

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS**

**Análise qualitativa do uso do ChatGPT como ferramenta  
de consulta para os anos iniciais de cursos de Engenharia  
de Materiais**

**Giuliano Benessutti**

**SÃO CARLOS -SP**  
**2024**

# **Análise qualitativa do uso do ChatGPT como ferramenta de consulta para os anos iniciais de cursos de Engenharia de Materiais**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de São Carlos, como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador: Francisco Gil Coury  
Coorientadora: Gabriela Bugni Ribeiro

São Carlos-SP  
2024



## ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (TCC)

**NOME:** Giuliano Benessutti

**RA:** 744388

**TÍTULO:** Análise qualitativa do uso do ChatGPT como ferramenta de consulta para os anos iniciais de cursos de Engenharia de Materiais

**ORIENTADOR(A):** Prof. Dr. Francisco Gil Coury

**CO-ORIENTADOR(A):** Eng. Gabriela Bugni Ribeiro

**DATA/HORÁRIO:** 30/01/2024, 08h

### BANCA – NOTAS:

|                                | Monografia | Defesa |
|--------------------------------|------------|--------|
| Prof. Dr. Francisco Gil Coury  | 6.0        | 8.0    |
| Prof. Dr. Lucas Barcelos Otani | 6.0        | 8.0    |
| <b>Média</b>                   | 6.0        | 8.0    |

### BANCA – ASSINATURAS:

Prof. Dr. Francisco Gil Coury

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** FRANCISCO GIL COURY  
Data: 31/01/2024 15:39:40-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Lucas Barcelos Otani

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** LUCAS BARCELOS OTANI  
Data: 31/01/2024 15:41:40-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

## **DEDICATÓRIA**

Dedico esse trabalho aos meus pais, pois graças aos seus esforços que hoje posso concluir o meu curso.

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço ao meu orientador, o professor Francisco Gil Coury e a minha Coorientadora Gabriela Bugni Ribeiro, por toda a paciência e auxílio prestado neste trabalho.

*“O problema não é se as máquinas pensam, mas se os homens fazem.”*

*B.F.Skinner [1]*

## RESUMO

A inteligência artificial está cada dia mais presente no nosso cotidiano, um exemplo de Inteligência artificial que está sendo popularmente utilizada é o ChatGPT da OpenAI, que por muitas vezes utilizado como ferramenta de pesquisa e auxílio no aprendizado. Um dos campos onde essa necessidade pode se manifestar é para alunos de engenharia de materiais, que buscam expandir os seus conhecimentos ou esclarecer dúvidas. Assim o ChatGPT deve ser testado para ver há possibilidade de sua utilização como ferramenta de auxílio ao aprendizado. A análise feita consistiu no ChatGPT3.5, que é a versão gratuita, e no ChatGPT4.0, que é a versão paga, ambas da empresa OpenAI. Essas versões podem ser usadas como ferramentas de auxílio ao aprendizado de engenharia de materiais, tanto na sua versão gratuita, que se destaca pelo seu livre acesso tornando seu uso abrangente e de caráter democrático, quanto sua versão paga, que possui uma maior capacidade de fornecer respostas corretas, com uma probabilidade de 40% de chance de produzir respostas com maior precisão factual, segundo pelo site da própria empresa, além disso essa versão fornece ferramentas exclusivas. Assim na primeira etapa o ChatGPT terá suas duas versões comparadas e testadas com perguntas de conhecimento geral de engenharia de materiais. As perguntas têm como foco conteúdo básico e intermediário de engenharia de materiais, sendo perguntas objetivas que não necessitem de grande capacidade de interpretação e de lógica. Além disso, serão testados alguns dos recursos disponibilizados do ChatGPT4.0, recursos esses que não estão presentes na sua versão gratuita. O ChatGPT após os testes pôde ser considerado uma ferramenta importante para o auxílio do aprendizado. Ambas as versões tiveram um bom resultado com elevado grau de assertividade, e com novas atualizações tendem a se tornar ainda mais confiáveis e assertivas. Porém como toda ferramenta deve-se utilizar em conjunto com outras fontes de informação e fazer uma análise crítica das respostas apresentadas a fim de evitar possíveis falhas.

**Palavras-chave:** Inteligência Artificial. Aprendizado. Engenharia de materiais.

## RESUMO EM LÍNGUA ESTRANGEIRA

Artificial intelligence is increasingly present in our daily lives, an example of artificial intelligence that is popularly used is OpenAI's ChatGPT, which is often used as a research tool and learning aid. One of the fields where this need may manifest itself is for materials engineering students, who seek to expand their knowledge or specific doubts. Therefore, ChatGPT must be tested to see the possibility of its use as a learning aid tool. The analysis carried out consisted of ChatGPT3.5, which is the free version, and ChatGPT4.0, which is the paid version, both from the company OpenAI. These versions can be used as tools to aid in learning materials engineering, both its free version, which stands out for its free access, making its use comprehensive and democratic in nature, and its paid version, which has a greater capacity to provide answers correct, with a 40% chance of producing answers with greater factual accuracy, according to the company itself, in addition to the ChatGPT4.0 version it provides exclusive tools. So in the first stage, ChatGPT will have its two versions compared and tested with general knowledge questions on materials engineering. The questions focus on basic and intermediate materials engineering content, being objective questions that do not require great interpretation and logic skills. In addition, some of the features made available by ChatGPT4.0 will be tested, features that are not present in its free version. ChatGPT after testing can be considered an important tool to aid learning. Both versions had a good result with a high degree of assertiveness, and with new updates they tend to become even more reliable and assertive. However, like any tool, other sources of information must be used together and a critical analysis of the answers presented must be carried out in order to avoid errors.

**Keywords:** Artificial Intelligence, Learning, Materials Engineering.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|                                                                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Microestrutura ferrítica                                                                                                                                                 | 22 |
| Figura 2 - Microestrutura perlítica                                                                                                                                                 | 24 |
| Figura 3 - Diagrama de equilíbrio de fases Fe-Mn                                                                                                                                    | 25 |
| Figura 4 - Microestrutura hipoeutetóide de uma secção transversal de fio-máquina de aço 1010 normalizado apresentando ferrita e perlita e a (b) aço hipoeutetóide cementita em rede | 27 |
| Figura 5 - A Imagem(a) é de fratura dúctil e a imagem(b) de uma fatura frágil, as imagens foram retiradas do livro “Ciência E Engenharia De Materiais” do William D. Callister Jr   | 28 |
| Figura 6 - a imagem 6 (a) mostra a resposta do chat GPT para arquivo em Excel e a imagem 6(b) mostra a imagem da resposta para arquivo em PDF                                       | 30 |
| Figura 7 - Imagem 7(a) resposta padrão e imagem 7(b) resposta por tópicos                                                                                                           | 32 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Nota e critério de avaliação                                        | 07 |
| Tabela 2 -Tabela de perguntas efetuadas ao ChatGPT e as suas respectivas notas | 09 |
| Tabela 3 – Tabela de quantidade de notas de 0 a 5, média e desvio padrão       | 13 |

## LISTA DE SIGLAS

GPT - Generative Pretrained Transformer  
IA - Inteligência artificial  
T<sub>g</sub> - Temperatura de transição vítrea  
T<sub>f</sub> – Temperatura de Fusão  
T<sub>c</sub> – Temperatura de Cristalização  
PVC – Policloreto de Vinila  
PP - Polipropileno  
PE - Polietileno  
PIB - Poliisobuteno  
NR – Borracha Natural  
PB – Poli butadieno  
SBR – Borracha de butadieno e estireno  
PF – Fenol Formaldeído  
MF – Melamina – Formaldeído  
MEV – Microscopia eletrônica de varredura  
MET – Microscopia eletrônica de transmissão

## SUMÁRIO

|          |                                                                                      |           |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO</b>                                                                    | <b>01</b> |
| <b>2</b> | <b>PRESSUPOSTOS TEÓRICOS</b>                                                         | <b>02</b> |
| 2.1      | O QUE É MACHINE LEARNING                                                             | 03        |
| 2.2      | O QUE É O CHATGPT                                                                    | 04        |
| 2.3      | VANTAGENS DO USO DE IA PARA APRENDIZADO                                              | 04        |
| 2.4      | AS POSSÍVEIS FALHAS DA INTELIGÊNCIAS ARTIFICIAIS                                     | 04        |
| 2.5      | OBJETIVO DO TRABALHO                                                                 | 05        |
| <b>3</b> | <b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>                                                           | <b>05</b> |
| <b>4</b> | <b>RESULTADOS</b>                                                                    | <b>08</b> |
| 4.1      | RESPOSTA DO CHATGPT 3.5 EM COMPARAÇÃO COM O CHATGPT4                                 | 08        |
| 4.2      | DIFERENÇA DAS RESPOSTAS DE MENOR E MAIOR AVALIAÇÃO COMPARADA COM A RESPOSTA ESPERADA | 13        |
| 4.3      | AVALIANDO ANÁLISE DE IMAGENS DO CHATGPT4.0                                           | 21        |
| 4.4      | AVALIANDO A CAPACIDADE DO CHATGPT LER ARQUIVOS EXCEL E PDF                           | 29        |
| 4.5      | AVALIAÇÃO DAS RESPOSTAS DISSERTATIVAS EM COMPARAÇÃO POR TÓPICOS                      | 31        |
| <b>5</b> | <b>DISCUSSÃO DE RESULTADOS</b>                                                       | <b>32</b> |
| <b>6</b> | <b>CONCLUSÃO</b>                                                                     | <b>35</b> |
| <b>7</b> | <b>SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS</b>                                                | <b>36</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS</b>                                                                   | <b>36</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Ao observar a história da evolução tecnológica, pode-se notar que os modos de aprendizado também foram se adaptando a essa evolução. Antigamente os textos eram manuscritos e restritos, evoluindo para livros impressos assim o acesso à informação para a população se ampliou. Com advento das mídias digitais, como livros online e ferramentas de pesquisa similares ao google, atingiu um nível sem precedentes de acesso à informação[2-3]. Atualmente o desafio que está em voga não é a dificuldade de acesso à informação, que está amplamente disponível tanto em mídias físicas como digitais, mas em seu lugar, surge a grande dificuldade de filtrar e analisar essa enorme quantidade de dados disponíveis e conseqüentemente fazer uma avaliação dessas informações[4]. Assim as inteligências artificiais (IA) ganham grande importância e estão sendo cada vez mais estudadas e melhoradas, com a finalidade de obter um desempenho cada vez melhor para auxiliar ou resolver esses novos desafios. As IAs têm como propósito de realizar tarefas que simulem a inteligência humana, ou seja, aprender, raciocinar e resolver problemas, porém diferentemente do ser humano ela é capaz de conseguir analisar volumes significativamente maiores de dados e em uma velocidade superior, assim tornando-se uma ferramenta de extrema importância[5].

Uma das ferramentas de inteligência artificial que se destaca é o ChatGPT. Esta ferramenta é centrada na escrita e usa uma inteligência artificial generativa, ela tem a capacidade de entender as perguntas e solicitações, assim ela às respondem no formato de texto, de maneira coerente e contextual[6]. Uma das aplicações potenciais desse chat é o suporte ao ensino e aprendizado em nível universitário, particularmente na área de engenharia de materiais.

A intersecção entre os ramos da engenharia de materiais com a inteligência artificial apresenta uma ampla possibilidade para inovações. O ChatGPT3.5 e ChatGPT4.0 surge como uma ferramenta poderosa para impulsionar o aprendizado. A diferença do ChatGPT4.0, que é versão paga, para o ChatGPT3.5, que é sua versão gratuita, é que além capacidade gerar textos a partir de seu banco de dados, tem a possibilidade de acessar os conteúdos da internet e apresenta ferramentas exclusivas como geração e interpretação de imagem e interpretação de documentos.[7] Outra diferença do ChatGPT4.0, segundo o site da Open AI, tem uma capacidade de gerar 40% de resposta factuais em comparação a sua versão

ChatGPT3.5.[28]. Esta diferença é gerada pois o ChatGPT4.0 apresenta muito mais parâmetros de modelos comparada com a versão ChatGPT3.5, que há cerca de 175 bilhões de parâmetros, já o ChatGPT4.0 com aproximadamente 170 trilhões de parâmetros em seus treinamentos. Esses parâmetros são análogos a rede neural de um cérebro, assim quanto mais parâmetros maior o desenvolvimento da IA.[7]

O ChatGPT pode ser revolucionário para o modo de aprendizado, pois pode analisar grandes quantidade de informações a partir do seu banco de dados, assim determinar padrões, dando informações com maior exatidão e de forma coesa. Na educação a IA podem gerar benefícios para os estudantes de forma imediata e personalizada. O Chat GPT além de ser uma ferramenta que é normalmente usada como fonte de pesquisa para solucionar dúvidas, ela tem a capacidade auxiliar em revisão literária, formulação de hipótese e auxílio na escrita de artigos. Além disso o ChatGPT 4.0, pode auxiliar em pesquisa de conteúdo na internet, analisar e criar imagens, análise de pesquisas e examinar dados de arquivos. Além disso a IA promove uma mudança no ensino podendo preparar os estudantes e professores a enfrentar os desafios futuros, ensinando habilidades de programação e auxiliando em possíveis problemas como uma forma personalizada gerando uma redução de tempo[7,8,9].

Entretanto, como qualquer tecnologia pode apresentar falhas, os motivos podem ter variados fatores. Estes incluem erros humanos na interação com a IA, interpretação equivocada pelas inteligências artificiais, bancos de dados imprecisos ou desatualizados. Diante disso, é importante que todas as ferramentas sejam testadas e todas as respostas feitas pelas IAs devem ter um questionamento e pesquisa em outras fontes de dados confiáveis por parte de usuário.

## **2 PRESSUPOSTOS TEÓRICOS**

A inteligência artificial, que é um campo originário da ciência da computação é uma ferramenta que simula a capacidade intelectual do ser humano para realizar tarefas. Essas tarefas que anteriormente dependiam exclusivamente da inteligência humana, podem ser agora desempenhadas pelas IAs, pois, como anteriormente dito, além de simular as tarefas humanas, as IAs tem capacidades superiores em aspecto de quantidade e velocidade. [5,19]

As IAs hoje têm como objetivo tentar simular as capacidades intelectuais

humanas e assim executar tarefas que eram somente possíveis por seres humanos. Para isso a IA devem ter formas de adquirir conhecimento, ou seja, ela tem que ter a capacidade de aprender, melhorando seu desempenho e capacidade de acordo com experiências que a inteligência artificial é exposta. Essa capacidade atrelada a possibilidade de acesso às informações e velocidade de análise traz a capacidade de ser uma ferramenta poderosa, aprendendo com muita velocidade e conseqüentemente consegue diminuir os erros de forma significativa, além de conseguirem se adaptar facilmente às novas solicitações. As IAs também estão avançando no campo do raciocínio lógico, tendo a capacidade de gerar soluções por meio de aplicação de lógica, aumentando capacidade de responder de forma correta.

