

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

FRANCIÉLI CAIARA RODRIGUES DE CARVALHO

**ESTUDO DA EFICIÊNCIA DO USO DA CINZA DE BAGAÇO DE CANA-DE-
AÇÚCAR (CBC) COMO ADITIVO DEFLOCULANTE NA INDÚSTRIA DE
PORCELANATO**

**Ilha Solteira
2020**



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Ilha Solteira

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DOS MATERIAIS
(PPGCM)

FRANCIÉLI CAIARA RODRIGUES DE CARVALHO

**ESTUDO DA EFICIÊNCIA DO USO DA CINZA DE BAGAÇO DE CANA-DE-
AÇÚCAR (CBC) COMO ADITIVO DEFLOCULANTE NA INDÚSTRIA DE
PORCELANATO**

Dissertação apresentada à Faculdade de
Engenharia de Ilha Solteira – UNESP como
parte dos requisitos para obtenção do título
de Mestre em Ciência dos Materiais

Keizo Yukimitu
Orientador

Ilha Solteira
2020

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

C331e Carvalho, Franciéli Caiara Rodrigues de.
Estudo da eficiência do uso da cinza de bagaço de Cana-de-açúcar (CBC) como aditivo defloculante na indústria de porcelanato / Franciéli Caiara Rodrigues de Carvalho. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2020
95 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Física da Matéria Condensada, 2020

Orientador: Keizo Yukimitu
Inclui bibliografia

1. Cinza de bagaço e cana-de-açúcar (CBC). 2. Aditivo defloculante. 3. Porcelanato. 4. Reologia. 5. Resíduos. 6. Argilas.


Raiane da Silva Santos
Supervisora Técnica de Seção

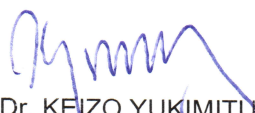
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

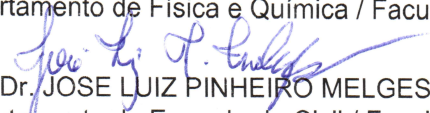
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Estudo da Eficiência do Uso da Cinza de Bagaço de Cana-de-Açúcar (CBC) como aditivo defloculante na indústria de porcelanato

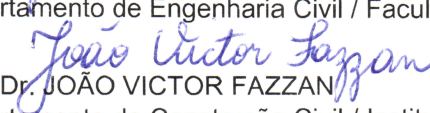
AUTORA: FRANCIÉLI CAIARA RODRIGUES DE CARVALHO

ORIENTADOR: KEIZO YUKIMITU

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em CIÊNCIA DOS MATERIAIS, área: Física da Matéria Condensada pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. KEIZO YUKIMITU
Departamento de Física e Química / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP


Prof. Dr. JOSE LUIZ PINHEIRO MELGES
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP


Prof. Dr. JOÃO VICTOR FAZZAN
Departamento de Construção Civil / Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo - IFSP

Ilha Solteira, 28 de fevereiro de 2020

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, pois apesar de terem sido inúmeras as pessoas que colaboraram grandiosamente para a realização deste trabalho, em alguns momentos não houve outra alternativa a não ser recorrer à Sua providência, e assim arranjar forças para cumprir com os meus propósitos.

Agradeço, de forma geral, a todos que de alguma forma contribuíram para que eu estivesse escrevendo este texto hoje, mesmo os que não participaram de forma efetiva no estudo em questão; colegas, funcionários, professores, amigos ou até mesmo desconhecidos.

Agradeço aos meus familiares que sempre estiveram ao meu lado não apenas nesta fase, mas durante toda a minha vida. Em especial à minha tia Maria Helena, por suas imensuráveis virtudes de generosidade e dedicação aos seus, virtudes sem as quais todos nós estaríamos totalmente perdidos. Agradeço também à minha avó Maria, sem o afeto da qual, até que eu me tornasse adulta, seria impossível chegar até onde cheguei.

Agradeço especialmente à motivação de qualquer coisa boa que eu já fiz ou venha a fazer nesta vida, e conseqüentemente, a motivação para o meu mestrado: a minha mãe Maria de Fátima. Todos os agradecimentos contidos neste trabalho, em resumo, são agradecimentos por ajudas para produzir algo que possa me fazer sentir merecedora de uma honra tão grande como a que eu carrego; a de ser a única filha da mulher mais bela por fora e mais forte por dentro que já existiu.

Agradeço a todos os meus amigos e amigas para os quais pude recorrer nos momentos difíceis, ou às vezes simplesmente para obter momentos de leveza, conversas, risadas e diversão. Em especial agradeço ao meu amigo de adolescência Airton (Junior), sem o qual talvez hoje eu não teria condições de estar escrevendo este texto.

Agradeço também à minha amiga e colega de república Aline, que contribuiu muito para a realização deste trabalho, sendo-me auxiliando muito em algumas etapas, ou por apenas ouvir os meus desabafos e “ais”.

Agradeço à Villagres Cerâmicas por ter cedido suas instalações e corpo técnico para a realização da pesquisa, assim como aos funcionários que tiveram prontidão

em colaborar com os objetivos do estudo, em especial ao técnico sênior Edvaldo Gomes Machado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Para a minha mamãe, Maria de Fátima Rodrigues (Fatinha).

RESUMO

Este trabalho visa o estudo da eficiência do uso da cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBC) como defloculante para materiais cerâmicos do tipo porcelanato, disponibilizada pela indústria Villagres, em comparação ao aditivo defloculante atualmente utilizado mesma, o silicato de sódio. O estudo do reaproveitamento deste material residual de origem orgânica na indústria cerâmica tem motivações que envolvem causas de disponibilidade, sustentabilidade, inovação e rentabilidade, motivações essas que, para este estudo em específico, foram fomentadas por resultados bastante promissores obtidos através de um estudo prévio envolvendo algumas destas mesmas variáveis citadas, em termos de redução do tempo de escoamento, e consequentemente, viscosidade. Materiais argilosos (argilominerais) fazem parte de grande parte da composição de massas cerâmicas. Durante o seu processo de moagem via úmida, observa-se nas argilas uma interação superficial de atração pelas forças de Van der Waals. Para que esta interação diminua e consequentemente a viscosidade da barbotina, utiliza-se aditivos defloculantes à base de sódio. O silicato de sódio é capaz de promover a troca catiônica dos cátions bivalentes. Conforme o decorrer do projeto, foram testadas diferentes formulações e metodologias nas instalações da indústria de porcelanato Villagres, com adições de silicato de sódio e/ou CBC aos materiais cerâmicos, e assim medir das viscosidades das misturas com o equipamento Copo de Ford para que fosse analisado como que mesmas variam na presença de diferentes teores destes componentes. Os dados obtidos mostraram que a CBC não tem a propriedade de isoladamente agir como um defloculante, porém a mesma pode reagir, de forma a melhorar a sua ação. Finalmente, foram traçadas curvas de defloculação para cada matéria-prima fina da mistura com adição de CBC, agindo em conjunto com o defloculante. Chegou-se à conclusão que dentre estas matérias-primas, a Argila BCA é a que se apresenta com a maior dificuldade de trabalho e também a que sofre a maior influência positiva com a adição de CBC. As instalações e aparelhagens da Villagres foram gentilmente cedidas para coleta da grande maioria dos resultados presentes neste trabalho.

Palavras-chave: Defloculação; porcelanato; resíduo; cinza de bagaço de cana-de-açúcar; silicato de sódio; matérias-primas; argila.

ABSTRACT

This work aims to study the efficient use of sugarcane bagasse (CBC) as a deflocculant for porcelain-type ceramic materials, made available by the Villagres industry, compared to the currently deflocculant, or sodium silicate. The study of the reuse of this waste material of organic origin in the ceramic industry has motivations that involve causes of availability, sustainability, innovation and profitability, motivations that, for this specific study, were promoted by very promising results during a previous study involving some of these variables cited, in terms of reduction of flow time and hence viscosity. Clay materials (clay minerals) are part of most of the composition of ceramic masses. During the wet grinding process, a superficial interaction of attraction by van der Waals forces is observed in the clays. For this interaction to decrease and therefore the viscosity of the slip, sodium based deflocculant additives are used. Sodium silicate is capable of promoting a cationic exchange of bivalent cations. As the project progressed, different formulations and methods were tested at Villagres porcelain industry facility, with sodium silicate and/or CBC additions to ceramic materials, and thus the viscosities of the mixtures were measured with a Ford Cup to analyze how those viscosities values range in the presence of different contents of these components. The data obtained showed that CBC does not have the property of acting alone as a deflocculant, but it can react with sodium silicate in order to improve its action. Finally, deflocculation curves were drawn for each fine raw material in the mixture with the addition of CBC, acting in conjunction with the deflocculant. It was concluded that among these raw materials, Clay BCA is the one with the greatest difficulty in working and also the one that suffers the greatest positive influence with the addition of CBC. Villagres facilities and equipments were kindly provided to collect the vast majority of the results present in this work.

Keywords: Deflocculation; porcelain tiles; residue; sugarcane bagasse ash; sodium silicate; raw materials; clay.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma para a produção de açúcar	5
Figura 2 – Fluxograma para a produção de álcool	6
Figura 3 - Modelo de Newton para definir a viscosidade	14
Figura 4 – Representação da diferença entre via úmida e via seca	17
Figura 5 – MEV UNESP Presidente Prudente	21
Figura 6 – Formato dos corpos de aço utilizados no moinho	27
Figura 7 - Moinho utilizado na moagem de CBC	28
Figura 8 - Recipiente contendo material e água a ser colocado no misturador	29
Figura 9 - Viscosímetro copo Ford utilizado para o escoamento das amostras	30
Figura 10 - Densitômetro de mercúrio para medir a densidade	31
Figura 11 - Matérias-primas da formulação P-59 no recipiente, para posterior moagem.....	34
Figura 12 - Representação da metodologia aplicada para determinação do ponto de concentração ideal de defloculante	34
Figura 13 – Conversão de tempo em viscosidade para os orifícios do Copo Ford ...	38
Figura 14 - Material retido na peneira #45	40
Figura 15 - material retido na peneira #50	41
Figura 16 - Análise química de 6 lotes distintos de CBC	43
Figura 17 – Resultados de queima para amostras de 25g a 1200°C – face superior	51
Figura 18 – Resultados de queima para amostras de 25g a 1200°C – face inferior	51
Figura 19 – Pasta formada com a moagem das matérias-primas da formulação P-59 em adição à CBC	58
Figura 20 - Material retido na peneira comum, “Argila BCA”	64
Figura 21 e 22 – Pedacos de rocha e pedregulhos extraídos do material Caulim....	65
Figura 23 – Filito Itapeva (pedaços maiores e menores)	68
Figura 24 – Bentonita 4 Barras misturada com água	69

