de uma planilha eletrônica.



Fonte: Autores (2023).

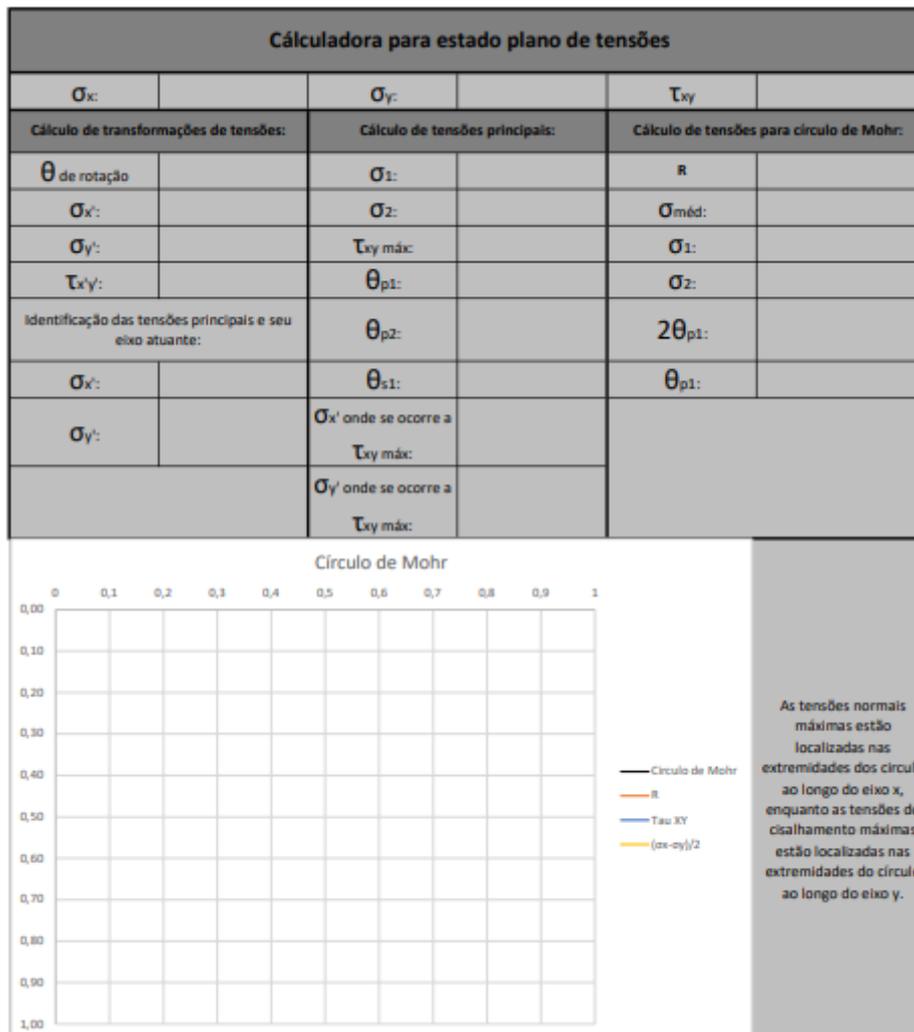
Para entender o básico do software de planilhas eletrônicas, vale destacar alguns conceitos fundamentais: a ferramenta organiza as informações em planilhas, onde as células estão dispostas em linhas e colunas. Cada célula pode conter dados, fórmulas ou funções e as células podem conter diferentes tipos de dados, como números, texto ou datas. Além disso, a ferramenta permite usar fórmulas, expressões matemáticas ou lógicas para realizar cálculos com base nos dados inseridos. Essas fórmulas podem fazer referência a outras células, possibilitando que os cálculos sejam atualizados automaticamente quando os dados são modificados. É através desta interligação entre células que podemos subdividir os cálculos necessários para análise de tensões no plano.

Subdividindo as equações mais complexas descritas acima, em menores em células diferentes e unindo os resultados destas diversas células em uma única que apresentam os resultados desejados.