Há diferentes tipos de IAs que utilizamos diariamente, como as de reconhecimento de voz, robótica, sistema de recomendação de streamings, tendo estudos para ampliação da utilização em áreas médicas e de engenharia. As IAs podem ser divididas em duas classificações, as IAs fracas, que realiza tarefas específicas, e IAs fortes, que são sistemas de decisões autônomas.[18]

Um dos casos de IA de maior popularidade é o ChatGPT da OpenAI, conforme relatado pelos sites MCKinsey & Company e o site InfoMoney. Segundo o site InfoMoney o ChatGPT chegou a uma marca de 100 milhões de usuários mensais em apenas dois meses. [10-11]

O ChatGPT é uma IA treinada com grande quantidade de textos e assim consegue interpretar mensagens recebidas e gerar respostas que simulam a escrita humana. Tendo a capacidade de responder perguntas, traduzir idiomas e auxiliar na melhoria da escrita.

Graças a seus treinamento e habilidade de responder perguntas, independentemente da versão, têm sido utilizados como ferramentas de pesquisa, auxiliando o aprendizado.

## 2.1) O QUE É MACHINE LEARNING

O Machine Learning é um subcampo da inteligência artificial, são algoritmos e técnicas que permitem que os computadores possam melhorar e aprender a partir de experiência que são impostas ao programa, conseguindo assimilar dados e chegar em resultados mais próximos da realidade ou da resposta esperada.

Há três principais modos de aprendizado, sendo o aprendizado supervisionado, não supervisionado e por reforço.

No aprendizado supervisionado, o algoritmo é treinado por conjuntos de dados rotulados, cada exemplo no conjunto de dados é emparelhado com a resposta correta. No aprendizado não supervisionado é treinado usando um conjunto de dados que não possuem rótulos, o objetivo é explorar a estrutura de dados e identificar padrões. Já no aprendizado por reforço, o sistema aprende por tentativa e erro, e é recompensado por ações corretas e penalizado nas ações erradas, esses métodos são usados em sistemas de navegação e jogos.[12]

## 2.2) O CHATGPT

O ChatGPT é um modelo de linguagem desenvolvido pela OpenAI, baseado na arquitetura GPT(generative pretrained transformer). O “GPT” refere-se a uma série de modelos de IA que são treinados para entender e gerar textos.[6]

O chat pode responder as perguntas, redigir textos e criar conteúdo com base em dados e solicitações feitas a ele. Apresenta a capacidade de manter uma conversa coerente e contextual simulando uma fala humana. O ChatGPT é treinado com textos.

## 2.3) VANTAGENS DO USO DE IA PARA APRENDIZADO

A utilização das IAs pode trazer vantagens ao aprendizado, pois ela tem a capacidade de adaptação, sendo possível adaptar os conteúdos ou a forma de se passar os conteúdos para as necessidades dos alunos, a exemplo de dar respostas mais objetivas ou respondendo com mais analogias, se diferenciando de uma ferramenta de pesquisa convencional.

A exemplo de como o ChatGPT pode auxiliar tanto professores como os próprios alunos, seria possível fazer solicitações para o criar questionários e gabaritos de um determinado assunto para testar a compreensão do aluno e assim gerar tarefas. Outra possibilidade seria analisar as respostas feitas pelos alunos mostrando os erros e os corrigindo, assim podendo ser um grande aliado no aprendizado [20-21]

## 2.4) AS POSSIVEIS FALHAS DA INTELIGENCIAS ARTIFICIAIS

As IAs são treinadas com vasto conjuntos de dados que moldam sua capacidade. Caso esses dados contenham erros, imprecisões ou viés as IAs podem

refletir essas falhas gerando respostas inadequadas. Além disso outra dificuldade é a capacidade das IAs lidarem com informações ou situações que não estavam presentes em seu treinamento ou estavam de forma incompleta.

Quando uma IA analisa padrões pode ocorrer erro de interpretá-los ou tem a possibilidade de os padrões estarem enviesados, ou seja, a IA analisa corretamente um padrão inadequado.

## 2.5) OBJETIVO DO TRABALHO

Para que o ChatGPT seja efetivamente utilizado como uma ferramenta de apoio ao aprendizado, é fundamental que sua principal função seja testada, que é responder perguntas. Especificamente, deve possuir a capacidade de auxiliar alunos em estágios iniciais da graduação, como no primeiro ano, fornecendo respostas precisas a questionamentos simples e apresentando conteúdos de forma clara. Isso aplica-se tanto à versão gratuita ChatGPT3.5 quanto à versão paga ChatGPT4.0. Além disso, a versão ChatGPT4.0 oferece funcionalidades exclusivas que devem ser testadas, incluindo a capacidade de analisar arquivos e imagens, ampliando significativamente as possibilidades de auxílio ao aprendizado. Para maximizar a eficácia do ChatGPT, é crucial compreender a maneira mais eficiente de formular perguntas, visando explorar as respostas em tópicos e dissertativa.

## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o trabalho será testado as duas versões do ChatGPT disponíveis no momento, que é o chatGPT3.5 e o ChatGPT4.0.

Conforme mencionado anteriormente, é importante avaliar a eficácia do ChatGPT como ferramenta de suporte ao aprendizado, através de uma análise cuidadosa. Esta avaliação foi realizada examinando a maneira como o ChatGPT responde a um questionário, além de testar alguns dos recursos únicos disponíveis na versão 4.0 do ChatGPT.

O desafio nessa tarefa foi filtrar e avaliar as informações dadas nas respostas com o objetivo de atender o nível básico a intermediários. Para tentar ter uma menor variação e melhor quantificação das notas, as avaliações consideravam somente o

conteúdo abordado em comparação ao esperado.

Outro fator de análise que foram feitas é perguntas ou solicitações ao ChatGPT simulando alguém leigo no assunto ou que não há um conhecimento avançado, exemplo de alunos do primeiro ano de graduação. Assim as perguntas executadas podem ter erros propositais ou foram feitas de forma superficiais a fim de avaliar a resposta do ChatGPT a essa dificuldade.

O primeiro teste feito foi um questionário de perguntas que avaliou as respostas das versões do ChatGPT, a partir de seu banco de dados. Esse teste teve foco em perguntas da área de ciência e engenharia de materiais, abordando conteúdo básico ao intermediário e em perguntas objetivas, não tendo necessidade de uma interpretação complexa ou raciocínio lógico apurado, conteúdos de maior complexidade, como os específicos de final de graduação, mestrado e doutorado, não foram incluídos na avaliação. Assim foram feitas perguntas de vários temas, como temas introdutórios, de estrutura atômica e ligação química, estrutura dos sólidos cristalinos e amorfos, imperfeições nos sólidos , técnicas de caracterização, propriedades mecânicas, diagrama de fases e transformação de fases. Foram avaliadas cada pergunta comparando as respostas das versões do ChatGPT com a resposta esperada nas literaturas.

A avaliação usou referências básicas para engenharia de materiais, como por exemplo os livros “Ciência e Engenharia de materiais” de William Callister [25] e “Ciência dos polímeros” de Sebastião V. Canevarolo Jr[24] entre outros. As perguntas foram feitas ao ChatGPT de forma aleatória sobre diversos conteúdos de engenharia de materiais e mantendo uma média de 15 a 20 perguntas de forma sequencial em uma conversa com o ChatGPT, após isso encerava-se o chat anterior e abria-se um novo chat para mais uma leva de perguntas. A partir das respostas foram atribuídas notas de 0 a 5, sendo 0 que não atendeu ao tema proposto e 5 mostra uma resposta coerente e completa em relação ao tema, abordando completamente o conteúdo esperado. Importante destacar que apesar de algumas perguntas pudessem ter respostas mais aprofundadas e complexas, a avaliação considerou somente conteúdos básicos e intermediários da engenharia de materiais assim os parâmetros de resposta foram determinados como podemos ver na tabela 1:

Tabela 1 : Notas e critério de avaliação

| <b><u>Nota</u></b> | <b>Parâmetros</b>                                                                                                                  |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>0</b>           | Não abordou nada do Tema proposto                                                                                                  |
| <b>1</b>           | Leve citação do tema proposto, desviando quase totalmente do tema e/ou do foco de engenharia de materiais.                         |
| <b>2</b>           | Resposta aborda uma pequena parte do conteúdo, mas desvia parcialmente do tema e/ou da engenharia de materiais.                    |
| <b>3</b>           | Resposta aborda uma parte do conteúdo, mantém uma coerência temática, e obrigatoriamente se mantém dentro engenharia de materiais. |
| <b>4</b>           | Resposta aborda uma boa parte do conteúdo esperado, inclui temas de engenharia de materiais, mas não completa.                     |
| <b>5</b>           | Resposta aborda grande parte do conteúdo esperado, inclui temas de engenharia de materiais, resposta completa.                     |

Considerações sobre as notas: A nota 0 caracteriza-se por uma qualidade extremamente baixa, na qual a resposta não aborda o tema proposto, desviando completamente tema e do contexto da engenharia de materiais. A nota 1 indica respostas ruins que, apesar de tangenciarem o tema, desviam-se quase completamente do foco em engenharia de materiais, apresentando-se de forma confusa ou sem lógica. A nota 2 é atribuída a respostas insatisfatórias, que, embora estejam relacionadas ao tema e respondam parcialmente à solicitação, apresentam um nível de acerto extremamente baixa e não são suficientemente esclarecedoras. A nota 3, denotando um nível aceitável, é dada a respostas que abordam o tema de forma correta, mas não de maneira completa, com um enfoque mais direcionado à engenharia de materiais, porém ainda sem alcançar um nível de confiabilidade alto para auxiliar efetivamente o aprendizado. A nota 4 é atribuída a respostas que tratam os temas de maneira correta e assertiva, proporcionando uma boa compreensão, embora sejam ótimas candidatas para auxiliar o aprendizado não aborda a resposta de forma 100% dentro do esperado, necessitando de análise crítica do solicitante e/ou exigindo uma pergunta complementar ou pesquisa em outra base de dados. Por fim, a nota 5 é reservada para respostas que atendem de maneira exemplar à solicitação, demonstrando muita precisão e relevância.

A avaliação das respostas concentrou-se exclusivamente no conteúdo fornecido, sem levar em consideração o formato da resposta. Por exemplo, uma resposta estruturada em tópicos foi considerada com o mesmo peso de uma resposta em formato dissertativo; a estrutura de escrita, seja ela qual fosse, não influenciou na

avaliação. O critério de penalização baseou-se unicamente na ausência de conteúdo relevante ou na falha em abordar aspectos fundamentais da engenharia de materiais.

As perguntas foram direcionadas ao ChatGPT apenas uma vez, e a avaliação baseou-se na primeira resposta fornecida. Este método procurou simular a experiência de um indivíduo leigo, que possivelmente aceitaria a primeira resposta como definitiva. Portanto, não houve oportunidade de interação subsequente para aprimoramento ou verificação das respostas por parte do ChatGPT.

A segunda etapa consistiu em uma avaliação das ferramentas de análise de imagens e tendo um retorno de informações a partir dela. As primeiras imagens a serem avaliadas foram enviadas de formas individuais sendo duas imagens de microestrutura e uma imagem de um gráfico. Quando bem-sucedido foi avaliada a capacidade de comparar duas imagens em dois arquivos separados, ao mostrar êxito novamente, foi solicitado uma comparação de duas imagens em um mesmo arquivo.

A terceira etapa consistiu em ver se o ChatGPT4.0 respondeu adequadamente às solicitações de arquivos enviados a ele tanto no formato PDF e Excel. Nesse teste foi enviado as notas do primeiro teste em forma de planilha para análise do Chat.

A quarta fase do teste consistiu na análise comparativa das respostas do ChatGPT, estruturadas tanto em formato de tópicos quanto de forma dissertativa. Para isso, foram formuladas perguntas ao ChatGPT que o induzissem a responder nestes dois formatos, permitindo uma avaliação. O objetivo desta comparação é determinar qual formato é mais eficaz para fornecer uma visão geral do conteúdo.

Todas as análises de ferramentas exclusivas do ChatGPT4.0, assim como na primeira etapa do questionário, foram feitas sempre considerando a primeira resposta não pedindo uma reanálise ou questionando sobre alguma informação, não dando oportunidade ao ChatGPT de melhorar suas respostas e análises, isso deve-se pois está simulando um aluno de graduação de primeiro ano de engenharia de materiais e que aceita a primeira resposta como verdadeira sem fazer questionamentos, ou seja, que busca uma resposta rápida a respeito do assunto.

## **4 RESULTADOS**

### **4.1) RESPOSTA DO CHATGPT 3.5 EM COMPARAÇÃO COM O CHATGPT4.0**

Foram feitas as perguntas ao ChatGPT3.5 e as mesmas questões ao

ChatGPT4.0, a fim de ter uma comparação para ver qual tem melhor resultado para os tópicos de engenharia de materiais. A tabela 1 mostra as notas e os parâmetros de avaliação sendo as notas variam de 0 a 5 , sendo 0 a pior avaliação possível e 5 a melhor possível. Lembrando que são considerações baseadas nos padrões estipulados na tabela 1.

Como anteriormente dito, há perguntas com erros ortográficos ou com erros técnicos propositais, com o objetivo de simular alguém sem conhecimento como foi o caso da pergunta “o que é cementida?”, o correto seria “o que é cementita?”. Da mesma forma ocorre no caso da pergunta “ O que é estrutura polimorfo” , que deveria ser perguntado “O que é polimorfismo nos materiais?”. Esses tipos de perguntas são focadas em simular erros de alguém sem conhecimento técnico específico ou por ter escutado ou visto de forma superficial e não lembrar corretamente sobre o assunto, gerando tais erros ou confusões.

A seguir temos as perguntas feitas às duas versões do ChatGPT e suas respectivas notas.