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Curva de defloculação da formulação P-59 para o Silicato de Sódio	56
Gráfico 2 – Adição crescente em porcentagem de CBC em comparação à de silicato de sódio	60
Gráfico 3 – Análise gráfica da Tabela 4	63
Gráfico 4 – Curva de Defloculação da Argila MF e da Argila Aguaí com adição de CBC.....	67
Gráfico 5 – Curva de Defloculação do Filito Longavida com adição de CBC	68
Gráfico 6 – Curva de Defloculação do Caulim com adição de CBC	70
Gráfico 7 – Curva de Defloculação da Argila BCA com adição de CBC	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantidades de material por formulação	32
Tabela 2 - Composição da cinza de bagaço de cana-de-açúcar	44
Tabela 3 - Composição do pó atomizado P-48	45
Tabela 4 – Tempo de escoamento e densidade para cada formulação	48
Tabela 5 – Resultados de forma sintetizada – 25g	52
Tabela 6 – Matérias-Primas utilizadas nas formulações	54
Tabela 7 – Análise química das matérias-primas contidas no pó-atomizado P-48	55
Tabela 8 – Análise química das matérias-primas contidas no pó-atomizado P-59	55
Tabela 9 – Densidades e Viscosidades das Amostras de pó atomizado P-59	62

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS	1
1.2 HISTÓRICO DAS ETAPAS DO ESTUDO E REPARTIÇÕES.....	1
1.3 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA, JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DO TEMA	3
2 REVISÃO DA LITERATURA	4
2.1 CANA-DE-AÇÚCAR.....	4
2.1.1. Produção da cana-de-açúcar	4
2.1.2 Processo produtivo e geração de resíduos	4
2.2 PORCELANATO	8
2.3 MATERIAIS ENVOLVIDOS NAS FORMULAÇÕES DE PORCELANATO	9
2.3.1 Caulim	9
2.3.2 Feldspato	9
2.3.3 Filito.....	10
2.3.4 Argilas	10
2.3.4.1 Argila plástica.....	11
2.3.4.2 Argila refratária.....	11
2.3.6 Bentonita.....	11
2.3.7 Talco.....	12
2.4 TERMOS E CONCEITOS ENVOLVIDOS NA REOLOGIA DAS MISTURAS CERÂMICAS	12
2.4.1 Defloculação	12
2.4.2 Tixotropia.....	13
2.4.3 Pseudoplasticidade.....	13
2.4.4 Reologia	13
2.4.5 Viscosidade	14
2.4.6 Tempo de escoamento.....	15
2.5 SILICATO DE SÓDIO E REAÇÃO DE TROCA CATIONICA DOS DEFLOCULANTES	15
2.6 PRODUÇÃO VIA ÚMIDA E VIA SECA.....	17
3 MATERIAIS E MÉTODOS	19

3.1 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	19
3.1.1. Material cinza de bagaço de cana-de-açúcar moída	19
3.1.2 Equipamentos envolvidos para peneiramento e moagem da CBC	19
3.1.2 Materiais e equipamentos envolvidos para produção das amostras de porcelanato (formulação P-48 da Villagres) com adição de CBC	19
3.1.3 Materiais envolvidos para a produção das amostras de barbotina cerâmica (formulação P-59 da Villagres) após moagem das matérias-primas e adição de defloculantes	19
3.1.4 – EDS.....	21
3.1.5 Materiais e equipamentos envolvidos para a produção das amostras de barbotina cerâmica (formulação P-48 e P-59 da Villagres) após moagem das matérias-primas e adição de CBC	22
3.1.6 Materiais e equipamentos envolvidos para produção das amostras barbotina com utilização direta do pó-atomizado (formulação P-59 da Villagres) com adição de CBC e/ou (re)adição de silicato de sódio como defloculante....	23
3.1.7 Materiais finos e/ou argilosos das composições de massas cerâmicas	24
3.1.8 Materiais e equipamentos envolvidos na produção de amostras de caracterização de cada material fino e/ou argiloso, com adição de CBC e silicato de sódio	25
3.2 METODOLOGIA.....	26
3.2.1 <u>Primeira Parte do Estudo</u>	26
3.2.1.1 <i>Peneiramento da CBC</i>	26
3.2.1.2 <i>Moagem</i>	26
3.2.1.3 <i>Dados pertinentes à reologia das amostras</i>	28
3.2.1.4 <i>Formulação dos lotes</i>	28
3.2.1.5 <i>Dados coletados – Densidade e tempo de escoamento</i>	29
3.2.1.6 <i>Formulação das amostras com seus respectivos percentuais de substituição</i>	31
3.2.1.7 <i>Dados coletados – densidade e tempo de escoamento</i>	32
3.3.2 <u>Segunda Parte do Estudo</u>	32
3.2.2.1 Produção das amostras de barbotina cerâmica (formulação P-59 da Villagres) após moagem das matérias-primas e adição de defloculantes	33

3.2.2.2 Produção das amostras de barbotina cerâmica (formulação P-48 da Villagres) após moagem das matérias-primas e adição de CBC	35
3.2.2.3. Produção das amostras barbotina com utilização direta do pó-atomizado (formulação P-59 da Villagres) com adição de CBC e/ou (re)adição de silicato de sódio como defloculante.....	36
3.2.3 <u>Terceira Parte do Estudo</u>	36
3.2.3.1 Peneiramento e moagem das matérias-primas finas	36
3.2.3.2 Caracterização das matérias-primas finas, através da adição de CBC e silicato de sódio	37
4 RESULTADOS.....	40
4.1 PRIMEIRA ETAPA.....	40
4.1.1 PRODUÇÃO DA CBC.....	40
4.1.1.1 Peneiramento.....	40
4.1.1.2 Moagem.....	41
4.1.1.3 Considerações sobre o peneiramento e a moagem.....	42
4.1.2 COMPOSIÇÃO DA CBC	42
4.1.3 PROCEDIMENTO VIA ÚMIDA VILLAGRES – CARACTERIZAÇÃO CBC.....	46
4.1.3.1 Dados obtidos – Densidade e tempo de escoamento.....	46
4.1.4 PROCEDIMENTO VIA ÚMIDA VILLAGRES – CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL POR CBC	47
4.1.4.1 Proposta inicial da substituição parcial do pó atomizado por CBC	47
4.1.4.2 Formulações adotadas para as amostras	48
4.1.4.3 Densidade e tempo de escoamento para cada formulação (primeira visita)	48
4.1.4.4 Resultados Pós-Queima das amostras circulares e conclusões sintetizadas das amostras de 25 gramas.....	51
4.2 SEGUNDA ETAPA.....	53
4.2.1 Formulações das composições do pó-atomizado da Villagres e componentes envolvidos	53
4.2.2 Produção das amostras de barbotina cerâmica (formulação P-59 da Villagres) após moagem das matérias-primas e adição de defloculantes.....	56
4.2.2.1 Curvas de Defloculação.....	56
4.2.2.1.1 <u>Curva de Defloculação para o Silicato de Sódio</u>	56

<u>4.2.2.1.2 Amostras para possível verificação do teor ótimo da CBC como defloculante</u>	57
4.2.2.2 Produção das amostras de barbotina cerâmica (formulação P-48 da Villagres) após moagem das matérias-primas e adição de CBC	58
4.2.2.3. Produção das amostras barbotina com utilização direta do pó-atomizado (formulação P-59 da Villagres) com adição de CBC e/ou (re)adição de silicato de sódio como defloculante	59
4.2.2.4. Nova análise dos dados obtidos através do pó-atomizado (formulação P-48 da Villagres) com adição de CBC e/ou (re)adição de silicato de sódio como defloculante	62
4.3 TERCEIRA ETAPA	64
4.3.1 PREPARAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS A SEREM UTILIZADAS NAS CARACTERIZAÇÕES	64
4.3.2 Curvas de Defloculação	65
<u>4.3.2.1 Curva de Defloculação das Matérias-primas da Categoria A</u>	66
<u>4.3.2.2 Curva de Defloculação das Matérias-primas da Categoria B</u>	67
<u>4.3.2.3 Matérias-primas da Categoria C (Caulim)</u>	69
<u>4.3.2.4 Matérias-primas da Categoria D (Argila BCA)</u>	71
5 CONCLUSÃO	73
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Atualmente, empresas e marcas preocupam-se ativamente na imagem que passam a seus consumidores, pois, além do preço e qualidade do produto, conceitos e valores têm impactado diretamente em suas receitas, popularidades e aceitações no mercado (CHAMS; GARCÍA-BLANDÓN, 2019), o que justifica economicamente a importância do tema sustentabilidade para empresas.

Muitas indústrias e polos econômicos recorrem a métodos diversos e aprimoram metodologias afim de conglomerar o conceito de desenvolvimento eficiente à sustentabilidade. O conceito da economia circular, que consiste na redução, reutilização, recuperação e reciclagem de insumos, resíduos e energia, pode ser usado como exemplo da busca do equilíbrio entre alta produção, competitividade, avanços econômicos-sociais e respeito ao meio ambiente (SUÁREZ-EIROA et al., 2019; GAZZOLA; DEL CAMPO; ONYANGO, 2019).

As universidades, como polo de inovações, desempenham papel fundamental no desenvolvimento de novos produtos e técnicas de menor impacto ambiental. No entanto as descobertas universitárias a respeito do desenvolvimento sustentável e preocupação ambiental, por vezes não alcançam o conhecimento do público além do meio acadêmico. (WAKKEE et al., 2019).

No estudo aqui apresentado, com o intuito de aproximar o meio acadêmico ao mercado produtivo, proposto pela universidade pública FEIS-UNESP em parceria com a indústria Villagres, foi analisado a possibilidade do uso do resíduo cinza de bagaço de cana-de-açúcar como defloculante na barbotina de porcelanato usada em seu processo de produção, previamente também foi testado o potencial deste resíduo como substituinte parcial da formulação P-48 dos seus componentes.

1.2 HISTÓRICO DAS ETAPAS DO ESTUDO E REPARTIÇÕES

O grande indicativo de que a CBC poderia agir como defloculante na barbotina de porcelanato surgiu durante a primeira visita da aluna de mestrado Nayane Marquese da Costa, juntamente com a autora deste trabalho (colegas de pesquisa) às instalações da Villagres. Na ocasião em questão, verificou-se que, dentre outros resultados, ao se substituir o pó atomizado pela CBC em determinadas porcentagens

em massa, a viscosidade da barbotina obtida com esta mistura poderia diminuir seu tempo de escoamento em até (aproximadamente) 48% em relação à mistura padrão, dependendo do teor de CBC utilizado.

Anteriormente a isto, também houve uma etapa de sondagem das principais características, produção e preparação do material CBC, para que o mesmo pudesse vir a ser testado, no qual a autora esteve igualmente envolvida.

A partir dos dados obtidos na primeira visita, então, definiu-se os rumos específicos de pesquisa de cada uma das duas alunas, tendo sido o da colega da autora o estudo geral das substituições do pó atomizado por CBC em determinadas porcentagens de massa (estudo este que fora depois desenvolvido com dados individuais da aluna em questão, em posteriores visitas) e, portanto, o da autora, o estudo mais aprofundado da influência da CBC na viscosidade da mistura, também desenvolvido individualmente em uma outra etapa.

