

OTIMIZAÇÃO DA OPERAÇÃO DE BRITAGEM DE PEÇAS DE REFUGO NO PROCESSO PRODUTIVO DE UMA EMPRESA CERÂMICA.

OPTIMIZATION OF THE CRUSHING OPERATION OF SCRAP PARTS IN THE PRODUCTION PROCESS OF A CERAMIC COMPANY.

Robson de França Silva¹
Juliana de Castro Macedo Fonseca²

RESUMO

A britagem é uma operação unitária que visa a fragmentação de um determinado material, geralmente oriundo de jazidas, em partes menores. Esse processo é comumente utilizado nas etapas iniciais da produção, mas também, há indústrias cerâmicas que utilizam o britador como meio de transformação para o refugo da produção em matéria-prima. Diante disso, esse estudo tem como objetivo aumentar a eficiência do processo de britagem de peças de refugo em uma indústria cerâmica. Com esse intuito, foi feito um brainstorming juntamente com colaboradores, e em seguida foram criados dados para dimensionar a operação (como por exemplo, tempo para alimentar o britador, tempo necessário para britar um pallet com peças defeituosas, tempo necessário para retirada da etiqueta identificadora de refugo, quantidade de peças enviadas por dia para serem britadas, dentre outros). Com esses dados e parâmetros estabelecidos, foi feito um estudo para saber quais fatores eram mais danosos ao processo, e descobriu-se que a etapa da retirada da etiqueta de refugo desperdiçava muito tempo. Dessa forma, foi avaliada a influência do material desta etiqueta nas características da barbotina e peça após sinterização. Foram feitos ensaios reológicos da barbotina e teste mecânico de flexão em 3 pontos, cor, retração e perda ao forno das peças sinterizadas. Verificou-se que a etiqueta não alterava nem as propriedades da barbotina, nem as propriedades da peça sinterizada, sendo essa etapa eliminada do processo, o que possibilitou um aumento de 20% na quantidade de pallets britados, além de uma economia de quase 7 mil reais por ano.

Palavra-chave: Processamento. Britador. Otimização.

ABSTRACT

Crushing is a unitary operation that aims at the fragmentation of a certain material, usually coming from mines, into smaller parts. This process is commonly used in the initial stages of production, but there are also ceramic industries that use the crusher as a means of transformation for the scrap of production to be used as a raw material. Therefore, this study aims to increase the efficiency of the crushing process of scrap parts in a ceramic industry. For this purpose, a brainstorming was done together with collaborators, and then data were created to size the operation (such as time to feed the crusher, time needed to crush a pallet with scrap parts, time needed to remove the scrap label, quantity of parts sent per day to the scrap, among others). With these data and parameters established, a study was made to know which factors were more harmful to the process, and it was discovered that the step of the

¹Tecnólogo em Gestão da Produção Industrial - Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho. 2019

²Orientador do Trabalho de Conclusão de Curso em Gestão da Produção Industrial – Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho.

removal of the indicative label of scrap was wasting a lot of time. Thus, the influence of the label material on the characteristics of the barbotine and part after sintering was studied. Rheological tests of barbotin and mechanical tests of compression, color, shrinkage and loss to the furnace of the sintered part were performed. It was verified that the label did not alter neither the properties of the casbutin nor the properties of the sintered part, being this step eliminated from the process and it was possible a 20% increase in the quantity of crushed pallets, besides a saving of almost 7 thousand reais per year.

Keywords: Processing. Crusher. Optimization.

INTRODUÇÃO

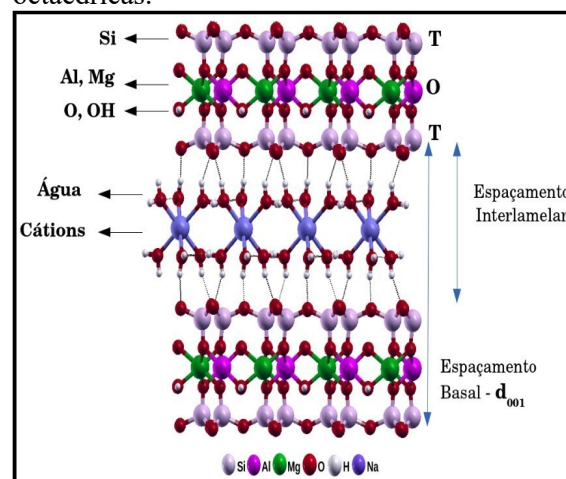
As cerâmicas são quimicamente compostas por átomos metálicos e não metálicos, cujas ligações químicas que unem esses átomos podem variar de totalmente iônica, quando os átomos possuem eletronegatividades muito distintas, até totalmente covalente, quando a eletronegatividade dos átomos é igual. Temos como exemplo desses materiais: alumina (Al_2O_3), dióxido de silício (SiO_2), cloreto de sódio (NaCl), carbetto de silício (SiC) e nitreto de silício (Si_3N_4). Mecanicamente, essa classe de material possui rigidez e resistência relativamente alta e dureza semelhante à dos metais (CALLISTER, 2014).

Para a produção dos produtos cerâmicos geralmente se utiliza uma barbotina ou massa cerâmica, composta basicamente por três materiais bases, são eles: argila; feldspato e o quartzo. A argila, segundo Santos, é um material natural, terroso, de granulação fina, que geralmente adquire plasticidade quando umedecido com água, e após sua sinterização adquire resistência e dureza (SANTOS, 1989).