O primeiro passo para o desenvolvimento desta calculadora dentro da ferramenta foi decidir quais seriam as funções desejadas, apesar de uma planilha eletrônica conseguir realizar diversos outros cálculos para otimizar e direcionar a atenção a execução de uma tarefa específica, foi escolhido que teria como funções, a transformação de tensões no estado plano, cálculo das tensões principais e cálculo de tensões utilizando o círculo de Mohr.

E subsequentemente organização e formatação da planilha em um formato mais amigável para o entendimento do programa.

Figura 3 – Interface gráfica do Planilha desenvolvida.



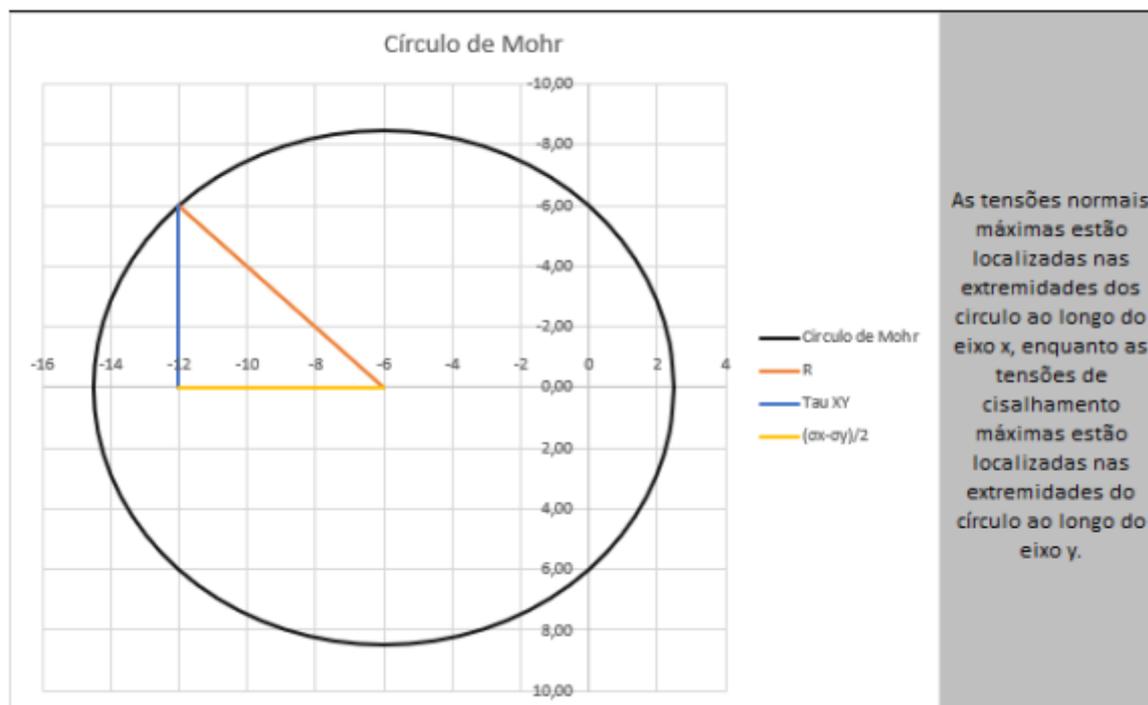
Fonte: Autores (2023).

A formatação da planilha, seguindo as funções desejadas ficou como mostra a figura tal, de forma que temos uma linha inicial que contém células que recebem dados do usuário a respeito do estado plano do qual se deseja efetuar os cálculos, estas, nomeadas de  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  e  $\tau_{xy}$ .

Logo abaixo desta linha encontram-se três colunas, que retornam os cálculos de tensões principais, transformações do estado de tensões e dados para a elaboração do círculo de Mohr.

E por último encontra-se, a representação gráfica do círculo de Mohr, que é plotado através dos dados inseridos.