Sendo assim, de uma forma geral, no item **MATERIAIS E MÉTODOS** e em **RESULTADOS** o trabalho estará dividido da seguinte forma:

1) **Primeira Parte: Etapa Prévia e de Concepção;** onde estarão contidos dados de preparação e caracterização obtidos anteriormente à concepção do objeto deste estudo em específico, porém dos quais a autora participou da coleta e que serão essenciais aos desdobramentos de sua pesquisa em específico, ressaltando-se que desses dados, os únicos que estarão presentes neste trabalho serão os que cumprem esses dois requisitos (serem essenciais a este estudo e terem a participação da autora em sua coleta).

Vale ressaltar que grande parte desses dados estão também presentes na dissertação da aluna Nayane Marquese da Costa, pois logicamente lhe competem. Portanto, à medida que forem colocados neste trabalho, lhe será dado o crédito da forma devida.

2) **Segunda Etapa e Terceira Etapa do Estudo: Etapas do Estudo Propriamente Dito;** que é a etapa posterior à primeira, na qual a autora desenvolveu o estudo em questão em trabalhos e visitas individuais à indústria.

1.3 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA, JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DO TEMA

Atualmente, existem dois processos na produção de massas cerâmicas, conhecidos como via úmida e via seca. No processo via úmida, a massa composta por argilas é moída em moinhos cilíndricos a fim de reduzir o tamanho das partículas e promover uma melhor homogeneização. Porém, para realizar esse processo é necessário a adição de água e defloculante, assim facilitando a moagem e, consequentemente, reduzindo os tamanhos das partículas. Desta forma, é possível obter uma boa reologia da massa, onde viscosidade e densidade devem ser analisadas com grande rigor.

O silicato de sódio é um defloculante muito utilizado devido a seu baixo preço no mercado; porém, não apresenta reatividade suficiente para atuar sobre barbotinas tixotrópicas, pois permite a reaglomeração das partículas e, consequentemente aumentando a viscosidade. Também em muitos casos não é possível se obter uma alta concentração de sólidos em uma suspensão devido a sua baixa reatividade.

De acordo com o relatório para a safra 2018/2019 elaborado pela Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB, a estimativa de produção para a cana-de-açúcar foi de 615,84 milhões de toneladas em território nacional. Juntamente com a larga produção de açúcar e álcoois (anidro e hidratado), há a geração de resíduos diversos, como vinhaças, tortas de filtro e cinzas de bagaço de cana-de-açúcar, que necessitam de descarte e destinação adequada para não causarem danos ambientais (TOMMASELLIL et al., 2011).

De forma a minimizar a quantidade de cinzas descartadas em solo ou que trariam maior gasto às usinas sucroalcooleiras para o descarte em aterro, este trabalho analisou a proposta de se avaliar a eficiência da CBC em relação ao silicato de sódio na indústria de porcelanato, de forma a manter a qualidade original e a viabilidade econômica do produto, além de gerar inovação favorável à sustentabilidade.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 CANA-DE-AÇÚCAR

2.1.1. Produção da cana-de-açúcar

A produção da cana-de-açúcar para a safra de 2018 a 2019 foi estimada em 615,84 milhões de toneladas, e dessa forma, apresenta redução de 2,8% em relação à safra do período anterior. Para os derivados da cana-de-açúcar, a redução foi seguida pela maior parte de seus derivados (CONAB, 2018).

A produção brasileira de açúcar apresentou estimativa de produção em torno de 31,73 milhões de toneladas, retração de 16,22% em relação ao ocorrido em período anterior (CONAB, 2018).

A produção brasileira de etanol anidro foi da ordem de 10,74 bilhões de litros, retração de 2,3% em relação ao período anterior. Já o etanol hidratado, ao apresentar 21,58 bilhões de litros produzidos, obteve crescimento de 32,8% em relação ao período anterior. Dados segundo o terceiro levantamento da Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB (2018).

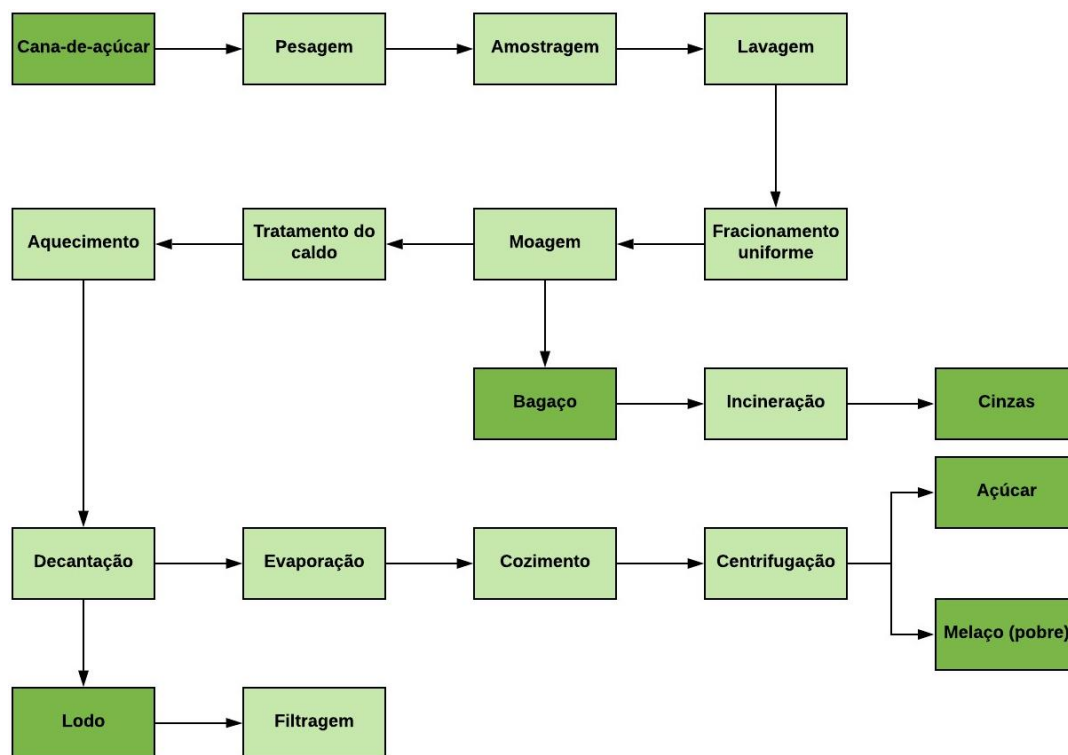
Como a UNESP – Ilha Solteira e a empresa Villagres estão situadas no estado de São Paulo, região Sudeste do país, o levantamento de dados a seguir apresenta as produções para a região em questão.

Da produção estimada em 615,84 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, 396,20 milhões de toneladas estão situadas no Sudeste (CONAB, 2018). Dessa forma, 64,33% de toda produção nacional é apenas desta região. Pode-se afirmar, portanto, que há disponibilidade e baixo custo de frete dos resíduos do material cana-de-açúcar tanto para a indústria de cerâmica Villagres quanto a Universidade FEIS- UNESP.

2.1.2 Processo produtivo e geração de resíduos

Além da disponibilidade do material expressa no tópico **2.1.1**, é essencial conhecer o ciclo produtivo da cana-de-açúcar que gerou o resíduo cinza de bagaço cana-de-açúcar. A Figura 1 apresenta o fluxograma simplificado para a produção de açúcar em uma usina sucroalcooleira.

Figura 1 – Fluxograma para a produção de açúcar.



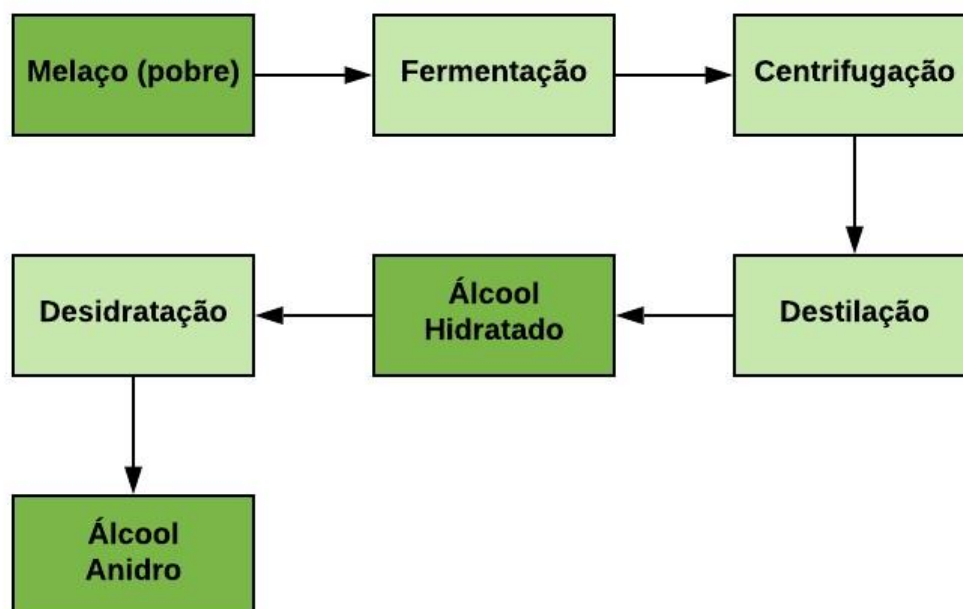
Fonte: (HOJO et al., 2012).

Como mostrado na Figura 1, a produção de açúcar envolve processos tais quais: a pesagem do montante de cana a ser utilizado; separação de amostras para análise do nível de sacarose e terra; lavagem para retirada de impurezas; fracionamento uniforme da cana-de-açúcar através de picagem, moagem para extração do caldo (gerando o bagaço como subproduto, a ser levado para as caldeiras para incineração, produzindo vapor e, conseqüentemente, energia, além das cinzas de bagaço de cana-de-açúcar como resíduo) (HOJO et. al, 2012).

Após o processo produtivo, há o tratamento do caldo com sulfitação e caleação, aquecimento, decantação para separar o lodo do sobrenadante e então esse é filtrado, retirando os sólidos presentes, evaporação, cozimento para cristalização do caldo e a centrifugação, que separa os cristais de açúcar do melaço residual considerado pobre (HOJO et. al, 2012).

A partir do melaço residual, se inicia o processo produtivo do álcool, apresentado pela esquematização da Figura 2.

Figura 2 – Fluxograma para a produção de álcool.



Fonte: (HOJO et al., 2012; MALAJOVICH, 2012).

A fermentação do melaço residual inicia a produção dos álcoois, conforme mostrado na Figura 2, onde o sistema será centrifugado e destilado, originando o álcool hidratado (HOJO et al., 2012).

A partir do hidratado a desidratação fornecerá álcool anidro. O processo de melhor rendimento e maior utilização é o composto por peneiras moleculares. Ainda há também, os processos de absorção de água através de monoetilenoglicol e destilação azeotrópica com ciclohexano (CGEE, 2009).

As porcentagens de teor alcoólico exigidos pelo órgão de regulamentação responsável (ANP) são de 99,3% para o etanol anidro e a faixa de 92,5% a 92,6% para o etanol hidratado (Resolução ANP nº 19, de 15 de abril de 2015).