Já pela natureza química, as argilas são constituídas majoritariamente por silicatos hidratados de alumínio, mas também contém átomos de ferro e magnésio em sua composição. Em relação à estrutura atômica, as argilas podem ser trifórmica ou difórmica, no qual as trifórmicas são constituídas por duas camadas tetraédricas de silicatos (SiO_4) e octaédricas de alumina (Al_2O_3), sendo essa localizada entre as duas camadas de SiO_4 , e na difórmica há apenas uma camada octaédrica e uma

tetraédrica. Essas camadas estão ligadas entre si através de átomos de oxigênio presentes nos vértices dos elementos geométricos, conforme é ilustrado na Figura 1 (SANTOS, 1989).

Figura 1- Representação esquemática de uma argila trifórmica com camadas tetraédricase octaédricas.



Fonte: Adaptação da referência Santos 1989.

As argilas são eletricamente estáveis, não obstante em alguns casos ocorrem substituições isomórficas na camada tetraédrica dos átomos de Si^{+4} por átomos de Al^{+3} e nas camadas octaédricas dos átomos de Al^{+3} por átomos de Mg^{+2} e Fe^{+3} . Sendo assim, as mesmas se tornam eletricamente instáveis, e para alcançar a estabilidade elétrica, cátions se ligam de maneira mais fraca com as camadas das argilas (SANTOS, 1989).

Esses cátions são de suma importância para o comportamento e as propriedades que as argilas irão adquirir quando estão em uma suspensão coloidal em água. A exemplo da argila bentonita, que quando dispersa em água, a depender do tipo de

cátions presentes entre suas lamelas, ocorre a floculação. Por outro lado, se os cátions presentes entre essas lamelas for apenas o sódio, irá ocorrer uma melhor defloculação das lamelas e não ocorrerá uma decantação se a suspensão ficar em repouso (FRANÇA, 2019).

As argilas apresentam grande versatilidade no seu uso, e isso só é possível por causa de alguns fatores como: a estrutura atômica que a argila irá apresentar, o tipo de cátion que está presente entre as camadas da argila e o grau de substituição isomórfica que ocorreu nessas argilas (FRANÇA, 2020).

O feldspato também está na classificação dos silicatos, sendo dividido em basicamente 3 tipos, são eles: ortoclásio, albita e anortita, no qual eles apresentam fórmula empírica de AB_4O_8 em que (A= K (ortoclásio), Na (sódio) e Ca (Cálcio); B= Si ou Al). Quando são empregados, esses minerais têm a função de fundente, auxiliando na redução da temperatura de sinterização (LIRA et al, 2013).

Já o quartzo tem a função de estabilizar as dimensões do produto, visto que com a sinterização há uma retração da peça devido a compactação das partículas, quimicamente o quartzo é sílica (SiO_2) arranjos tridimensional (BOCH, 2007).

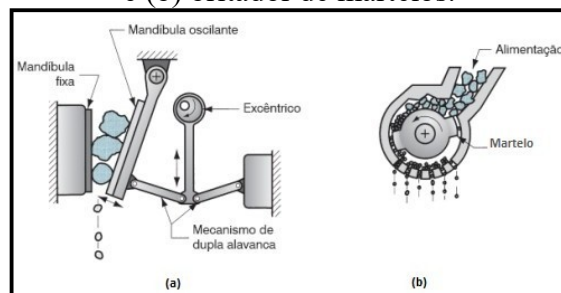
A maioria das matérias primas que são utilizadas na produção de indústrias cerâmicas são comumente encontradas na natureza em forma de rochas, então é necessário passar por uma série de beneficiamentos. Essa é a etapa do processo que visa à fragmentação de rochas em pó ou grãos com tamanhos de partículas reduzidos (GROOVER, 2014).

O beneficiamento é feito através de dois processos: a britagem e a moagem, cujo o primeiro utiliza o equipamento chamado britador e visa fragmentar grandes partes de rochas em fragmentos menores. A britagem é a fase inicial da cominuição das rochas e pode ser necessária algumas repetições desse processo para que se alcance o diâmetro de partícula desejado, no qual a fração de redução em cada etapa

pode variar de 3 vezes a 6 vezes menor que o tamanho do fragmento rochoso que foi alimentado (GROOVER, 2014).

O princípio físico do britador é a compressão ou impacto do material que se deseja fragmentar, no qual esse processo é feito por uma parte móvel em uma parte fixa. Exemplos de britadores estão ilustrados na Figura 2, no qual o (a) se refere a um britador mandíbula que utiliza a compressão para a fragmentação e (b) se refere a um britador de martelos que utiliza impacto para a fragmentação (GROOVER, 2014).

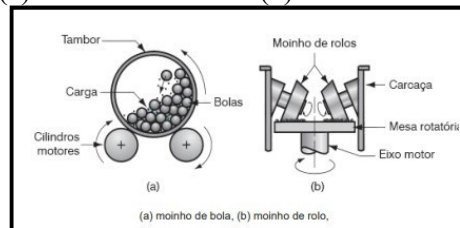
Figura 2- Representação de tipos de britadores utilizados na indústria (a) britador mandíbula e (b) britador de martelos.



Fonte: Adaptação de Groover 2014.

Já o segundo processo de beneficiamento está relacionado com o refino de grão, no qual o material proveniente do britador vai para o moinho onde será fragmentado até ser reduzido a um pó com a granulometria necessária. O princípio físico da moagem é que o material britado vai passar por forças compressivas (Figura 3.a) ou abrasivas (Figura 3.B), provenientes da movimentação de corpos moedores que estão livres dentro do moinho. Na Figura 3 estão exemplos de moinhos de bolas e de rolos (GROOVER, 2014).

Figura 3- Representação de Tipos de moinhos (a) moinho de bolas e (b) moinho de rolos.