Figura 4 – Plotagem para o círculo de Mohr.



Fonte: Autores (2023).

Tendo definida a como se dará a representação gráfica da calculadora na área de trabalho de planilha. Foi iniciado a formatação das células que continham as fórmulas necessárias para a execução dos cálculos.

### 3.3 CÁLCULO DA TRANSFORMAÇÃO DE TENSÕES E TENSÕES PRINCIPAIS E APLICAÇÃO DO CIRCULO DE MOHR.

Para o cálculo de transformação de tensões, foram escolhidas três células que ficariam responsáveis por receber as informações da entrada de dados e aplicá-las nas equações gerais de transformação de tensões.

Cada uma destas células que contém as equações de transformação para cada eixo foi nomeada respectivamente SIGMAX', SIGMAY' E TAUXY. Além disso se faz necessário designar uma célula que servirá de entrada de dados para o ângulo de rotação do plano de estado de tensões.

Figura 5 – Entrada de dados na calculadora.

Calculadora de tensões					
$\sigma_x$ :	0	$\sigma_y$ :	-300	$\tau_{xy}$ :	950
Cálculo de transformações de tensões:		Cálculo de tensões principais:		Cálculo de tensões para círculo de Mohr:	
$\theta$ de rotação	30	$\sigma_1$ :	747,72	$\sigma_2$ :	-1047,72
$\sigma_x'$ :	747,72	$\sigma_2$ :	-1111,77	$\sigma_3$ :	811,77
$\sigma_y'$ :	-1047,72	$\theta_{p1}$ :	40,51	$\sigma_2$ :	-961,77
$\tau_{xy}'$ :	345,1				

Fonte: Autores (2023).

Dada uma entrada de estado de tensões do usuário nas células responsáveis por captar esses dados e dado um determinado ângulo para o qual se deseja aplicar a transformação, a calculadora pega esses dados já que as células estão interligadas. Os aplica na equação de transformação de tensões para cada eixo e retorna um resultado para este determinado ângulo.

Por exemplo para o cálculo do SIGMAX', temos que a célula responsável por aplicar a transformação neste eixo, tem o seguinte código para cálculo:

$$\text{SigmaX}' = \text{ARRED}(((C4+G4)/2) + (((C4-G4)/2) * \text{Memoria!B2}) + (K4 * \text{Memoria!B3}); 2) \quad (6)$$

Onde se utiliza a função chamada ARRED, para arredondar o valor para uma casa decimal de precisão desejada, e se aplica a fórmula geral para o estado de tensões. Se compararmos a equação utilizada acima com a equação geral, vemos que:

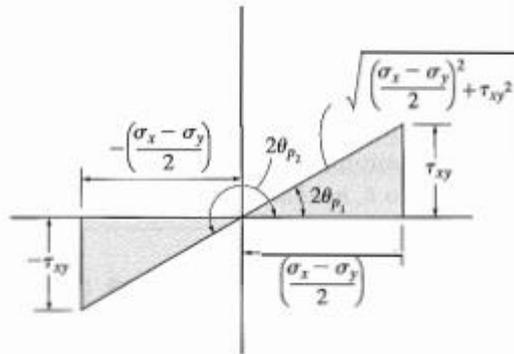
Ao se comparar a equação (1) com a equação (6), nota-se que C4 e G4 referem-se a nomenclatura do sistema de células e são justamente as entradas de dados para os valores de  $\sigma_x$  e  $\sigma_y$  originais, bem como K4 refere-se a tensão de cisalhamento  $\tau_{xy}$  original.

As funções trigonométricas da planilha eletrônica trabalham naturalmente como os valores de ângulo em pi-rad, porém as equações de estado geral trabalham com ângulos em graus. Para que o valor da função retorne de forma satisfatória é necessário que se efetue uma conversão, isso foi feito utilizando uma planilha de auxílio de cálculo chamada memória, apesar desta conversão poder ser realizada utilizando também uma única célula para todo o cálculo. Logo onde se lê Memoria! Seguida de uma letra e um número, significa que a célula está referenciando outra célula desta planilha apoio chamada memória. Para este caso específico os valores referenciados por estes itens de memória são respectivamente os valores de seno e cosseno do ângulo utilizado na entrada de dados, necessários na equação geral de transformação do estado plano de tensões.

