

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

VINICIUS WITKOWSKI

**REAPROVEITAMENTO DE CAVACOS DE USINAGEM UTILIZANDO
A METODOLOGIA DE PROCESSAMENTO DA METALURGIA DO PÓ**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2018

VINICIUS WITKOWSKI

**REAPROVEITAMENTO DE CAVACOS DE USINAGEM UTILIZANDO
A METODOLOGIA DE PROCESSAMENTO DA METALURGIA DO PÓ**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
como requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica, da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Fábio Edenei Mainginski

PONTA GROSSA

2018



TERMO DE APROVAÇÃO

**REAPROVEITAMENTO DE CAVACOS DE USINAGEM UTILIZANDO A
METODOLOGIA DE PROCESSAMENTO DE METALURGIA DO PÓ**

por

VINICIUS WITKOWSKI

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 6 de dezembro de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Me.Fábio Edenei Mainginski
Orientador

Profa. Ma.Heliety Rodrigues Borges Barreto
Membro Titular

Profa. Ma.Sandra Mara Kaminski Tramontin
Membro Titular

Prof.Dr. Marcos Eduardo Soares
Responsável pelos TCC

**Prof. Dr. Marcelo Vasconcelos de
Carvalho**
Coordenador do Curso

RESUMO

WITKOWSKI, Vinicius. **REAPROVEITAMENTO DE CAVACOS DE USINAGEM UTILIZANDO A METODOLOGIA DE PROCESSAMENTO DA METALURGIA DO PÓ**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica)- Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2018.

Sabe-se que o cenário industrial produz uma grande quantidade de rejeito diariamente e que, esse rejeito não está tendo um descarte correto. Este estudo teve como objetivo avaliar as propriedades mecânicas e características físicas em corpos de provas prensados e posteriormente sinterizados, visando verificar a viabilidade de utilizar cavacos de usinagem de aço 1020 na fabricação de peças sinterizadas. Os cavacos do aço 1020 descartados pelo laboratório de usinagem da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, foram utilizados como matéria-prima para o estudo. Depois de feito a coleta, separação e limpeza do material, os cavacos foram levados a etapa de compactação e posteriormente ao aquecimento das amostras, afim de se realizar a etapa da sinterização. Foram realizados testes de flexão e calculou-se a porosidade e densidade aparente. Notou-se que houve uma variação na porosidade e na densidade aparente devido a variação de temperatura nos fornos de sinterização. A tensão máxima e deflexão também se mostraram influentes pela temperatura de aquecimento. Com os resultados obtidos, vê-se a grande influência que a temperatura de sinterização e a falta de homogeneidade interferem nos números finais dos ensaios e comprova-se que é possível o reaproveitamento desse material para produção de peças novas.

Palavras chave: Aço 1020, sinterização, reaproveitamento.

ABSTRACT

WITKOWSKI, Vinicius. **REAGROVEMENT OF MACHINING CAVES USING METHODOLOGY OF POWDER METALURGY PROCESSING.** 2018. Work of Conclusion Course Graduation in Engenharia Mecânica- The Federal University of Technology - Paraná. Ponta Grossa, 2018.

It is known that the industrial scenario produces a large amount of waste daily and that this waste is not being discarded correctly. The objective of this study was to evaluate the mechanical properties and physical characteristics of pressed and sintered test bodies, in order to verify the feasibility of using 1020 steel machining chips in the manufacture of sintered parts. The 1020 steel chips discarded by the machining laboratory of the Federal Technological University of Paraná, were used as raw material for the study. After the collection, separation and cleaning of the material, the chips were taken to the compaction step and after the samples were heated, in order to perform the sintering step. Bending tests were performed and the porosity and bulk density were calculated. It was noticed that there was a variation in the porosity and the apparent density due to the temperature variation in the sintering furnaces. The maximum voltage and deflection were also influenced by the heating temperature. With the results obtained, the great influence of sintering temperature and lack of homogeneity interferes with the final numbers of the tests and it is proven that it is possible to reuse this material for the production of new parts.

Key words: 1020 steel, sintering, reuse.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Representação esquemática da operação de compactação.....	16
Figura 2: (a) partículas soltas de pó, (b) estágio inicial, (c) estágio intermediário, (d) estágio final	18
Figura 3: Exemplo de forno de sinterização	19
Figura 4: Recipiente de coleta de cavacos de aço 1020, utilizado no laboratório de usinagem do DAMEC-PG.....	30
Figura 5: Lavagem a separação de cavaco.....	31
Figura 6: Medição de cavacos.....	31
Figura 7: Molde metálico utilizado na compactação	32
Figura 8: Prensa utilizada para compactação dos cavacos.....	32
Figura 9: Dimensões dos corpos de prova.	33
Figura 10: Forno com uma temperatura interna de 800°C	34
Figura 11: Ciclos de Aquecimento e resfriamento utilizados na sinterização dos 3 lotes de corpos de prova.	35
Figura 12: Ensaio de Flexão.....	36
Figura 13: Balança de precisão utilizada para medição das massas dos corpos de provas.....	37
Figura 14: Esquema de Arquimedes para medição de massas imersas.....	38
Figura 15: Esquema de Arquimedes montado para pesagem do corpo de prova imerso.....	38
Figura 16: Histograma de distribuição de comprimento dos cavacos em [mm]......	40
Figura 17: Gráfico de Densidade Aparente (g/cm ³) por Temperatura de Sinterização (°C).....	43
Figura 18: Gráfico de Porosidade Aparente (g/cm ³) por Temperatura de Sinterização (°C).....	44
Figura 19: Gráfico de Densidade Aparente (g/cm ³) e Porosidade Aparente (%) por Temperatura de Sinterização (°C).....	44
Figura 20: Gráfico de Tensão Máxima (MPa) por Temperatura de Sinterização (°C)	47
Figura 21: Gráfico de Deflexão Máxima (mm) por Temperatura de Sinterização (°C)	47
Figura 22: Gráfico de Tensão Máxima (MPa) por Densidade Aparente (°C).....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação de aços ao carbono e aços baixa-liga pela norma ABNT....	24
Tabela 3: Tamanho dos cavacos	39
Tabela 4: Massas dos corpos de provas sinterizados a 800°C	40
Tabela 5: Massa dos corpos de prova sinterizados a temperatura de 1000°C	41
Tabela 6: Massa dos corpos de prova sinterizados a temperatura de 1200°C	41
Tabela 7: Densidade aparente dos corpos de provas	41
Tabela 8: Porosidade dos corpos de provas sinterizados.	42
Tabela 9: Tensão e deformação máxima corpos de prova sinterizados a 800°C.....	45
Tabela 10: Tensão e deformação máxima corpos de prova sinterizados a 1000°C..	45
Tabela 11: Tensão e deformação máxima corpos de prova sinterizados a 1200°C..	46

SUMÁRIO

Resumo	03
1. INTRODUÇÃO	09
1.1 OBJETIVOS	10
1.1.1 Objetivo Geral	10
1.1.2 Objetivos Específicos.....	10
1.2 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA	11
2. REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 METALURGIA DO PÓ: BREVE HISTÓRICO.....	13
2.1.1 Produção de pós-metálicos.....	14
2.1.2 Processamento mecânico de materiais sólidos	14
2.2 MISTURA E HOMOGENIZAÇÃO	15
2.3 COMPACTAÇÃO	15
2.4 SINTERIZAÇÃO	17
2.4.1 Fornos de Sinterização.....	19
2.5 OPERAÇÕES SECUNDÁRIAS	19
2.5.1 Recompressão	20
2.5.2 Infiltração.....	20
2.6 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO USO DA SINTERIZAÇÃO	21
2.6.1 Vantagens	21
2.6.2 Desvantagens	21
2.7 AÇOS: HISTÓRIA	21
2.7.1. Os minérios e o Brasil	22
2.8 DEFINIÇÃO DE AÇO	23
2.8.1 Classificação de aço	23
2.8.2 Aço 1020.....	24
2.9 RECICLAGEM DOS METAIS.....	25
2.10 DENSIDADE APARENTE.....	26
2.11 POROSIDADE.....	28
3. METODOLOGIA.....	29
3.1 APLICAÇÃO DA PESQUISA.....	29

3.2 PROCEDIMENTO PARA COLETA E PREPARAÇÃO DA MATÉRIA- PRIMA....	32
3.3 ENSAIO DE FLEXÃO.....	35
3.4 MEDIÇÃO DAS MASSAS.....	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
4.1 CALCULO DE DENSIDADE APARENTE	41
4.2 CALCULO DA POROSIDADE	42
4.3 TENSÃO MÁXIMA E DEFORMAÇÃO MÁXIMA	45
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
6. SUGESTÃO DE ESTUDOS FUTUROS	51
7. REFERÊNCIAS.....	52
ANEXO A – GRÁFICOS GERADOS PELO ENSAIO DE FLEXÃO	54

1. INTRODUÇÃO

Grandes indústrias utilizam dos recursos naturais de forma a extinguir esses elementos sem se preocupar com o fim da matéria prima ou com as consequências que isso pode trazer para toda humanidade. Muito se fala na mídia sobre os impactos que isso está causando no clima e também nos possíveis danos futuramente afim de se tentar conscientizar a população a proteger e reaproveitar as riquezas que a natureza nos fornece sem nenhum custo.

Buscando contribuir com o desenvolvimento sustentável, o presente trabalho busca verificar a possibilidade de utilizar o rejeito metálico ferroso dos processos de usinagem (na forma de cavacos) do laboratório de usinagem da UTFPR, câmpus Ponta Grossa, para fabricar peças sinterizadas.

Atualmente este rejeito metálico é descartado e desta forma, caso comprove-se essa possibilidade, esse material poderia servir como matéria-prima para fabricação de novas peças, evitando o descarte inadequado, tornando-se uma matéria-prima de baixo custo ambientalmente aplicável.

A Metalurgia do Pó é provida do aquecimento de pó metálico a temperaturas abaixo do ponto de fusão do metal base para promover ligação entre as partículas sob algumas condições controladas. O aquecimento é chamado de sinterização, geralmente confere à massa de pó aglomerada as propriedades físicas e mecânicas desejadas. Dependendo das fases que ocorrem durante o processo, pode-se variar algumas características da peça final, como a resistência e acabamento por exemplo. (BRITO, MEDEIROS e LOURENÇO, 2007).

O processo da metalurgia do pó distingue-se dos convencionais, pela ausência da fase líquida ou presença apenas parcial da fase líquida durante o processamento; pela a utilização de pós-metálicos e não metálicos como matérias-primas; produção de peças com formas definitivas ou praticamente definitivas geralmente sem necessidade de operações de usinagem posteriores ou de qualquer outro tipo de acabamento; produção de componentes com características estruturais e físicas impossíveis de se obter em processos convencionais da metalurgia e obtenção de peças em grandes séries tornando o processo altamente competitivo.(CHIAVERINI, 2001).

A metalurgia do pó é um processo que também visa extremamente a economia e o desperdício de material, levando ao limite a perda de matéria prima quando se leva em comparação com ao processo de usinagem tradicional quando o extravio de material pode chegar a 50% do material.

Peças feitas a partir de técnicas de metalurgia do pó acabam tendo uma quantidade de poros, que podem ser ajustados controlando a pressão de compactação, temperatura, tempo de sinterização, forma e tamanho das partículas do pó. A porosidade vinda da metalurgia do pó, viabiliza a criação de filtros metálicos e mancais auto lubrificante, que em outros processos, são impossíveis de serem fabricados.

Em temperaturas mais altas de sinterização as propriedades mecânicas e físicas das peças sinterizadas a partir de cavacos são maiores, possibilitando a fabricação de peças. A falta de homogeneização dos cavacos influencia nas características finais da peça produzida, quanto maiores os cavacos, mais poros que ficarão abertos, assim prejudicando peças que precisam de elevada resistência à fadiga e ao desgaste.

Desta forma, ver qual a correlação entre as propriedades mecânicas de peças sinterizadas a partir de cavacos de usinagem de aço 1020 e a temperatura de sinterização.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar as propriedades mecânicas e características físicas em corpos de provas prensados e posteriormente sinterizados, visando verificar a viabilidade de utilizar cavacos de usinagem de aço SAE 1020 na fabricação de peças sinterizadas.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Descrever resultados obtidos na pesquisa sobre reaproveitamento do cavaco do aço 1020;

- Verificar em qual temperatura de sinterização o cavaco se comporta da melhor forma para a utilização nos corpos de prova.
- Mostrar as características variadas devida a mudança de temperatura de sinterização;
- Propor mudanças no projeto para que haja resultados mais satisfatórios.