Fonte: Adaptação de Groover 2014.

Mesmo que esses tipos de beneficiamentos sejam comumente utilizados nas etapas iniciais para a fragmentação de matéria prima, há algumas indústrias cerâmicas que utilizam esses equipamentos para fazer com que peças defeituosas se transformem em matéria prima, a exemplo a indústria de louças sanitárias (que produz vasos sanitários, bidês e cubas). Essa reutilização do material cerâmico sinterizado é possível, pois, segundo Boch, após a etapa de sinterização ocorrem transformações isotrópicas irreversíveis nas estruturas das argilas e assim esse material irá desenvolver a função de um estabilizante dimensional podendo substituir o quartzo (BOCH, 2007).

A reutilização de peças defeituosas que virariam resíduos industriais, faz com que as empresas que optam por essa estratégia consigam agregar valor ao seu produto, pois, com essa ação há uma correção de um dos desperdícios da metodologia lean. Essa metodologia aponta 7 desperdícios, são eles: desperdício de superprodução; de processamento; de tempo; de transporte; de produtos defeituosos; de movimentação e de estoque (OLIVEIRA, 2016)

Além disso, o reaproveitamento dessas peças de refugo (peças defeituosas) faz com que essas empresas se tornem mais ecológicas, tomando o exemplo ainda de uma indústria de louças sanitárias, e enquadrando o benefício ambiental que essa reutilização nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), faz com que essa ação atenda aos objetivos 8,9 e 14, representado na Figura 4,5 e 6 respectivamente.

Figura 4- Objetivo 8 da ODS



Fonte: Site ODS

Figura 5- Objetivo 9 da ODS.



Fonte: Site ODS.

Figura 6- Objetivo 14 da ODS.



Fonte: Site ODS.

Estes objetivos visam, respectivamente: sustentar o crescimento econômico através de atingir patamares mais altos de produtividade; promover a industrialização sustentável e de forma inclusiva e por último, recuperar e proteger os ecossistemas terrestres através do uso sustentável.

Outro ponto positivo dessa reutilização é o fator econômico, pois os custos que foram desperdiçados para a produção de uma peça defeituosa acabam diminuindo o gasto com a matéria prima que foi substituída e a diluição do custos para produzir a peça defeituosa ocorre com a geração de uma nova peça (ANTUNES, 2008).

Esse trabalho visa realizar modificação no processo de britagem de peças defeituosas de forma a aumentar a produção de material processado pelo britador e reduzir o custo da operação. Adicionalmente, objetiva-se a criação de parâmetros do processo para controle operacional na área de britagem, avaliação de quais fatores promovem uma baixa na eficiência do processo e a influência do material da etiqueta indicativa de peça não conforme nas características da barbotina e das peças sinterizadas.

METODOLOGIA

As metodologias a seguir estão descritas na ordem em que foram executadas e foram divididas em duas partes, sendo a primeira usada para conhecimento das possíveis melhorias e parâmetros de processo, e a segunda referente à análise da influência do material da etiqueta nas propriedades reológicas da barbotina, além de serem avaliadas as mudanças de coloração, retração pós queima, perda ao fogo e propriedades de compressão do produto sinterizado.

1ª Parte

Brainstroming.

O brainstroming foi feito através de um questionário com o operador da máquina e supervisores da área, no qual foram respondidas as seguintes perguntas: Quais pontos de melhorias para o processo de britagem, na sua opinião? Qual fator pode ser mais danoso à operação? e qual alteração já foi feita no britador?

Dimensionamento dos parâmetros.

Com auxílio de um cronômetro foram medidos os seguintes parâmetros de tempo para os processos relativos à seção do britador: permanência da peça de refugo na esteira de alimentação do britador; retirada da etiqueta; reposição da peça na esteira de alimentação; período para quebrar um pallet completo; intervalo para troca de pallet; tempo necessário para a esteira entrar em stand by e o tempo para fazer a esteira voltar à atividade.

Além disso, foi contabilizada a quantidade de peças por pallet e a quantidade de pallets britados por hora.

Análises dos parâmetros.

Com os parâmetros definidos, foi feito um estudo para verificar quais desses fatores estariam provocando a baixa eficiência do processo.

2ª Parte

Preparação da barbotina.

Foram preparadas duas barbotinas, com formulações fornecidas pelo laboratório de controle de qualidade. Estas preparações eram diferenciadas entre si apenas pelo tipo de pitcher (pitcher é a denominação para o material fragmentado que sai do britador), no qual em uma formulação o pitcher usado foi processado sem a etiqueta de identificação de peça de refugo (denominada massa padrão - BP) e na outra o pitcher usado continha esta etiqueta de papel (denominada massa teste - BT).

Todas as matérias primas sólidas usadas para desenvolver a massa foram previamente secas em uma estufa com temperatura de 105°C (Figura 7) por no mínimo 4 horas. Os pitches, além de secos, foram triturados e classificados em peneira com mesh 10.

Após isso, foram adicionadas todas as cargas sólidas (devidamente secas e trituradas) e úmidas no moinho bolas, modelo PP75 da Asteca, com uma distribuição de bolas de alumina com alta pureza com diâmetros de 13, 20 e 30 mm. Com auxílio de um gira moinho da Servitech (Figura 8), esse sistema ficou em moagem em velocidade de 1720 RPM até a barbotina apresentar um teor de resíduo em malha #200 entre 0,9-1,3% em 100 g de pó utilizado na preparação da barbotina, ou seja, deverá ser feito um peneiramento para acompanhar a moagem, e o pó estará liberado para uso quando ficar retido na peneira uma quantidade entre 0,9 e 1,30 g de sólidos.