De forma análoga, para se encontrar os valores de  $\sigma_y'$  e  $\tau_{xy}'$ , foi utilizado o mesmo processo.

Para o cálculo de tensões principais dado um estado plano de tensões, segue a mesma lógica, se utilizada a mesma entrada de dados que a transformação de tensões, células na coluna do estado principal, identificam esses dados e os aplicam as fórmulas gerais para encontrar as tensões principais no plano.

Figura 6 – Representação gráfica das tensões principais.



Fonte: R. C. Hibbler (2010).

Após definida as seções da planilha que seriam responsáveis por estes cálculos, se fez interessante um retorno gráfico para análise das tensões através do círculo de Mohr, já que este demonstra todas as tensões normais e tangenciais relativas a um determinado plano de tensões.

Como através dos passos posteriores, já conseguimos obter vários dados relativos ao estado plano de tensões a implementação do círculo de Mohr se torna intuitiva já este necessita de dados relativos as tensões principais já encontradas.

Então para sua implementação se faz necessário apenas desenvolver um sistema de células que sejam capazes serem utilizadas como entradas de dados para plotagem de gráfico utilizando a própria ferramenta de gráficos embutida no software, para isto se utilizou da planilha auxiliar de memória de cálculo que foi criada, como mostra a figura ():

Figura 7 – Planilha de memória de cálculo.

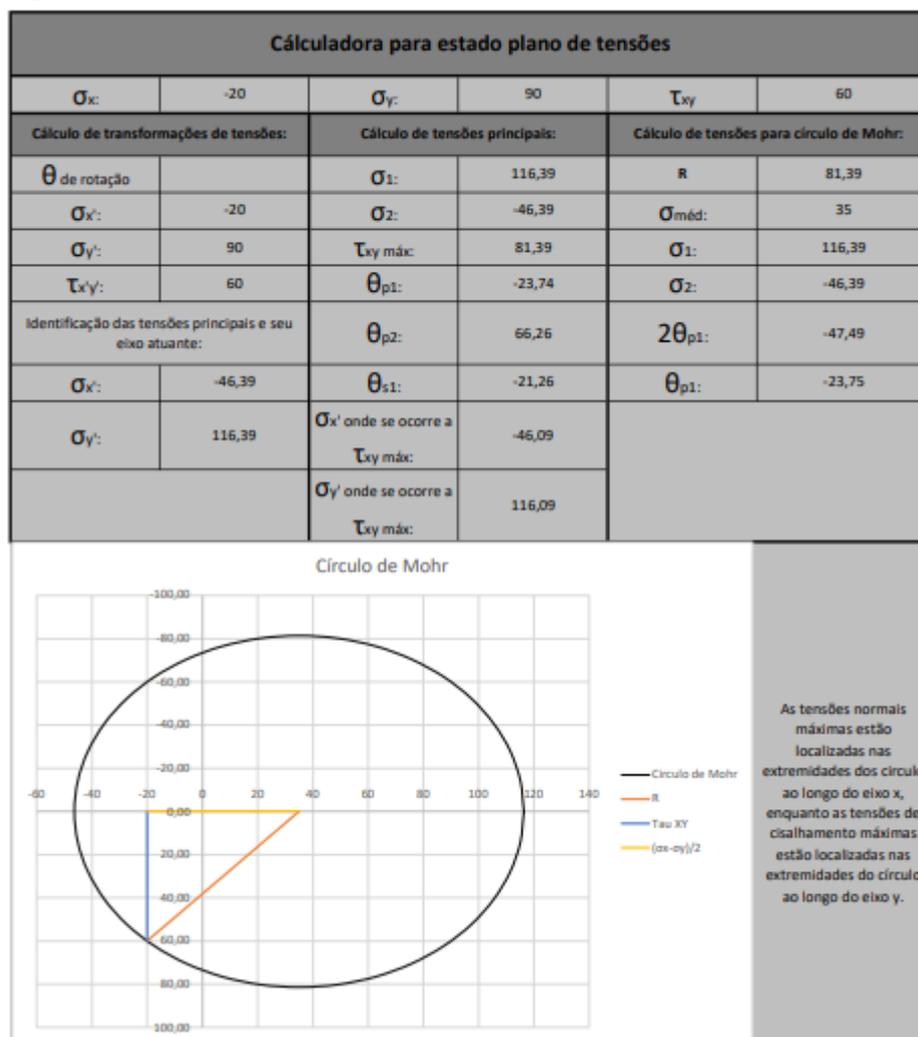
α(°)	τ	σ	x	y	
0	0,00	4,21			
10	3,34	3,91816	-15	0	Reta R
20	6,57	3,0515	-30	12	
30	9,61	1,63635			
40	12,35	-0,2843	-30	-30	Reta Txy
50	14,72	-2,6521	0	12	
60	16,64	-5,395			
70	18,05	-8,4298	-15	-30	Reta Sigma x
80	18,92	-11,664	0	0	
90	19,21	-15			