Se pode inferir que o ciclo produtivo da cana-de-açúcar como exposto acima produz uma variedade de itens, além de diversidade de geração de resíduos. É fundamental que os impactos gerados pelos mesmos sejam minimizados a fim do desenvolvimento sustentável.

Nesta pesquisa, a cinza de bagaço de cana-de-açúcar, gerada após a incineração do bagaço do processo produtivo exposto em Figura 1, será o resíduo explorado.

A incineração do bagaço produz energia capaz de abastecer o consumo de uma usina sucroalcooleira e o excedente gerado ainda pode ser comercializado, tornando um subproduto de bom valor comercial. (HOJO et al., 2012).

Além da geração de energia, o bagaço in natura pode ser reaproveitado para a produção de ração animal, fertilizantes para solo, aglomerados e compostos similares a madeira (PIACENTE, 2005). No entanto, a respeito da destinação do bagaço nas indústrias, a maior porcentagem, cerca de 90%, é utilizado para energia. (COSTA 2012).

Em valores gerados por cada resíduo, a queima de uma tonelada cana-de-açúcar rende aproximadamente 280 kg de bagaço, e cada tonelada de bagaço rende em torno de 10 a 25kg de cinzas (CERQUEIRA; RODRIGUES FILHO; MEIRELES, 2007; FREDERICCI et al., 2012).

Conforme exposto em tópico anterior **2.1.1**, na região Sudeste, a expectativa para a produção de cana-de-açúcar no período de 2018 a 2019 foi de 396,20 milhões de toneladas. Os 615,84 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, gerariam aproximadamente 110,94 milhões de toneladas de bagaço e conseqüentemente, de 1,11 a 2,77 milhões de toneladas de cinza, caso fossem totalmente utilizados os resíduos produzidos.

De forma geral, o custo extra para o descarte correto dos resíduos oriundos das usinas sucroalcooleiras é um problema. Desta forma as cinzas de bagaço de cana-de-açúcar continuam sendo objeto de pesquisa (CACURO; WALDMAN, 2015). Resultados provenientes de pesquisas anteriores para uso desse resíduo mostram entre as possibilidades a utilização na aplicação de cinza para aditivo mineral em sistemas cimentícios, substituinte de agregado miúdo em argamassas e adicional em formulações de concreto como material pozolânico.

A grande quantidade de resíduo, porém, torna sua demanda insuficiente para impactar a quantidade de cinza de bagaço de cana-de-açúcar utilizada como adubo, ainda que haja questionamentos acerca de poluição de solo e lençóis freáticos, ou amenizar gastos para o correto descarte em aterros (TOMMASELLIL et al., 2011).

Em conformidade com o tópico **2.1.1**, devido à grande quantidade, disponibilidade e continuidade de existência de resíduos produzidos na indústria

sucroalcooleira, se pode identificar a oportunidade de utilização de tais resíduos para substituição parcial da formulação utilizada pela indústria Villagres.

2.2 PORCELANATO

O porcelanato, objeto de estudo neste projeto, segue a regulamentação da norma técnica NBR 15.463 (2013), que estabelece os parâmetros a serem respeitados. Tais quais definem que o porcelanato é definido como “placa cerâmica para revestimento com baixa porosidade e elevado desempenho técnico. Pode ser esmaltada ou não, polida ou natural, retificada ou não retificada”.

As placas cerâmicas produzidas pela indústria Villagres são especificadas como porcelanato polido, esmaltado e retificado. Por especificação da NBR 15.463 (2013):

Porcelanato técnico polido: porcelanato técnico que recebe polimento mecânico, o qual resulta em uma superfície com intensidade variável de brilho, em toda a superfície ou parte dela, de acordo com o efeito estético desejado.

Porcelanato esmaltado: placa cerâmica esmaltada para revestimento que apresenta absorção de água menor ou igual a 0,5%.

Porcelanato retificado: porcelanato que pode ser técnico ou esmaltado, que recebe um desbaste lateral.

Desta forma, os resultados obtidos durante os experimentos deverão respeitar os parâmetros da norma NBR 15.463 (2013) para classificação como porcelanato.

O Brasil está entre os principais produtores de revestimentos cerâmicos no cenário mundial, sendo o segundo colocado em produção e consumo. A produção “estimada” em 2016 foi de 792 milhões de metros quadrados, com vendas totais de 800,3 milhões de metros quadrados, sendo 706 milhões de metros quadrados para consumo nacional e 94,3 milhões de metros quadrados visando a exportação, de acordo com um levantamento de 2017 da Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para revestimentos, louças sanitárias e congêneres – ANFACER.

Portanto, se deduz que o Brasil é de grande influência internacional na produção de revestimentos cerâmicos e deve apresentar alta qualidade, competitividade de preços e constantemente buscar inovações, visando se manter no mercado. Características as quais entram em concordância com a proposta deste trabalho.

Para o trabalho aqui descrito, a formulação P-48 da indústria Villagres será estudada em conjunto com a cinza de bagaço de cana-de-açúcar, sendo

parcialmente substituída pela cinza. O tópico 2.3 aborda os materiais envolvidos na formulação P-48.

2.3 MATERIAIS ENVOLVIDOS NAS FORMULAÇÕES DE PORCELANATO

2.3.1 Caulim

O caulim, de larga utilização no setor econômico, é definido como argila do grupo de silicatos hidratados de alumínio, principalmente caulinita e haloisita, e é um dos seis minerais de maior abundância até 10 metros de profundidade da crosta terrestre. De forma geral, apresentará impurezas como: areia, palhetas de mica, grãos de feldspato, óxidos de ferro e titânio. A composição básica do caulim geralmente se apresenta em função de óxidos de elementos variados, alterando o nível de complexidade (SILVA, 2001).

Ainda segundo (SILVA, 2001), das propriedades relevantes para o porcelanato se pode citar:

- a) Defloculação: caso em forma de barbotina (suspensão aquosa de argila), apresentará a menor viscosidade possível;
- b) Plasticidade: apresenta menor plasticidade do que as demais argilas;
- c) Alto ponto de fusão: 1650°C a 1775°C;
- d) Granulometria: menor que 0,2 microns.

2.3.2 Feldspato

O feldspato é definido como sendo um silicato de alumínio com potássio, sódio, cálcio e, menos frequentemente, bário, sendo utilizado no setor cerâmico o feldspato de alumínio (COELHO^b, 2009).

E material desempenha a função de fundente, por apresenta o menor ponto de fusão da formulação de porcelanato (RAMOS, 2001), além de assistir na conservação da forma esculpida dos corpos cerâmicos durante o ciclo da queima (COELHO^b, 2009).

O feldspato é um dos materiais mais custosos para a empresa Villagres, segundo técnicos da empresa. Sendo o processo de extração e fracionamento

majoritariamente responsável, vista a necessidade de explosivos para tais. (COELHO^b, 2009).

Devido ao valor econômico e impacto ambiental gerado pela extração do feldspato, indústrias cerâmicas utilizam materiais substitutos em suas formulações. Sendo os de maior utilização: granito tipo Jundiaí, filito, areia feldspática e nefelina sienito (COELHO^a, 2001).

2.3.3 Filito

O filito é um mineral abundante e de baixo custo, localizado na crosta terrestre, sua composição é em maioria quartzo e moscovita, caulinita, microclina, rutilo e goethita em fases secundárias, assim possuindo quantidades elevadas de quartzo, em adendo com concentração de até 40% de filossilicatos, apresentando material em compatibilidade com a formulação do pó atomizado P-48 (MELO; THAUMATURGO, 2012).

A principal função do filito nos materiais envolvidos é a substituição do feldspato, de alto valor comercial, conforme dito anteriormente. Sendo registrado que as propriedades das peças cerâmicas se mantêm inalteradas, quando respeitadas as dosagens.

2.3.4 Argilas

Conforme Santos (2009), as argilas são rochas sedimentares compostas de partículas muito finas de silicatos de alumínio, menores que 1/256 mm ou 4 µm, e são os óxidos que lhes dão tonalidades diversas. Dividem-se em dois tipos, sendo elas: argilas primárias, originadas da decomposição do solo por ações físico-químicas do ambiente natural, durante anos; e argilas secundárias, decorrentes da sedimentação de partículas transportadas pelas chuvas e ventos. As argilas podem ser classificadas em ilítica, caulínica e montmorilonítica.

2.3.4.1 Argila plástica

As argilas plásticas, como se pode inferir pelo nome, são argilas altamente plásticas em comparação às demais. Sendo também, definidas como argilas cauliniticas sedimentares, de coloração classificada na faixa creme-clara até branca. Sua composição mineralógica básica é à base de caulinita e quartzo (CETEM-MCT, 2008).

Em geral, possui caulinita, quartzo, mica, e menos frequentemente, esmectita e clorita. Podendo apresentar contaminantes como óxidos de ferro, pirita, siderita, titânio, gipsita e dolomita, sendo que tais contaminantes não possuem processo econômico de purificação, sendo extraídas e utilizadas sem mais processos (CETEM-MCT, 2008).

As argilas plásticas apresentam como principais funções, o fornecimento de melhor trabalhabilidade e resistência mecânica à seco, em corpos cerâmicos. (CETEM-MCT, 2008).

2.3.4.2 Argila refratária

As argilas refratárias apresentam composições semelhantes às argilas plásticas, diferenciando-se quanto à presença relevante de alumina no sistema da argila refratária. (CETEM-MCT, 2008)

Destas, são mais refratárias as constituídas pelo argilomineral caulinita, uma vez que são compostas basicamente de sílica (SiO_2) e alumina (Al_2O_3), enquanto as demais, por possuírem potássio e ferro, por exemplo, tem a capacidade refratária reduzida. Consequentemente, o processo de beneficiamento, que retira os minerais indesejáveis através de processos físicos é comum (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA – ABCERAM).

2.3.6 Bentonita

As argilas montmoriloníticas são as mais difíceis para defloculação como é o caso da bentonita, que geralmente é utilizada em teores próximos a 2% em

formulações de massa cerâmica, pois proporciona boa plasticidade e resistência mecânica nas peças cruas.

Segundo Rossi (2011), bentonita é uma argila vulcânica; boa parte de sua composição é de sílica e alumina, apresenta característica plástica, e se origina das cinzas vulcânicas. Pode aumentar entre 10 e 15 vezes seu volume ao entrar em contato com a água. Devido a sua característica de absorver grande parte da água, formando uma pasta sem condições de trabalho, se for utilizada na formulação da massa, forma uma barbotina com alta viscosidade e com tixotropia.

2.3.7 Talco

O talco é um filossilicato de magnésio hidratado, tal qual fórmula química pode ser dada por $Mg_3(Si_4O_{10})(OH)_2$. De um material de granulação relativamente fina, trata-se de um material de origem secundária, em geral oriundo da alteração de silicatos de magnésio, encontrado em rochas ígneas, esteatitas (rochas compactas e maciças) ou metamórficas, geralmente detentoras de impurezas e, portanto, recorre-se aos processos de beneficiamento para o talco (CETEM, 2005).