Figura 7- Estufa.



Fonte: Autor.

Figura 8- Moinho de bolas e gira moinho.



Fonte: Servitech.

Densidade.

Com as barbotinas prontas foram medidas suas respectivas densidades, com o auxílio de um picnometro de inox de volume de 100 ml (Figura 9).

Figura 9- Picnometro.



Fonte:Autor.

Nesse método, o picnometro limpo e vazio foi pesado e tarado em uma balança analítica, e em seguida preenchido com a barbotina até que o conteúdo do seu interior esborre pelo orifício da tampa. Dessa forma, se tem a garantia de que todo espaço dentro do instrumento esteja ocupado pela massa. Após isso, limpou-se o que transbordou pela tampa e efetuou-se a pesagem. Com o valor da pesagem, deve-se aplicar esse resultado na Equação 1.

$$\rho = \frac{M_p}{V_p} \quad (1)$$

ρ = Densidade (g/cm³)

M_p = Massa picnometro cheio (g)

V_p = Volume do picnometro (cm³)

Teor de resíduo.

Após a obtenção das densidades das barbotina, o valor dessa propriedade foi

multiplicado por um fator de conversão, que serve para garantir que um determinado volume de barbotina contenha 100 gramas de material seco. Sabendo-se esse volume, deve ser vertida a suspensão coloidal na peneira de abertura desejada. O peneiramento é feito com o auxílio de uma corrente de água devido à alta densidade e viscosidade da barbotina.

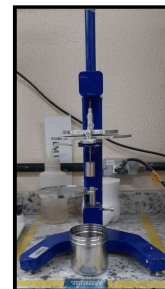
Esse volume foi forçado a passar em peneiras de malha com aberturas de 0,42 e/ou 0,25 mm, ou seja mesh de 40 e 60 respectivamente, por 3 minutos. Após esse tempo, o material que ficou retido na peneira foi transferido para um cadinho, com auxílio de uma pisseta, e posto para secar em uma lâmpada ultrassom durante 10 min, quando estiver seco é pesado e anotado o valor.

Devido o volume peneirado conter 100 gramas de material seco o valor mostrado na balança do material peneirado já estava em percentual.

Tixotropia.

A tixotropia foi medida com o auxílio de um viscosímetro de torção Gallenkamp, modelo HSS-BR (Figura 10). Esse método consiste em encher um becker com 500 ml de barbotina, agitar manualmente o sistema com um bastão de vidro por 1 minuto, e em seguida, verter o líquido no recipiente do viscosímetro até o nível delimitador. Posteriormente, este recipiente é colocado no aparelho de modo que este pêndulo fique no seu centro.

Figura 10- Gallenkamp.



Fonte: Autor.

Após isso, solta-se o pêndulo, provocando a sua rotação e a medição do o ângulo da torção (A_i) é realizada. O pino retorna a sua posição inicial e o sistema permanece

em repouso durante 6 minutos. O processo é repetido para a obtenção do ângulo final (Af). Os valores de Ai e Af, devem ser aplicados na Equação 2 para a obtenção dos valores de tixotropia.

$$\text{Tixotropia} = A_i - A_f \quad (2).$$

Viscosidade no ponto mínimo.

Nesse processo a viscosidade é medida através de um viscosímetro Brookfield da BrasEq, modelo RVT. (Figura 11). O ensaio inicia agitando manualmente 500 mL de barbotina durante 1 min, após isso o becker que contém a barbotina é posicionado de maneira que o spinner fique no seu centro. Então, liga-se o viscosímetro com uma rotação de 20 RPM e, após 1 minuto, faz-se a leitura da viscosidade inicial.

Em seguida, é adicionado 0,1 mL do defloculante (silicato de sódio) à barbotina e o sistema é homogenizado durante 1 min novamente. Repete-se então a leitura, anotando o valor obtido. Essa segunda etapa deve ser repetida até que o resultado da viscosidade permaneça constante ou tenha o seu valor aumentado ao invés de diminuir.

Figura 11- Viscosímetro Brookfield.



Fonte: Autor.

Preparação dos corpos de provas.

Os corpos de provas foram confeccionados através de colagem de barbotina, também conhecido por fundição, no qual o líquido foi vertido em um molde de gesso e deixados em repouso durante 7 horas à temperatura ambiente. Após esse período, os corpos de provas foram destacados

desse molde, e secos em uma estufa à 105°C por 4 horas. O molde também foi confeccionado por fundição em uma matriz de epoxi. Tanto o molde quanto a matriz são fabricados na própria fábrica.

Cor.

A cor foi avaliada apenas no aspecto visual, para certificar que não apresentaria diferenças drásticas na aparência, tanto para peças a verde quanto para as peças sinterizadas.

Retração.

Nesse ensaio é verificado o quanto a peça retraiu no comprimento após a queima. Para isso, foram feitas medições das dimensões da peça em questão antes e após a sinterização. Os valores obtidos serão então aplicados na Equação 3.

$$\% \text{Retração} = \frac{D_s}{D_v} \times 100 \quad (3).$$

Ds= Dimensão da peça sinterizadas.

Dv= Dimensão da peça a verde.

Perda ao Fogo.

Neste ensaio as peças à verde foram pesadas em uma balança analítica antes e depois de serem sinterizadas. Os valores dos pesos obtidos foram aplicados na Equação 4.

$$\% \text{PF} = \frac{M_s}{M_v} \times 100 \quad (4).$$

Ms=Massa da peça sinterizadas.