Fonte: Autores (2023)

Que basicamente pega dados já entregues pela calculadora e os atribui ao intervalo entre 0 a 360 graus para conseguirmos todas as tensões de um determinado plano, em todas as configurações de ângulo, possíveis.

Após a formatação de todas as células necessárias, que receberiam as equações de transformação de tensão e de tensões principais a interface gráfica ficou como mostra a figura:

Figura 7 – Interface final da calculadora.



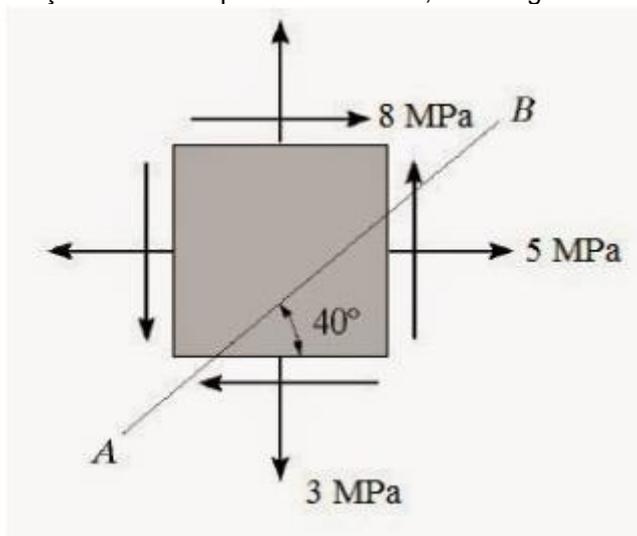
Fonte: Autores (2023)

### 3.4 EXEMPLOS RESOLVIDOS UTILIZANDO A CÁLCULADORA

Nesta seção serão abordados exemplos de questões retiradas de livros que tratam do assunto abordado e como seria sua resolução de forma analítica em contraste com a utilização da calculadora:

**EXEMPLO 1:**

Figura 8 – Transformação de estado plano de tensões, com ângulo de rotação de 40 graus.



Fonte: R.C Hibbler (2010).

**COMO SERIA O RESULTADO UTILIZANDO A CÁLCULADORA:**

Figura 9 – Resolução do exemplo 1, com a ferramenta de cálculo.