1.2 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

É fundamental implementar a minimização e o gerenciamento ambiental adequado dos resíduos, com participação da sociedade na busca de soluções, visando à redução dos riscos sanitários e ambientais, à melhoria da qualidade de vida e da saúde das populações e ao desenvolvimento sustentável. (GÜNTHER, 1999).

No início dos tempos, a disposição de resíduos não representava um problema significativo pois a população era pequena e a quantidade de áreas disponíveis para a sua assimilação era grande. Os problemas com os resíduos passam a ser perceptíveis a partir do momento que os primeiros seres humanos começam a se congregarem em tribos, aldeias e cidades, e a acumulação de resíduos torna-se uma consequência da vida (TCHOBANOGLIOUS; THEISEN; VIGIL, 1993).

Todas as empresas, em diferentes graus de intensidade, geram aspectos que podem se converter em impactos ambientais. Mesmo pequenas indústrias que numa primeira análise parecem não provocar problemas ambientais podem causar sérios prejuízos caso não se tome o devido cuidado (SANTOS; YAMANAKA; PACHECO, 2005).

Até 2030, alcançará a gestão sustentável e a conscientização sobre o uso correto de recursos naturais. Até 2020, atingir o manejo correto do descarte de produtos químicos e todos os resíduos, reduzindo significativamente a liberação para o ar, água ou solo. Conscientizar empresas e pessoas sobre a importância do descarte correto de rejeitos, incentivar empresas de grandes a adotar práticas sustentáveis (AGENDA 2030, 2015).

O contexto mostra o quão é importante o planejamento, independentemente do tamanho da empresa e em conjunto com a sociedade para que haja o destino correto

dos resíduos dos processos industriais para que haja o menor impacto ambiental possível.

Esse estudo realizado possui relevância com estudo de Engenharia Mecânica, devido à possibilidade de influenciar no sistema de descarte consciente vindo dos rejeitos providos do laboratório de usinagem. Consegue-se relacionar o tema estudado com disciplinas da grade curricular como gestão ambiental e metalurgia do pó.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 METALURGIA DO PÓ: BREVE HISTÓRICO

Existem evidências que ferro metálico foi conhecido pelo homem há aproximadamente 5000 anos. A descoberta da fundição há 3000 anos, fez com que houvesse o início da produção de alguns utensílios e armamentos. Os povos mais cultos não conseguiam a temperatura de calor suficiente para fundir o metal, mas usavam técnicas aprimoradas para a época de aquecimento e forjamento, algo parecido com o processo de sinterização.

Os primeiros pós de ferro foram produzidos através de técnicas por volta de 1000 a.C. quando povos germânicos e árabes produziam espadas com uma ótima qualidade para aquele tempo. O pó era produzido a partir de ferros já corroídos quando então eram juntados, aquecidos e forjados até que todas as impurezas fossem removidas e o carbono baixo o suficiente para transformar o ferro em aço.

Com ROLL, K.H. (1993 apud GALVÃO, 2008, p.13) no início do século XIX aparecem as primeiras notícias a respeito da técnica de metalurgia do pó para a fabricação de peças a partir de metais de alto ponto de Fusão. Tratava-se especificamente da produção de platina cujo ponto de fusão é superior a 1770°C. Nesse desenvolvimento, a principal contribuição é atribuída a Wollaston que em 1829 tornou público um processo para produzir platina compacta a partir de um pó esponjoso desse metal, obtido pela transformação de um cloreto de amônio e platina. Considera-se o trabalho de Wollaston como o precursor da metalurgia do pó.

Para CHIAVERINI (2001, apud GALVÃO, 2008, p.13), o início deste século marca os mais importantes desenvolvimentos na aplicação da metalurgia do pó, pois foram então desenvolvidas técnicas de fabricação por sinterização do molibdênio e do tungstênio – metais refratários cujo ponto de fusão são, respectivamente, de 2625°C e 3410°C, tornando impossível a sua fabricação pelo método convencional. Deve-se à C. Coolidge a mais importante contribuição nesse sentido, com o desenvolvimento em 1910, do processo de fabricação de fios de tungstênio dúcteis, para emprego em lâmpadas incandescentes, a partir do pó de tungstênio.

O uso de cavacos de ferro fundido cinzento como matéria-prima barata para melhorar a economia do processo de forjamento de pós demonstrou sua viabilidade técnica. A resistência mecânica muda dependendo da utilização de simples

compactação e sinterização, forjamento e forjamento seguido de tratamento térmico. (BROWN,1972).

2.1.1 Produção de pós-metálicos

O fator básico para qualquer processo de metalurgia do pó é a matéria prima, especialmente quando se refere à uniformidade dos materiais. Devido a isso, é muito importante controlar as características que devem ser conhecidas, determinadas e ter controle com maior precisão possível.

O tamanho das partículas individuais, são uma das características mais importantes de ser conhecidas dos pós-metálicos. A distribuição granulométrica das partículas é um dado importante para um projeto de peça sinterizada. Diferentes técnicas para o alcance do pó metálico criam diferentes formas, tamanhos, distribuição e outras características dos pós, sendo indispensável o entendimento da técnica de obtenção e caracterização dos pós para conseguir um produto que atenda aos requisitos requeridos no projeto.

Hischhorn, J.S. (1969 apud GALVÃO, 2008, p.14) fala que a qualidade do pó metálico depende do processo de fabricação que será utilizado, por tanto existem vários métodos de obtenção dos pós-metálicos. Em princípio, os métodos podem ser agrupados nas seguintes classes:

- Reações químicas e decomposição;
- Atomização de metais fundidos;
- Deposição eletrolítica;
- Processamentos mecânicos de materiais sólidos

2.1.2 Processamento mecânico de materiais sólidos

O processo mecânico é aplicado em metais com alta dureza e quebradiços, também sendo usado como operação para completar às de produção de pós. Os objetivos dominantes dos processos mecânicos são para reduzir o tamanho da partícula, mudança na forma da partícula, aglomeração do pó, formação de ligas e mudanças nas propriedades, como densidade e velocidade de escoamento.

O princípio da moagem é provocar um choque entre o material desintegrado e uma massa dura, sendo o mais utilizado o moinho de bolas; consistindo em tambores rotativos contendo bolas metálicas e/ou cerâmicas resistentes ao desgaste. O material é colocado dentro do tambor com velocidade de rotação controlada para que se tenha um movimento retilíneo entre o material e as bolas (CHIAVERINI, 2001).

2.2 MISTURA E HOMOGENIZAÇÃO

A homogeneização deve garantir a uniformidade do pó para uma melhor compactação assim impedindo a segregação. A partir da homogeneização consegue-se variar a densidade aparente ou a velocidade de escoamento do pó, pois durante a operação ocorre uma redução do tamanho das partículas, um arredondamento da forma e certo amaciamento da superfície. (GALVÃO, 2008. p. 15)

Os lubrificantes mais utilizados são: ácido esteárico, estearato de zinco e lítio e ceras sintéticas. A escolha do tipo de lubrificante baseia-se, em princípio, na sua habilidade de aderir as superfícies metálicas. A quantidade a ser adicionada depende de diversos fatores, tais como composição do pó metálico, time e material do ferramental, densidade compactada e complexidade da peça a ser comprimida. Essa quantidade varia, geralmente, de 0,5% a 1,51% de peso. (CHIAVERINI, 2001)

Na mistura, se introduz uma substância lubrificante, normalmente estearatos ou ceras que possuem o mesmo objetivo, proteger os pós contra oxidação e reduzir o atrito entre as partículas e entre as partículas e o ferramental.

2.3 COMPACTAÇÃO

Sendo a primeira das operações de consolidação da metalurgia do pó, tendo como principais objetivos, acomodar o pó na forma que se deseja, confirmar as dimensões, contando que pode haver alterações na dimensão depois da sinterização, verificar adequada densidade à verde ao compactado, checar a resistência mecânica para se manusear, adequar o melhor contato entre as partículas do pó para uma sinterização eficaz.

A compactação é produzida a partir de uma pressão, salvo a restrição devido a alguns tipos de produtos como filtros metálicos, onde não se usa a pressão para se fazer a compactação. A compactação clássica, é a do tipo rígida, pressão em apenas uma direção de ação simples ou dupla. A figura 1 nos mostra como é feito o processo de compactação, onde o pó que é colocado dentro da matriz, recebe pressão exercida pelo punção superior em direção ao punção inferior.

Figura 1: Representação esquemática da operação de compactação



Fonte: CHIAVERINI (2001).

Tendo considerado a operação de compactação de matriz rígida, como sendo o mais comum, pode-se dividir a atuação dos pós quando subordinado à compressão em três estágios.

No primeiro estágio, as partículas de pó são amontoadas novamente para eliminar os vãos formados devido ao agrupamento das partículas. O segundo estágio envolve deformação plástica das partículas. A profundidade da deformação plástica depende da ductilidade do pó e de outros característicos. Existe uma relação entre a capacidade de deformação plástica do pó e sua compressibilidade. A deformação plástica é mais profunda em pós de metais dúcteis. Contudo, mesmo com esses pós dúcteis, a compressibilidade ou densidade verde pode variar muito. Outros fatos a considerar é a porosidade: pós com porosidade, ao contrário de pós que não se mostram porosos e possuem característicos de baixa compressibilidade. O terceiro estágio, as partículas de pó que ficaram frágeis devido ao encruamento dos estágios anteriores, quebram e formam fragmentos menores. (CHIAVERINI, 2001)

No geral, as aptidões das prensas mecânicas variam de 3 a 900 toneladas e os ciclos de pressão possuem controle para ser ajustados a modo a compactar até 30

peças por minuto nos tipos menores de prensas e até 15 peças nos maiores, neste caso, prensas hidráulicas.

Um detalhe a importante a se falar, é a “zona neutra”, que é a região onde a partículas de pó menos sofrem com o processo da compactação. Existem casos, onde dependendo de onde a zona neutra está, inviabiliza a produção de uma peça sinterizada. Em outros, como em uma peça esbelta, não se consegue fazer uma grande compactação em torno dessa zona, assim tornando-a inexequível.

2.4 SINTERIZAÇÃO

A etapa de sinterização é a operação fundamental da técnica da metalurgia do pó, já que é a fase final da consolidação dos pós-metálicos.

A Sinterização consiste em aquecer o pó quase alcançando a temperatura de fusão do material-base, com atmosfera controlada, da qual tem a responsabilidade de manter um equilíbrio para que se evite a perda de elementos de liga presente no compactado.

Normalmente, a temperatura especificada da sinterização é da ordem de 2/3 a 3/4 da temperatura de fusão da liga considerada. Por exemplo, no caso do ferro, a temperatura de sinterização varia de 1000°C a 1200°C, sendo, para os casos mais comuns, de 1100°C (CHIAVERINI, 2001).

O processo de sinterização é bem simples, desde que se tenha os devidos equipamentos para a etapa. Fornos, atmosfera controlada e instrumentos de medição e controle são exemplos desses equipamentos.

Porém, tendo os equipamentos certos, não garante um resultado satisfatório, várias outras variáveis afetam no resultado final, como a natureza do pó, a misturas do pó, características do compactados verdes arranjados na primeira fase de endurecimento, como porosidade, densidade e resistência a verde.

As mesclas utilizadas podem ser de apenas um metal ou de uma liga comum, tanto quanto de uma mistura de vários pós constituídos em diferentes proporções que permitem alcançar a composição final da liga. Nesse último caso, pode acontecer a fusão de componentes da liga, que é a criação da fase líquida.