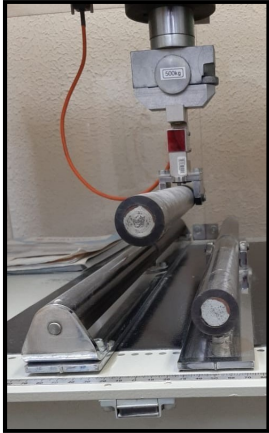
Mv=Massa da peça a verde.

Módulo de ruptura a flexão.

O módulo de ruptura foi obtido através de ensaio de flexão de 3 pontos, realizado em uma máquina universal de ensaios (Figura 12) da Servitech, modelo CT-12101. As garras inferiores são separadas na distância de 10 cm e na garra central uma carga de 500 Kg foi aplicada a uma velocidade de 0,05 mm/s. O ensaio é concluído quando ocorre o rompimento do corpo de prova. Foram ensaiadas tanto peças a verde

quanto sinterizadas.

Figura 12- máquina universal de flexão.



Fonte: Autor

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção foi dividida em 4 partes, sendo a primeira, sobre a criação e estabelecimento dos parâmetros de processos de britagem, a segunda, sobre as análises da influência do material da etiqueta nas propriedades reológicas e físico-químicas da barbotina, terceira, referente as discussões em torno da influência da etiqueta nas propriedades das peças sinterizadas e por fim apresenta os resultados alcançados com as mudanças no processo.

Avaliação das condições de processo

Brainstorming

Sabendo que o objetivo dessa técnica é de conseguir a maior quantidade de ideias em um curto período de tempo (BAXTER, 2008), foi possível descobrir que algumas partes do britador estavam avariadas por desgaste natural e falta de manutenção como: por exemplo, os filetes de borracha vulcanizada que faz a sustentação da peça na esteira (Figura 13).

Figura 13- Esteira maior sem filete.



Além disso, foi descoberto que a borracha que faz a vedação da calha vibratória estava bastante desgastada, e assim o pitcher não chegava aos martelos do britador e não eram fragmentados até o tamanho necessário.

Nesta etapa, foi criada uma lista com histórico de alterações que já teriam sido feitas nesse equipamento. As modificações efetuadas foram: o aumento da velocidade da esteira; aumento da rotação dos martelos; e a proibição de britar peças de coloração escuras; e com etiquetas, devido a suposição de que tais materiais influenciava negativamente a barbotina cerâmica.

Dimensionamento dos parâmetros

A seguir são apresentados os parâmetros de processos que foram criados com base em observações do funcionamento da operação de britagem durante o período de 4 dias com 3 horas de observação em cada dia. Na figura 14 estão apresentados os parâmetros de tempo de várias etapas do processo de britagem.

Na Tabela 1 estão a quantidade de peças britadas no período acima e por fim a Tabela 2 mostra a porcentagem das peças que apresentaram etiqueta de papel, etiqueta laminada (o material da etiqueta era de papel com uma lamina polimérica) e as peças que não apresentavam etiquetas de refugo.

Figura 14 - Parâmetros de tempo para etapas do processo levantadas no Brainstorming.

Tempo médio da peça na esteira: 1 min e 49 s
Tempo para retirar a etiqueta: Mínimo: 2 s
Médio: 6.43 s
Máximo: 10 s
Tempo médio para reposição de peça na esteira: 15 s
Tempo de parada por inatividade da esteira: 1 min e 30 s
Tempo para fazer a esteira voltar a funcionar: 10 s

Fonte: Autor

Tabela 1- quantidade de peças britadas durante análise.

Quantidade	
Bacia	1259

Caixa	607
Tampa	607
Coluna	40
Mictório	55
Cuba	123
Total	2820

Fonte: Autor.

Tabela 2 – Frações dos tipos de etiquetas apresentadas nas peças de refugo.

Tipo da etiqueta	Quant.	Porcentagem
Papel	353	46,10%
Laminada	218	28,47%
Sem etiqueta	194	25,43%
Total	765	100%

Fonte: Autor.

De acordo com a metodologia do lean manufacturing, há 7 desperdícios que devem ser evitados, um desses fatores é o desperdício de processamento, no qual etapas desnecessárias devem ser descartadas do processo para assim otimizá-lo (OLIVEIRA,2016).

Através da análise dos dados mostrados acima, evidenciou-se que a etapa de retirada da etiqueta desperdiçava em média 2 horas por dia do operador. Esse valor foi tão grande devido à quantidade de peças que eram britadas durante um dia, que geralmente era de 700 peças.

Diante disso, essa era a etapa que mais estava diminuindo a eficiência do processo e mediante os resultados e com base nessa filosofia foi analisada a necessidade da retirada das etiquetas das peças de refugo reutilizadas no processo.

Avaliação das Barbotinas.

Densidade.

Esse ensaio tem como o objetivo mensurar a quantidade de massa em um determinado volume (CALLISTER,2014), e ele é importante para avaliar se as etiquetas presentes nas peças de refugo ocasionaram um aumento da quantidade de sólidos num

mesmo volume. Como observado na Tabela 3, verifica-se que isso não aconteceu, pois ambas as barbotinas, tanto a preparada com picther que continha a etiqueta (Barbotina Teste-BT) quanto a sem etiqueta (Barbotina Padrão-BP), apresentaram o mesmo valor de densidade, de 1777 kg/m³.

Tabela 3- Resultado do ensaio de densidade para as barbotinas padrão e teste.

	BP	BT
Densidade (Kg/m³)	1777	1777

Fonte: Autor.

Resíduo.