Ressalta-se a alta resistência ao choque térmico, alto poder de lubrificação e deslizamento, baixa condutibilidade térmica e elétrica, inerte quimicamente e leveza como propriedades de maior relevância para a cerâmica tipo porcelanato. (CETEM, 2005).

2.4 TERMOS E CONCEITOS ENVOLVIDOS NA REOLOGIA DAS MISTURAS CERÂMICAS

2.4.1 Defloculação

Os defloculantes mais utilizados pela indústria cerâmica são aqueles à base de sódio. Modesto e Felisbino (2009) explicam que com a adição de sódio na suspensão ocorre a troca catiônica; o sódio fica adsorvido na superfície das partículas no lugar de cátions divalentes (Ca^{+2} ou Mg^{+2}), que anulam a carga das mesmas. Com a adsorção do sódio, estas cargas deixam de ser anuladas e as partículas ficam carregadas

negativamente, provocando repulsão e a consequente defloculação. A parte aniônica do defloculante ainda pode sequestrar os cátions bivalentes e aumentar a ação defloculante. Fatores que afetam a defloculação são o percentual de sólidos, temperatura, tamanho de partículas, matéria orgânica, água utilizada no processo (alcalinidade, sulfatos e dureza), entre outros.

2.4.2 Tixotropia

Tixotropia é o fenômeno da diminuição da viscosidade aparente com o tempo de cisalhamento, a uma taxa de cisalhamento constante. É representado como um sistema não-newtoniano com fenômenos dependentes do tempo (DINGER, 2002). Ortega e Pandolfelli (1997) mostram que tixotropia é um comportamento de suspensões floculadas. Dentro desta perspectiva, Rocha, Zanardo e Moreno (2008) definem mais um exemplo sobre tixotropia, ou seja, é uma transformação isotérmica e reversível de uma suspensão contendo argilas, onde a suspensão torna-se menos viscosa pela agitação e mais espessa pelo repouso.

Segundo Gomes, Amorim e Ferreira (2001), a tixotropia pode ser minimizada pelo uso de agitadores com diferentes velocidades, deixando a suspensão cerâmica com fluidez adequada. Para massas que apresentam características tixotrópicas são necessários aditivos enérgicos.

2.4.3 Pseudoplasticidade

Pseudoplasticidade é denominada como um fluxo não-newtoniano e apresenta fenômeno estacionário independente do tempo, ou seja, é a diminuição da viscosidade aparente com o aumento da tensão de cisalhamento. As causas mais comuns desse comportamento em suspensões coloidais são, o fracionamento de agregados de partículas e a orientação de partículas assimétricas provocadas pelo aumento da taxa de cisalhamento (DINGER, 2002).

2.4.4 Reologia

Reologia é a parte da física que investiga as propriedades e o comportamento mecânico de corpos que sofrem uma deformação (sólidos elásticos) ou um

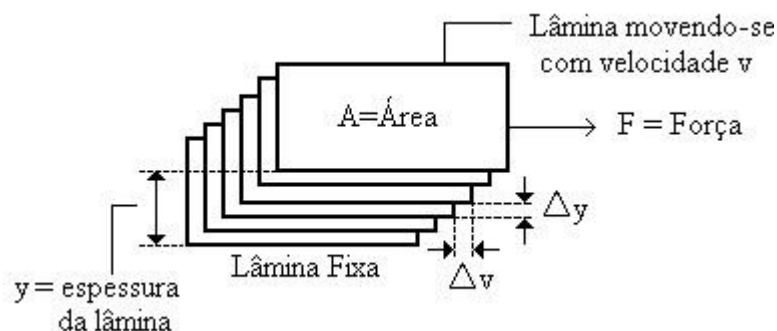
escoamento (fluido-líquido ou gás) devido à ação de uma tensão de cisalhamento (RODOLFO, NUNES e ORMANJI, 2006).

2.4.5 Viscosidade

Viscosidade é a resistência interna de um fluido ao escoamento, impondo resistência através do atrito das camadas internas (NETO, 2006).

Deve-se a Isaac Newton o primeiro modelamento que possibilitou correlacionar a taxa de deformação de um fluido com a tensão externa a qual este é submetido. Para investigar a relação entre tensão (τ) e a taxa de deformação ($\dot{\gamma}$) dos fluidos, Newton sugeriu um modelo composto por duas lâminas paralelas de um fluido, de área “A”, separadas por uma distância infinitesimal “dy” ou “ Δy ”, e movidas na mesma direção por velocidades distintas, conforme visualizado na Figura 3. A diferença de velocidade entre as lâminas (Δv) é mantida através de uma aplicação de uma força externa (F) a uma das lâminas. Em virtude dessa diferença de velocidade, o volume do fluido contido entre as lâminas é submetido a uma solicitação de cisalhamento simples, onde a taxa de deformação equivale ao gradiente de velocidade ao longo da distância Δy , e é conhecida como taxa de cisalhamento ($\dot{\gamma} = \frac{dv}{dx}$) (PANDOLFELLI, 2000).

Figura 3 - Modelo de Newton para definir a viscosidade



Fonte: (REED, 1995)

Utilizando este modelo, Newton verificou que há uma relação direta e linear de proporcionalidade, para diversos fluidos, entre a taxa de cisalhamento e a tensão externa aplicada sobre uma das lâminas (chamada de tensão de cisalhamento, τ). A constante de proporcionalidade entre as duas variáveis é conhecida como a viscosidade do fluido (η), como descrito a seguir:

$$\tau = \frac{F}{A} = \eta \frac{dv}{dx} = \eta \dot{\gamma}$$

A viscosidade pode ser considerada a principal propriedade reológica de um fluido, pois indica facilidade que um fluido apresenta em escoar continuamente sob ação de uma tensão de cisalhamento externa e pode ser medida em viscosímetro.

Todos os fluidos que obedecem à equação descrita acima apresentam um comportamento típico dos fluidos Newtonianos, ou seja, sua viscosidade é constante para uma dada temperatura e pressão. Para suspensões cerâmicas, assim como para qualquer fluido não-newtoniano (a viscosidade não é constante), o conceito de viscosidade torna-se mais adequado quando são informadas as condições de cisalhamento à qual a suspensão foi submetida.

2.4.6 Tempo de escoamento

É a velocidade com que um líquido flui por um orifício aberto no fundo do recipiente dependendo da altura do líquido, contada desde o orifício até a superfície livre, medidos em segundos (LIMA, 2009).

2.5 SILICATO DE SÓDIO E REAÇÃO DE TROCA CATIONICA DOS DEFLOCULANTES

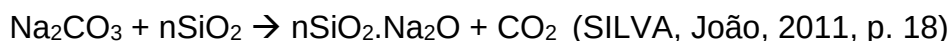
O silicato de sódio é um material de alta aplicações em diversos setores de mercado, sendo presente em processos referentes a tratamento de água, setor têxtil, fundição, cimentos e refratários, detergentes, consolidação de solos, e, em específico para este estudo, cerâmica. (SILVA, João, 2011)

Suas características positivas e diversificadas justificam tamanha presença no mercado. Segundo (SILVA, João, 2011, p. 18), o silicato de sódio apresenta “[...]fácil manipulação, ser atóxico e não inflamável [...], além de destacar-se como substituto em formulações e processos que procuram alternativas ecologicamente corretas”.

É um produto líquido viscoso denso, também conhecido como vidro líquido e água de vidro, encontrável em solução aquosa e na forma sólida, pode ser produzido com diferentes relações $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ (SOLVAY, 2011).

O processo de obtenção do silicato de sódio baseia-se na reação de fusão do carbonato de sódio e de sílica, submetidos a temperaturas entre 1200°C a 1400°C , e posterior dissolução do produto. (SILVA, João, 2011)

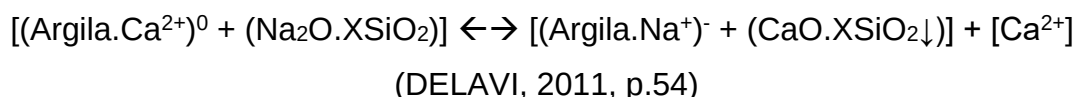
A reação descrita é dada por:



A aplicação do silicato de sódio é realizada com a finalidade de que o material aja como defloculante, ao se tratar de cerâmica. O mecanismo envolvido neste processo se baseia em estabilização eletrostática, pois o sódio provindo do silicato de sódio realiza troca catiônica com o cálcio presente nas argilas, desta forma, o sódio se apresenta adsorvido na superfície das partículas de argila, ocupando o lugar de cátions bivalentes, como o cálcio, que precipitam-se aumentando a defloculação do sistema. (DELAVI, 2011)

A função do silicato de sódio é de neutralizar a reatividade entre as partículas da massa, devido as elevadas energias superficiais que apresentam nos pós cerâmicos quando em meio líquido. A força de Van der Waals atua no sentido da desestabilização das suspensões, pela formação de aglomerados e silicato de sódio atua no sentido contrário às forças de Van der Waals (DIATOM, 2011).

A reação que descreve a troca catiônica descrita acima pode ser dada por:



Um ponto a ser notado é no caso de haver excesso de defloculante, o equilíbrio pode ser anulado e conseqüentemente, causando acréscimo na viscosidade apresentada, tal como pode ser visualizado na equação acima. (DELAVI, 2011)

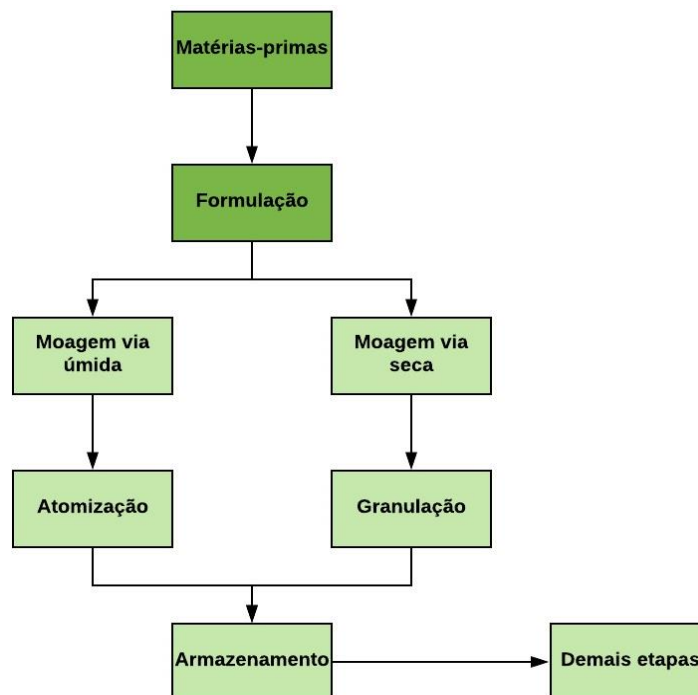
2.6 PRODUÇÃO VIA ÚMIDA E VIA SECA

Vistos os componentes da formulação P-48 da empresa Villagres, a seguir será comentado o método produtivo adotado pela indústria.

Há duas metodologias a serem adotadas para a produção de porcelanato: via úmida a qual é adotada pela empresa e via seca. Ambas as metodologias serão abordadas.