**Tabela 2** : Tabela de perguntas efetuadas ao ChatGPT e as suas respectivas notas

| <b>Pergunta</b>                                                                                                                                            | <b><u>Nota de 0 a 5</u></b> |                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------|
|                                                                                                                                                            | <b>ChatGPT 3.5</b>          | <b>ChatGPT4.0</b> |
| <b>Quais as classificações de materiais</b>                                                                                                                | <b>4</b>                    | <b>5</b>          |
| <b>O que são materiais avançados ?</b>                                                                                                                     | <b>4</b>                    | <b>4</b>          |
| <b>Pode me explicar e exemplificar o que é estrutura cristalina?</b>                                                                                       | <b>4</b>                    | <b>4</b>          |
| <b>Quais ligações químicas existem e quais as diferenças , pode listar das mais fortes para mais fraca ?</b>                                               | <b>4</b>                    | <b>4</b>          |
| <b>O que é célula unitária?</b>                                                                                                                            | <b>5</b>                    | <b>5</b>          |
| <b>Como calcular densidade linear e massa específica ?</b>                                                                                                 | <b>5</b>                    | <b>5</b>          |
| <b>Quais são as diferenças de material cristalino e material não cristalino?</b>                                                                           | <b>5</b>                    | <b>5</b>          |
| <b>O que são metais vítreos e como fabricar?</b>                                                                                                           | <b>5</b>                    | <b>5</b>          |
| <b>chat qual a diferença de metal vítreo e metal amorfo ?</b>                                                                                              | <b>2</b>                    | <b>2</b>          |
| <b>Poderia falar a diferença de materiais vítreos e amorfo, mas relacionando as temperaturas como <math>t_g</math> <math>t_f</math> <math>t_c</math> ?</b> | <b>3</b>                    | <b>2</b>          |

|                                                                                        |          |          |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|
| <b>Pode me explicar o que é engenharia de materiais?</b>                               | <b>5</b> | <b>5</b> |
| <b>O que é metal ?</b>                                                                 | <b>4</b> | <b>4</b> |
| <b>O que é metal no ponto de vista da ciência e engenharia de materiais ?</b>          | <b>4</b> | <b>5</b> |
| <b>O que é cerâmica ?</b>                                                              | <b>4</b> | <b>5</b> |
| <b>O que é cerâmica pela visão da ciência e engenharia de materiais?</b>               | <b>5</b> | <b>4</b> |
| <b>O que são polímeros ?</b>                                                           | <b>5</b> | <b>5</b> |
| <b>O que é polímero segundo a ciência e engenharia de materiais ?</b>                  | <b>4</b> | <b>4</b> |
| <b>O que é compósito ?</b>                                                             | <b>5</b> | <b>5</b> |
| <b>O que é compósito segundo a ciência e engenharia de materiais ?</b>                 | <b>5</b> | <b>5</b> |
| <b>O que é materiais avançados ?</b>                                                   | <b>5</b> | <b>5</b> |
| <b>O que é semicondutor ?</b>                                                          | <b>5</b> | <b>4</b> |
| <b>Como funciona o semicondutor ?</b>                                                  | <b>5</b> | <b>5</b> |
| <b>O que consiste no átomo ?</b>                                                       | <b>5</b> | <b>5</b> |
| <b>Quais são os tipos de ligações químicas?</b>                                        | <b>4</b> | <b>4</b> |
| <b>O que é ligação primaria ?</b>                                                      | <b>5</b> | <b>5</b> |
| <b>O que é ligação secundaria ?</b>                                                    | <b>4</b> | <b>5</b> |
| <b>O que é estrutura cristalina ?</b>                                                  | <b>4</b> | <b>4</b> |
| <b>Poderia me exemplificar quais materiais e fases e suas estruturas cristalinas ?</b> | <b>5</b> | <b>5</b> |
| <b>Nos materiais quais são os planos de escorregamento em uma célula unitária ?</b>    | <b>4</b> | <b>5</b> |
| <b>Quais tipos de estrutura cristalina ?</b>                                           | <b>4</b> | <b>5</b> |
| <b>O que é estrutura polimorfo ?</b>                                                   | <b>5</b> | <b>5</b> |
| <b>pode me dar exemplos de materiais polimorfos e suas fases ??</b>                    | <b>4</b> | <b>5</b> |
| <b>O que é estrutura alotrópicas ?</b>                                                 | <b>5</b> | <b>5</b> |
| <b>O que é monocristal ?</b>                                                           | <b>5</b> | <b>5</b> |
| <b>Quais técnicas de análise de materiais ?</b>                                        | <b>5</b> | <b>5</b> |
| <b>Como funciona a difração de raio-x?</b>                                             | <b>5</b> | <b>5</b> |
| <b>Como funciona a difração de raios-x em materiais não cristalinos ?</b>              | <b>5</b> | <b>5</b> |
| <b>Quais os defeitos nos materiais ?</b>                                               | <b>5</b> | <b>5</b> |
| <b>O que são defeitos intersticiais ?</b>                                              | <b>5</b> | <b>4</b> |
| <b>O que são impurezas dos materiais ?</b>                                             | <b>5</b> | <b>5</b> |
| <b>O que é defeito em materiais segundo a visão da engenharia de materiais ?</b>       | <b>5</b> | <b>5</b> |
| <b>O que é discordância ?</b>                                                          | <b>5</b> | <b>5</b> |

|                                                                                       |   |   |
|---------------------------------------------------------------------------------------|---|---|
| O que é contorno de fase ?                                                            | 5 | 5 |
| O que é contorno de grão ?                                                            | 5 | 5 |
| O que é técnica de microscopia ótica e como fazer ?                                   | 5 | 5 |
| O que é o MEV ?                                                                       | 5 | 5 |
| Como preparar a amostra para microscopia ótica de metal para engenharia de materiais? | 5 | 5 |
| Como preparar a amostra para mev para engenharia de materiais?                        | 5 | 5 |
| O que é o Tem ?                                                                       | 5 | 5 |
| Como preparar a amostra para tem para engenharia de materiais?                        | 5 | 5 |
| Como fazer uma análise microestrutural ?                                              | 5 | 5 |
| Como determinar o tamanho de grão ?                                                   | 5 | 5 |
| Como ocorre a difusão em um material ?                                                | 4 | 5 |
| Quais as propriedades mecânicas dos materiais ?                                       | 5 | 5 |
| O que é tensão e deformação ?                                                         | 5 | 5 |
| Quais ensaios de tração e compressão ?                                                | 4 | 4 |
| Como funciona os ensaios de tração e compressão?                                      | 4 | 4 |
| Como ocorre a deformação plástica ?                                                   | 5 | 5 |
| Materiais não cristalinos tem deformação plástica ?                                   | 5 | 5 |
| O que é resistência ao escoamento ?                                                   | 5 | 5 |
| O que é um material dúctil ?                                                          | 5 | 5 |
| O que é resiliência ?                                                                 | 5 | 5 |
| O que é tenacidade ?                                                                  | 5 | 5 |
| Por que na engenharia quase não usa tensão e deformação verdadeira ?                  | 5 | 5 |
| O que é recuperação elástica ?                                                        | 5 | 5 |
| O que é dureza ?                                                                      | 5 | 5 |
| Como calcular dureza ?                                                                | 5 | 5 |
| Por que a dureza varia no interior do grão e no contorno ?                            | 5 | 5 |
| Como a discordância está relacionado a deformação plástica ?                          | 5 | 5 |
| Poderia me dar um exemplo visual de como a discordância move ?                        | 5 | 5 |
| Como ocorre o escoamento ?                                                            | 5 | 5 |
| O que é maclação ?                                                                    | 5 | 5 |
| Quais os diferentes tipos de maclação ?                                               | 5 | 5 |
| O que é encruamento ?                                                                 | 5 | 5 |

|                                                                                                 |      |      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|
| O que é recuperação ?                                                                           | 5    | 5    |
| O que é recristalização ?                                                                       | 5    | 5    |
| Como ocorre crescimento de grão ?                                                               | 5    | 5    |
| O que são falhas em materiais ?                                                                 | 5    | 5    |
| O que é fratura dúctil ?                                                                        | 5    | 5    |
| O que é fratura frágil ?                                                                        | 5    | 5    |
| O que tenacidade a fratura ?                                                                    | 5    | 5    |
| Quais os ensaios de tenacidade a fratura ?                                                      | 5    | 5    |
| O que é fadiga ?                                                                                | 5    | 5    |
| Um mesmo material pode sofrer fratura dúctil e frágil ?                                         | 5    | 5    |
| O que são ligas eutéticas?                                                                      | 5    | 5    |
| O que são ligas hipoeutetóides ?                                                                | 5    | 5    |
| O que são ligas hipereutetóides?                                                                | 5    | 5    |
| O que elementos de ligas podem interferir ?                                                     | 4    | 5    |
| Quais elementos de ligas mais comuns em ligas Fe-C ?                                            | 5    | 5    |
| Quais elementos de ligas mais comuns em ligas AL?                                               | 5    | 5    |
| O que é fase e como ocorre a transformação ?                                                    | 5    | 5    |
| Como funciona a nucleação ?                                                                     | 5    | 5    |
| Como funciona a cinética de transformação ?                                                     | 5    | 5    |
| O que é o diagrama ttt ?                                                                        | 5    | 5    |
| O que é ferrita ?                                                                               | 5    | 5    |
| O que é cementita ?                                                                             | 5    | 5    |
| O que é perlita ?                                                                               | 5    | 5    |
| O que bainita ?                                                                                 | 5    | 5    |
| O que é esferoidita ?                                                                           | 5    | 5    |
| Como funciona a transformação de fase por resfriamento contínuo ?                               | 5    | 5    |
| Qual outro modo de resfriamento ou tratamento térmico ou químico para transformação de fases ?? | 5    | 5    |
| O que é martensita revenida ?                                                                   | 5    | 5    |
| chat, você poderia me ajudar com questões sobre o material pvc?                                 | 5    | 5    |
| Qual é o método de polimerização mais utilizado ?                                               | 5    | 5    |
| o que são propriedades dos plastificantes                                                       | 5    | 5    |
| Média                                                                                           | 4,78 | 4,83 |

**Tabela 3:** Tabela de quantidade de notas de 0 a 5, média e desvio padrão

| <b>Notas</b>         | <b>ChatGPT 3.5</b> | <b>ChatGPT4.0</b> |
|----------------------|--------------------|-------------------|
| <b>5</b>             | <b>85</b>          | <b>91</b>         |
| <b>4</b>             | <b>18</b>          | <b>12</b>         |
| <b>3</b>             | <b>1</b>           | <b>0</b>          |
| <b>2</b>             | <b>1</b>           | <b>2</b>          |
| <b>1</b>             | <b>0</b>           | <b>0</b>          |
| <b>0</b>             | <b>0</b>           | <b>0</b>          |
| <b>Média</b>         | <b>4,78</b>        | <b>4,83</b>       |
| <b>Desvio padrão</b> | <b>0,50</b>        | <b>0,51</b>       |

Pode-se observar que as médias das notas estão entre nota 4 e 5, o ChatGPT apresentou notas muito próximas tendo uma diferença média de 0,99%. Assim podemos ver que ambas as versões do ChatGPT têm uma excelente condição de auxiliar o aprendizado pois apresentam médias de resposta acima de 4,7 de 5 sendo considerado um bom desempenho, mas fica a ressalva que como toda ferramenta deve-se ter uma análise crítica por parte do usuário.

#### 4.2) DIFERENÇA DAS RESPOSTAS DE MENOR E MAIOR AVALIAÇÃO COMPARADA COM A RESPOSTA ESPERADA

A menor avaliação de nota obteve valor 2 de 5 , essa resposta mantém uma coerência do tema solicitado, porém parte da resposta não foi abordada e pode desviar parte do tema de materiais.

Serão incluídas as respostas do chat, tanto da versão do ChatGPT 4.0 quanto da versão do ChatGPT3.5, juntamente com a comparação destas respostas com a literatura acadêmica pertinente.

A primeira pergunta de menor nota foi “chat qual a diferença de metal vítreo e metal amorfo?”, as notas tanto do chatGPT3.5 quanto sua versão do ChatGPT 4.0 foram de nota 2 de 5.

O chat GPT3.5 respondeu a solicitação da seguinte maneira:

A diferenciação entre metais vítreos e metais amorfos é de grande importância no campo da engenharia de materiais, especialmente quando se trata de propriedades estruturais e comportamentais desses materiais. Vou abordar essa distinção de forma detalhada e científica.

### **\*\*Metais Vítreos:\*\***

Os metais vítreos, também conhecidos como ligas metálicas amorfas ou vidros metálicos, são materiais que apresentam uma estrutura atômica desordenada e não cristalina. Isso significa que os átomos nos metais vítreos não estão dispostos em um padrão de rede cristalina regular, como nos metais convencionais. Em vez disso, eles possuem uma estrutura semelhante à de um vidro, daí o nome.

A formação de metais vítreos é geralmente alcançada através do resfriamento rápido de uma liga metálica líquida. Esse processo impede que os átomos tenham tempo para se organizar em uma estrutura cristalina, resultando em uma estrutura amorfa. A principal característica dos metais vítreos é a ausência de defeitos cristalinos, como deslocamentos e grãos, que são comuns nos metais policristalinos.

As propriedades dos metais vítreos incluem alta resistência mecânica, boa resistência à corrosão e uma faixa de temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) bem definida. A  $T_g$  é a temperatura abaixo da qual o material se torna frágil, semelhante a um vidro.

### **\*\*Metais Amorfos:\*\***

Os metais amorfos são uma categoria mais ampla que inclui não apenas os metais vítreos, mas também outros materiais amorfos, como polímeros amorfos e cerâmicas vítreas. Portanto, podemos dizer que todos os metais vítreos são metais amorfos, mas nem todos os metais amorfos são vítreos.

Os metais amorfos, em geral, compartilham a característica de ter uma estrutura atômica desordenada, como mencionado anteriormente. Eles podem ser obtidos através de diferentes métodos, como resfriamento rápido, deposição física de vapor e processos de solidificação controlada.

### **\*\*Diferença entre Metais Vítreos e Metais Amorfos:\*\***

A principal diferença entre metais vítreos e metais amorfos está na especificidade dos metais vítreos, que são um subconjunto dos metais amorfos. Os metais vítreos têm características únicas, como alta resistência mecânica e a capacidade de manter sua estrutura amorfa em uma ampla faixa de temperatura.

Por outro lado, os metais amorfos em geral englobam todos os materiais amorfos, não se limitando apenas aos metais. Isso inclui polímeros amorfos, cerâmicas vítreas e outros materiais que não possuem uma estrutura cristalina regular.

Em resumo, enquanto todos os metais vítreos são metais amorfos, nem todos os metais amorfos são vítreos. Os metais vítreos têm propriedades específicas que os tornam especialmente interessantes em aplicações que requerem alta resistência e estabilidade estrutural em uma ampla faixa de temperatura. Já os metais amorfos em geral possuem uma variedade de aplicações em diferentes campos da engenharia de materiais, dependendo das propriedades específicas de cada material amorfo.