Devido o objetivo desse ensaio ser a simulação da etapa de peneiramento ocorrido na fábrica de massa, é importante que todo o processo seja repetido no laboratório. Logo, com os dados contido na Tabela 4, que quantifica o teor de resíduo em cada uma das análises, foi possível observar que os resíduos apresentam valores semelhantes entre as duas formulações. Assim, fica claro que o material da etiqueta é fragmentado suficientemente para que não ocasione aumento no resíduo gerado na etapa de moagem.

Tabela 4-resultados do teor de resíduo.

	BP	BT
#40	0,11	0,09
(%)		
#60	0,20	0,21
(%)		

Fonte:Autor

Nas figuras 15 e 16 podem ser observados os resíduos que ficaram retidos nas peneiras de mesh 40 para as amostras BP e BT, respectivamente.

Figura 15 - resíduo de peneiramento na malha 40 para a barbotina padrão.



Fonte: Autor.

Figura 16 - resíduo de peneiramento na malha 40 para a barbotina teste.



Fonte: Autor.

Esse ensaio é de suma importância para o processo, pois em caso de aumento discrepante do resíduo da barbotina teste em relação à barbotina padrão, o uso do pitcher com a etiqueta seria inviabilizado. Visto que iria aumentar o resíduo na etapa de peneiramento fábrica de massa, setor que a barbotina é fabricada, e assim o uso desse material seria mais maléfico que benéfico.

As duas Figuras a seguir, 17 e 18, apresentam o resíduo da BP e BT, respectivamente, em malha 60.

Figura 17 - resíduo de peneiramento na malha 60 para a barbotina padrão.



Fonte: Autor.

Figura 18- resíduo de peneiramento na malha 60 para a barbotina teste.



Fonte: Autor.

E assim como no ensaio de resíduo com a malha de mesh 40, o resíduo na malha de

mesh 60 não apresentou grande diferença no resíduo.

Tixotropia.

Esse ensaio tem como objetivo determinar o comportamento da barbotina quando submetido a um cisalhamento. A tixotropia é uma transformação isotérmica sol-gel reversível e expressa a variação da viscosidade quando uma tensão cisalhante é aplicada. Quando em repouso, as lamelas das argilas se organizam criando interações eletrostáticas fracas e aprisionando água dentro do espaço criado pela junção destas, o que provoca um aumento momentâneo da viscosidade. Entretanto, quando uma tensão capaz de quebrar essas interações é aplicada, ocorre a diminuição da viscosidade pela liberação de água. (SANTOS, 1989).

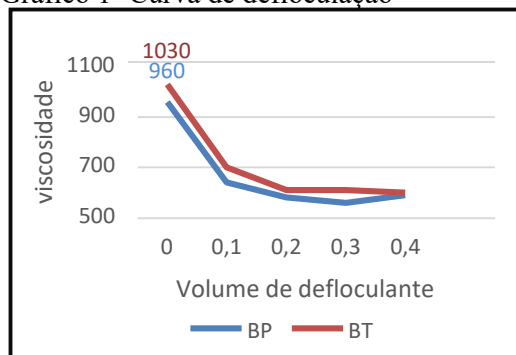
Então, de acordo com a literatura acredita-se que as cargas superficiais presentes na etiqueta de indicação poderiam causar uma perturbação no sistema, visto que é provável que a mesma tenha cargas na superfície devido a fricção com outros sólidos presente na barbotina, o que pode dificultar ou favorecer as interações eletrostáticas entre as lamelas e assim diminuir ou aumentar a magnitude dessa propriedade. Não obstante, verificou-se que as duas barbotinas apresentaram tixotropia semelhante, cuja barbotina padrão apresentou tixotropia igual a 87 cP e a barbotina teste apresentou tixotropia igual a 89 cP. Dessa forma, demonstrou-se que a etiqueta de identificação não interferiu nesta propriedade (SANTOS, 1989).

Viscosidade no ponto mínimo.

No Gráfico 1 está apresentado as curvas de defloculação de BT e BP. Analisando o gráfico, fica evidente que a barbotina preparada com o pitch que continha a etiqueta de peças de refugo (BT) apresentou maiores viscosidades. Além disso, observa-se que ambas as barbotinas saturaram com um volume de 0,4 mL de defloculante, ou seja, ambas as suspensões

coloidais começaram a flocular. Isso mostra que o papel da etiqueta não exerce influência na ação do defloculante.

Gráfico 1- Curva de defloculação



Segundo Machado (2002), a viscosidade aparente é uma medida direta da intensidade eletrostática e da massa entre as partículas. Diante disso, a etiqueta presente em BT provavelmente estaria provocando um aumento nessas interações e resultando em um aumento da viscosidade.

Além disso, o crescimento dos valores da viscosidade, de 560 para 590 no caso da barbotina padrão e de 590 para 600 no caso da barbotina teste, após 3 decaimentos, apresentado no Gráfico 1 também é explicado pela literatura. Com a adição do defloculante, Na_2SiO_3 (silicato de sódio) ocorre a dissociação iônica, e o íon sódio, por apresentar grande tamanho atômico e alto número de coordenação com água, acarreta um grande inchamento (FRANÇA, 2019).

A coordenação dos átomos do defloculante com as moléculas de água faz com que ocorra o afastamento das lamelas das argilas. No entanto, se esse afastamento for muito grande, acaba ocorrendo um encontro dessas lamelas, formando assim flocos que aumentam as interações das massas e por fim aumentam a viscosidade (SANTOS, 1989).

Avaliação das propriedades das amostras pós sinterização

Cor.

As Figuras 19 e 20 são referentes aos corpos de prova a verde. Não foi evidenciada nenhuma alteração drástica na coloração das peças que estivesse relacionado com as etiquetas de identificação de peças de refugo presentes na barbotina teste. A Figura 21 se refere os corpos de prova provenientes de BP (21.a) e BT (21.b), respectivamente, após sinterização.