O processo via úmida é o processo mais antigo, importado dos tradicionais produtores europeus (Itália e Espanha). Porém, devido aos menores danos ambientais em comparação ao processo via úmida, como 40% menos energia térmica utilizada, menores emissões de CO₂ e consumo de água, o processo via seca tornou-se de maior utilização, sendo responsável por cerca de 70% de toda a produção brasileira. (MELCHIADES, 2011). Contudo, a priori, há divergências relevantes somente no início do ciclo produtivo, como mostrado na Figura 4.

Figura 4 – Representação da diferença entre via úmida e via seca.



Fonte: (MELCHIADES, 2011).

Nota-se pelo diagrama, que ocorre uma bifurcação de caminhos para a moagem de materiais. No procedimento via úmida, a formulação é dosada e levada a grandes moinhos de bola contendo suspensões aquosas, onde a concentração de sólidos é da ordem de 60% a 70% em massa (MELCHIADES, 2011).

Impacto e cisalhamento são os principais processos físicos nos moinhos de processo úmido. Em seguida, o material moído é atomizado em equipamentos denominados “spray-dryer”. Ao fim da atomização, o material está preparado para armazenamento ou continuação da produção (MELCHIADES, 2011).

Já no procedimento via seca, há uso de moinhos de martelos e moinhos pendulares para fracionamento dos componentes da formulação. Compressão, impacto e desagregação são os principais mecanismos envolvidos no processo. Os materiais devem possuir umidade inferior à 4% para o funcionamento desta metodologia. Seguido à moagem, o material é granulado em umectadores verticais ou horizontais, aglomerando os componentes, havendo geração de grânulos, estes podendo ser armazenados ou, em conformidade com o processo via úmida, enviados para a próxima etapa. Por haver o uso de água para aglomeração do material, a granulação também é dita granulação úmida (MELCHIADES, 2011).

Ao analisar a produção via úmida, se inferir que a viscosidade é relevante, não podendo ser comprometida.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

3.1.1. Material cinza de bagaço de cana-de-açúcar moída

A cinza utilizada em adição à massa branca de porcelanato deste estudo foi coletada na usina Ipiranga, de Mococa, SP. Devido à presença de impurezas e não estar uniformizada, foram necessários processos como limpeza e moagem.

3.1.2 Equipamentos envolvidos para peneiramento e moagem da CBC

Para a moagem e peneiração da cinza de bagaço de cana-de-açúcar foram utilizados os seguintes equipamentos:

a) Balança;

Função: pesagem da quantidade de material inicial, e pós processamentos, para determinação das perdas do sistema.

b) Peneira vibratória e conjunto de peneiras 50, 45 e 40 mesh;

Função: peneiramento e separação da cinza queimada de bagaço mal queimado e demais impurezas.

c) Moinho e corpos cilíndricos ou esféricos de aço;

Função: fracionamento da cinza de bagaço de cana-de-açúcar através do choque do material e os corpos de aço.

d) Equipamentos de proteção individual (EPI);

Função: segurança e proteção auditiva dos operadores, devido aos ruídos provindos do moinho.

3.1.3 Materiais e equipamentos envolvidos para produção das amostras de porcelanato (formulação P-48 da Villagres) com adição de CBC

MATERIAIS:

- a) Material CBC moído;
- b) Pó atomizado P-48 Villagres;
- c) Água;
- d) Silicato de sódio;

Função proposta: defloculante dos materiais com água adicionada.

- e) Placas de cerâmica refratária;

Função: suporte para as amostras ao adentrar o forno no ciclo de queima.

- f) Fluxo de chumbo M500/4530;

Função proposta: camada protetora das amostras afim evitar trocar gasosas.

A metodologia de produção das amostras é abordada no tópico **3.2.1.6**.

EQUIPAMENTOS:

Para preparação das amostras contendo tanto apenas a cinza de bagaço de cana-de-açúcar quanto massa de porcelanato com adição de CBC, foram utilizados os seguintes equipamentos:

- a) Agitador SERVITECH;

Função: agitador para recipientes contendo os materiais envolvidos na produção das amostras com fim de homogeneização.

- b) Viscosímetro Copo Ford de Orifício 4 e Cronômetro;

Função: medir o tempo de escoamento do material em adição à água.

- c) Estufa;

Função: retirada de umidade das amostras.

- d) Peneiras 18 e 40 mesh;

Função: garantir que os materiais não apresentem aglomerações.

- e) Ligante LIGASOLO MQB-520SP;

Função: analisar a maior compatibilidade do material CBC: água ou ligante.

- f) Prensa digital e mecânica;

Função: produzir as amostras circulares e retangulares a serem testadas.

g) Densitômetro de mercúrio;

Função: determinar a densidade.

h) Forno personalizado SERVITECH;

Função: reproduzir o ciclo de queima industrial em pequena escala.

i) Outros materiais: recipientes plásticos, metálicos, cerâmicos ou de papel, peneira simples, água, colheres e destorreadores.

3.1.4 – EDS

Para a análise da composição das amostras de cinza de bagaço de cana-de-açúcar foi utilizado o Microscópio Eletrônico de Varredura – MEV da UNESP de Presidente Prudente, modelo EVO LS15, mostrado na Figura 5, que possui os detectores de elétrons dispersivos (EDS).

Figura 5 – MEV UNESP Presidente Prudente.



Fonte: www.fct.unesp.br/#!/departamentos/fisica-quimica-e-biologia/equipamentosmultiusuario/apresentacao-mev/ .

Para preparação das amostras foi necessário somente a aplicação de uma fina camada de ouro de forma a evitar a deposição de elétrons na camada superficial das amostras, visto que o material já está em forma de pó, pois tal fenômeno pode acarretar deterioração do equipamento. É válido ressaltar que só serão detectados elementos que tiverem número atômico maior que 11, sendo assim, os elementos Hidrogênio (H), Lítio (Li) e Berílio (Be) não podem ser quantificados pelo EDS.

3.1.5 Materiais e equipamentos envolvidos para a produção das amostras de barbotina cerâmica (formulação P-48 e P-59 da Villagres) após moagem das matérias-primas e adição de defloculantes

MATERIAIS P-48:

a) Matérias-primas da formulação P-48 da Villagres, sendo as mesmas (com as nomenclaturas dadas/utilizadas pela indústria:

- Filito Fundente e Filito Itapeva;
- Caulim;
- Argila Mafra, Argila Aguaí e Argila EF;
- Talco São Judas;
- Feldspato CKS;
- Bentonita 4 Barras;
- Granito São Jerônimo;

No tópico **4.2.1**, tem-se a composição da formulação com a porcentagem de cada matéria-prima, assim como suas respectivas composições mineralógicas.

b) Água;

c) Material CBC moído;

Função proposta: defloculante dos materiais com água adicionada.

A metodologia de produção das amostras é abordada no tópico **3.2.2.2**.

MATERIAIS P-59:

a) Matérias-primas da formulação P-59 da Villagres, sendo as mesmas (com as nomenclaturas dadas/utilizadas pela indústria:

- Filito Fundente e Filito Itapeva;
- Argila Mafra, Argila Aguaí R.e Argila EF;
- Talco São Judas;
- Feldspato CKS;
- Bentonita 4 Barras;
- Granito São Jerônimo;

- Borra da Retífica Seca (que seria a borra proveniente dos resíduos de produção da indústria);

No tópico **4.2.1**, tem-se a composição da formulação com a porcentagem de cada matéria-prima, assim como suas respectivas composições mineralógicas.

- b) Água;
- c) Material CBC moído ou Silicato de sódio;

Função proposta: defloculante dos materiais com água adicionada.

A metodologia de produção das amostras é abordada no tópico **3.2.2.1**.

EQUIPAMENTOS:

- a) Agitador SERVITECH;

Função: servir como moedor para as matérias-primas das formulações, adicionadas à água e defloculante (moagem à úmido).

- b) Viscosímetro Copo Ford de Orifício 4 e Cronômetro;

Função: mensurar o tempo de escoamento do material em adição à água

- c) Balança;

Função: Pesar os componentes e materiais envolvidos nas formulações também pesar a massa de líquido escoado para determinação de densidade (sendo o volume escoado pelo Copo Ford constante).

3.1.6 Materiais e equipamentos envolvidos para produção das amostras barbotina com utilização direta do pó-atomizado (formulação P-59 da Villagres) com adição de CBC e/ou (re)adição de silicato de sódio como defloculante

MATERIAIS:

- a) Pó atomizado P-59 Villagres;
- b) Água;
- c) Silicato de sódio e Material CBC moído;

Função proposta: defloculante dos materiais com água adicionada.

A metodologia de produção das amostras é abordada no tópico **3.2.2.3**.

EQUIPAMENTOS:

a) Agitador SERVITECH;

Função: servir como agitador aos recipientes contendo o pó-atomizado adicionado à água e defloculantes, para homogeneização.

b) Viscosímetro Copo Ford de Orifício 4 e Cronômetro;

Função: mensurar o tempo de escoamento do material em adição à água.

c) Balança;

Função: Pesar os componentes e materiais envolvidos nas formulações também pesar a massa de líquido escoada para determinação de densidade (sendo o volume escoado pelo Copo Ford constante).

3.1.7 Materiais finos e/ou argilosos das composições de massas cerâmicas

As matérias-primas finas/ e ou argilas das composições das formulações P-48 E P-59 foram coletadas dos boxes no qual são estocadas na indústria, durante a visita da autora às instalações da mesma, trazidas de lá em sacos de aproximadamente 3kg (para cada material). Por serem materiais que contém impurezas e não estarem uniformizados, necessitou-se de processos como limpeza e moagem.

Os materiais em questão são os seguintes, de acordo com a denominação fornecida pelo corpo técnico da indústria:

- Filito Fundente e Filito Itapeva;
- Argila Maфра, Argila Aguaí R. e Argila EF;
- Bentonita 4 Barras;
- Caulim.

No tópico **4.2.1**, tem-se a composição da formulação com a porcentagem de cada matéria-prima, assim como suas respectivas composições mineralógicas.

3.1.8 Materiais e equipamentos envolvidos na produção de amostras de caracterização de cada material fino e/ou argiloso, com adição de CBC e silicato de sódio

MATERIAIS:

- a) Uma das matérias-primas finas das formulações da Villagres, sendo as mesmas as citadas no tópico anterior (com as nomenclaturas dadas/utilizadas pela indústria);
- b) Água;
- c) Material CBC moído **e/com** Silicato de sódio;

Função proposta: defloculante dos materiais com água adicionada.

A metodologia de produção das amostras é abordada no tópico 3.2.3.2.

EQUIPAMENTOS:

Para moer e peneirar o material cinza de bagaço de cana-de-açúcar foram utilizados os seguintes equipamentos:

- a) Pilão de plástico;

Função: moer os grãos de matéria-prima in natura, afim de ter-se uma uniformização do material em sua forma mais fina.

- b) Peneira 18 mesh;

Função: uniformizar os grãos de matéria-prima e filtrar também as impurezas, como pedregulhos.