O ChatGPT4.0, respondeu a solicitação da seguinte maneira:

A diferenciação entre metal vítreo e metal amorfo está principalmente na estrutura interna e nas propriedades desses materiais, embora ambos sejam frequentemente utilizados de maneira intercambiável em diversas literaturas e contextos. Vamos detalhar cada um para esclarecer suas peculiaridades:

#### 1. **\*\*Metal Vítreo\*\*:**

- **\*\*Estrutura\*\*:** Os metais vítreos são caracterizados por uma estrutura atômica desordenada, semelhante à de um líquido congelado. Esta desordem estrutural é o que os

diferencia dos cristais, onde os átomos estão organizados de maneira regular e periódica.

- **Formação**: Eles são formados geralmente por um rápido resfriamento (quenching) de uma liga metálica fundida, a uma taxa suficientemente alta para evitar a cristalização. Isso resulta em uma "solidificação" sem a formação de uma estrutura cristalina.

- **Propriedades**: Devido à sua estrutura não cristalina, os metais vítreos possuem propriedades únicas, como alta resistência mecânica, elevada dureza, e boa resistência à corrosão. Eles também tendem a ter limites de elasticidade mais elevados em comparação com os metais cristalinos convencionais.

## 2. **Metal Amorfo**:

- **Estrutura**: O termo "amorfo" refere-se à falta de uma estrutura cristalina ordenada. Enquanto todos os metais vítreos são amorfos, nem todos os materiais amorfos são metais vítreos. O termo "amorfo" pode ser aplicado a uma variedade mais ampla de materiais não cristalinos, incluindo polímeros, cerâmicas e alguns metais.

- **Formação**: A formação de metais amorfos também envolve o rápido resfriamento de uma liga metálica fundida. No entanto, o termo "amorfo" é frequentemente usado de maneira mais geral para descrever qualquer material sem ordem cristalina, independentemente de ser metálico ou não.

- **Propriedades**: As propriedades dos metais amorfos são similares às dos metais vítreos em termos de resistência e durabilidade. No entanto, dependendo do material específico e da composição da liga, podem existir variações significativas.

Em resumo, enquanto o metal vítreo é um tipo específico de metal amorfo com características e métodos de formação particulares, o termo "amorfo" pode ser aplicado a uma gama mais ampla de materiais que não possuem uma estrutura cristalina ordenada. Ambos compartilham a característica-chave de uma estrutura atômica desordenada, mas diferem na especificidade de suas aplicações e nas propriedades exatas que exibem, dependendo de sua composição e processo de fabricação.

Esta primeira pergunta ao ChatGPT pode-se observar que ela não esclarece de forma clara qual a diferença metal do vítreo e amorfo. As versões do chatGPT3.5. e do ChatGPT4.0 apontaram o fato do material ter uma ausência de estrutura cristalina, ou seja, caracterizando como uma estrutura atômica desordenada. Entretanto, ambas falharam em desenvolver a resposta demonstrando a diferença de metais vítreos e amorfos e falhou ao demonstrar pontos que sustente a sua afirmação. O ChatGPT3.5 mencionou brevemente em sua resposta indicando que o metal vítreo abaixo da  $T_g$  deixa o material de forma frágil, informação que ficou ausente no ChatGPT4.0. Contudo ambas as versões não explicaram que durante o aquecimento de um sólido vítreo ao passar pela  $T_g$  o material apresenta um estado líquido super-resfriado, até o ponto de aquecimento que passa por  $T_c$  onde o material cristaliza. Sendo que as principais diferenças de metal vítreo e amorfo, é que o metal vítreo apresenta uma  $T_g$  e um líquido super-resfriado bem definidos diferentemente do metal amorfo. Assim ambas as questões foram avaliadas com nota 2 de 5.

Foi feita outra pergunta ao ChatGPT no mesmo tema que seria "Poderia falar a diferença de materiais vítreos e amorfos, mas relacionando as temperaturas como  $T_g$   $T_f$   $T_c$  ?" Essa abordagem esperava um resultado melhor, pois a pergunta retirou

uma limitação de categoria que era metal e deixou de forma mais ampla, além disso teve um direcionamento na pergunta ao solicitar para utilizar as temperaturas de Tg, Tc e Tf a fim de melhorar o resultado da questão. Houve uma melhora da resposta para o ChatGPT3.5 elevando sua nota de 2 para 3 de 5 em compensação o ChatGPT4.0 não houve melhoras significativas mantendo a nota 2 de 5.

A nova pergunta apesar de ser do mesmo tema que a anterior, necessita um conhecimento prévio, assim sendo é uma pergunta de nível intermediário. Este conhecimento prévio seria relacionado as temperaturas que ocorrem mudanças no material, criando um direcionamento na resposta, por esse fator espera-se que a resposta fosse mais correta.

Fazendo uma solicitação da pergunta ao chat, como anteriormente citada, que foi “Poderia falar a diferença de materiais vítreos e amorfos, mas relacionando as temperaturas como Tg Tf Tc ?”

O ChatGPT3.5 respondeu a solicitação da seguinte maneira:

Certamente, vou discutir a diferença entre materiais vítreos e materiais amorfos, relacionando-as às temperaturas típicas, como Tg (temperatura de transição vítrea), Tf (temperatura de fusão) e Tc (temperatura de cristalização). Essas temperaturas desempenham papéis fundamentais na caracterização e no comportamento térmico desses materiais.

**\*\*Materiais Vítreos:\*\***

Os materiais vítreos, como mencionado anteriormente, são uma classe específica de materiais amorfos que exibem uma estrutura desordenada e não cristalina. A temperatura de transição vítrea (Tg) é uma característica importante dos materiais vítreos. A Tg é a temperatura abaixo da qual esses materiais passam de um estado rígido e frágil para um estado mais flexível e viscoso, semelhante a um vidro.

A Tg está relacionada à mobilidade das cadeias poliméricas ou átomos em materiais vítreos. À medida que a temperatura aumenta acima da Tg, as cadeias ou átomos começam a se mover mais livremente, o que resulta na transição do material para um estado mais deformável. Portanto, a Tg é fundamental para a processabilidade e o comportamento mecânico dos materiais vítreos.

**\*\*Materiais Amorfos em Geral:\*\***

Os materiais amorfos, incluindo não apenas materiais vítreos, mas também polímeros amorfos, cerâmicas vítreas e outros, podem ter uma variedade de comportamentos térmicos relacionados à fusão (Tf) e cristalização (Tc).

- **\*\*Temperatura de Fusão (Tf):\*\*** A Tf é a temperatura na qual um material amorfo passa do estado sólido para o estado líquido durante o aquecimento. Para materiais vítreos metálicos, a Tf é geralmente alta, uma vez que eles tendem a ser ligas metálicas com pontos de fusão elevados. No entanto, para outros materiais amorfos, como polímeros amorfos, a Tf pode ser consideravelmente mais baixa.

- **Temperatura de Cristalização ( $T_c$ ):** A  $T_c$  é a temperatura na qual um material amorfo começa a sofrer cristalização, ou seja, átomos ou moléculas começam a se organizar em uma estrutura cristalina. Isso pode ocorrer durante o resfriamento de um material após o aquecimento ou como resultado de tratamentos térmicos específicos. Materiais vítreos metálicos, por exemplo, podem ser submetidos a um tratamento térmico para promover a cristalização.

Portanto, a principal diferença entre materiais vítreos e materiais amorfos em geral está relacionada à  $T_g$ , que é uma característica específica dos materiais vítreos, enquanto a  $T_f$  e a  $T_c$  podem variar amplamente dependendo da composição e da natureza dos materiais amorfos em questão. Os materiais vítreos tendem a ter  $T_g$  bem definidas e elevadas, o que lhes confere propriedades únicas, como alta resistência mecânica em temperaturas ambiente, enquanto outros materiais amorfos podem exibir comportamentos térmicos diferentes, dependendo de sua composição e aplicação.

O chat GPT4.0, respondeu a solicitação da seguinte maneira:

A relação entre as temperaturas de transição vítrea ( $T_g$ ), fusão ( $T_f$ ) e cristalização ( $T_c$ ) e suas implicações para materiais vítreos e amorfos são fundamentais para compreender suas diferenças e características. Vamos explorar como essas temperaturas se relacionam com cada tipo de material:

### Materiais Vítreos:

1. **Temperatura de Transição Vítrea ( $T_g$ ):**

- Nos materiais vítreos, a  $T_g$  é um ponto crucial onde o material passa de um estado vítreo rígido para um estado mais maleável, sem perder sua natureza não cristalina.
- A  $T_g$  é relativamente alta em comparação com outros materiais amorfos, refletindo a estabilidade térmica desses materiais.

2. **Temperatura de Cristalização ( $T_c$ ):**

- A  $T_c$  é particularmente importante nos materiais vítreos, pois marca o início da formação de estruturas cristalinas. A presença de tais estruturas é geralmente indesejável, pois altera as propriedades únicas do material vítreo.
- Materiais vítreos têm uma faixa de temperatura entre  $T_g$  e  $T_c$  onde permanecem estáveis e amorfos.

3. **Temperatura de Fusão ( $T_f$ ):**

- Em muitos casos, a  $T_f$  dos materiais vítreos é menos definida ou ocorre em uma faixa de temperatura mais ampla.
- A  $T_f$  é frequentemente superior à  $T_c$ , indicando que o material tende a cristalizar antes de atingir um estado verdadeiramente líquido.

### Materiais Amorfos:

1. **Temperatura de Transição Vítrea ( $T_g$ ):**

- A  $T_g$  nos materiais amorfos, como polímeros ou certos metais, é o ponto onde eles se tornam mais flexíveis, mas ainda mantêm uma desordem atômica ou molecular.
- A  $T_g$  pode variar amplamente dependendo da composição e da estrutura molecular do material.

2. **Temperatura de Cristalização ( $T_c$ ):**

- Materiais amorfos podem cristalizar em temperaturas variadas, dependendo de sua composição química e histórico térmico.
- A  $T_c$  é crítica, pois define o limite para o processamento e uso do material em sua forma amorfa.

3. **Temperatura de Fusão ( $T_f$ ):**

- Materiais amorfos podem ter uma  $T_f$  claramente definida, especialmente se forem capazes de manter sua estrutura amorfa até o ponto de fusão.

- A  $T_f$  é muitas vezes mais baixa do que nos materiais vítreos, refletindo a menor estabilidade térmica.

### Comparação e Relacionamento:

- **Estabilidade Térmica**: Materiais vítreos geralmente exibem maior estabilidade térmica, com uma maior diferença entre  $T_g$  e  $T_c$ , permitindo um maior intervalo de temperatura para manuseio e processamento sem cristalização.
- **Transições de Fase**: Nos materiais vítreos, a transição do estado vítreo para o estado líquido é frequentemente precedida pela cristalização, enquanto em muitos materiais amorfos, essa transição pode ocorrer sem cristalização significativa.
- **Aplicações**: O entendimento das temperaturas  $T_g$ ,  $T_f$  e  $T_c$  é crucial para otimizar o processamento e aplicação dos materiais, seja para manter as propriedades amorfas desejadas ou para controlar a cristalização.

Em resumo, a comparação de  $T_g$ ,  $T_f$  e  $T_c$  em materiais vítreos e amorfos revela diferenças na estabilidade térmica, nas transições de fase e nas propriedades resultantes, essenciais para sua seleção e uso em aplicações de engenharia e ciência de materiais.

A resposta que se baseia nas referências seria:

Os materiais não cristalinos, muitas vezes chamados de vítreos ou amorfos, são aqueles que não apresentam uma estrutura cristalina, ou seja, os átomos não estão organizados de forma periódica regular no espaço. Os termos são muitas vezes utilizados de forma ambígua, assim Edgar Zanotto e John C Mauro propuseram uma definição moderna do estado vítreo.

Pela definição clássica da reologia o material pode ter o comportamento sólido ou fluido, se o material se manter termodinamicamente estável com forma fixa sem precisar de um recipiente ou barreira, é considerado sólido, ou seja, o tempo de observação é menor que o tempo de relaxamento, que definiu que os sólidos conseguem manter sua configuração atômica independente do tempo.[22]

O estado líquido é a capacidade do material fluir, não mantém a forma, assim o tempo de relaxamento é maior que o de observação. A temperatura de transição vítrea o tempo de observação é igual ao de relaxamento, se a temperatura é menor que  $T_g$  o material se comporta como sólido e acima de  $T_g$  o material se comporta como líquido.

O material amorfo ao ser aquecido não passa pelo estado de líquido super-resfriado, assim, não apresenta uma  $T_g$ . Ou seja, do estado amorfo ao aquecer ela passa pela temperatura de cristalização ( $T_c$ ), se cristaliza, e ao continuar aquecendo passa pela temperatura de fusão ( $T_f$ ) e se torna líquido. [22-23]

O material vítreo apresenta uma temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) bem definida e um líquido super-resfriado entre  $T_f$  e  $T_g$ . Então o material vítreo que está na estrutura sólido amorfo ao aquecer o material passa por  $T_g$  tornando-se um líquido

metaestável super-resfriado, ao continuar aquecendo o material passa pela  $T_c$  que faz o material passar pelo processo de cristalização, e ao continuar aquecendo novamente o material passa por  $T_f$  e funde-se novamente.[22]

Assim ao comparar as respostas do ChatGPT pode-se observar que nessa segunda solicitação houve uma tentativa de explicação do que seria  $T_g$ ,  $T_c$  e  $T_f$ . O chatGPT3.5 houve uma melhora, tentou fazer a explicação durante o aquecimento para o material vítreo. Contudo não fez a mesma comparação para o material amorfo, além de não fazer a citação da estrutura de líquido metaestável após a  $T_g$  e respondeu as temperaturas  $T_c$  e  $T_f$  como se fosse exclusivo de um material amorfo. A pergunta inicial tinha como objetivo explicar qual diferença de material vítreo e amorfo, e o ChatGPT3.5 citou que a diferença é uma presença de  $T_g$ , o que fez ter um aumento de um ponto na sua resposta ficando com a nota 3 de 5.

O ChatGPT4.0 explicou as temperaturas de forma correta, porém não citou qual era a principal diferença entre material vítreo e amorfo, assim não explicou a presença de uma  $T_g$  definida no material vítreo e a presença do líquido metaestável durante o aquecimento ao passar pela  $T_g$ . Assim não abordou a principal questionamento da pergunta e deu muito foco na explicação do conteúdo que seria para ele fazer a relação. Sua nota foi penalizada por isso, porém ao citar de forma correta a temperatura de  $T_g$ ,  $T_c$  e  $T_f$ , ele manteve sua em 2 de 5.

Um exemplo de resposta que obteve nota 5 foi “O que são polímeros?” Ambos os chats tiveram nota 5.