Assim como verificado nos orpos de prova à verde, não observa odificação da coloração nas duas rmulações preparadas.

Figura 19- Corpos de provas sinterizados proveniente da barbotina (a) Padrão e (b) Teste.



Fonte: Autor.

Devido o material da etiqueta, usadas nas peças de refugo ser orgânico, no processo de queima dessas peças, que ocorre em temperatura de 1200°C , toda essa substância é decomposta em gás carbônico e água em uma reação completa (ATIKINS, 2018).

No entanto, na realidade, essa reação não é totalmente completa, e parte da matéria orgânica vira cinza, o que poderia ter comprometido a cor dos corpos de prova sinterizados. Como o percentual da etiqueta na barbotina é muito pequeno, as amostras BT não diferiram na cor em relação às BP.

Figura 20- Corpos de prova desenvolvidos com a barbotina teste.



Fonte: Autor.

Figura 21- Corpos de provas sinterizados proveniente da barbotina (a) Padrão e (b) Teste.



Fonte: Autor

Retração.

Na tabela 6 são apresentados os resultados de retração pós queima das amostras provenientes da barbotina padrão e da barbotina teste.

Tabela 6- Resultados do ensaio de retração.

	BP	BT
Comprimento (%)	10,26	9,97
Diametro (%)	5,77	5,74
Total (%)	20,31	20,02

Fonte: Autor.

A sinterização é o processo no qual ocorre a compactação das partículas dos grãos/partículas, quando um determinado material é exposto à altas temperaturas. Para materiais cerâmicos a sinterização ocorre em temperaturas entre 900 a 1200°C, durante esse processo ocorre a reação de calcinação de matéria orgânica (reação de decomposição de um material em gás carbonico e água), no qual a saída desses gases da peça podem provocar trincas ou poros que diminuem a compactação. (BOCH, 2007).

Com os resultados mostrados na tabela 6 ficou evidente que a etiqueta também não influência de forma considerável a retração do corpo de prova sinterizado. Diante isso, pode-se afirmar duas coisas: que o material foi fragmentado o suficientemente a ponto de não causar alterações na contração e que após sinterizado, o poro resultante da queima do material da etiqueta ou foi extinto devido a compactação ou não é grande

suficiente para provocar alterações dimensionais.

Perda ao forno.

O objetivo desse ensaio é descobrir a quantidade de matéria orgânica que se tem em um corpo de prova e os resultados dele está disposto na Tabela 7.

Tabela 7- Teor de matéria orgânica.

	BP	BT
Teor (%)	5,75	5,77

Fonte: Autor.

Assim como explicado anteriormente o material orgânico da etiqueta irá passar pela calcinação, logo se associa-se esse 0,02% de diferencia entre a BP e BT associasse à etiqueta, e essa diferença está em um nível aceitável para peças cerâmicas que pode chegar a 10% (parâmetro industrial).

Módulo de Ruptura a Flexão.

O módulo de ruptura a flexão (MRF) tem como objetivo dimensionar a resistência mecânica das peças, diante disso na Tabela 8 estão os valores dos ensaios de MRF.

Tabela 8- Resultados do ensaio de módulo de ruptura a flexão.

	MRF	BP	BT
Peças a verde (KPa)		43,50	50,86
Peças sinterizadas (KPa)		781,54	836,73

Mediante os resultados evidenciados na Tabela acima, nota que os corpos de provas que tinham a etiqueta na composição, apresentaram um maior valor de resistência, esse fator pode ser justificado pelo fato do material da etiqueta provocar maior compactação no material.

Na literatura, já menciona que os materiais cerâmicos têm baixa tenacidade e são frágeis devidos aos defeitos volumétricos presentes na micro e macro estruturas desse tipo de materiais, defeitos como poros e trincas (KING, 2002).

Visto que o material da etiqueta é caracterizado como matéria orgânica e como mencionado anteriormente, ao passar pela etapa de sinterização, esse material é

decomposto virando gás carbônico, água e cinza, saindo os dois primeiros da peça na forma gasosa, devido à alta temperatura do forno. Consequentemente, podem se formar um poro ou trinca no local onde se situava anteriormente o gás (ATIKINS, 2018).

Tanto os poros, trincas e cinzas formados na sinterização atuam como concentradores de tensão que por definição, são defeitos ou trincas muito pequenos, que sempre existem na superfície ou interior de um material (CALLISTER, 2014).

Esses concentradores de tensão atuam negativamente, diminuindo a força necessária para provocar a ruptura numa peça, pois quando aplicada uma força há uma multiplicação e concentração de tensões nesses pontos (BARSOUM, 2003).

Resultados alcançados após alteração operacional.

A simples mudança de começar britar as peças de refugo com a etiqueta de identificação, acarretou as seguintes melhorias de processo: aumento de 20% na produção de pitcher; aumento de 20% no volume de quebra (essa porcentagem representa um aumento de 150 peças para 180 peças por hora, quando forem quebrados pallets apenas com bacias sanitárias. Já quando o referencial são pallets com mixes de peças, o aumento foi de 320 para 385 peças); aumento para 6 pallet / hora na vazão de quebra, no que anteriormente era de 5 pallet/ hora e aproveitamento de 1 h e 50 min do dia em média que era desperdiçado com a retirada da etiqueta.

Outro parâmetro que apresentou uma melhora foi o parâmetro de tempo, onde o tempo médio de um ciclo (quebra de um pallet e reposição de um pallet para quebrar) passou de 12 min para 10 min. O tempo para quebrar um pallet de bacia que antes da alteração era de 10 min passou a ser 7 min, já quando há um mix de peças no pallet a diminuição do tempo foi de 12 min para 8,5.