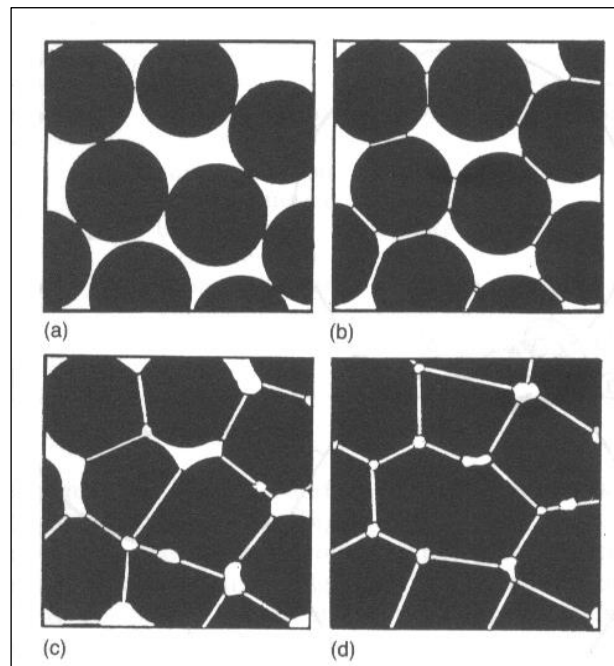
A teoria de sinterização diz que há vários fenômenos que acontecem durante o processo, esses fenômenos são divididos em etapas. A primeira, seria a ligação das

partículas com formação de pescoço. Com o aquecimento do material, há um contato entre as partículas adjacentes por causa da difusão dos átomos elevando o aparecimento de contornos de grão. Esse desenvolvimento favorece ao material, um alto grau de coesão, mas não motiva nenhuma alteração dimensional.

Na fase que intermedia essas etapas, acontece o crescimento da relação R/A (raio de pescoço e o raio da partícula), as partículas acabam perdendo sua identidade gradativamente. Nessa fase, o material sinterizado mostra duas fases contínuas: a fase sólida e rede interligada de poros. O tamanho de grão cresce acabando em uma nova partícula. Nesse período acontece a maior parte da retração.

Na última etapa, acontece o arredondamento e o isolamentos dos poros. Caso os poros conterem gases não solúveis no metal base, ele não consegue a densificação total, mas se os poros estiverem vazios ou com gases solúveis na matriz, pode ocorrer a densificação total. A figura 2 representa as etapas da sinterização, onde pode-se ver na etapa (a), as partículas soltas antes do aquecimento do processo de sinterização, seguidamente mostram-se as etapas de união das partículas até que se chega a etapa (d) que é o fim da sinterização onde as partículas estão todas unidas.

Figura 2: (a) partículas soltas de pó, (b) estágio inicial, (c) estágio intermediário, (d) estágio final



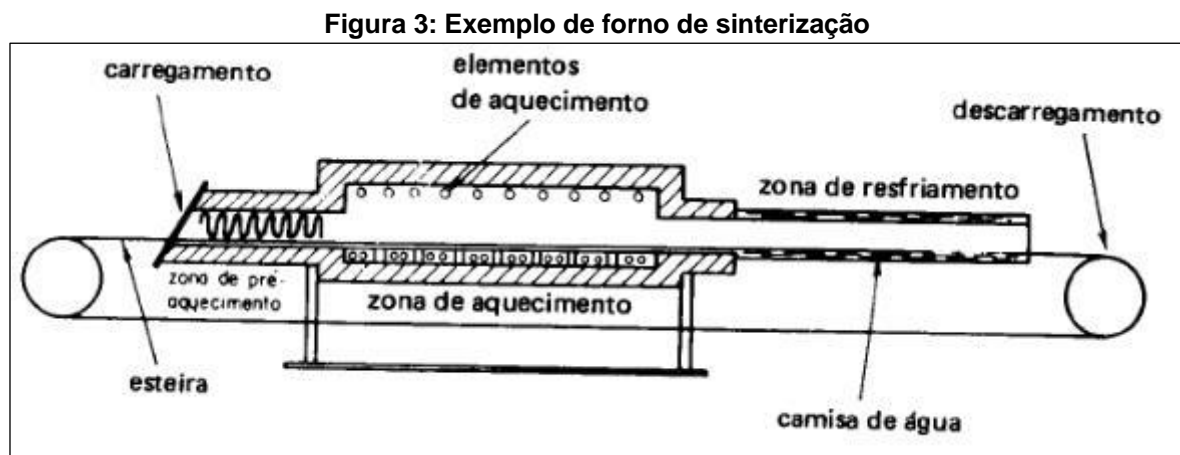
Fonte: Lee (1994).

2.4.1 Fornos de Sinterização

Os fornos de sinterização são a gás ou elétricos, por resistência ou indução. Nos fornos a resistência, os elementos de aquecimento, em fios ou barras, são de Ni-Cr para temperatura até 1150°C, de carboneto de silício (Globar) até da temperatura da ordem de 1400°C, de molibdênio ou tungstênio, até temperatura da ordem de 1550°C (neste caso, exigindo a atmosfera protetora redutora de hidrogênio).

Os fornos de sinterização trabalham geralmente com atmosfera protetora para bloquear a oxidação das peças e reduzir os eventuais óxidos contidos nos pós e que poderiam lesar o grau de sinterização.

Pode-se ver na figura 3 um exemplo de forno de sinterização contínuo, sendo possível visualizar a área de carregando do forno, onde se introduz o material que sofrerá o processo, zona de pré-aquecimento e zona de aquecimento, onde se eleva a temperatura do forno para que haja a sinterização. A zona de resfriamento é onde se espera o material diminuir a sua temperatura até que se chegue a temperatura ambiente.



Fonte: MORO N., AURAS A. P. (2007).

2.5 OPERAÇÕES SECUNDÁRIAS

A forma geométrica da peça, da liga e a densidade podem influenciar na deformação dela durante a sinterização. Em casos que a deformação passa de um

certo limite, existe a necessidade de se fazer uma operação posterior a sinterização afim de garantir rugosidade e tolerâncias de medidas pré-estabelecidas.

2.5.1 Recompressão

A recompressão é um procedimento bem parecido com a compressão, porém, ao invés do pó que seria compactado antes do processo de sinterização, será feito a compactação de uma peça já sinterizada.

2.5.2 Infiltração

A infiltração é uma ação que irá fazer os poros da peça se fecharem, parcial ou totalmente, de um esqueleto com média ou pequena densidade com um metal ou liga do ponto de fusão menor.

A operação mais utilizada, usa uma pastilha compactada do metal que irá ser infiltrado em contato com o esqueleto que foi pré-sinterizado e elevando a temperatura acima do ponto de fusão do material infiltrante e abaixo do ponto de fusão do esqueleto. O material infiltrante irá se fundir e este assim preenchendo os espaços abertos deixado pelo processo de sinterização.

Infiltração dos metais tem como efeito à melhora das propriedades mecânicas, resistência à corrosão e usinabilidade, e também como pré-tratamento para acabamento superficial como cromação, niquelação, e galvanização e tem como efeitos negativos a grande variação dimensional e custo elevado devido à compactação do infiltrante e alguns casos da ponte de ligação e do esqueleto.

Algumas condições fundamentais para que o processo de infiltração seja possível:

- Temperatura de fusão do esqueleto mais alta do que a do infiltrante, para que o esqueleto se mantenha rígido durante o processo.

- A solubilidade mútua deve ser limitada, para que o infiltrante flua para os poros e não seja totalmente absorvido. Não deve reagir mutuamente para evitar formação de nova fase que obstrua a infiltração.

- Boa maleabilidade, para penetração uniforme nos poros.

Os metais mais usados como infiltrante da metalurgia do pó são: o tálio, chumbo, estanho, mercúrio e cobre este último mais usado. Outra técnica usada na infiltração é mergulhar um compactado sinterizado, porém poroso, num material infiltrante liquefeito.

A infiltração metálica é usada principalmente para aumentar a densidade e também utilizada para aumentar a produção de contatos elétricos de W-Cu, W-Ag, ou Mo-Cu e Mo-Ag.

2.6 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO USO DA SINTERIZAÇÃO

2.6.1 Vantagens

- Forma mais eficiente de utilizar a matéria prima;
- Diminuição do consumo de energia e tempo;
- Processo limpo e com alto índice de segurança;
- Baixo custo de produção de peças novas;
- Alta produtividade;
- Produção de componentes impossíveis de serem fabricados por outra técnica;
- Controle de características microestruturais especiais e requeridas. (BONATO, M. M., 2003).

2.6.2 Desvantagens

A presença da porosidade pode implicar na resistência a fadiga e ao desgaste de peças e o custo alto para produção de pós com certas necessidades de características. (BONATO, M. M., 2003).

2.7 AÇOS: HISTÓRIA

A fabricação de ferro, começou na Anatólia, cerca de 2000 a.C., sendo a idade do ferro plenamente definida por volta de 100 a.C. Durante esse período, a tecnologia da fabricação do ferro difundiu-se pelo mundo. Por volta de 500 a.C., chegou às fronteiras Orientais da Europa e por volta de 400 a.C chegou à China.

A forma de produção era em pequenos fornos na forma de torrões ou pedaços sólidos, denominados tarugos. Estes, em seguida, eram forjados à quente na forma de barras de ferro trabalhado, possuindo maleabilidade, e contendo, pedaços de escória e carvão. O teor de carbono dos primeiros aços fabricados variava de 0,07% até 0,8%, sendo este último considerado um aço de verdade. (BAUER, 1985)

Os egípcios por volta de 900 a.C. já dominavam processos relativos a tratamentos térmicos nos aços para fabricação de espadas e facas. Quando o teor de carbono supera 0,3%, o material torna-se muito duro e frágil, caso seja temperado (resfriado bruscamente em água) de uma temperatura acima de 850°C a 900°C. Em seguida era utilizado o tratamento denominado revenido que consistia em diminuir a fragilidade, minimizando-a por reaquecimento do aço a uma temperatura entre 350°C e 500°C. (PETRUCCI, 1975)

Os chineses produziam aços tratados termicamente por volta de 200 a.C., japoneses aprenderam a trabalhar com a produção de artefatos em metal com os chineses, embora tenham ajudado a difundir as técnicas e tecnologia da fabricação de aços, aumentando muito criação de ferro trabalhado no mundo romano.

Quando o Império Romano caiu, a produção de aço lapidado firmou na Europa e no século XV, começaram a usar quedas de água para soprar ar nos fornos de fusão e assim os fornos, começaram a atingir temperaturas acima de 1200°C. Como consequência, passaram a produzir um líquido rico em carbono que se conhece por ferro fundido. Para redução de carbono do ferro fundido, esse líquido era solidificado e fundido em atmosfera oxidante, utilizando carvão como principal combustível. Depois que o material era resfriado, usava-se de marteladas para conseguir a chegar a forma desejada. (BAUER, 1985)

2.7.1. Os minérios e o Brasil

A vinda dos portugueses ao Brasil, trouxe a esperança da exploração de metais como ouro e prata, mas não encontravam, nem ferro nem qualquer outro metal em um primeiro momento. Os primeiros ferreiros que chegavam ao Brasil, usavam em seus serviços, o ferro vindo da Europa ao qual transformavam em ferramentas para ser utilizadas na lavoura.

Em 1554, o padre jesuíta José de Anchieta, relatou em um informe ao rei de Portugal a existência de depósitos de prata e minério de ferro no interior da Capitania de São Vicente, atualmente estado de São Paulo. A produção de ferro iniciou pela redução de magnetita descoberta na atual região de Sorocaba, em 1587, por Afonso Sardinha. É a primeira fábrica de ferro que se tem notícia no Brasil. As forjas construídas por Sardinha operaram até a sua morte, em 1629. Após essa data, a siderurgia brasileira entrou em um período de estagnação que durou até o século seguinte. (PETRUCCI, 1975)

2.8 DEFINIÇÃO DE AÇO

Os aços são ligas ferro-carbono que podem conter concentrações apreciáveis de outros elementos de ligas. Existem ligas que possuem diferentes composições e tratamento térmico. As propriedades mecânicas são sensíveis ao teor de carbono normalmente inferior a 1%. (CALLISTER, 2002)

Aço é um material metálico, utilizado para fazer peças e ferramentas como por exemplo, engrenagens, eixos, parafusos, rolamento, etc. Possui uma grande aplicação na indústria, pois tem um baixo custo de obtenção, junto com à grande flexibilidade de propriedades que podem ser obtidos a partir de tratamentos térmicos e mudança a composição química. Sendo esse um dos principais motivos para que o aço seja o elemento mais consumido no mundo, é por ser utilizado na fabricação de aços e também dos ferros fundidos.

Os aços-carbonos, possuem uma composição com quantidades limitadas dos elementos Carbono, Manganês, Silício, Enxofre, Cobre e Fosforo. Outros elementos aparecem apenas em quantidades de resíduos.

A quantidade de carbono mostra qual a sua classificação, o aço com baixo carbono possui no máximo 0,30% de Carbono, o médio possui entre 0,30% e 0,60% de Carbono e o alto carbono, possui de 0,60% a 1,00%.