O ChatGPT3.5 respondeu a solicitação da seguinte maneira:

Polímeros são moléculas grandes e complexas compostas por unidades repetitivas menores chamadas monômeras. Essas unidades monoméricas se ligam entre si através de ligações químicas covalentes para formar cadeias longas e ramificadas, dando origem a uma estrutura macromolecular. Os polímeros são encontrados em uma ampla variedade de materiais e substâncias em nosso ambiente cotidiano.

Existem dois tipos principais de polímeros:

1. Polímeros sintéticos: São produzidos pelo ser humano através de processos químicos. Exemplos de polímeros sintéticos incluem o polietileno (usado em sacolas plásticas e garrafas), o polipropileno (usado em embalagens, fibras e componentes automotivos), o poliéster (usado em roupas e fibras têxteis), o PVC (usado em tubos e cabos), entre outros.
2. Polímeros naturais: São encontrados na natureza e são produzidos por organismos vivos. Exemplos de polímeros naturais incluem o DNA (ácido desoxirribonucleico), as proteínas (como a queratina encontrada em cabelos e unhas), a celulose (encontrada nas paredes celulares de plantas), e o látex (um polímero encontrado em algumas plantas).

Os polímeros desempenham um papel fundamental em muitos aspectos da nossa vida diária, pois são utilizados em uma variedade de aplicações, desde plásticos e materiais de embalagem até produtos farmacêuticos, eletrônicos e muito mais. Eles são conhecidos por

suas propriedades versáteis, como flexibilidade, resistência, leveza e durabilidade, que os tornam essenciais em várias indústrias.

O chat GPT4.0, respondeu a solicitação da seguinte maneira:

Polímeros são macromoléculas formadas pela repetição de unidades menores chamadas monômeras. Esses monômeros se ligam através de ligações covalentes e formam cadeias muito longas que determinam as características e propriedades dos polímeros.

Os polímeros podem ser divididos em dois grandes grupos:

1. **Polímeros Naturais:** São aqueles que ocorrem naturalmente no ambiente. Exemplos incluem proteínas (como a queratina e o colágeno), polissacarídeos (como a celulose e o amido) e o DNA.

2. **Polímeros Sintéticos:** São polímeros que são fabricados por processos industriais e não são encontrados naturalmente. Exemplos populares incluem o polietileno, o polipropileno, o poliestireno, o PVC (policloreto de vinila) e o PET (tereftalato de polietileno).

Os polímeros têm uma variedade de aplicações em nossa vida cotidiana, desde embalagens plásticas e fibras têxteis até componentes eletrônicos e partes de carros. As propriedades de um polímero, como sua resistência, flexibilidade e solubilidade, dependem da estrutura e do arranjo das cadeias poliméricas.

A ciência e a tecnologia dos polímeros são campos em expansão devido à sua importância em muitas áreas da indústria e da pesquisa.

A resposta que se baseia nas referências seria essa:

Segundo Sebastião V. Canevarolo o polímero se origina do grego poli (muitos) e mero (unidade de repetição), assim pode-se dizer que o polímero é macromolécula composta por dezenas de milhares de meros.

A divisão do polímero pode ocorrer em 3 grandes classes Plásticos, Borrachas e Fibras.[24]

Os polímeros podem ter uma classificação devido a sua origem natural e sintética como vista no livro de Ciência e engenharia de materiais de William D. Callister.[25] A origem natural é derivada de plantas e animais, como por exemplo borracha, madeira, algodão, seda, entre outras possibilidades. Porém com as novas necessidades, foram surgindo polímeros sintéticos. Os sintéticos têm vantagens que podem ser produzidos a baixo custo e suas propriedades podem ser configuradas obtendo propriedades muito superiores aos seus análogos naturais [25].

Outro ponto seria a explicação do que são os termoplásticos e termofixos, sendo que os termoplásticos têm capacidade de fluir quando sujeitos a temperatura e pressão. Após se solidificar pode-se refazer o processo de pressão e temperatura voltando a fluir e solidificar novamente de forma cíclica. Os termofixos com

temperatura e pressão amolecem uma vez, sofre o processo de cura e depois não consegue fluir novamente sobre temperatura e pressão, sendo infusível e insolúvel.

Os polímeros na sua composição podem ter elementos que alterem sua propriedade original, esses materiais que são os aditivos podem ser cargas, cargas reforçantes, plastificantes, lubrificantes, estabilizantes, pigmentos, entre outros.

A exemplo de termoplásticos temos como exemplo PVC, PP e PE. Os elastômeros têm como exemplo, NR, PB e SBR. Os termofixos, PF e MF. [24,25]

Apesar das versões do ChatGPT não terem dado uma resposta mais completa, ela responde de forma simples, objetiva e com o conteúdo correto do que seria o polímero, que é basicamente uma macromolécula com repetição de milhares de mero, por isso ela recebeu nota 5 de 5, lembrando que essa nota está se baseando em um conteúdo básico e como não foi solicitado a ChatGPT que explicasse as origens e classificações dos polímeros, não pode ser descontados pontos da questão.

Esta etapa do projeto teve o objetivo de transformar uma análise qualitativa em quantitativa, o desafio é que experiências humanas e percepções dos conteúdos podem ser um fator que interfere efetivamente na análise, ou seja, pode haver uma subjetividade nas análises se comparar avaliadores diferentes. Por exemplo, na avaliação de conteúdos esperados pelo avaliador, é comum que as respostas baseadas em referências sejam longas e complexas. Respostas para estudantes que apresentam nível básico, é essencial que elas sejam coesas e de fácil compreensão. Isso foi observado na questão avaliada "O que são polímeros?", onde as referências fornecidas apresentavam uma vasta quantidade de informações. Dessa forma, cada avaliador pode atribuir pesos diferentes a esses conteúdos e avaliá-los sobre sua própria perspectiva.

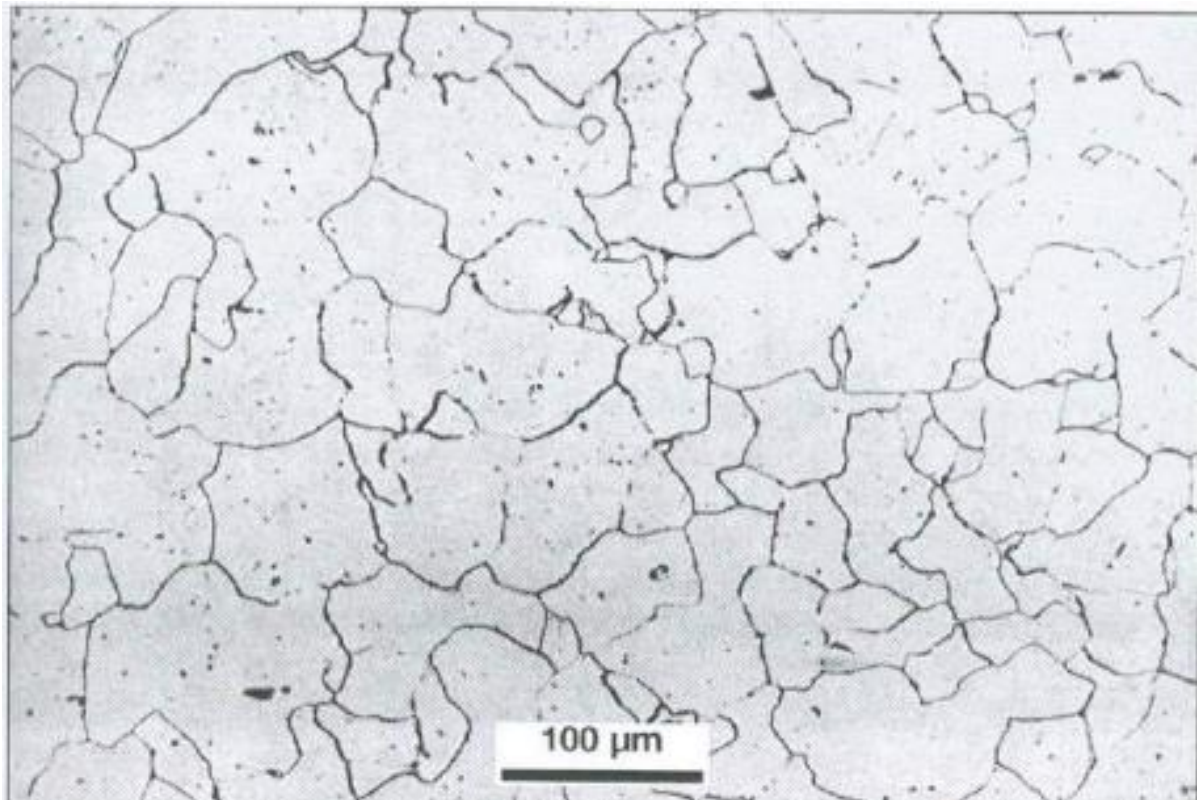
#### 4.3) AVALIANDO ANÁLISE DE IMAGENS DO CHATGPT 4.0

O ChatGPT 4.0 diferentemente do ChatGPT3.5, tem a possibilidade de receber arquivos e imagens, podendo analisá-las. Essa ferramenta pode ter uma grande utilidade no auxílio do aprendizado, pois auxilia na interpretação de imagens, gráficos e dados de forma geral.

Foi feito teste de interpretação de imagens, esse recurso é somente disponibilizado no ChatGPT 4.0. Lembrando que esse teste foi feito enviando sempre as imagens para um novo chat, para evitar que se ocorra uma tendência nas

respostas.

Para a primeira parte dessa etapa do projeto iniciou com questões de interpretação de uma única imagem, primeiramente foi enviado uma imagem de microscopia e foi feito o pedido para o ChatGPT explicar o que seria a imagem 1.



**Figura1** : Imagem de uma microestrutura ferrítica[26].

A imagem foi retirada do livro de metalografia dos produtos siderúrgicos comuns[26], foi solicitada ao ChatGPT4.0 qual possível microestrutura. A resposta de forma simplificada foi que ele não poderia afirmar que a resposta seria correta sem mais informações como por exemplo DRX , porém pela imagem a possibilidade seria uma ferrita , acertando a resposta.

Podemos ver a resposta do chat GPT em relação a solicitação de perguntar.

A imagem que você forneceu parece ser uma micrografia óptica de uma liga de ferro-carbono, mais comumente conhecida como aço. Essa microestrutura específica é típica do que você esperaria ver em um aço com uma quantidade moderada de carbono, possivelmente em um estado normalizado ou recozido, onde a estrutura cristalina do ferro e o espaçamento intergranular podem ser claramente observados. No sistema Fe-C (ferro-carbono), as microestruturas podem variar significativamente dependendo da composição e do tratamento térmico aplicado ao material. Por exemplo, a microestrutura de um aço com baixo teor de carbono (menos de 0,8% de carbono), após resfriamento lento, normalmente consistiria em uma matriz de ferrita e perlita. A ferrita é a fase de ferro alfa, relativamente macia e dúctil, enquanto a perlita é uma mistura lamelar de ferrita e cementita ( $Fe_3C$ ), que é mais dura e frágil.

Se o aço contiver mais de 0,8% de carbono e menos de 2,14%, e sofrer resfriamento lento, a microestrutura consistirá principalmente de perlita e cementita. Com mais de 2,14% de carbono, a microestrutura é dominada pela cementita e grafita, tornando-se então um ferro fundido, em vez de aço.

A imagem não oferece detalhes suficientes para uma identificação exata da microestrutura, pois a determinação exata da fase requer análise de elementos químicos e possivelmente difração de raios X ou microscopia eletrônica. No entanto, a estrutura granular e a ausência de características como lamelas de perlita sugerem que esta é uma microestrutura de ferrita, talvez com alguma perlita se o material estiver perto do limite inferior da zona hipoeutetóide do diagrama de fases Fe-C.

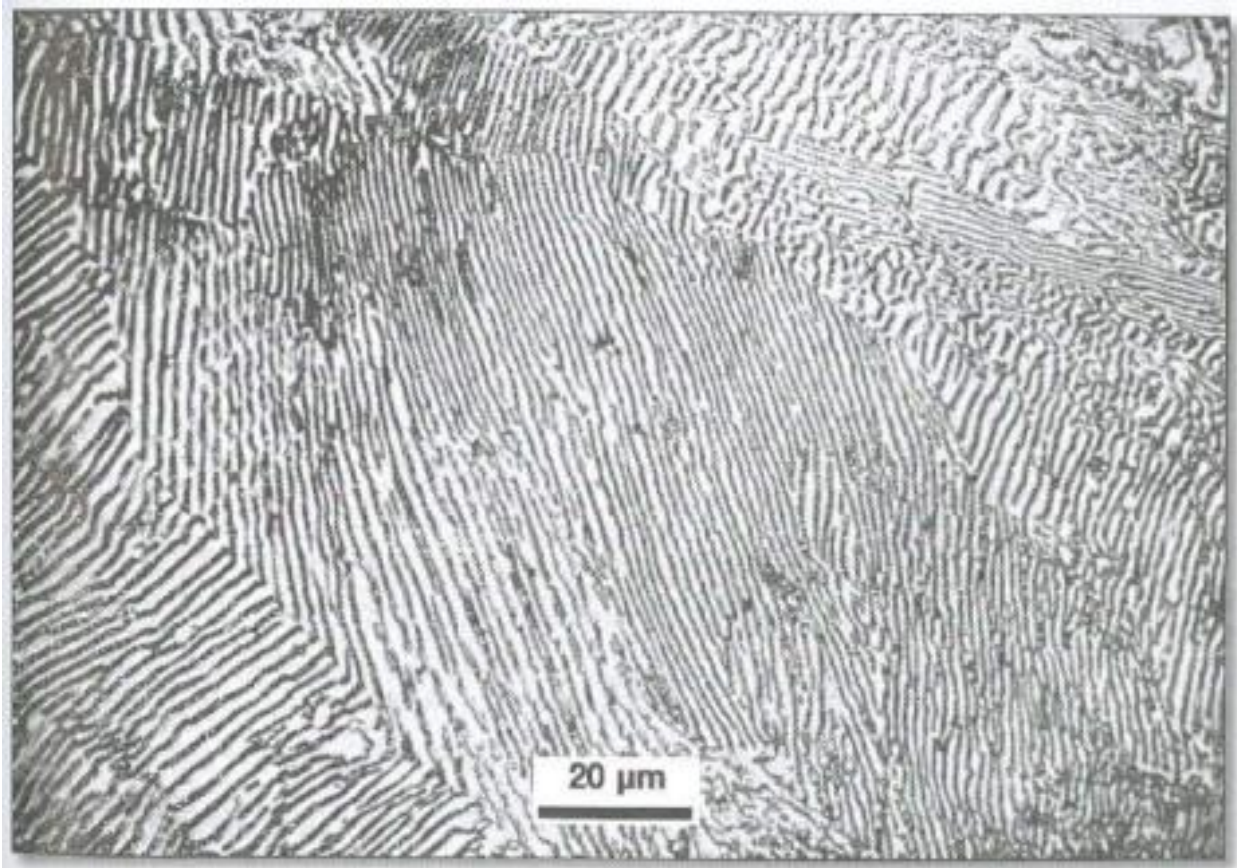
As fronteiras escuras que definem os grãos são os limites de grão, que são regiões onde os cristais de ferrita se encontram e interagem. O tamanho e a forma dos grãos podem ter um impacto significativo nas propriedades mecânicas do aço, como a tenacidade e a resistência à fadiga. Tratamentos térmicos como a normalização e o recozimento podem ser usados para controlar o tamanho do grão e, conseqüentemente, as propriedades do material.