Para preparação das amostras contendo cada uma das matérias-primas para sua caracterização, com adição de CBC e silicato de sódio, foram utilizados os seguintes equipamentos:

a) Mixer caseiro;

Função: servir como agitador aos componentes da mistura a ser formada, para homogeneização.

b) Balança digital de precisão 0,01g;

Função: pesar os componentes da mistura a ser formada, em sua devida proporção;

c) Viscosímetro Copo Ford (Orifício 2, 3 e 4) e Cronômetro;

Função: mensurar o tempo de escoamento da mistura.

3.2 METODOLOGIA

3.2.1 Primeira Parte do Estudo

3.2.1.1 *Peneiramento da CBC*

A cinza utilizada neste estudo foi retirada diretamente da usina de Bebedouros-SP, sem qualquer limpeza prévia ou controle de queima. Devido a presença de pedaços metálicos, pedras e bagaço mal queimado, foi necessário a limpeza do material.

A primeira etapa consiste no peneiramento, onde foi utilizado um conjunto de peneiras de 40, 45 e 50 mesh postas em uma estrutura vibratória.

3.2.1.2 *Moagem da CBC*

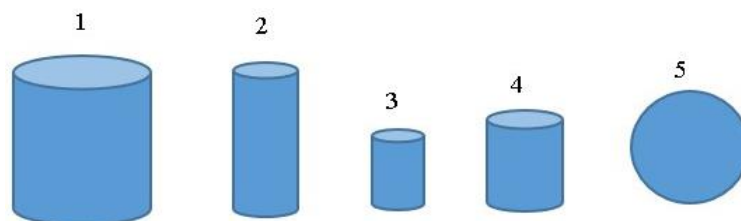
No passo seguinte foi um moinho rústico, desenvolvido para o Departamento de Engenharia Civil da UNESP de Ilha Solteira, para garantir a uniformização da granulometria e ainda que o material estivesse fino em relação ao pó atomizado, para que pudesse agir como efeito filler (preenchedor de vazios).

Dentro do moinho foram colocados esferas e cilindros de aço, com as seguintes especificações e quantidades:

- a) 19 cilindros modelo 1, totalizando 3,8 kg;
- b) 260 cilindros modelo 2, totalizando 18,1 kg;
- c) 115 cilindros modelo 3, totalizando 3 kg;
- d) 405 cilindros modelo 4, totalizando 23,7 kg;
- e) 255 esferas, totalizando 17,9 kg.

A Figura 6 a seguir ilustra as formas dos modelos utilizados, sem escala e devidamente identificados.

Figura 6 – Formato dos corpos de aço utilizados no moinho.



Fonte: (COSTA, 2019)

O funcionamento é descrito nos passos a seguir:

- a) Adição do material peneirado dentro do moinho, o mesmo foi fechado de forma a não permitir a saída de material;
- b) O sistema foi ligado, para a diminuição da granulometria da cinza por choque das esferas com o material;
- c) Após 1 hora e 20 minutos, o moinho foi desligado;

A Figura 7 apresenta o moinho utilizado na fase de recolhimento do material já moído.

Figura 7 - moinho utilizado na moagem de CBC.



Fonte: (COSTA, 2019)

3.2.1.3 Dados pertinentes à reologia das amostras

- a) Tempo de escoamento para os lotes com adicional de água ou ligante;
- b) Densidade dos lotes com adicional de água ou ligante.

Com os dados listados acima, pôde-se analisar a compatibilidade da densidade e tempo de escoamento em relação à formulação P-48.

3.2.1.4 Formulação dos lotes

Para a verificação das propriedades referentes à CBC, os procedimentos foram realizados na seguinte ordem cronológica.

- a) 500 gramas de CBC;
- b) 250 gramas de água;
- c) 1% da massa de CBC como silicato de sódio (5 gramas).

Os lotes citados acima seguiram o modelo ideal em que a formulação P-48 para porcelanato apresenta o melhor rendimento considerado pela empresa (onde há 500 gramas de pó atomizado P-48, e não CBC).

Conforme comentado em materiais, o silicato de sódio, inicialmente, foi posto com a função de defloculante das moléculas de CBC, sendo o defloculante padrão utilizado pela empresa.

Os lotes foram colocados no misturador conforme a Figura 8, por cerca de 10 minutos.

Figura 8 - Recipiente contendo material e água a ser colocado no misturador.



Fonte: (COSTA, 2019)

3.2.1.5 Dados coletados – Densidade e tempo de escoamento

Os primeiros dados coletados correspondem à densidade da barbotina (suspensão aquosa de argila) e o tempo de escoamento, para a formulação P-48, com 500 gramas de pó atomizado, 250 gramas de água e 5 gramas de silicato de sódio. Sendo esses:

- a) Densidade aproximada de $1,62 \text{ g/cm}^3$ (densidade da barbotina);

b) Tempo de escoamento de 40,28s.

As amostras foram despejadas no viscosímetro copo Ford, como exemplificado na Figura 8 e, com o auxílio de um cronômetro, foi determinado o tempo de escoamento, com o objetivo de comparação dos tempos em relação à formulação P-48 em barbotina.

Figura 9 - Viscosímetro copo Ford utilizado para o escoamento das amostras.



Fonte: (COSTA, 2019)

O recipiente metálico abaixo do viscosímetro, teve sua massa e volume previamente mensurados, possibilitando o cálculo da densidade das soluções de CBC com água a partir de um densitômetro a mercúrio, de acordo com a Figura 10.

Figura 10 - Densitômetro de mercúrio para medir a densidade.



Fonte: (COSTA, 2019)

O item “densidade” se mostra relevante uma vez que, para evitar que o material CBC segregue do restante, seria desejável obter material cuja densidade fosse similar à densidade da formulação original.

O item “tempo de escoamento” é relevante uma vez que descreve o comportamento que o material teria ao ser incorporado nos moinhos de bola em solução aquosa, oriundo do processo via úmida.

3.2.1.6 Formulação das amostras com seus respectivos percentuais de substituição

Após a caracterização da CBC descrita no item 3.3.1.2 acima, houve a produção das amostras, em que se efetuou a substituição parcial do pó atomizado pela cinza de bagaço de cana-de-açúcar, ou seja, sem substituição de componente específico, mas sim da totalidade da formulação.

De forma, sintetizada, as dosagens de cada formulação são representadas pela Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 - Quantidades de material por formulação.

Formulação	Pó atomizado(g)	CBC(g)	Água(g)	Silicato de Sódio(g)
STD	500,00	0,00	270,00	3,00
1%S	495,00	5,00	270,00	0,00
1%C	495,00	5,00	270,00	3,00
2,5%S	487,50	12,50	270,00	0,00
2,5%C	487,50	12,50	270,00	3,00
5%S	475,00	25,00	270,00	0,00
5%C	475,00	25,00	270,00	3,00

Fonte: (COSTA, 2019)

Cada formulação foi adicionada em recipiente idêntico ao da Figura 7, e agitada por 2 minutos.

3.2.1.7 Dados coletados – densidade e tempo de escoamento

Após a agitação de 2 minutos, cada lote teve sua densidade e tempo de escoamento medidos através do densitômetro de mercúrio e do viscosímetro copo, procedimento idêntico ao discorrido no tópico **3.2.1.5 Dados coletados – Densidade e tempo de escoamento**.

Sendo assim, obteve-se os dados:

- a) Tempo de escoamento no viscosímetro (t);
- b) Densidade (d).

3.2.2 Segunda Parte do Estudo

Como já citado, após a obtenção dos dados obtidos no item acima, o objetivo do presente estudo tornou-se verificar como a viscosidade das amostras de barbotina cerâmica variam de acordo com a adição de CBC em determinadas porcentagens, em comparação ao silicato de sódio. Para o mesmo objetivo, foram coletados alguns grupos de dados com as metodologias a serem descritas ao longo deste tópico.

3.2.2.1 Produção das amostras de barbotina cerâmica (formulação P-59 da Villagres) após moagem das matérias-primas e adição de defloculantes

Diferentemente da metodologia aplicada para a produção da barbotina líquida nos processos anteriores, o corpo técnico da indústria avalia inicialmente, para testar o comportamento defloculante de um determinado material, a ação do mesmo em contato com as matérias-primas da formulação cerâmica, adicionando o material potencialmente defloculante às mesmas no agitador em presença de água, assim avaliando, portando, sua eficiência como defloculante no processo de moagem à úmido feito pela empresa. As medições de viscosidade feitas anteriormente, levando em consideração o tempo de escoamento da mistura de pó-atomizado com CBC em presença de água haviam sido feitas apenas para fins comparativos na primeira visita, pois o objetivo era outro, e mais simples; apenas verificar, por questões de controle, se os teores de CBC não atuavam negativamente na viscosidade da amostra (mas não necessariamente estudar este comportamento).

Foram coletadas amostras das argilas in natura dos boxes, e estas fazem parte da composição da massa P-59. No laboratório da Villagres Cerâmicas, as argilas foram preparadas na seguinte sequência: devido à umidade das matérias-primas, as mesmas foram secas em estufa (KIMAK) a 120°C durante um período de 4 horas; em seguida, foram preparadas cargas de 300 gramas, formuladas de acordo com a composição da formulação P-59 e pesadas em balança de precisão. Usou-se esta formulação inicialmente, ao contrário da utilizada na visita anterior (P-48), pois durante o tempo decorrido entre estes dois eventos, as formulações foram alteradas, sendo a P-59 a formulação atual. Detalhes sobre essas formulações estão contidos no tópico **4.2.1**. Na figura 11, podemos ver as cargas preparadas já adicionadas ao agitador.

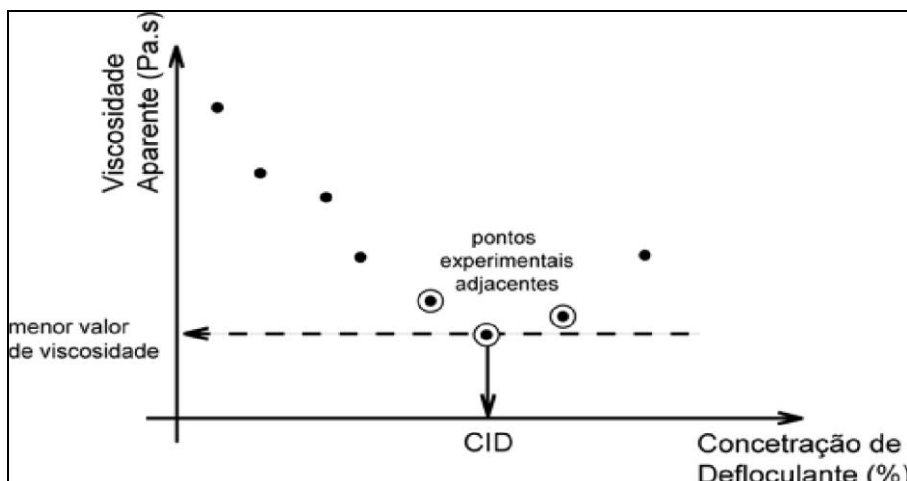
Figura 11 - Matérias-primas da formulação P-59 no recipiente, para posterior moagem.