2.8.1 Classificação do aço

Em geral, os aços são classificados em Grau, Tipo e Classe. O grau, geralmente identifica a faixa de composição do aço, o tipo, mostra o processo de

desoxidação utilizado e a classe, é usada para descrever outros atributos, como nível de resistência e acabamento que se tem na superfície.

A designação do Grau, Tipo e Classe utilizam uma letra, número, símbolo ou nome. Existem vários sistemas de designação para os Aços, como o *Society of Automotive Engineers (SAE)*, *American Iron and Steel Institute (AISI)*, *American Society Testing and Materials (ASTM)* e Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). A normalização unificada vem sendo utilizada com frequência cada vez maior, e é designada pela sigla UNS (*Unified Numbering System*). O sistema de classificação mais adotado na prática é o SAE-AISI. Nele, o Aço carbono utiliza o grupo 1XXX, e é classificado de acordo com a tabela 1.

Tabela 1: Classificação de aços ao carbono e aços baixa-liga pela norma ABNT.

ABNT ou AISI	TIPO DE AÇO
C10XX	Aços-ao-carbono
C11XX	Aços de usinagem fácil (com alto teor de S)
C12XX	Aços de usinagem fácil (com altos teores de P e S)
13XX	Aços ao Mn (de 1,5 a 2,0% Mn)
23XX	Aços ao Ni (de 3,25 a 3,75% Ni)
25XX	Aços ao Ni (de 4,75 a 5,25% Ni)
31XX	Aços ao Ni-Cr (1,10-1,40% Ni e 0,55-0,90% Cr)
E33XX	Aços ao Ni-Mo (3,25-3,75% Ni e 1,40-1,75%Cr)
40XX	Aços ao Mo (0,20-0,30% Mo)
41XX	Aços ao Cr-Mo (0,40-1,20% Cr e 0,08-0,25%Mo)
43XX	Aços ao Ni-Cr-Mo (1,6-2,0% Ni; 0,4-0,9% Cr; 0,2-0,3% Mo)
46XX	Aços ao Ni-Mo (1,40-2,00%Ni e 0,15-0,30% Mo)
48XX	Aços ao Ni-Mo (3,25-3,75% Ni e 0,20-0,30% Mo)
50XX	Aços ao Cr (0,27-0,50% Cr)
51XX	Aços ao Cr (0,70-1,20% Cr)
61XX	Aços ao Cr-V (0,70-1,10% Cr e 0,10%V)
86XX	Aços Ni-Cr-Mo (0,2-0,4% Ni; 0,3-0,5% Cr; 0,08-0,15% Mo)
87XX	Aços Ni-Cr-Mo (0,4-0,7% Ni; 0,4-0,6% Cr; 0,2-0,3 %Mo)
92XX	Aços ao Mn-Si (1,4-2,0 %Si e 0,60-0,90% Mn e 0-0,7% Cr)
XXBXX	Aços ao B contendo 0,0005-0,003% B (Ex.: aço 10BXX = aço-ao-carbono com B; aço 50BXX = aço ao Cr com B)

Fonte: BRUNATTO (2016).

Os aços que tem requisitos de temperabilidade adicionais, ganham a adição de um H após a sua classificação. Os últimos dois dígitos, representados pelo XX, representam o conteúdo de carbono do aço.

2.8.2 Aço 1020

Aços de baixo carbono são utilizados em componentes estruturais onde não se levam em conta as propriedades mecânicas do material, visto que para os aços de especificação SAE, a norma apenas confirma a composição química.

Dentro os tipos de aços, os de baixo teor de carbono são os que tem maior produção. No geral, abrangem cerca de 0,25% de carbono e não possuem resposta a tratamentos térmicos objetivados pela forma martensita. A resistência mecânica é conquistada através de trabalho a frio. As microestruturas são formadas de perlita e ferrita, ajustando a essas ligas, uma ductilidade e tenacidade excepcionais. O aço 1020, caracteriza-se por se um aço com boa soldabilidade, forjabilidade, baixa resistência mecânica e usinabilidade.

Na tabela 2 nota-se a composição do aço SAE 1020, mostra o C como a porcentagem de carbono presente no material, Mn a concentração de Manganês, $P_{m\acute{a}x}$ como quantidade máxima de fósforo e $S_{m\acute{a}x}$ sendo a porção máxima de enxofre.

Tabela 2: Composição química (%) do Aço SAE 1020.

ABNT/SAE/AISI	C	Mn	$P_{m\acute{a}x}$	$S_{m\acute{a}x}$
1020	0,18 - 0,23	0,30 - 0,60	0,040	0,050

Fonte: Catálogo Gerdau (2003).

O material retirado do tarugo durante o processo de usinagem, chama-se cavaco. Sua classificação depende das condições de corte a suas características, podendo considerar dois atributos específicos para o cavaco como o tipo e a forma. Na usinagem do aço, o material retirado, é longe e contínuo, visto que esse material contém uma grande resistência a tração e maior tenacidade.

2.9 RECICLAGEM DOS METAIS

A metalurgia e a reciclagem misturam ao longo dos tempos, pois os descartes, são geralmente as matérias primas mais cabíveis na fundição, não tendo também perdas de qualidade no processo. Os metais são 100% recicláveis, na fabricação de mil quilos de alumínio, são necessárias cinco toneladas de bauxita. A reciclagem de

uma tonelada de sucata de alumínio, evita o uso de cinco toneladas de bauxita em um recurso natural não-renovável por exemplo.

São economizados 1,140kg de minério de ferro, 154kg de carvão e 18kg de cal para cada tonelada de aço reciclado. Já para o alumínio, a economia é de 95% em relação se fosse feito o processo primário, economizando a retirada de 5 toneladas de bauxita por tonelada reciclada, sem contar toda a lama vermelha (resíduo de mineração) que se evita de ser depositado no ambiente (GALVÃO, 2008).

Normalmente os metais ferros são orientados para as usinas de fundição, onde o descarte é colocado em fornos elétricos ou a oxigênio, aquecidos a 1550°C. Após atingir o ponto de fusão e se tornar líquido, o material é modelado em tarugos e placas metálicas, que por fim, serão cortados na forma de chapas de aço. O descarte leva apenas um dia para ser reaproveitado e transformado novamente em laminas de aço usados em muitos setores industriais, das montadoras de automóveis às fabricas de latas em conserva.

Pode-se ver que os benefícios do reaproveitamento de metais são:

- Economia de minérios;
- Economia de energia;
- Economia de água;
- Aumento da vida útil dos lixões;
- Diminuição das áreas degradadas pela extração do minério;
- Diminuição da poluição.

2.10 DENSIDADE APARENTE

O princípio de Arquimedes diz que a densidade aparente é a resposta de um fluido à presença de um corpo presente nele. A teria diz que “Todo corpo total ou parcialmente imerso em um fluido em equilíbrio, na presença de um campo gravitacional, fica sob ação de uma força vertical ascendente aplicada pelo fluido; esta força é denominada empuxo (E) e sua intensidade é igual ao peso do fluido deslocado pelo corpo”.

Então, quando um corpo estiver totalmente submerso, experimentará a diminuição aparente de seu peso, de modo que:

$$E = P_s - P_i$$

Equação 01

Onde:

 P_s : peso do corpo seco P_i : peso imerso E : empuxo

Então:

$$m_f \cdot g = m_s \cdot g - m_i \cdot g$$

Equação 02

$$m_f = (m_s - m_i)$$

Equação 03

E densidade do fluido é:

$$\rho_f = \frac{m_f}{V_f}$$

Equação 04

Portanto:

$$(m_s - m_i) = \rho_f \cdot V_f$$

Equação 05

Como o volume do fluido deslocado é igual ao volume do corpo:

$$V_f = V_c = \frac{m_s}{\rho_c}$$

Equação 06

Tem-se:

$$(m_s - m_i) = \rho_f \cdot V_f = \rho_f * \frac{m_s}{\rho_c}$$

Equação 07

Finalmente:

$$\rho_c = \frac{m_s}{(m_s - m_i)} * \rho_f$$

Equação 08

Onde:

ρ_c = densidade aparente

m_s = massa seca

m_i = massa imersa

ρ_f = densidade do fluido

2.11 POROSIDADE

Porosidade aparente é mostrada como sendo o percentual volumétrico de porosidade aberta no interior da amostra. É calculada segundo a expressão mostrada a seguir:

$$Pa = 100 * \frac{(mu - ma)}{(mu - mi)}$$

Equação 09

Onde:

m_i : massa da amostra quando imersa em água (g)

mu : massa da amostra úmida depois de imersa (g)

ma : massa da amostra seca (g)

Pa : porosidade aparente (%)

3. METODOLOGIA

3.1 APLICAÇÃO DA PESQUISA

O estudo foi realizado no laboratório de usinagem e no laboratório de ensaios mecânicos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Ponta Grossa, que se situa na rua Avenida Monteiro Lobato, s/n no bairro Jardim Carvalho.

A matéria prima foi coletada no laboratório de usinagem, os ensaios para caracterização do material sinterizado foram realizados no laboratório de ensaios destrutivos, e o material foi sinterizado no forno disponível no laboratório de metalografia, sendo todos os laboratórios e equipamentos do Departamento de Mecânica (DAMEC-PG) do campus Ponta Grossa da UTFPR.

Houve um grande comprometimento da parte dos professores e funcionário da instituição onde foram encontrados todo o conhecimentos e metodologias necessárias para o desenvolvimento do projeto.

3.2 PROCEDIMENTO PARA COLETA E PREPARAÇÃO DA MATÉRIA PRIMA

Primeiramente, foi feito um levantamento de referências bibliográficas utilizando a biblioteca que há na Universidade e a internet para aprofundar conhecimentos na área de metalurgia do pó afim de saber como deveria ser feita toda a metodologia da pesquisa, definindo o rumo a se traçar. Foi-se então atrás da matéria-prima necessária para o desenvolvimento do estudo.

A maneira escolhida para a coleta da matéria-prima para o estudo foi: deixar um recipiente em um ponto de coleta para os cavacos devidamente etiquetado no laboratório de usinagem do DAMEC-PG, para que se consiga, com a ajuda de professores e demais alunos, guardar o máximo de cavaco do aço 1020 que seriam descartados.

Vê-se na figura 4 o recipiente utilizado no ponto de coleta de matéria-prima para o desenvolvimento do trabalho.

Figura 4: Recipiente de coleta de cavacos de aço 1020, utilizado no laboratório de usinagem do DAMEC-PG.



Fonte: Autoria Própria (2018).

Recolheu-se todos os cavacos, os mesmos foram lavados e peneirados utilizando água corrente, detergente, álcool etílico absoluto e uma peneira como percebe-se na figura 5.

Essa lavagem teve como objetivo principal retirar resíduos do fluido de corte utilizado na usinagem, para que durante a sinterização, esses resíduos não fossem carbonizados e assim evitando a liberação de odores e resíduos na forma gasosa e também para que não houvesse corrosão nos corpos de prova durante a sinterização.

Da mesma forma, essa etapa foi fundamental para a seleção dos cavacos onde consegue-se descartar as impurezas, como poeira, presentes nos cavacos.

Figura 5: Lavagem a separação de cavaco



Fonte: Aatoria Própria (2018).

Secou-se os cavacos e aleatoriamente mediu-se 150 cavacos, percebe-se na Figura 6 como foi obtida as medidas dos cavacos. A medição foi realizada com o objetivo de caracterizar a amostra de cavacos quanto ao comprimento.

Figura 6: Medição de cavacos



Fonte: Aatoria Própria (2018).

Para a produção dos corpos de prova, utilizou-se um molde padrão, oferecido pela Universidade com dimensões vazadas de 10,5mm de largura por 80mm de comprimento, como nota-se na figura 7.

Figura 7: Molde metálico utilizado na compactação



Fonte: Autoria Própria (2018).

Foram selecionados aleatoriamente os cavacos e colocados dentro do molde padrão, então levou-se o molde à prensa onde foram compactados com uma força de 8 toneladas força (8.000kgf).

Observa-se na figura 8 a prensa utilizada e o molde posicionado para ser prensado.

Figura 8: Prensa utilizada para compactação dos cavacos



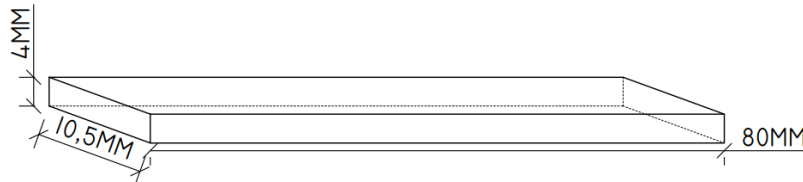
Fonte: Autoria Própria (2018).