Cálculadora para estado plano de tensões					
$\sigma_x$ :	3	$\sigma_y$ :	5	$\tau_{xy}$	-8
Cálculo de transformações de tensões:		Cálculo de tensões principais:		Cálculo de tensões para círculo de Mohr:	
$\theta$ de rotação	40	$\sigma_1$ :	12,06	R	8,06
$\sigma_{x'}$ :	-4,05	$\sigma_2$ :	-4,06	$\sigma_{\text{méd}}$ :	4
$\sigma_{y'}$ :	12,05	$\tau_{xy \text{ máx}}$ :	8,06	$\sigma_1$ :	12,06
$\tau_{x'y'}$ :	-0,4	$\theta_{p1}$ :	41,44	$\sigma_2$ :	-4,06
Identificação das tensões principais e seu eixo atuante:		$\theta_{p2}$ :	131,44	$2\theta_{p1}$ :	83
$\sigma_{x'}$ :	-4,06	$\theta_{s1}$ :	3,56	$\theta_{p1}$ :	41,50
$\sigma_{y'}$ :	12,06	$\sigma_{x'}$ onde se ocorre a $\tau_{xy \text{ máx}}$ :	2,02		
		$\sigma_{y'}$ onde se ocorre a $\tau_{xy \text{ máx}}$ :	5,98		

Fonte: Autores (2023)

EXEMPLO 2:

Figura 11 – Questão resolvida retirada do livro Resistência dos materiais 7º edição.

**EXEMPLO 9.5**

O estado plano de tensão em um ponto sobre um corpo é mostrado no elemento na Figura 9.13a. Represente esse estado de tensão em termos das tensões principais.

**SOLUÇÃO**

Pela convenção de sinal estabelecida, temos

$$\sigma_x = -20 \text{ MPa} \quad \sigma_y = 90 \text{ MPa} \quad \tau_{xy} = 60 \text{ MPa}$$

**Orientação de elemento.** Aplicando a Equação 9.4, temos

$$\operatorname{tg} 2\theta_p = \frac{\tau_{xy}}{(\sigma_x - \sigma_y)/2} = \frac{60}{(-20 - 90)/2}$$

Resolvendo e denominando essa raiz  $\theta_{p1}$ , como mostraremos a seguir, obtemos

$$2\theta_{p1} = -47,49^\circ \quad \theta_{p1} = -23,7^\circ$$

Como a diferença entre  $2\theta_{p1}$  e  $2\theta_{p2}$  é  $180^\circ$ , temos

$$2\theta_{p2} = 180^\circ + 2\theta_{p1} = 132,51^\circ \quad \theta_{p2} = 66,3^\circ$$

Lembre-se de que  $\theta$  é positivo quando medido em sentido anti-horário do eixo  $x$  até a normal orientada para fora (eixo  $x'$ ) na face do elemento e, portanto, os resultados são os mostrados na Figura 9.13b.

**Tensões principais.** Temos

$$\begin{aligned} \sigma_{1,2} &= \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \\ &= \frac{-20 + 90}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{-20 - 90}{2}\right)^2 + (60)^2} \\ &= 35,0 \pm 81,4 \end{aligned}$$

$$\sigma_1 = 116 \text{ MPa} \quad \text{Resposta}$$

$$\sigma_2 = -46,4 \text{ MPa} \quad \text{Resposta}$$

O plano principal no qual cada tensão normal age pode ser determinado pela Equação 9.1 com, digamos,  $\theta = \theta_{p1} = -23,7^\circ$ . Temos

$$\begin{aligned} \sigma_{x'} &= \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\theta + \tau_{xy} \sin 2\theta \\ &= \frac{-20 + 90}{2} + \frac{-20 - 90}{2} \cos 2(-23,7^\circ) + 60 \sin 2(-23,7^\circ) \\ &= -46,4 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Fonte: R.C. Hibbler (2010).