Em um contexto mais amplo, a microestrutura do aço pode ser controlada e manipulada por meio de tratamentos térmicos para alcançar propriedades mecânicas desejadas. Isso é fundamental na engenharia de materiais, pois permite a criação de aços com características específicas para diferentes aplicações, variando de estruturas de construção a componentes de máquinas e dispositivos médicos.

Pode-se notar que o ChatGPT conseguiu identificar bem a imagem e analisá-la, porém a sua explicação sofre alguns equívocos por exemplo ao dizer que a liga tem uma quantidade moderada de carbono, não falando a quantidade exata e além disso a liga apresenta uma imagem da microestrutura de uma ferrita que é baixo carbono.

Ainda na primeira etapa do projeto, abriu-se um novo chat e foi solicitado ao ChatGPT analisar a imagem 2 , a pergunta feita foi “o que seria essa imagem”.

A imagem 2 também foi retirada do livro de metalografia dos produtos siderúrgicos comuns[26].



**Figura 2** : imagem de uma microestrutura perlítica[26].

Podemos ver que a resposta foi de acordo com o esperado dizendo que provavelmente era uma microestrutura de uma perlita, a resposta completa está em sequência :

A imagem que você forneceu mostra uma microestrutura que é característica de aços com alto teor de carbono, mais especificamente, parece ser uma estrutura perlítica. A perlita é uma microestrutura composta de finas camadas alternadas de ferrita e cementita ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) que se formam durante a transformação eutetóide no sistema ferro-carbono. Esta transformação ocorre em aços que são resfriados lentamente passando pela faixa de temperatura de aproximadamente  $727^\circ\text{C}$ , a temperatura eutetóide.

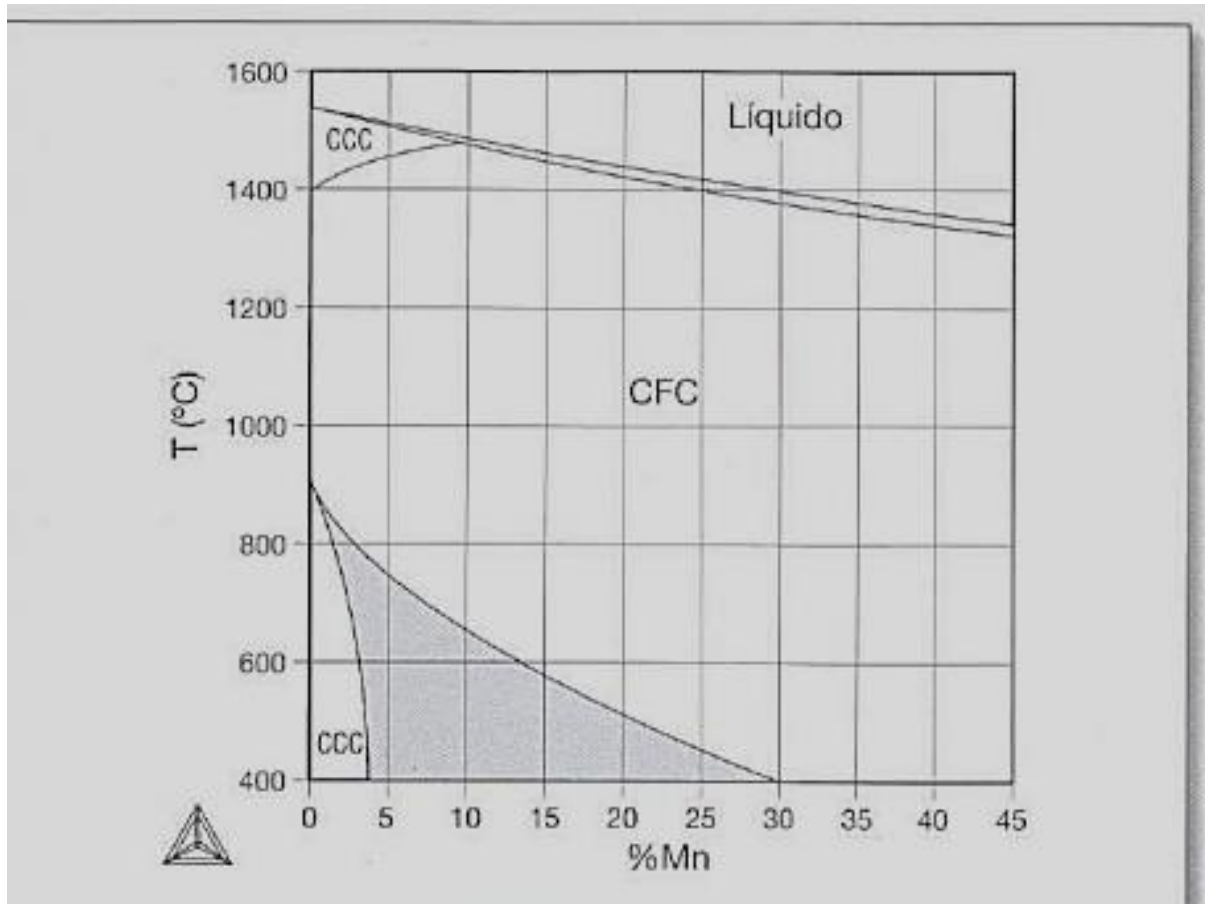
O padrão lamelar ou semelhante a folhas que você vê é típico da perlita, que é uma mistura de duas fases: a ferrita, que é o ferro alfa com uma estrutura cúbica de corpo centrado (BCC) e relativamente macia e dúctil, e a cementita, que é uma fase muito mais dura e frágil. As camadas alternadas de ferrita e cementita dão à perlita uma combinação única de resistência e tenacidade.

Nesta micrografia, as áreas mais claras são a ferrita, enquanto as linhas escuras são a cementita. A escala na imagem ( $20\ \mu\text{m}$ ) indica que as lamelas são bastante finas, o que é típico de perlita fina. Isso sugere que o material pode ter sido resfriado a uma taxa moderada, que não foi tão rápida a ponto de formar martensita (outra microestrutura que se formaria com um resfriamento mais rápido), nem tão lenta a ponto de formar perlita grossa ou ferrita e cementita em separado.

A perlita fina como essa é frequentemente desejada nos aços por sua combinação de propriedades mecânicas. A ferrita proporciona ductilidade e a cementita proporciona dureza e resistência ao desgaste. O controle da taxa de resfriamento e a composição do aço podem ser utilizados para ajustar a distância entre as lamelas de ferrita e cementita, e, portanto, afinar as propriedades mecânicas do aço final.

Para uma análise mais profunda e precisa da microestrutura, técnicas de caracterização mais sofisticadas seriam utilizadas, tais como microscopia eletrônica de varredura (SEM) acoplada com espectroscopia por energia dispersiva de raios-X (EDS), que poderiam confirmar a composição exata e a distribuição de fases. Isso é particularmente importante na engenharia de materiais, onde uma compreensão detalhada da microestrutura é fundamental para otimizar as propriedades do material para suas aplicações pretendidas.

Para concluir a primeira parte de teste foi solicitado para explicar sobre a imagem de um gráfico, que é um diagrama de fases Fe-Mn. Perguntando ao ChatGPT “o que seria esse gráfico?”.



**Figura 3** : Diagrama de equilíbrio de fase Fe-Mn [26]

Ao questionar o que seria a imagem 3, a explicação foi que o gráfico é um diagrama de fases e explicou o que seria os eixos, as fases presentes e seus nomes. Segue a resposta

O gráfico que você forneceu é um diagrama de fases binário para o sistema Ferro-Manganês (Fe-Mn). Diagramas de fases são ferramentas fundamentais em engenharia e ciência de materiais, pois mostram a estabilidade das fases presentes em diferentes composições e temperaturas, permitindo aos engenheiros e cientistas prever as transformações que ocorrerão no material sob diferentes condições de aquecimento e resfriamento.

Aqui estão os principais aspectos deste diagrama Fe-Mn:

1. **Eixos**: O eixo vertical representa a temperatura (em graus Celsius), e o eixo horizontal representa a porcentagem em peso de manganês (Mn) na liga.
2. **Fases**:

- **CCC (Cúbica de Corpo Centrado)**: Refere-se à estrutura cristalina cúbica de corpo centrado do ferro, também conhecida como ferrita. Esta fase é estável em temperaturas mais baixas e em baixas concentrações de manganês.

- **CFC (Cúbica de Face Centrada)**: Refere-se à estrutura cristalina cúbica de face centrada, também conhecida como austenita. Esta fase é estável em temperaturas mais altas e em concentrações mais altas de manganês.

3. **Linhas de Transformação**:

- A linha que delimita a fase CCC da região líquida (indicando o ponto em que o material começa a derreter) desce com o aumento da concentração de manganês, mostrando que o Mn abaixa o ponto de fusão do Fe puro.

- A linha que separa as fases CCC e CFC mostra a transformação de fase do ferro de uma estrutura cúbica de corpo centrado para uma estrutura cúbica de face centrada à medida que a temperatura aumenta ou o conteúdo de manganês aumenta.

4. **Região Líquida**: A área acima das linhas de transformação de fase indica onde a liga está no estado líquido.

5. **Região de Miscibilidade Completa**: Entre as fases CCC e CFC, há uma área onde ambas as fases coexistem em equilíbrio. Conforme a temperatura diminui, a solubilidade do Mn na fase CCC (ferrita) diminui, o que pode levar à precipitação de outras fases ou compostos.

O manganês é um elemento importante em aços, pois atua como um desoxidante e também aumenta a resistência e a tenacidade do aço. No entanto, a quantidade e o tipo de manganês presente podem afetar significativamente as propriedades do material, como a ductilidade, a resistência ao desgaste e a resistência à corrosão. Portanto, entender esse diagrama é essencial para o design e o controle de processos de aços e ligas de Fe-Mn.

Assim como na primeira imagem pode-se observar que o ChatGPT, conseguiu identificar e analisar bem a imagem. Porém há algumas imprecisões técnicas durante a resposta como dizer que o material iria “derreter” em vez de fundir. Poderia explicar com os termos técnicos o que são as linhas solvus e linha liquidus. Na parte 5 poderia ter explicado de uma melhor forma, mostrando que é possível observar que há duas regiões de fases CCC, a região em alta temperatura vemos que há formação dessa fase entre 1600°C a 1400°C sendo que aproximadamente a 1500°C é a temperatura onde solubilidade de Mn chega a cerca de 10%, que seria a solubilidade máxima de Mn na estrutura CCC. À medida que a temperatura decresce de 1500°C para 1400°C, há uma diminuição progressiva na solubilidade de Mn, até atravessarmos para a região onde prevalece a fase CFC. Após essa transição a região CCC volta aparecer entre 900°C a 400°C aumentando a solubilidade conforme diminui a temperatura até 400°C onde tem cerca de 4%Mn.

Observa-se que o chat teve um desempenho bom ao analisar as imagens de forma única e isolada. Assim o próximo passo foi pedir uma comparação de duas imagens com arquivos distintos, ou seja, duas imagens diferentes em dois arquivos diferentes.



**Figura 4 :** A imagem A mostra uma microestrutura hipoeutetóide de uma secção transversal de fio-máquina de aço 1010 normalizado apresentando ferrita e perlita e a B uma imagem de um aço hipereutetóide cementita em rede[26]

Foi feito a pergunta ao ChatGPT de qual imagem seria a microestrutura hipereutetóide e a hipoeutetóide, novamente o chat mostrou um bom desempenho, acertando a resposta dizendo que a da esquerda é hipoeutetóide e da direita é hipereutetóide. A forma que o ChatGPT se referiu as imagens, por não ter uma identificação foi pela ordem enviada, sendo a da esquerda a primeira a ser enviada e da direita a segunda a ser enviada. A resposta completa do ChatGPT a seguir

As duas imagens de microestruturas fornecidas são representativas das ligas ferro-carbono (Fe-C) com diferentes concentrações de carbono, que podem ser classificadas como hipoeutectóide ou hipereutectóide.

A primeira imagem mostra uma microestrutura que parece ter uma matriz relativamente clara com áreas escuras dispersas. Esta é uma indicação de que a liga pode ser **hipoeutectóide**, o que significa que a concentração de carbono é menor que a composição eutetóide (aproximadamente 0,76% de carbono). A matriz clara seria ferrita, e as áreas escuras seriam perlita.

A segunda imagem mostra uma microestrutura com uma matriz escura e regiões mais claras. Este padrão é indicativo de uma liga **hipereutetóide**, onde a concentração de carbono é maior que a composição eutetóide. A matriz escura seria cementita, e as regiões mais claras seriam perlita ou talvez ferrita, dependendo da exata composição de carbono da liga.

Elementos de liga são adicionados ao aço para modificar suas propriedades,

incluindo a microestrutura final após o resfriamento. Para ligas hipoeutetóides e hipereutetóides, alguns elementos de liga podem ter influências significativas:

- **Silício (Si)** e **Manganês (Mn)** são comuns em aços e podem aumentar a dureza e resistência, além de influenciar a formação de ferrita e perlita.

- **Nióbio (Nb)** e **Vanádio (V)** são formadores de carbonitreto e podem refinar a microestrutura, promovendo o aumento da resistência e da tenacidade.

- **Cromo (Cr)**, **Molibdênio (Mo)** e **Níquel (Ni)** são utilizados para melhorar a endurecibilidade, resistência à corrosão e tenacidade, e podem influenciar a transformação de austenita em outras fases como perlita, bainita ou martensita durante o resfriamento.

- **Titânio (Ti)** e **Tântalo (Ta)** podem se combinar com carbono e nitrogênio para formar carbonitreto que refinam a microestrutura e melhoram a resistência. O uso e o efeito desses elementos de liga dependerão dos resultados desejados e das condições específicas de processamento, como a temperatura de austenitização e a taxa de resfriamento. A seleção cuidadosa dos elementos de liga e dos parâmetros de processamento permite o design de aços com propriedades mecânicas otimizadas para aplicações específicas.