Foram feitos 45 corpos de provas com o material recolhido do laboratório de usinagem. Sendo selecionados visualmente apenas 30 corpos de prova. Realizando-

se a seleção pelo aspecto visual, resistência mecânica aparente e pela forma e distribuição dos cavacos no corpo de prova.

Os corpos de prova foram prensados em um molde vazado com formato retangular, produzindo corpos de prova com as dimensões mostradas da Figura 9.

Figura 9: Dimensões dos corpos de prova.



Fonte: Autoria Própria (2018).

Como os corpos de prova foram prensados com carga de 8000kgf, e sendo a área prensada de 10,5mm por 80mm, tem-se:

$$A = L * C \quad \text{Equação 10}$$

$$A = 10,5 * 80 = 840mm^2$$

E como:

$$1kgf = 9,81 N$$

Tem-se:

$$8.000kgf * 9,81 = 78.480N$$

Portanto, a pressão exercida para compactação dos corpos de prova, foi de:

$$P = \frac{F}{A} \quad \text{Equação 11}$$

$$P = \frac{78.480N}{(10,5 * 80)mm^2}$$

$$P = 93,42 \frac{N}{mm^2} \quad \text{ou} \quad 93,42MPa$$

A pressão foi a mesma para todos os corpos de prova, porém ocorreu uma grande variação de tamanho e forma dos cavacos, e, portanto, nem todos os corpos de prova ficaram com o mesmo aspecto final. Sendo então a pressão de 93,42MPa

apenas uma referência para futuros trabalhos comparativos ou para possíveis alterações na metodologia de futuros trabalhos.

A sinterização foi o próximo passo dado para a continuação do trabalho. Optou-se por realizar a sinterização em 3 temperaturas diferentes, sendo 800°C, 1000° e 1200°C, gerando assim 3 lotes de peças sinterizadas.

Para o primeiro lote, colocou-se 10 unidades dos corpos de prova no forno com temperatura e atmosfera controlada, e elevou-se a temperatura com uma taxa de aquecimento de 20°C/min até que o forno aquecesse a temperatura de 800°C. Manteve-se os corpos de prova no forno por um tempo de 60 minutos para que houvesse tempo para ocorrer a sinterização e microfusão das partículas do cavaco. O gás utilizado em atmosfera protetora foi o Argônio com 5% de hidrogênio. Observa-se na figura 10 o forno com uma temperatura interna de 800°C

Figura 10: Forno com uma temperatura interna de 800°C



Fonte: Autoria Própria (2018).

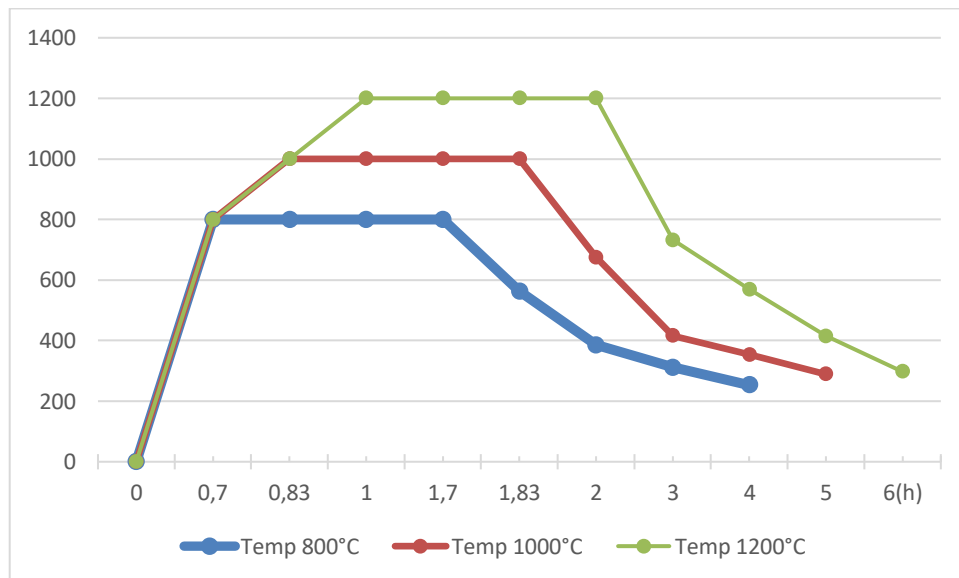
Depois de terminar o primeiro ciclo de sinterização, foram retirados os corpos de prova já sinterizados e colocados para resfriamento.

Enquanto os primeiros corpos de provas eram resfriados à temperatura ambiente, foi colocado mais uma remessa de mais 10 corpos de prova no forno para sinterizar a uma temperatura de 1000°C, mantidos a essa temperatura, também, por 60 minutos como no primeiro lote. Ao fim desse ciclo de aquecimento e resfriamento,

os corpos de provas foram retirados do forno e deixados resfriando à temperatura ambiente.

Para o terceiro lote de amostras, os corpos de provas foram sinterizados à temperatura de 1200°C, permanecendo por 60 minutos. Ao fim do período de sinterização, foi feito o mesmo procedimento para resfriamento como nos outros corpos de prova, isto é, resfriamento à temperatura ambiente. Com a Figura 11, vê-se o ciclo de aquecimento e resfriamento para os 3 lotes.

Figura 11: Ciclos de Aquecimento e resfriamento utilizados na sinterização dos 3 lotes de corpos de prova.



Fonte: Autoria Própria (2018).

3.3 ENSAIO DE FLEXÃO

Para descobrir o quão influencia a temperatura de sinterização em relação flexão, realizou-se um ensaio de flexão nos corpos de prova.

A máquina utilizada para realizar esse ensaio foi a EMIC DL10000, que está localizada no laboratório de ensaios destrutivos na UTFPR, campus Ponta Grossa, onde se colocou um corpo de prova por vez entre os apoios da máquina, que estavam posicionados a 40mm de distância um do outro, e através de fusos de esferas recirculantes que garantem uma velocidade constante, a máquina agiu sobre o corpo de prova fazendo pressão para ver quanto de força era necessário para quebra-lo.

O software utilizado para coleta de dados, foi o TESC VERSÃO 3.04, onde se inseriu a largura e altura dos corpos de prova e a distância entre apoios da máquina, para que o programa gerasse um gráfico levando em consideração tensão e a deformação.

Na figura 12 vê-se o corpo de prova recebendo a força aplicada pelos fusos como foi realizado os ensaios logo após houve a ruptura do corpo de prova.

Figura 12: Ensaio de Flexão



Fonte: Autoria Própria (2018).

3.4 MEDIÇÃO DAS MASSAS

Depois de finalizar o ensaio destrutivo, com os corpos de prova fraturados, mediu-se as massas seca, imersa na água e úmida, para posterior cálculo da densidade aparente e da porosidade.

Utilizando uma balança de precisão da marca Shimadzu modelo AUX220 que possui precisão de 1 miligrama, foram medidas as massas de cada um dos corpos de prova. Sendo esta massa nomeada como **massa seca**. A figura 13 apresenta a balança utilizada para a medição das massas dos corpos de prova.

Figura 13: Balança de precisão utilizada para medição das massas dos corpos de provas.

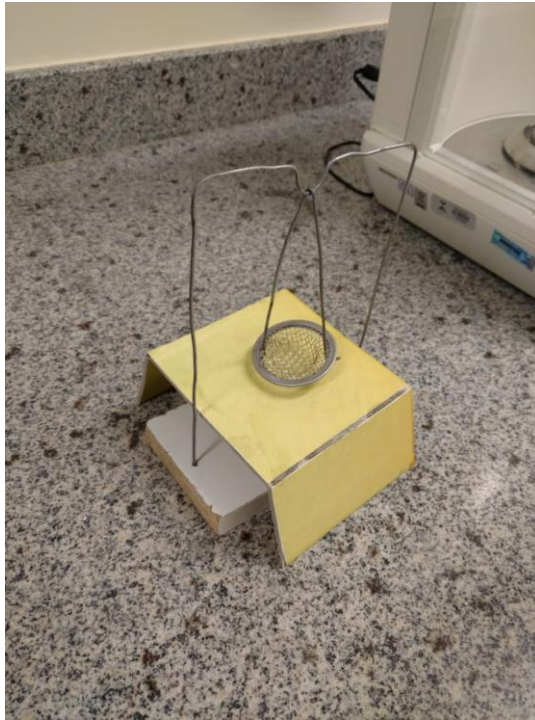


Fonte: Aatoria Própria (2018).

Em seguida, foram medidas as massas imersas para cada corpo de prova utilizando-se do aparato de Arquimedes. Os corpos de provas foram deixados por 2 horas submerso para que a água penetrasse em todos os poros antes da medição.

Com a Figura 14 observamos o aparato utilizado para medir as massas dos corpos de provas dentro da água. Na Figura 15 pode-se ver o aparato completo montado sobre a balança.

Figura 14: Esquema de Arquimedes para medição de massas imersas



Fonte: Autoria Própria (2018).

Figura 15: Esquema de Arquimedes montado para pesagem do corpo de prova imerso



Fonte: Autoria Própria (2018).

Posteriormente, secou-se os corpos de prova e mediu-se os valores das massas úmidas, assim buscando determinar o quanto de água ficou retida dentro do corpo de prova.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os tamanhos dos cavacos medidos antes da compactação podem ser vistos na tabela 3.

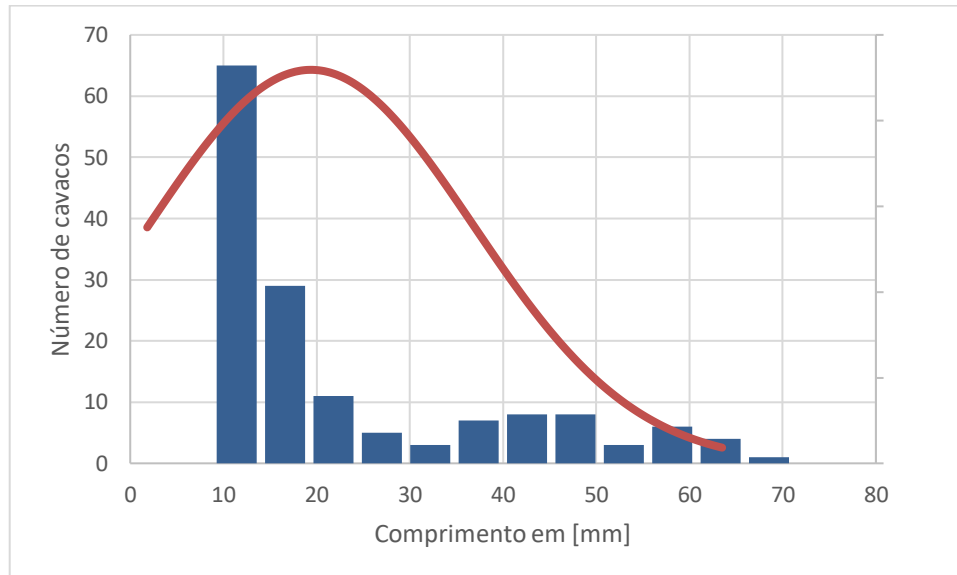
Tabela 3: Tamanho dos cavacos

Cavacos	Medidas (mm)	Cavacos	Medidas (mm)	Cavacos	Medidas (mm)
1	61,3	51	43,5	101	4,6
2	40,8	52	46,5	102	6,5
3	12,5	53	48,3	103	7,8
4	4,59	54	15,7	104	12,3
5	45,6	55	2,9	105	15,8
6	10,6	56	57,3	106	16,9
7	12,3	57	19,3	107	14,2
8	15,9	58	40,1	108	5,8
9	47,5	59	26,5	109	9,3
10	25,6	60	3,7	110	4,7
11	41,5	61	36,4	111	8,5
12	57,3	62	3,5	112	6,9
13	4,5	63	32,6	113	15,9
14	4,8	64	26,5	114	41,3
15	3,2	65	57,3	115	9,6
16	1,5	66	45,9	116	8,9
17	2,9	67	47,8	117	9,9
18	3,6	68	21,5	118	5,9
19	14,6	69	32,2	119	12,3
20	31,7	70	41,2	120	14,9
21	47,5	71	63,5	121	16,8
22	3,2	72	58,7	122	5,6
23	15,9	73	48,2	123	1,2
24	2,9	74	1,9	124	1,7
25	14,6	75	1,8	125	3,6
26	15,8	76	7,5	126	19,5
27	47,6	77	6,8	127	16,2
28	6,8	78	12,6	128	13,6
29	40,1	79	7,2	129	3,6
30	12,7	80	25	130	3,4
31	36,5	81	2,9	131	2,9
32	3,5	82	40,2	132	16,5
33	4,9	83	7,8	133	4,5
34	3,7	84	9,6	134	18,7
35	12,6	85	10,3	135	14,9
36	58,6	86	15,2	136	6,5
37	54,2	87	9,2	137	5,7
38	15,7	88	16,9	138	14,6
39	18,9	89	9,5	139	21,3
40	19,3	90	18,6	140	6,5
41	36,8	91	47,6	141	4,8
42	54,2	92	39,6	142	5,7
43	26,5	93	54,6	143	12,5
44	58,3	94	31,2	144	3,6
45	36,4	95	8,6	145	4,7
46	1,9	96	7,9	146	5,7
47	2,5	97	12,5	147	14,6
48	3,4	98	6,2	148	12,7
49	30,5	99	3,2	149	14,2
50	36,8	100	1,6	150	1,6

Fonte: Autoria Própria (2018).