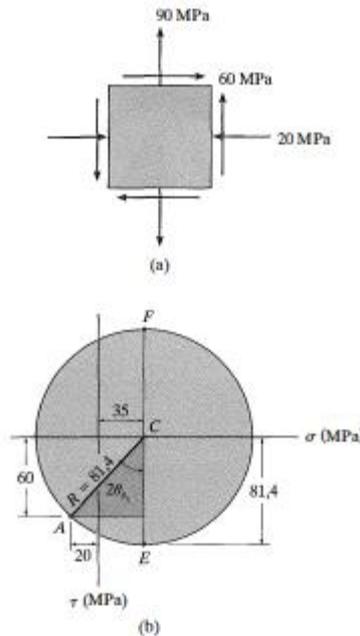
Figura 12 – Solução do exemplo 2, utilizando a ferramenta de cálculo.

Cálculadora para estado plano de tensões					
$\sigma_x$ :	-20	$\sigma_y$ :	90	$\tau_{xy}$	60
Cálculo de transformações de tensões:		Cálculo de tensões principais:		Cálculo de tensões para círculo de Mohr:	
$\theta$ de rotação		$\sigma_1$ :	116,39	R	81,39
$\sigma_{x'}$ :	-20	$\sigma_2$ :	-46,39	$\sigma_{\text{méd}}$ :	35
$\sigma_{y'}$ :	90	$\tau_{xy}$ máx:	81,39	$\sigma_1$ :	116,39
$\tau_{x'y'}$ :	60	$\theta_{p2}$ :	-23,74	$\sigma_2$ :	-46,39
Identificação das tensões principais e seu eixo atuante:		$\theta_{p1}$ :	66,26	$2\theta_{p1}$ :	-47,49
$\sigma_{x'}$ :	-46,39	$\theta_{s1}$ :	-21,26	$\theta_{p1}$ :	-23,75
$\sigma_{y'}$ :	116,39	$\sigma_{x'}$ onde se ocorre a $\tau_{xy}$ máx:	-46,09		
		$\sigma_{y'}$ onde se ocorre a $\tau_{xy}$ máx:	116,09		

Fonte: Autores (2023)

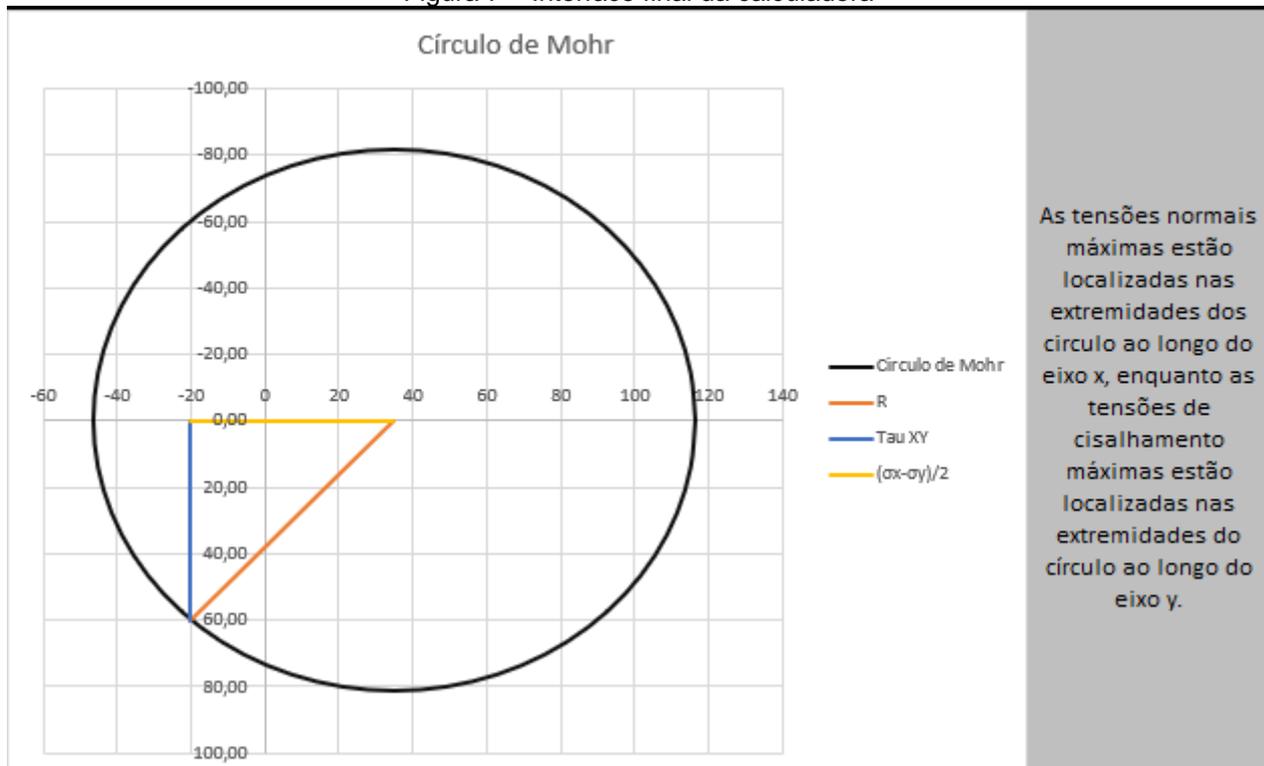
### EXEMPLO 3:

Figura 13 – Solução para questão dada no exemplo 2, utilizando o círculo de Mohr.



Fonte: R.C. Hibbler (2010).

Figura 7 – Interface final da calculadora



Fonte: Autores (2023)

### 3.5 LIMITAÇÕES

Vale apontar que a entrada de dados pelo usuário é adimensional, apesar das unidades relacionadas a tensão serem unidades de pressão ou Força/Área. Cabe a ele trabalhar com um único tipo de unidade de pressão ou converter unidades se necessário.

O uso da ferramenta só será possível se o usuário possuir acesso a software de planilha eletrônica e saber utilizar o programa. Em relação a capacidade da calculadora ela se limita ao cálculo do estado plano de tensões, não sendo possível realizar cálculo do estado de tensões no espaço e das deformações causadas no corpo.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo como objetivo a criação de uma ferramenta computacional simples e prática para o cálculo do estado plano de tensões utilizando software de planilha eletrônica, o presente mostra de forma simples como cálculos repetitivos realizados por engenheiros podem ser facilitados por meio de ferramenta computacionais, gerando melhor aproveitamento de tempo e minimizando erros. Com certo conhecimento no uso de softwares e programação as opções de implementação de ferramentas de cálculo e automatização se tornam vastas, enriquecendo o ambiente acadêmico e de trabalho.

As limitações citadas podem ser superadas com algumas implementações na calculadora com o uso de linguagens de programação, criando um formulário que gere resultados mais precisos e mais amplos. Contornando a limitação do cálculo apenas em estado plano, calculando as deformações a partir de características do material analisado e podendo ser criado um aplicativo que funcione independentemente do acesso a software específico de planilha eletrônica.

## AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer em especial, a nossa professora da grade de estruturas, especificamente dos cursos de teoria das estruturas e mecânica dos sólidos, Thamyrys Morgana Pontes de Almeida do Instituto Federal de Alagoas IFAL – Campus Palmeira dos Índios, pelo incentivo para o desenvolvimento da ferramenta, bem como por todas as sugestões de melhorias. Bem como toda a gestão do campus por sempre fomentar o desenvolvimento de pesquisas e produção de materiais acadêmicos dando todo apoio necessário para realização dos mesmos.

## REFERÊNCIAS.

BEER, F. P.; JOHNSTON Jr., E. R. **Mecânica dos Materiais**. 5. Ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2010.

Hibbler, Russel Charles. **Resistência dos Materiais**. 7. Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

Krishan, Chawla; Marc, Meyers. **Mechanical Behavior of Materials**. 2.ed. Cambridge: Cambridge University Press. 2008.

TIMOSHENKO, S.; GOODIER, J. N. **Teoria da Elasticidade**. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Livros Técnicos e Científicos, 1985.