Podemos ver que o ChatGPT deu a explicação de como foram feitas as considerações de qual seria a hipereutetóide e a hipoeutetóide explicando como foi feita a determinação de cada uma, porém deu informações que não foram pedidas como quais elementos de ligas são adicionados para mudar as propriedades.

A próxima etapa de avaliação foi ver a capacidade do ChatGPT diferenciar e avaliar duas imagens distintas em um mesmo arquivo.



(a)

(b)

**Figura 5 :** A Imagem (a) é de fratura dúctil e a (b) de uma fatura frágil, as imagens foram retiradas do livro “Ciência e engenharia de materiais” do William D. Callister Jr.[25]

Foi questionado qual seria a fratura dúctil e a frágil, o chat respondeu corretamente, como a imagem não tinha um modo de diferenciação, exemplo de letras ou números ela usou a referência do observador esquerda e direita. A resposta foi correta sendo a imagem5 (a), que é da esquerda, uma fratura dúctil e a imagem 5(b), que é a da direita, uma fratura frágil. Além de analisar corretamente as imagens ele gerou uma explicação se baseando na superfície de fratura. A resposta do chat completa a seguir:

A imagem mostra exemplos de fraturas em materiais metálicos. As características visíveis nas superfícies fraturadas podem fornecer pistas sobre se a fratura foi dúctil ou frágil.

**\*\*Fratura Dúctil\*\*:**

- Normalmente apresenta uma superfície de fratura com aspecto esticado, com muitas deformações e alongamento do material antes da ruptura.
- Costuma ter uma aparência de "pescoço de ampulheta" ou redução da área de seção transversal devido à deformação plástica significativa.
- Muitas vezes apresenta um padrão de fratura côncava e convexa (cup-and-cone).
- A superfície de fratura pode exibir marcas de estrias ou padrões de deformação que indicam movimento plástico.

**\*\*Fratura Frágil\*\*:**

- Geralmente apresenta uma superfície de fratura plana ou granulada, com aparência semelhante a um vidro quebrado.
- Há pouca ou nenhuma deformação plástica visível antes da ruptura.
- A fratura pode ocorrer ao longo de planos cristalográficos específicos, produzindo uma superfície de fratura facetada.
- Pode ocorrer de forma repentina e sem aviso prévio, diferentemente da fratura dúctil que é precedida por deformação visível.

Na imagem fornecida, a peça à esquerda parece ter uma superfície de fratura mais suave e arredondada, indicando uma deformação plástica que ocorreu antes da ruptura, sugerindo uma **\*\*fratura dúctil\*\***.

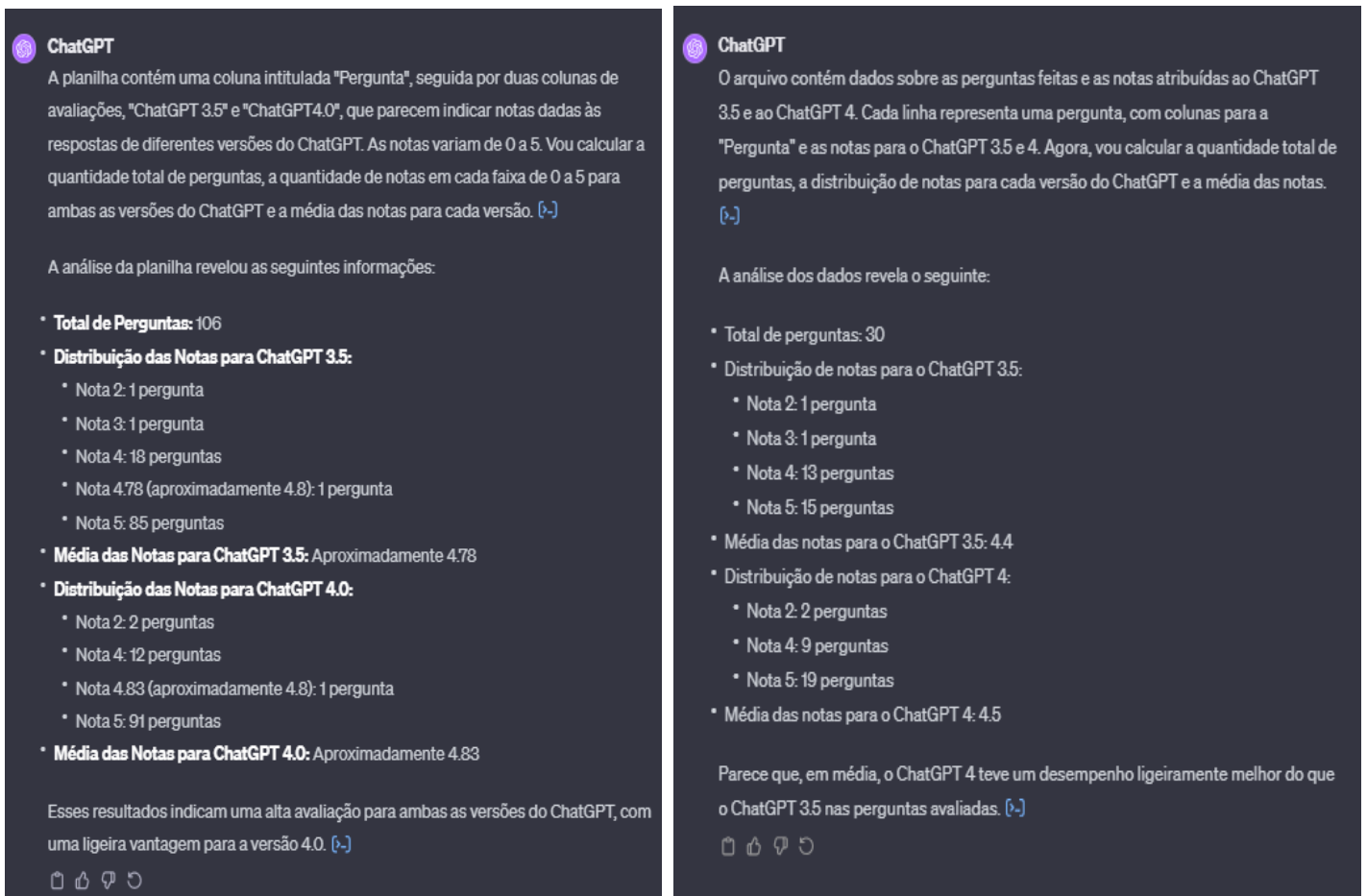
As peças à direita parecem ter superfícies de fratura mais ásperas e menos deformadas, o que é característico de uma **\*\*fratura frágil\*\***. As superfícies são mais planas e não exibem a redução significativa do diâmetro que é típica da deformação plástica dúctil.

A avaliação do modo de fratura é um aspecto crucial na análise de falhas em materiais e é essencial para o desenvolvimento de materiais mais resistentes e seguros. Isso muitas vezes envolve uma análise mais detalhada usando técnicas como microscopia eletrônica de varredura (SEM) para examinar a morfologia da fratura em escala microscópica.

#### 4.4) Avaliando a capacidade do ChatGPT ler Arquivos em Excel e PDF

Outro modo de avaliação do chat foi a capacidade de ler arquivos em alguns formatos específicos como Excel e PDF. Para simular uma situação real foi transformada a planilha de perguntas e notas (planilha 2) em arquivos Excel e PDF e foi feita a solicitação para o ChatGPT, para analisar a planilha já nesses formatos, sendo que foram feitas as solicitações de forma isolada para cada tipo de arquivo.

As solicitações foram de quantas perguntas foram feitas para as duas versões do Chat, e o número total de notas de 0 a 5 de cada Chat. A escolha da análise de tabela foi motivada pelos inúmeros dados em pesquisa neste formato, além de ser muito utilizada em qualquer rotina de trabalho de um engenheiro.



(A)

(B)

**Figura 6 :** a imagem 6 (a) mostra a resposta do chat GPT para arquivo em Excel e a imagem 6(b) mostra a imagem da resposta para arquivo em PDF

A partir da planilha de input o ChatGPT conseguiu ler o arquivo e trabalhar com os dados, porém cometeu um erro ao fazer a análise de total de perguntas ao considerar a média como pergunta, assim disse que foram feitas 106 perguntas e não 105 como seria o correto. Porém acertou a quantidade de notas para cada ChatGPT sendo que o ChatGPT3.5 teve 85 notas 5 ,18 notas 4 , 1 nota 3 e 1 nota 2 já sua versão ChatGpt4.0 teve 91 notas 5 , 12 notas 4 e 2 notas 2.

No formato PDF não conseguiu apresentar um bom resultado, apresentou

resultados somente da primeira folha da tabela, o que tornou totalmente errôneo pois foi uma solicitação geral do arquivo.

Lembrando que esse teste foi avaliando a primeira resposta, não fazendo questionamentos subsequentes para dar oportunidade do ChatGPT reavaliar e ter chance de melhorar o seu desempenho.

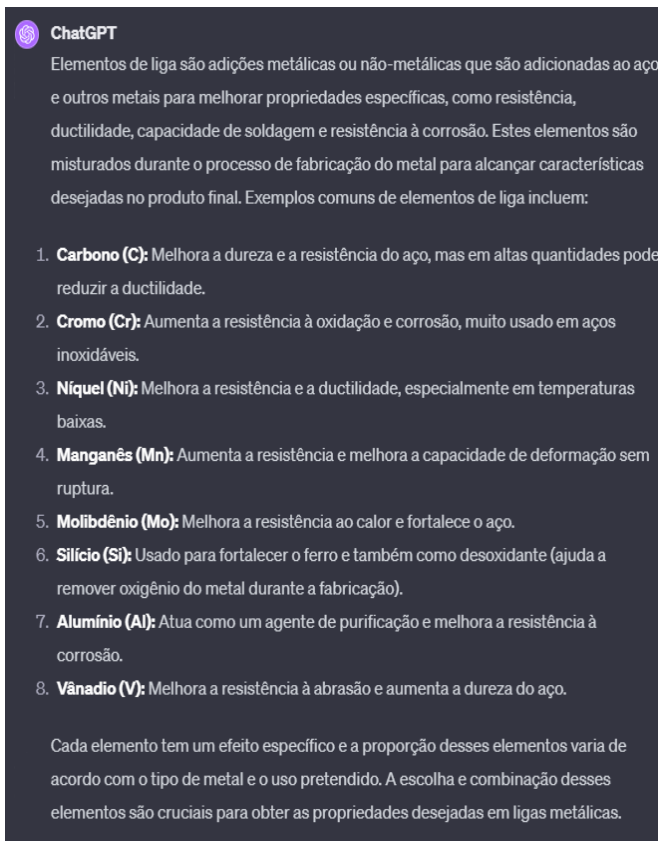
#### 4.5) AVALIAÇÃO DA RESPOSTA DISSERTATIVA EM COMPARAÇÃO POR TÓPICOS

Há a possibilidade de solicitar uma pergunta ao ChatGPT e deixá-lo escrever de forma dissertativa ou fazer a solicitação de responder por tópicos.

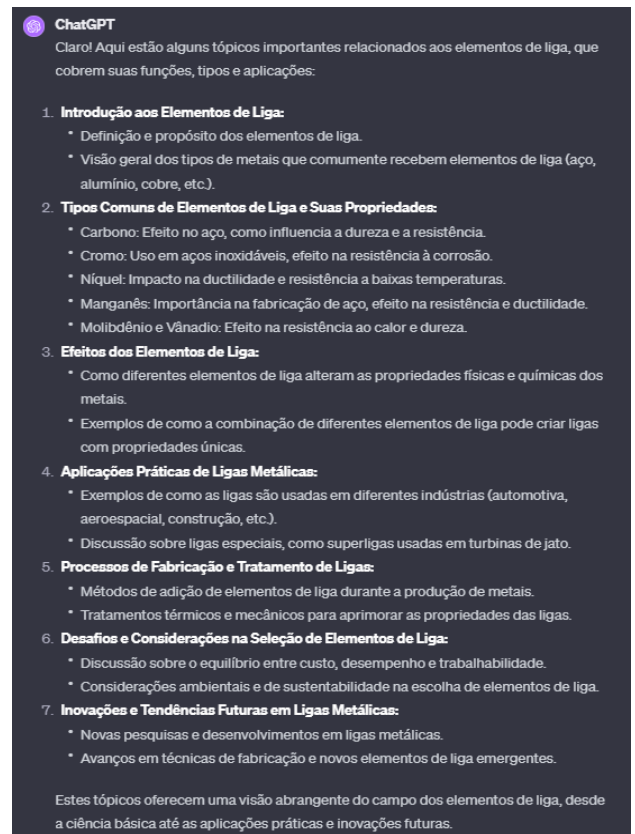
A possível vantagem de solicitação por tópicos é que como o chat GPT não se limita a responder somente o questionamento, ele descreve a possibilidades de vários temas. O que não deixaria o aprendizado deficitário, pois quem não tem um conhecimento prévio ficaria sabendo de outras informações sobre o conteúdo.

Foi feito o seguinte teste, solicitar duas perguntas ao chat, a primeira a fim de ter uma resposta dissertativa e objetiva, que é o padrão de resposta, e a outra pedir para responder em tópicos. A primeira pergunta ao ChatGPT foi “o que são elementos de liga?”, a pergunta teve a finalidade de ter uma resposta padrão dissertativa do Chat. A segunda questão solicitada foi “poderia me dar tópicos de elementos de liga?“, assim verificando se o ChatGPT realmente disponibilizaria mais temas sobre o conteúdo solicitado.

Na imagem 7 (a) podemos ver a resposta dissertativa e na imagem 7 (b) a resposta em tópicos .



(a)



(b)

**Figura 7 :** Imagem 7(a) resposta padrão e imagem 7(b) resposta por tópicos

Assim observa-se que realmente a solicitação por tópicos deixa a resposta com uma visão mais ampla e organizada do conteúdo como um todo, em comparação a pergunta padrão, porém ele não se aprofunda em um ponto assim é necessário abrir uma nova solicitação para explicar um tópico específico e de modo dissertativo. Esse modo de resposta favorece quem não tem um conhecimento prévio do assunto. Já as perguntas convencionais, traz um foco na resposta abordando mais o conteúdo solicitado.

## 5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O chat GPT demonstrou alta assertividade em respostas a perguntas objetivas. Mesmo considerando que o ChatGPT 4.0, de acordo com informações disponíveis no site da OpenAI, possui uma probabilidade 40% maior de fornecer respostas factuais, sua versão gratuita ainda apresentou um bom desempenho em relação às respostas.