Com as medidas dos cavacos obteve-se o histograma de distribuição de comprimento dos cavacos, demonstrado na figura 16. Onde pode-se notar que a grande parte dos cavacos possui tamanho entre 10 milímetros e 20 milímetros.

Figura 16: Histograma de distribuição de comprimento dos cavacos em [mm].



Fonte: Autoria Própria (2018).

Após a compactação e sinterização dos corpos de prova, os resultados obtidos de caracterização do material sinterizado foram os dados relacionados ao cálculo da densidade aparente.

Com as tabelas 4, 5 e 6 observa-se os valores: das **massas secas**, **massas imersas** e **massas úmidas** para cada um dos corpos de provas, para as temperaturas de 800°C, 1000°C e 1200°C, respectivamente.

Tabela 4: Massas dos corpos de provas sinterizados a 800°C

Corpo de prova	Massa seca (g)	Massa imersa (g)	Massa úmida (g)
1	4,3238	3,6666	4,7955
2	3,707	2,6136	4,5258
3	7,2821	6,2382	8,0445
4	9,1256	7,8193	10,0427
5	7,7148	6,0121	8,8953
6	7,3563	6,9698	7,62
7	8,3065	5,73	9,3943
8	6,6804	5,2527	6,8039
9	6,2443	5,6361	7,3302
10	6,6546	6,2791	8,499
Média das massas	6,7395	5,6218	7,5951
Desvio Padrão	1,669	1,514	1,822

Fonte: Autoria Própria (2018).

Tabela 5: Massa dos corpos de prova sinterizados a temperatura de 1000°C

Corpo de prova	Massa seca (g)	Massa imersa (g)	Massa úmida (g)
1	4,6696	3,967	5,1388
2	8,0482	6,8786	8,855
3	6,3107	5,3191	6,7181
4	3,5066	3,0064	3,7093
5	4,8644	4,136	5,3172
6	4,844	4,136	5,2908
7	8,2252	7,0922	8,8895
8	4,4935	3,8659	4,8843
9	6,1318	5,2644	7,0161
10	10,004	8,3973	11,0183
Média das massas	6,1098	5,20629	6,68374
Desvio Padrão	2,056	1,733	2,279

Fonte: Autoria Própria (2018).

Tabela 6: Massa dos corpos de prova sinterizados a temperatura de 1200°C

Corpo de prova	Massa seca (g)	Massa imersa (g)	Massa úmida (g)
1	10,4071	8,8554	11,6041
2	5,27	4,4914	5,7054
3	3,19	2,6855	3,4298
4	9,814	8,4021	10,885
5	10,61	9,1203	11,9613
6	8,1236	7,0276	9,3851
7	11,456	9,7976	12,8186
8	5,9606	5,1256	6,647
9	8,19	5,9904	9,5605
10	11,7313	10,0488	13,3255
Média das massas	8,47526	7,15447	9,53223
Desvio Padrão	2,873	2,500	3,290

Fonte: Autoria própria (2018).

4.1 CÁLCULO DE DENSIDADE APARENTE

Levando em consideração a Equação 08 que fornece o valor da densidade aparente, tem-se a tabela 7 com os valores de densidade aparente para temperaturas de 800°C, 1000°C e 1200°C.

Tabela 7: Densidade aparente dos corpos de provas

Temperatura de Sinterização	800°C	1000°C	1200°C
Corpo de Prova 1	6,567	6,634	6,695
Corpo de Prova 2	3,384	6,869	6,756
Corpo de Prova 3	6,963	6,353	6,312

Corpo de Prova 4	6,973	6,998	6,938
Corpo de Prova 5	4,523	6,666	7,109
Corpo de Prova 6	18,999	6,829	7,399
Corpo de Prova 7	3,218	7,247	6,895
Corpo de Prova 8	4,671	7,147	7,126
Corpo de Prova 9	10,248	7,056	3,717
Corpo de Prova 10	17,69	6,215	6,96
Média de densidade	8,324	6,801	6,591
Desvio Padrão	5,68	0,336	1,051

Fonte: Autoria Própria (2018).

4.2 CALCULO DA POROSIDADE

Para saber os valores da porosidade das amostras, utilizou-se a Equação 09. Os cálculos foram feitos no software Excel 2013.

Os valores das porosidades para os corpos de provas sinterizados a 800°C, 1000°C e 1200°C podem ser vistos na tabela 8.

Tabela 8: Porosidade dos corpos de provas sinterizados.

Temperatura de sinterização	800°C	1000°C	1200°C
Corpo de Prova 1	41,784	40,041	43,548
Corpo de Prova 2	42,82	40,822	35,865
Corpo de Prova 3	42,208	29,121	32,218
Corpo de Prova 4	41,248	28,838	43,135
Corpo de Prova 5	40,944	38,334	47,564
Corpo de Prova 6	40,557	38,691	53,51
Corpo de Prova 7	29,686	36,961	45,104
Corpo de Prova 8	7,962	38,374	45,116
Corpo de Prova 9	64,099	50,482	38,388
Corpo de Prova 10	83,085	38,699	48,653
Média de Porosidade	43,439	38,036	43,31
Desvio Padrão	19,637	6,083	6,324

Fonte: Autoria Própria (2018).

Percebeu-se com tabela apresentada que houve uma variação nos valores de densidade aparente e porosidade.

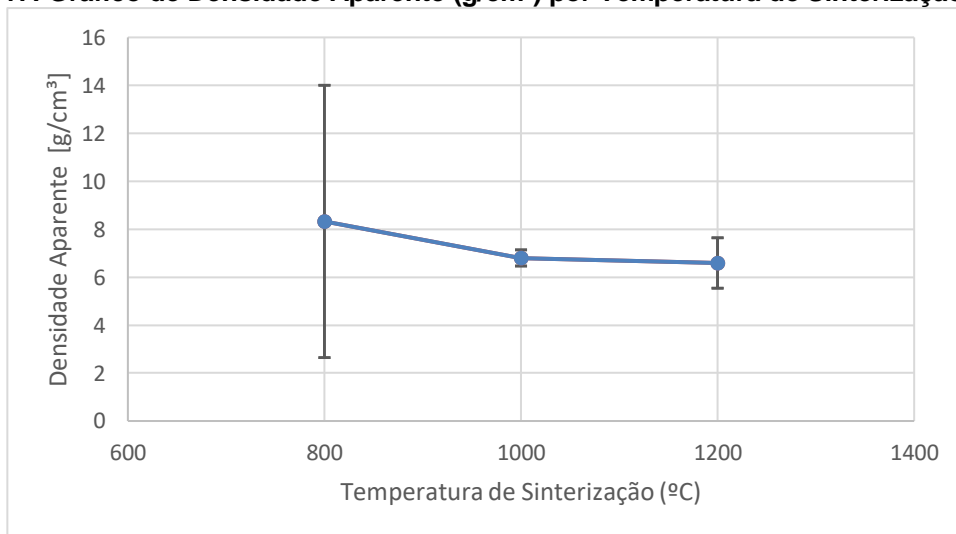
Comparando os corpos de prova sinterizados a 800°C e os corpos de provas sinterizados a 1000°C, percebe-se que houve uma diminuição no valor da densidade aparente e na porosidade quando se aumenta a temperatura do forno. Já adicionando a comparação os corpos de provas aquecidos até a temperatura de 1200°C, observa-

se que a densidade aparente continua em uma curva decrescente, porém com uma variação menor, esses dados são mostrados e apresentados na figura 17.

A figura 18 representa a variação de porosidade, quando se compara os corpos de prova sinterizados em diferentes temperaturas, a porosidade a 1200°C se mostra superior as a temperatura de 1000°C, porém quando comparado com os corpos de prova sinterizados a 800°C, praticamente os valores se igualam. Isso, provavelmente, se deve à falta de heterogeneidade dos cavacos selecionados para que houvesse uma melhor interação entre os mesmos durante a compactação e posteriormente durante a sinterização.

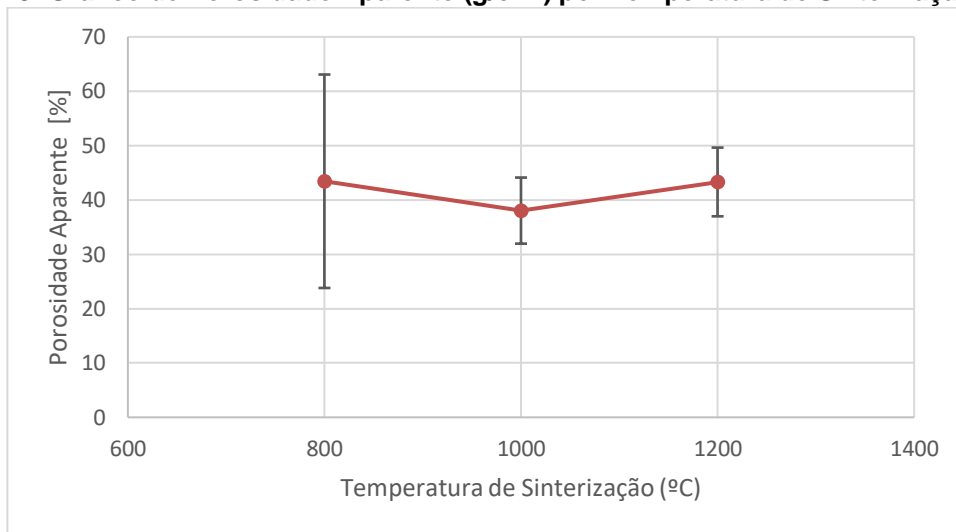
A operação de homogeneização tem como objetivo aumentar o contato entre as partículas do material. Quanto mais uniforme o tamanho das partículas, mais eficiente será a homogeneização. É recomendado a eliminação de partículas maiores devido que pode haver segregação. (CHIAVERINI, 2001).

Figura 17: Gráfico de Densidade Aparente (g/cm³) por Temperatura de Sinterização (°C)



Fonte: Autoria própria (2018).

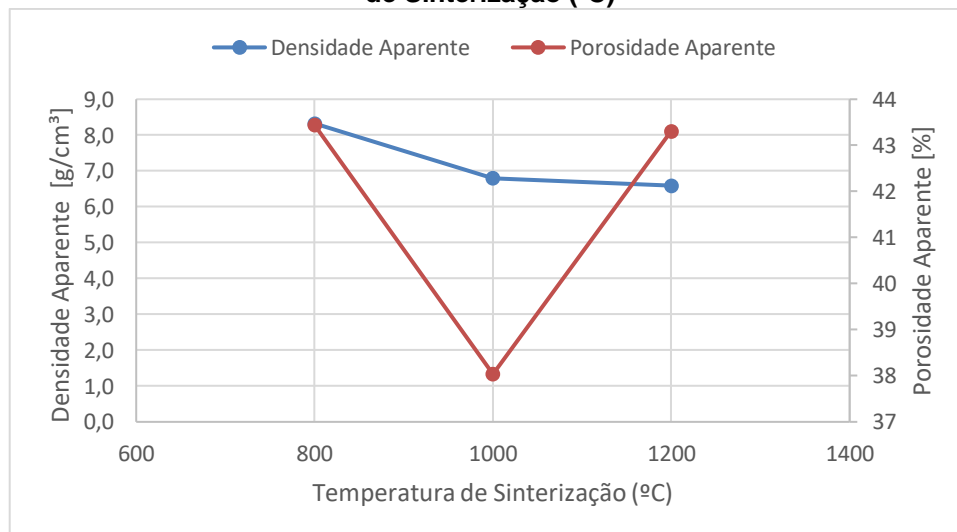
Figura 18: Gráfico de Porosidade Aparente (g/cm^3) por Temperatura de Sinterização ($^{\circ}\text{C}$)



Fonte: Autoria própria (2018).