Pelo lado do custo, deixou de ser desperdiçado R\$3.426,42 em um ano do operador isso é equivalente a quase 3

meses de salário do mesmo, além disso foi feita a substituição de etiqueta de refugo com material polimérico laminado para a etiqueta apenas de papel (sendo essa segunda a etiqueta que estava presente nas peças que foram transformadas em pitcher), com essa substituição se economizou R\$ 3.530.

CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Mediante todos os resultados apresentados nesse trabalho, ficou evidente que o pitcher feito a partir das peças com etiquetas de identificação de refugo não acarretou diminuição nos valores das propriedades mecânicas das peças final nem afetou as propriedades físico-químicas e reológicas da barbotina.

Diante disso, não há necessidade de continuar o processo de retirada das etiquetas das peças de refugo, pois além dos desperdício de dinheiro, em torno de 7 mil reais por ano, outros fatores foram otimizados, como a quantidade de pallets processados por hora, aumento na quantidade de pitcher e diminuição de tempo de operação desperdiçado. Assim, o processo foi otimizado e houve também um aumento no ganho de matéria prima.

Para futuras continuação da otimização da britagem, foram apontados alguns pontos de melhoria como por exemplo: Aumento da velocidade da esteira de alimentação do britador; aumento da rotação dos martelos; estudo para melhoria do espaço disposto para acúmulo de paletes com peças para a britagem, visando a redução de desperdício com movimentação.

REFERÊNCIAS

ANTUNES, J. *et al.* **Sistemas de Produção:** conceitos e práticas para projeto e gestão de produção enxuta. Porto Alegre: Bookman, p. 200-210, 2008.

ASHBY Michael, JONES David R. H. **Engenharia de materiais**, Rio de Janeiro: Elsevier, v. 2, p. 150-175, 2007.

ATKINIS Peter, JONES Loretta, **Principio da Química:** questionando a vida moderna

e o meio ambiente, 5. ed., Porto Alegre: Bookman, p. 500-575, 2017.

BARSOUM, Michel. **Fundamentals of ceramics**, Estados Unidos da América: IOP, p 38-42, 2003.

BAXTER, Mike. **Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos**, 3. ed., São Paulo: Edgard Blucher, p. 85, 2008.

BOCH Philippe, NIÈPCE Jean-Claude **Ceramic material processes, properties and application**, Londres: ISLE, p. 55-92, 2007.

CALLISTER W. D., RETHWISCH D. G., **Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais**, 9. ed., Rio de Janeiro: LTC, p. 38, 2014.

FRANÇA Robson. **Avaliação das propriedades dos fluidos de perfuração desenvolvidos com argilas policatiônicas e aditivos**. Recife, 2020. Relatório de PIBIC.

FRANÇA Robson. **Modelagem e desenvolvimento de fluidos argilosos para perfuração de poços de petróleo**. Recife, 2020. Relatório de pesquisa de extensão (BIA).

GROOVER Mikell. **Introdução aos processos de fabricação**, Rio de Janeiro: LTC, p. 382-386, 2014.

ISHIDA Heitor, VALENTE Ana, VILLEGAS Teresa, PINZON Fernando, **Análise da eficiência energética em segmentos industriais selecionados**, Qualitec, 2017, Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-314/topico-407/PRODUTO%206_Vpublicacao.pdf Acesso em: 2 jul. 2020.

KING Alan, **Ceramic technology and processing: a partice working guide**, Estados Unidos da Americas: William Andrew, p. 314-320, 2002.

LIRA H. L., NEVES G. A. Feldspatos: conceito, estruturacristalina, propriedades física, origens e ocorrências, aplicações, reservas e produção. **Revista eletrônica de Materiais e Processos**. v 8.3, 2013. Disponível em: <http://www2.ufcg.edu.br/article/download> acesso em: 30 jul. 2020.

MACHADO, J. C. V., **Reologia e Escoamento de Fluidos: ênfase na indústria de petróleo**, Rio de Janeiro: Interciência, p. 120-132, 2002.

OLIVEIRA, Pablo. **Análise dos setes desperdícios da produção em um abatedouro de ave**. Trabalho Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção). Universidade de Brasília, Brasília, 2016 Disponível em: bdm.unb.br/bitstream/10483/15209/1/2016_PabloLustosadeOliveira.pdf acesso em: 15 ago. 2020.

SANTOS P.S, **Ciência e Tecnologia de Argilas**, 2. ed., São Paulo: Edgard Blücher 1989.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus, que me concedeu a possibilidade de viver tudo o que vivi e sempre vem me dando força. A baixo dele agradeço primordialmente a 3 mulheres. A primeira é minha mãe, a pessoa que sempre acreditou em nos meus sonhos muito mais que eu.

A segunda a minha orientadora que foi a pessoa fundamental para atuar nessa profissão maravilhosa e que me mostrou e me orientou muito bem, não só nesse trabalho, mas também na vida, sendo para mim, desde da nossa primeira conversa uma fonte de inspiração de pessoa e de profissional.

A terceira a Dr^a. Renalle Nascimento a responsável por fazer com que eu me apaixonasse pela área cerâmica, no qual muitos dos seus ensinamentos que foram passados para mim, foi aplicado para desenvolver esse projeto, no qual meu sonho é ser tão maravilhoso nessa área quanto ela.

Por fim, quero agradecer ao meus familiares e todos meus amigos que sempre me encorajam, me apoiam e dão força para sempre buscar o melhor para mim.