Ao comparar as respostas fornecidas pelo ChatGPT 3.5 (versão gratuita) e o ChatGPT 4.0 (versão paga), notamos uma pequena vantagem para a versão paga. Essa diferença era esperada devido às discrepâncias nos parâmetros dos modelos, uma vez que o ChatGPT 3.5 possui aproximadamente 175 bilhões de parâmetros, enquanto o ChatGPT 4.0 conta com cerca de 170 trilhões de parâmetros. Além disso, vale mencionar que o ChatGPT 4.0 possui um banco de dados atualizado até abril de 2023, enquanto a versão 3.5 possui dados apenas até janeiro de 2022 [7].

No entanto, é importante ressaltar que essa vantagem esperada na versão paga não desqualifica o uso da versão gratuita para fins de aprendizado. A versão gratuita, o ChatGPT 3.5, obteve uma avaliação média de 4.781 em 5, enquanto a versão paga, o ChatGPT 4.0, recebeu uma avaliação média de 4.828 em 5, representando uma diferença de aproximadamente 0,99% entre as médias das notas.

Ao comparar as respostas esperadas com as fornecidas pelo ChatGPT que obteve a menor pontuação, observamos que as respostas ainda se mantiveram relevantes para o tema e abordaram os conteúdos questionados, porém com um desempenho ligeiramente inferior.

Na análise de respostas às perguntas "metal vítreo vs metal amorfo" e posteriormente a pergunta "materiais amorfos vs materiais vítreos utilizando  $T_g$ ,  $T_c$  e  $T_f$ ", notou-se que apenas o ChatGPT 3.5, na segunda pergunta que continha mais informações detalhadas, apresentou um melhor desempenho aumentando sua pontuação de dois para três. Ambas as versões não conseguiram expor a diferença entre materiais vítreos e amorfos como mostrado na resposta esperada.

Na primeira pergunta, ambas as versões do ChatGPT concordaram que os materiais eram diferentes e que a estrutura não era cristalina. Além disso, ambas destacaram que o material vítreo é uma subcategoria do amorfo. No entanto, ambas as versões não conseguiram explicar as diferenças específicas de forma clara e completa, como o exemplo do vítreo apresentar uma temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) obrigatoriamente, enquanto o amorfo não. Essa explicação mais detalhada não foi fornecida por nenhuma das versões.

Na segunda pergunta, apesar de ambas as versões tentarem fornecer respostas corretas em relação às temperaturas, o ChatGPT 3.5 deu a interpretação que as  $T_f$  e  $T_c$  eram exclusivas do material amorfo, ao passo que o ChatGPT 4.0 conseguiu fazer uma melhor explicação. No aspecto  $T_g$  o ChatGPT3.5 conseguiu

citar ligeiramente a diferença do vítreo para o amorfo aumentando sua pontuação de 2 para 3, em compensação o ChatGPT4.0 não conseguiu fazer esta distinção, mantendo sua nota 2.

A terceira pergunta sobre polímeros, responderam de forma coesa e correta a solicitação, limitando-se a definir polímeros como macromoléculas e diferenciar entre naturais e sintéticos. Apesar da resposta ideal ter abordado categorias específicas, como plásticos, borrachas e fibras, além de explicar as diferenças entre termoplásticos e termofixos, e a relevância de aditivos em polímeros, não se pode considerar as respostas do ChatGPT de ambas as versões como incorreta pois abordou o que foi solicitado na pergunta, respondendo que é uma macromolécula composta de milhares de monômeros assim ficaram com nota 5 de 5 .

É importante ressaltar que ambas as versões do ChatGPT tiveram bons desempenho nas perguntas e respostas em geral. Isso torna essa ferramenta útil para auxiliar no aprendizado de conteúdo de nível básico a intermediário.

Nos testes de recursos da versão paga, o ChatGPT 4.0, que permite receber imagens como dados de entrada, demonstrou uma capacidade notável na análise e identificação de imagens. Isso incluiu não apenas o processamento de imagens individuais, mas também a habilidade de comparar duas imagens de arquivos separados ou duas imagens presentes no mesmo arquivo. Sua capacidade de análise e interpretação atingiu um índice muito bom em relação aos objetivos propostos. Apesar apresentar as respostas correta sobre a solicitação principal do que seria as imagens, as vezes não conseguiu explicar de forma clara o restante do conteúdo ou deu informações não solicitadas ou incorretas. Apesar de algumas dessas observações a ferramenta tem importância como um recurso para facilitar o aprendizado.

No que diz respeito à análise de documentos, uma tabela de perguntas com as notas foi fornecida como entrada. O Excel, embora tenha apresentado uma falha ao calcular o número total de perguntas feitas, considerando erroneamente 106 em vez de 105, demonstrou um desempenho interessante ao lidar com outras informações, como a contagem das notas 0 a 5.

Entretanto, ao realizar testes semelhantes com um arquivo em formato PDF, o desempenho foi abaixo do esperado. O ChatGPT considerou apenas a primeira página do arquivo como parte da tabela, resultando em avaliações imprecisas em

todos os parâmetros, uma vez que a solicitação envolvia o arquivo como um todo, apesar de ter acertado a quantidade na primeira folha.

Outro teste realizado investigou a melhor forma de solicitar informações do ChatGPT e a possibilidade de fazer solicitações por tópicos. Isso ocorreu devido ao fato de que, ao fazer uma pergunta, o ChatGPT tende a responder focando na dissertação, muitas vezes deixando de abordar outros conteúdos relacionados. Ao solicitar informações por tópicos, é possível obter uma visão mais geral do assunto, pois o ChatGPT não se limita a desenvolver um único tema, mas abre a possibilidade de explorar outros aspectos. Além disso, é possível pedir ao ChatGPT para dividir um tópico em subtópicos, aprofundando assim a análise. Uma vez encontrado o tema ou subtema desejado, é possível então solicitar uma dissertação completa sobre ele. Essa abordagem proporciona uma melhor organização da informação, foco nos detalhes e um aprendizado gradual, uma vez que permite ao usuário ver o contexto geral e, em seguida, focar em perguntas específicas de forma desejada. Já as perguntas objetivas tem como foco responder uma solicitação pontual a fim de esclarecer dúvidas, sendo uma resposta mais objetiva no que foi solicitado e assim podendo ter uma contextualização mais adequada.

## **6 CONCLUSÃO**

O ChatGPT se mostrou eficaz no auxílio ao aprendizado de engenharia de materiais, demonstrando precisão e coerência ao responder perguntas e analisar imagens. No entanto, é importante lembrar que não deve substituir a pesquisa realizada pelo aluno em fontes confiáveis, além de sempre ter uma avaliação e questionamento das respostas fornecidas.

A versão ChatGPT4.0 que atualmente é a versão paga, oferece vantagens significativas, incluindo respostas aprimoradas, a capacidade de receber imagens e arquivos, e a capacidade de consultar informações na internet. No entanto para o formato do teste apresentado nesse trabalho, algumas funções, como a leitura de arquivos Excel e PDF, apresentaram limitações, mas não diminuem o valor geral da ferramenta, isso porque pode-se fazer questionamento subsequentes ao ChatGPT o que pode gerar uma melhor resposta e há a possibilidade de atualizações futuras dessas ferramentas que podem melhorar o resultado.

Em resumo, o ChatGPT é uma ferramenta valiosa para o aprendizado, desde que usada com cuidado e deverá apresentar importância crescente nesse papel.

## 7. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros, sugere-se a criação de perfis personalizados do ChatGPT com bancos de dados expandidos, a realização de comparações entre as versões gratuita (ChatGPT 3.5) e paga (ChatGPT 4.0) em perguntas específicas e lógicas, a avaliação contínua das funções de leitura de arquivos e a exploração da capacidade de criar imagens didáticas.

## REFERÊNCIAS

[1] . B.F.Skinner disponível

<https://www.tecmundo.com.br/3145-frases-impactantes-sobre-tecnologia-e-informatica.htm> acesso 15/01/2024 12:06

[2]Araujo, N.C. e Fachin, J. 2016. **Evolução das fontes de informação**. BIBLOS. 29, 1 (fev. 2016).

[3] Araújo, Ana Paola da Silva Salgado. **"Da imprensa de Gutenberg aos meios de comunicação de massa: "uma revolução no conhecimento"."** (2010).

[4] Monteiro, Lilian **"Excesso de informação na era digital requer discernimento para identificar o mundo real e o falso"** disponível

<https://www.uai.com.br/app/noticia/saude/2018/12/10/noticias-saude,238577/excesso-de-informacao-na-era-digital-requer-discernimento-para-identif.shtml> Acesso 15/01/2024

[5]GARCIA, Ana Cristina. **Ética e inteligência artificial. Computação Brasil**, n. 43, p. 14-22, 2020.

[6]Abreu, Mayara **"o que é ChatGPT e como usar a ferramenta em empresas"**

disponível [https://botmaker.com/pt/publicacoes/chatgpt-como-usar-empresas/?utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=br\\_dsa\\_blog&utm\\_content=678388312786&utm\\_term=&gad\\_source=1&gclid=EAlaIQobChMI2926-O3fgwMVEw2tBh08kAt5EAAYASAAEgJs\\_D\\_BwE](https://botmaker.com/pt/publicacoes/chatgpt-como-usar-empresas/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=br_dsa_blog&utm_content=678388312786&utm_term=&gad_source=1&gclid=EAlaIQobChMI2926-O3fgwMVEw2tBh08kAt5EAAYASAAEgJs_D_BwE) acesso 15/01/2024

[7] Spadini , Allan . S **"GPT-3 e GPT-4: o que é, diferenças e como a inteligência artificial pode te ajudar"** disponível [https://site.alura.com.br/artigos/o-que-e-gpt-3-gpt-4?utm\\_term=&utm\\_campaign=%5BSearch%5D+%5BPerformance%5D+-+Dynamic+Search+Ads+-+Artigos+e+Conte%C3%BAdos&utm\\_source=adwords&utm\\_medium=ppc&hsa\\_acc](https://site.alura.com.br/artigos/o-que-e-gpt-3-gpt-4?utm_term=&utm_campaign=%5BSearch%5D+%5BPerformance%5D+-+Dynamic+Search+Ads+-+Artigos+e+Conte%C3%BAdos&utm_source=adwords&utm_medium=ppc&hsa_acc)

=7964138385&hsa\_cam=11384329873&hsa\_grp=111087461203&hsa\_ad=687448474447&hsa\_src=g&hsa\_tgt=aud-527303763294:dsa-843358956400&hsa\_kw=&hsa\_mt=&hsa\_net=adwords&hsa\_ver=3&gad\_source=1&gclid=EAlaIQobChMI7-f3mO\_fgwMV9IVIAB20FQ2PEAAAYASAAEgLN7vD\_BwE  
Acesso 15/01/2024 as 14:03

[8] **“Os usuários do ChatGPT agora podem navegar na Internet, diz OpenAI”**  
Disponível : <https://www.reuters.com/technology/openai-says-chatgpt-can-now-browse-internet-2023-09-27/> Acesso 10/02/2024 as 18:21

[9] <https://openai.com/blog/chatgpt-can-now-see-hear-and-speak> acesso 15/01/2024 as 14:17

[10] **“ChatGPT atinge 100 milhões de usuários ativos mensais em janeiro e vira o app de crescimento mais rápido da história”** disponível:  
<https://www.infomoney.com.br/negocios/chatgpt-atinge-100-milhoes-de-usuarios-ativos-mensais-em-janeiro-e-vira-o-app-de-crescimento-mais-rapido-da-historia/>  
acesso 10/02/2024 as 16:29

[11] Cafferata, Pepe; Neumann, Donald; Jabbour, Georgina; **“ChatGPT, a inteligência artificial como você nunca viu, é a próxima revolução”**  
<https://www.mckinsey.com/br/our-insights/all-insights/chatgpt-e-a-revolucao-da-inteligencia-artificial> 15/01/2024 as 14:30

[12] Ludermiter, Teresa.B , **“Inteligência Artificial e aprendizado de máquina: estado atual e tendências”** <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2021.35101.007> acesso disponível:  
<https://www.scielo.br/j/ea/a/wXBdv8yHBV9xHz8qG5RCgZd/?lang=pt&format=html#>

[18] **“17 exemplos de Inteligência artificial presente no seu dia a dia”** <https://blog.pareto.io/exemplos-de-inteligencia-artificial/> acesso dia 15/01/2024 as 16:03

[19] **“Inteligência artificial conseguiu superar humanos em testes de leitura e compreensão”** disponível : <https://ofuturodascoisas.com/inteligencia-artificial-conseguiu-superar-humanos-em-testes-de-leitura-e-compreensao/> acesso 10/02/2024 as 18:13

[20] **“ ChatGPT na educação: como reinventar o Ensino diante do avanço da inteligência artificial ”** disponível  
<https://www.fundacaotelefonicavivo.org.br/noticias/chatgpt-na-educacao-como-reinventar-o-ensino-diante-do-avanco-da-inteligencia-artificial/> acesso 15/01/2024 as 18:35

[21] **“ChatGPT na educação: especialista comenta sobre inteligência artificial no campo educacional”**  
Acesso disponível <https://brasile scola.uol.com.br/noticias/chatgpt-na-educacao->

especialista-comenta-sobre-a-inteligencia-artificial-no-campo-educacional/3129039.html , acesso 15/01/2024 as 19:00

[22] Zanotto ED, Mauro JC. **The glassy state of matter: Its definition and ultimate fate.** *J Non Cryst Solids*. 2017;471(April):490–5.

[23] Santana D de **A. FABRICAÇÃO DE AMOSTRAS MACIÇAS DA LIGA Fe Co-B-Si-Nb COM ESTRUTURA AMORFA PELA ROTA DE ATOMIZAÇÃO E EXTRUSÃO A QUENTE.** 2018;167.

[24] CANEVAROLO JR, Sebastião V. Ciência dos polímeros. **Artiliber editora, São Paulo**, v. 24, 2017 3ª edição – 4ª reimpressão revisada e ampliada

[25] WILLIAM, D. Callister. **Ciência e engenharia de materiais.** Grupo Gen-LTC, 2016.

[26] COLPAERT, Hubertus et al. **Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns.** Editora Blucher, 2008.

[27] **Fatura Frágil e Fatura Dúctil** disponível:  
<https://eaiconvergiu.wordpress.com/2015/04/18/fratura-fragil-e-fratura-ductil/> acesso 15/01/2024 às 23:40

[28] **GPT-4 é o sistema mais avançado da OpenAI, produzindo respostas mais seguras e úteis** disponível : <https://openai.com/gpt-4> acesso 15/01/2024 às 20:30