A densidade aparente e a porosidade aparente em função da temperatura de sinterização podem ser observadas na figura 19.

Figura 19: Gráfico de Densidade Aparente (g/cm^3) e Porosidade Aparente (%) por Temperatura de Sinterização ($^{\circ}\text{C}$)



Fonte: Autoria própria (2018).

Na figura 18 vê-se que o valor maior da porosidade média ficou com os resultados mais elevados quando se sinterizou à temperatura de 800°C . Já o menor valor da densidade média, acabou ficando com os corpos de prova sinterizados a 1200°C .

Os resultados mostraram que quanto maior a temperatura de sinterização, menor será a densidade da peça. Contrariando o que diz a Teoria da Sinterização que nos diz que durante a sinterização, o material tem sua densidade aumentada devido que, os tamanhos dos poros resultantes da compactação são diminuídos durante o processo de sinterização. O efeito da densificação implica no controle sobre as dimensões da peça, à medida que o material densifica, ocorre contração que causa a diminuição dos corpos de prova (RODRIGUES W. C., MARTINS V., SCHAEFFER L.).

4.3 TENSÃO MÁXIMA E DEFLEXÃO MÁXIMA

As tabelas 9, 10 e 11 representam os resultados de Tensão Máxima e Deformação Máxima para as amostras sinterizadas a temperatura de 800°C, 1000°C e 1200°C, respectivamente. Para efeito de análise foram desconsiderados corpos de provas que deram como resultados valores negativos ou até mesmos valores muito distorcidos dos demais valores, os mesmos ficaram identificados na cor vermelha.

Tabela 9: Tensão e deformação máxima corpos de prova sinterizados a 800°C

	Tensão Máxima (MPa)	Deflexão Máxima (mm)
Corpo de prova 1	0,42	0,01
Corpo de prova 2	2,63	3,13
Corpo de prova 3	-0,62	1,92
Corpo de prova 4	4,05	2,97
Corpo de prova 5	0,77	1,02
Corpo de prova 6	0	2,31
Corpo de prova 7	0,58	1,11
Corpo de prova 8	0,86	0,89
Corpo de prova 9	2,41	1,91
Corpo de prova 10	3,84	9,56
Média	1,729	2,546
Desvio Padrão	1,534	2,823

Fonte: Autoria própria (2018).

Tabela 10: Tensão e deformação máxima corpos de prova sinterizados a 1000°C

	Tensão Máxima (MPa)	Deflexão Máxima (mm)
Corpo de prova 1	0,18	0,01
Corpo de prova 2	3,65	4,49

Corpo de prova 3	4,6	1,62
Corpo de prova 4	-0,46	6,27
Corpo de prova 5	2,22	4,66
Corpo de prova 6	17,37	5,31
Corpo de prova 7	4,34	2,59
Corpo de prova 8	1,09	1,97
Corpo de prova 9	3,08	2,33
Corpo de prova 10	2,62	2,98
Média	2,723	2,884
Desvio Padrão	1,536	1,685

Fonte: Autoria Própria (2018).

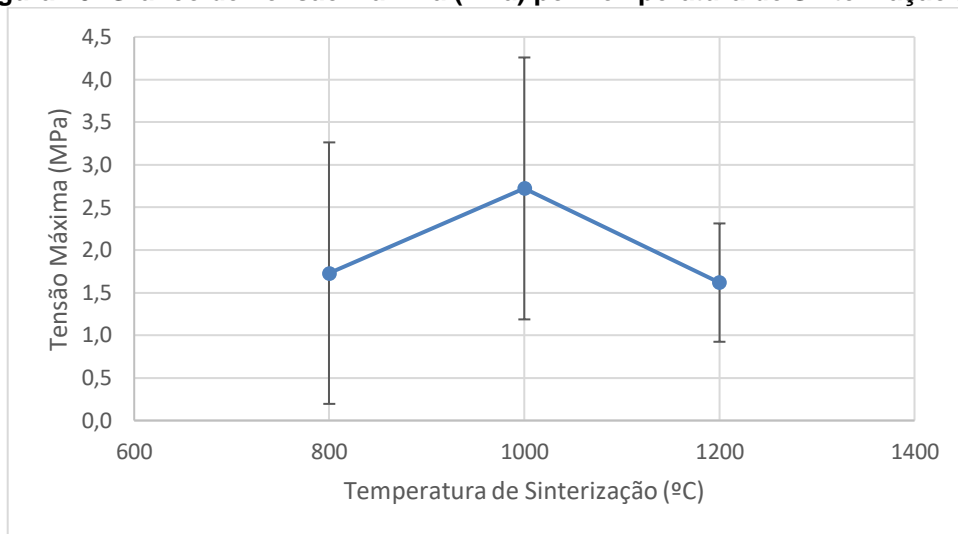
Tabela 11: Tensão e deformação máxima corpos de prova sinterizados a 1200°C

	Tensão Máxima (MPa)	Deflexão Máxima (mm)
Corpo de prova 1	2,64	3,92
Corpo de prova 2	1,45	2,84
Corpo de prova 3	0,88	2,96
Corpo de prova 4	1,63	3,56
Corpo de prova 5	2,41	2,83
Corpo de prova 6	2,32	3,47
Corpo de prova 7	1,45	0,01
Corpo de prova 8	-0,71	0,93
Corpo de prova 9	1,01	2,04
Corpo de prova 10	0,77	1,7
Média	1,618	2,592
Desvio Padrão	0,694	1,199

Fonte: Autoria própria (2018).

Na figura 20, vê-se os valores resultantes da tensão máxima dos corpos de provas sinterizados em função das três temperaturas diferentes de sinterização. Nota-se que o maior valor para tensão máxima dos corpos de prova, localiza-se com os corpos de provas sinterizados a temperatura de 1000°C.

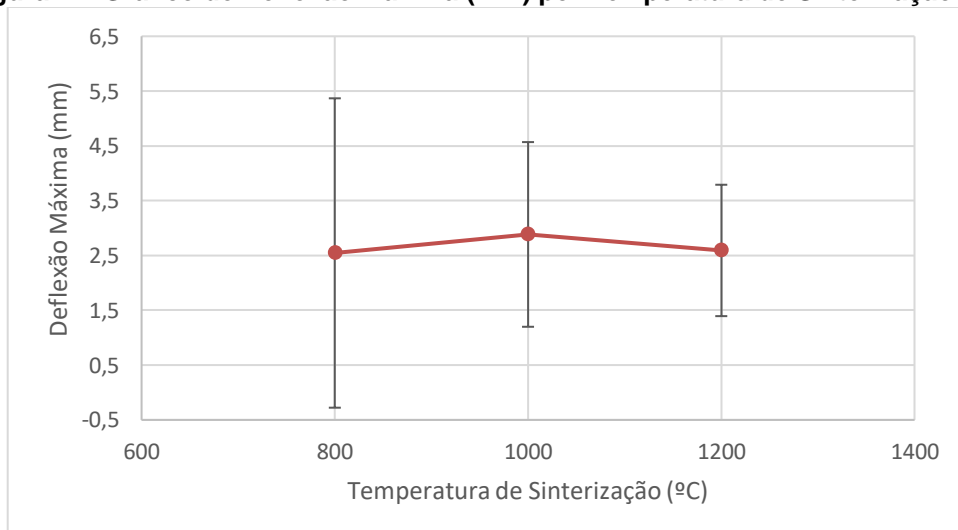
Figura 20: Gráfico de Tensão Máxima (MPa) por Temperatura de Sinterização (°C)



Fonte: Autoria própria (2018).

Na figura 21 observa-se os números do ensaio de deflexão máxima em função da temperatura de sinterização, a temperatura de 1000°C apresenta o maior valor de resultado. Seguido pelos valores das temperaturas de 800°C e 1200°C que são tecnicamente os mesmos.

Figura 21: Gráfico de Deflexão Máxima (mm) por Temperatura de Sinterização (°C)



Fonte: Autoria própria (2018).

As amostras apresentam variações de comportamento mecânico como pode-se perceber pelos desvios padrão. Como a ideia seria a economia de custos ao máximo no processo e produto final, o não tratamento de tamanho de cavaco, gerou uma compactação heterogênea que refletiu nos resultados.

Para o corpo de prova sinterizado na temperatura de 800°C, tem-se uma média de tensão máxima de 1,729 MPa, desvio padrão de 1,534. Para os corpos de prova sinterizados na temperatura de 1000°C, apresentou-se uma média de tensão máxima de 2,723 Mpa.

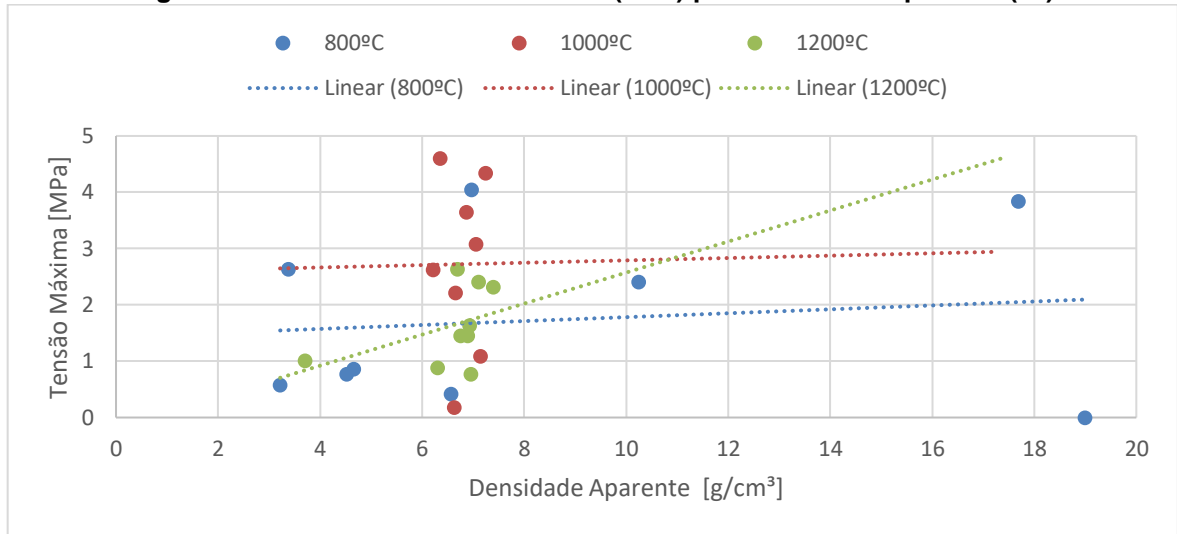
Com o aumento da temperatura de sinterização, os valores obtidos de Tensão máxima sofreram na média, acréscimos significativos (valor máximo de 4,05Mpa a 800°C para 17,37Mpa a temperatura de 1000°C). Porém as heterogeneidades de resultados permaneceram para estas amostras.

Para os corpos de prova sinterizados à 1200°C, os valores obtidos para Tensão Máxima ficaram inferiores aos valores dos corpos de prova sinterizados à 800°C, mostrando muita diferença em relação as amostras sinterizadas a 1000°C, como pode ser notado na figura 20.

Observou-se uma tendência a menor variação dos resultados obtidos em Tensão máxima em relação as outras duas de sinterização. Os pontos máximo e mínimo foram 2,642Mpa e 0,77Mpa respectivamente.

A temperatura de sinterização influencia diretamente nas propriedades físicas (densidade e porosidade) e também nas propriedades de resistência mecânica. Os resultados obtidos mostram grande variação na média dos valores principalmente quando se trata da porosidade e densidade. Conforme se aumenta a temperatura, os poros vão se fechando devido ao derretimento do material e com isso, grande parte dos espaços vazios presentes nos corpos de provas se fecham parcialmente ou até completamente.

A figura 22 nos mostra uma correlação da resistência mecânica e a densidade do material sinterizado, os corpos de prova sinterizados a temperatura de 1000°C, possuindo uma média de densidade aparente maior em comparação às demais amostras, também possui uma maior tensão máxima média.

Figura 22: Gráfico de Tensão Máxima (MPa) por Densidade Aparente (°C)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo nos mostrou que a temperatura de sinterização influenciou diretamente em todas as propriedades analisadas (densidade, porosidade, tensão máxima e deflexão máxima). Apenas com a variação de temperatura conseguiu-se direcionar e manipular características na peça final. Também foi comprovado com a realização deste trabalho que a reciclagem do cavaco de aço 1020 como matéria prima e uma lavagem feita de uma maneira simples, é possível via metalurgia do pó, garantindo um reaproveitamento do material com um baixo custo para um descarte correto.

Referente a metodologia adotada, viu-se que na homogenização, compactação e sinterização, a falta de um tratamento da matéria prima pré-sinterização visando o baixo custo de operação e a sustentabilidade, prejudica a fase de interação entre as partículas, causando heterogeneidade nas mesmas. Assim, causando um grande número de poros e uma variação considerável na densidade aparente dos corpos de prova.

Se tratando da tensão máxima e deformação, percebe-se que a temperatura de 1000°C houve números com maior expressão se comparado as demais temperaturas de 800°C e 1200°C.

6. SUGESTÃO DE ESTUDOS FUTUROS

De acordo com os resultados obtidos no estudo e com passar do tempo e avanço no tema estudado, podem ser listados algumas sugestões de estudos futuros:

- Utilizar de tratamentos pré-sinterização, como a moagem dos cavacos
- Padronização dos cavacos.
- Fazer um estudo com outros tipos de aços.

7. REFERÊNCIAS

AGENDA 2030. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>. Acesso em: 01 nov. 2018

A METALURGIA DO PÓ: **alternativa econômica com menor impacto ambiental**, Ed. Metallum Eventos Técnicos E Científicos, ISBN 978-85-62404-00-9, 1ª ed., 2009.

BARROS, Gustavo. **O Problema siderúrgico nacional na Primeira República**. Tese de doutorado, Departamento de Economia, FEA-USP, São Paulo, 2011.

BAUER, F. L. A. **Materiais para construção**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1985.

BEER, Ferdinand P. **Resistência dos Materiais**. 3 ed. São Paulo: Makron Books, 1995.

BONATO M. M. **RESISTÊNCIA À CORROSÃO DO AÇO ABNT 316L INJETADO SINTERIZADO**, 2003.

BRITO, F. Iran Gomes; MEDEIROS, Katarine F.; LOURENÇO, Jorge Magner. **UM ESTUDO TEÓRICO SOBRE A SINTERIZAÇÃO NA METALURGIA DO PÓ**, 2007.

BROWN, G. T. **ON THE GRAY CAST IRON POWDER FOR MAKING LOW-COST P/M FORGING. PROGRESS IN POWDER METALLURGY**, V. 28, MPIF PRINCETON, NY, 1972.

BRUNATTO, Silvio Francisco. **Introdução ao estudo do aço**: Disponível em: <http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM052/Prof.Silvio/INTRODU%C3%87%C3%83O%20AO%20ESTUDO%20DOS%20A%C3%87OS-Parte%204.pdf>. Acesso em 03 nov 2018.

CALLISTER, W. D. - **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 5ª Ed. LTC, Rio de Janeiro (RJ), 2002.

CALLISTER, W.D. **Fundamentos da ciência e engenharia dos materiais: uma abordagem integrada**. 3 ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2006.

CHIAVERINI, Vicente. **Metalurgia do pó**. São Paulo: ABM, 4ª ed., 2001.

COLLINS, Jack A. **Projeto Mecânico de Elementos de Máquinas**. Rio de Janeiro: LTC, 2006

DA SILVA, Angelus G. P. **Porosidade e densidade de materiais cerâmicos**. Disponível em: <http://aulas.e-agps.info/cmateriaispg/capitulo7.pdf>. Acessado em: 16 de junho de 2018.

GALVÃO, Alcione O.; **Reciclagem de cavacos de aço sae 1020 via metalurgia do pó**, 2008.

GOMES, Francisco M. **História da siderurgia no Brasil**. Belo Horizonte: Itatiaia; São Paulo: Edusp, 1983

GÜNTHER, W.M.R. **Saúde Ambiental comprometida pelos resíduos sólidos**. In: Seminário Sobre Resíduos Sólidos RESID'99. São Paulo, 1999, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1999.

LOURENÇO, Jorge Magner. **Evolução microestrutural do ferro puro e ligas ferrosas sinterizadas por plasma**. 2004. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

L.J. Grossi, N. Damasceno, P. V. Muterlle. **Obtenção da Liga Cu₁₃Al₄Ni via Metalurgia do Pó**. 2016. Universidade de Brasília, Asa Norte, Brasília, 2016.

Princípio de Arquimedes: **Determinação da densidade de um sólido**. Disponível em: <http://www.facip.ufu.br/sites/facip.ufu.br/files/Anexos/Bookpage/fe2-02-principio-de-arquimedes-determinacao-da-densidade-de-um-solido.pdf>. Acessado em: 16 de junho de 2018.

MORO N., AURAS A. P. ;**PROCESSOS DE FABRICAÇÃO**. Disponível em: <http://norbertocefetsc.pro.br/downloads/metalurgiadopos.pdf>. Acesso em: 12 out. 2018.

SANTOS, M. S; YAMANAKA, H. Y.; PACHECO, C. E. M. **Bijuterias**. Série P+L. São Paulo: CETESB, 2005. 54p Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br>.

SANTOS, Q. R.; CARVALHO, A. C. M. **Benefícios e desafios na implantação da reciclagem: um estudo de caso no Centro Mineiro de Referência em Resíduos (CMRR)**. Revista Pensar Gestão e Administração, v. 3, n. 2, 2015.

ROLL, K. H.. History of Powder Metallurgy. ASM Handbook, v.7, 1949.

RODRIGUES W. C., MARTINS V., SCHAEFFER L., **INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE SINTERIZAÇÃO NAS PROPRIEDADES DO COMPÓSITO WC-6%CO**, 2009

TCHONAMOGLOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. A. **Integrated Solid Waste Management: engineering principles and management issues**. New York: McGraw-Hill Science Engineering, 1993.

WEAST, T. C; ASTLE, M. J.; BEYER, W. H. **CRC Handbook of chemistry and physics**. 64 ed.1983.

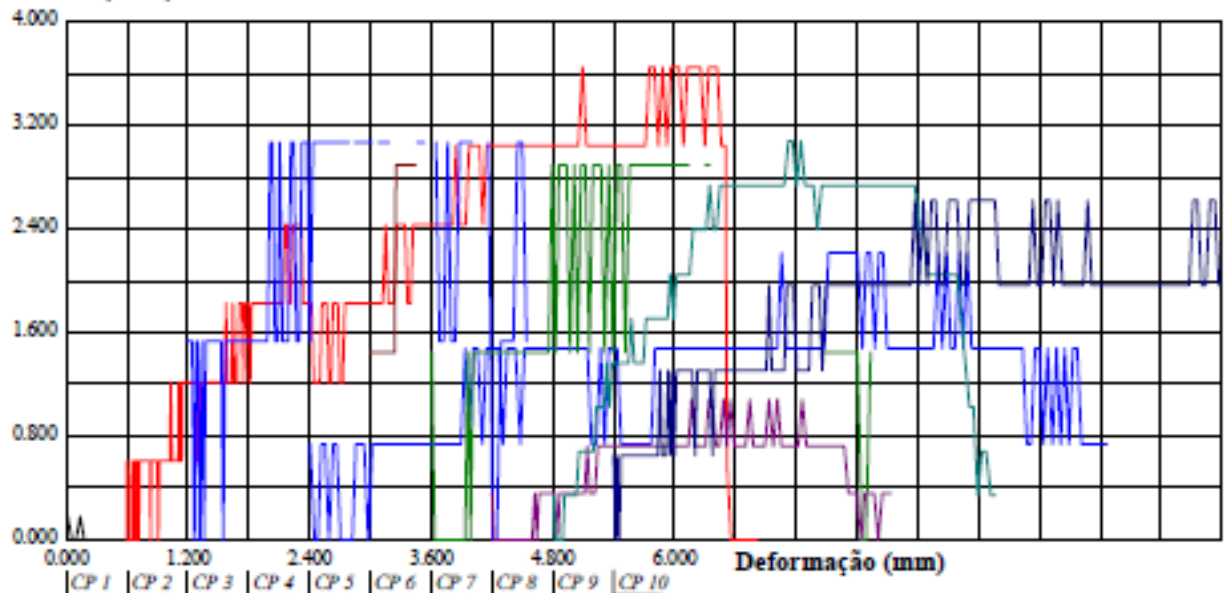
UTFPR - Campus Ponta Grossa
Laboratório de Ensaios Destrutivos e Não Destrutivos

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL10000** Célula: **Trd 28** Extensômetro: **Trd 6** Data: **22/05/2018** Hora: **15:13:19** Trabalho n° **2305**
 Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **flexão3pontossinterizado**
 Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>> Solicitante: **Vinicius Witkowski** Material: **SAE 1020** Temperatura de Sinterização: **1000°C**

Corpo de Prova	Largura (mm)	Altura (mm)	Distância dos Apolos (mm)	Tensão Máxima (MPa)	Deflexão (mm)	FOR MAX (kgf)	Módulo Elástico (MPa)
CP 1	10.50	10.00	40.0	0.18	0.01	0.32	5
CP 2	10.50	5.40	40.0	3.65	4.49	1.90	153
CP 3	10.50	3.40	40.0	4.60	1.62	0.95	161
CP 4	10.50	6.20	40.0	-0.46	6.27	-0.32	5
CP 5	10.50	4.90	40.0	2.22	4.66	0.95	34
CP 6	10.50	3.50	40.0	17.37	5.31	3.80	257
CP 7	10.50	3.50	40.0	4.34	2.59	0.95	141
CP 8	10.50	7.00	40.0	1.09	1.97	0.95	26
CP 9	10.50	7.20	40.0	3.08	2.33	2.85	33
CP 10	10.50	5.20	40.0	2.62	2.98	1.27	82
Número CPs	10	10	10	10	10	10	10
Média	10.50	5.630	40.00	3.869	3.224	1.361	89.76
Desv. Padrão	0.0000	2.070	0.0000	5.036	1.915	1.204	84.71
Coef. Var. (%)	0.0000	36.78	0.0000	130.2	59.39	88.43	94.37
Mínimo	10.50	3.400	40.00	-0.4623	0.01489	-0.3171	4.818
Máximo	10.50	10.00	40.00	17.37	6.269	3.798	256.9

Tensão (MPa)



UTFPR - Campus Ponta Grossa

Laboratório de Ensaios Destrutivos e Não Destrutivos

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL10000** Célula: **Trd 28** Extensômetro: **Trd 6** Data: **22/05/2018** Hora: **14:34:53** Trabalho n° **2304**
 Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **flexao3pontossinterizado**
 Ident. Amostra: > Solicitante: **Vinicius Witkowski** Material: **Sinterizado de cavaco - SAE102** Temperatura de Sinterização: **1200 C**

Corpo de Prova	Largura (mm)	Aldistância dos Apoios (mm)	Tensão Máxima (MPa)	Deflexão (mm)	FOR MAX (kgf)	Módulo Elástico (MPa)	
CP 1	10.30	7.40	40.0	2.64	3.92	2.53	100
CP 2	10.50	7.00	40.0	1.45	2.84	1.27	25
CP 3	10.50	9.00	40.0	0.88	2.96	1.27	9
CP 4	10.40	11.00	40.0	1.63	3.56	3.48	20
CP 5	10.50	9.40	40.0	2.41	2.83	3.80	44
CP 6	10.50	8.30	40.0	2.32	3.47	2.85	27
CP 7	10.50	3.50	40.0	1.45	0.01	0.32	59
CP 8	10.50	5.00	40.0	-0.71	0.93	-0.32	2
CP 9	10.50	8.40	40.0	1.01	2.04	1.27	25
CP 10	10.50	6.80	40.0	0.77	1.70	0.63	15
Número CPs	10	10	10	10	10	10	10
Média	10.47	7.580	40.00	1.383	2.427	1.709	32.65
Desv.Padrão	0.06749	2.173	0.0000	0.9855	1.246	1.385	28.89
Coef.Var.(%)	0.6446	28.67	0.0000	71.26	51.33	81.06	88.48
Mínimo	10.30	3.500	40.00	-0.7108	0.01182	-0.3171	1.631
Máximo	10.50	11.00	40.00	2.642	3.922	3.798	100.2

Tensão (MPa)