Fonte: Autora.

O objetivo desta etapa era a obtenção de curvas de defloculação da barbotina em presença de diferentes percentuais de adição de CBC, em comparação aos mesmos valores de adição em massa para o silicato de sódio. Visava-se assim ter uma comparação do qual eficiente (ou não) o material CBC poderia ser, em comparação ao defloculante padrão utilizado pela indústria, além da obtenção dos percentuais ótimos de adição de cada um. Esta concentração ótima se denomina concentração ideal de defloculante (CID), conforme a Figura 12, representando o ponto de menor valor de tempo de escoamento.

Figura 12 - Representação da metodologia aplicada para determinação do ponto de concentração ideal de defloculante.



Fonte: Gomes, Reis e Luiz, 2005.

Aplicando essa metodologia, é possível obter a concentração ideal para cada defloculante nas formulações, evitando que se utilize uma concentração CID maior ou menor que o necessário para a defloculação. Em seguida, a massa foi moída no agitador. O tempo de moagem foi de 11 minutos, onde se obteve resíduo aproximado de 5% na malha 325 ABNT e temperatura da barbotina a 25°C (para as formulações que deflocularam). Para se obter o tempo de escoamento na curva de determinação da concentração ideal de defloculante foi utilizado Copo Ford com abertura de 4 mm.

As variações utilizadas para possíveis determinações destas curvas, foram:

a) Curva de Defloculação com Silicato de Sódio:

- 300 g de matérias-primas das formulações;
- Adição de aproximadamente 55% de água de reuso (165 g), para a manutenção da densidade aproximada desejada de 1,68 g/cm³;
- 0.4, 0.5, 0.6, 0.7 e 0.8% de Silicato de Sódio, em relação à massa de 300 g.

b) Curva de Defloculação com CBC:

- 300 g de matérias-primas das formulações;
- Adição de aproximadamente 55% de água de reuso (165 g), para a manutenção da densidade aproximada desejada de 1,68 g/cm³;
- 0.4, 0.5, 0.6, 0.7 e 0.8, 1, 1.5, 2.0 e 2.5 % de CBC, em relação à massa de 300 g.

3.2.2.2 Produção das amostras de barbotina cerâmica (formulação P-48 da Villagres) após moagem das matérias-primas e adição de CBC

De forma análoga à descrita no item 3.2.2.1, foram preparadas amostras da formulação P-48 (já em desuso), para fins comparativos em relação aos efeitos da CBC na fórmula até então atual. Usou-se as variações descritas abaixo, para posterior medida do tempo de escoamento de cada uma.

a) Curva de Defloculação com CBC:

- 300 g de matérias-primas das formulações;
- Adição de aproximadamente 55% de água de reuso (165 g), para a manutenção da densidade aproximada desejada de 1,68 g/cm³;
- 0.4, 0.5, 0.6, 0.7 e 0.8, 1, 1.5, 2.0 e 2.5 % de CBC, em relação à massa de 300 g.

3.2.2.3. Produção das amostras barbotina com utilização direta do pó-atomizado (formulação P-59 da Villagres) com adição de CBC e/ou (re)adição de silicato de sódio como defloculante

Apesar da metodologia empregada nos últimos itens ser a mais interessante para a análise do potencial defloculante de um determinado material, afim de obter-se resultados mais comparativos com os que motivaram este estudo, resolveu-se testar o efeito da CBC e do silicato de sódio diretamente no pó-atomizado da formulação P-59. O objetivo deste item é entender melhor os resultados de viscosidade obtidos na primeira visita, assim como a adição de valores percentuais crescentes de silicato de sódio e CBC influem, isoladamente, na solução líquida de pó-atomizado com água.

Os materiais foram colocados no mixer e agitados por 2 minutos.

As variações em composição utilizadas nesta etapa estão descritas abaixo, para cada material, e os resultados gráficos da variação de suas viscosidades estarão contidos no tópico **4.2.2.3**.

a) Amostras de adição de silicato de sódio ao pó-atomizado P-59

- 300 g de pó-atomizado P-59;
- Adição de aproximadamente 55% de água de reuso (165 g);
- 0.0, 0.2, 0.4, 0.8, 1.0 e 1.5 % de Silicato de Sódio, em relação à massa de 300 g.

b) Amostras de adição de CBC ao pó-atomizado P-59

- 300 g de pó-atomizado P-59;
- Adição de aproximadamente 55% de água de reuso (165 g);
- 0.0, 0.2, 0.4, 0.8, 1.0 e 1.5 % de CBC, em relação à massa de 300 g.

3.2.3 Terceira Parte do Estudo

3.2.3.1 Peneiramento e moagem das matérias-primas finas

As matérias-primas utilizadas neste estudo foram retiradas diretamente dos boxes de armazenamento, sem qualquer limpeza prévia ou peneiramento anterior.

Com o recolhimento dos materiais, houve a necessidade da limpeza, já que o mesmo quando recolhido apresenta pedras e pedaços metálicos.

Como os pedaços de solo a serem destorroados são relativamente grandes, não foi viável se fazer um peneiramento no início, para limpeza do material. Destorroou-se esses pedaços primeiro, através de apiloamento, e, então, a partir da quebra destes grãos, aí sim pôde-se fazer uma separação entre o que seria matéria-prima e o que seria impurezas (pedregulhos, rochas, etc.).

O material, destorrado manualmente por apiloamento, ia sendo separado para a etapa seguinte conforme ia passando pela peneira 18 mesh.

3.2.3.2 Caracterização das matérias-primas finas, através da adição de CBC e silicato de sódio

O objetivo desta etapa seria fazer uma caracterização de cada matéria-prima fina e/ou argilosa, afim de podermos conhecer melhor cada um desses materiais, seu papel na floculação ou defloculação da massa líquida cerâmica como um todo e, principalmente, a influência da CBC, adicionada ao poder defloculante do silicato de sódio nestes processos.

Deve-se ressaltar que esta etapa final ocorre apenas em caráter mapeador e investigativo, pois o processo de produção da indústria se dá de forma diferente da que se pode fazer fora dela, sem um moedor à úmido adequado. O processo de adição de cada matéria-prima à mistura que se tornará a barbotina cerâmica fora descrito anteriormente, e se dá sem peneiramento algum, pois o controle do tamanho de partícula se dá pelo tempo de moagem; já, no caso dos experimentos feitos fora da indústria, o peneiramento ocorre por conta de que o misturador disponível não é capaz de uniformizar a massa cerâmica como um todo.

Deve-se ressaltar também que, mesmo com um peneiramento sendo feito nesta etapa, ainda assim a matéria-prima não se torna uniforme. Isto se dá pelo fato de o solo em questão não ser 100% fino ou argiloso, tendo a sua porção arenosa presente. Se fosse feito um peneiramento com o intuito de fracionar apenas a fase argilosa, porém, teríamos uma fuga ainda maior do procedimento feito pela indústria, pois a essência do material a ser caracterizado seria muito diferente da do material colocado no moedor, para produção da massa cerâmica.

Portanto, para analisar cada um desses materiais, de forma a não se afastar muito do procedimento adotado pela indústria e valendo-se dos equipamentos disponíveis aqui fora para tal fim, foi esta a metodologia adotada para a caracterização das misturas de cada matéria-prima fina.

De forma análoga à descrita no item 3.3.21, objetivou-se traçar uma curva de defloculação para cada matéria-prima, com adição prévia de silicato de sódio e uma adição gradual de CBC, afim de encontrar-se um teor ótimo de adição da mesma para cada material. Assim, poderia-se entender melhor o quão eficiente ou não a CBC poderia ser em auxiliar o silicato de sódio a desflocular cada um desses materiais.

Para se obter o tempo de escoamento na curva de determinação da concentração ideal de defloculante foi utilizado o Copo Ford, em 3 diferentes orifícios (2mm, 3 mm e 4mm), dependendo da viscosidade da mistura (que eram bastante diversas entre si), sendo os tempos medidos (em segundos) convenientemente convertidos de acordo com a fórmulas de conversão fornecidas pelo fabricante do copo, listadas a seguir, na figura 13.

Figura 13 – Conversão de tempo em viscosidade para os orifícios do Copo Ford

CUP FORD 2	$V=1,44.(t-18)$
CUP FORD 3	$V=2,31.(t-6,58)$
CUP FORD 4	$V=3,85.(t-4,49)$

Fonte: Cienlab Equipamentos.

A faixa de trabalho para cada um destes orifícios segue abaixo:

- Copo 2: Faixa de 25 a 120 centistokes ($\text{mm}^2/2$);
- Copo 3: Faixa de 49 a 220 centistokes ($\text{mm}^2/2$);
- Copo 4: Faixa de 70 a 370 centistokes ($\text{mm}^2/2$).

As variações utilizadas para possíveis determinações destas curvas, foram:

- 150 g de cada matéria-prima fina das formulações, em específico;
- Adição de aproximadamente 81% de água de reuso (121,5 g), para a obtenção de uma mistura com trabalhabilidade adequada para que sua viscosidade possa ser medida pelo Copo Ford;
- 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 e 3.5% de CBC;
- 0.6 e 1.2% de Silicato de Sódio (valor constante em cada curva com variação de CBC especificada acima), em relação à massa de 150g.

4 RESULTADOS

4.1 PRIMEIRA ETAPA

4.1.1 PRODUÇÃO DA CBC

Os resultados referentes à produção de uma cinza de bagaço de cana-de-açúcar padronizada serão abordados nos seguintes tópicos.

Para a utilização otimizada do moinho em questão de desempenho, a quantidade recomendada era da ordem de 20kg. Assim, foram separados 18,3kg de material bruto, que fora posteriormente peneirado e moído para uma melhor padronização, tendo em vista que esta quantidade seria mais que suficiente para a produção das amostras e possíveis análises do lote.

4.1.1.1 Peneiramento

Peneirou-se o material de forma parcial (fracionada). Cada fracionamento variava entre de 4 a 5 kg (até que fossem completados os 18,3 kg separados), para que assim as peneiras fizessem uma separação adequada e que se minimizasse o desperdício de material. O conjunto de peneiras não foi completamente utilizado/preenchido.

Pouco material ficou retido na peneira 40 mesh, pouco ficou retido. Porém, na peneira de 45 mesh, o material retido continha uma quantidade bem maior de sujeira, metais, pedregulhos e resíduos, conforme pode ser visto na Figura 14.

Figura 14 - Material retido na peneira #45.



Fonte: (COSTA, 2019)

Pode-se notar na Figura 14 a presença dessas impurezas citadas. Recomenda-se a separação das mesmas, pois prejudicariam muito na produção e na qualidade do porcelanato.

Há retenção maior de material na peneira (50 mesh), como pode ser visto na Figura 15 a seguir.

Figura 15 - material retido na peneira #50.



Fonte: (COSTA, 2019)

Na figura acima, nota-se que a maior parcela do material retido é composta por palha fina não queimada.

Restaram 17,3 kg de material após o peneiramento, dos 18,3 kg de material bruto recebido. Sendo assim, houve uma perda da ordem de 5,5%.

4.1.1.2 Moagem

A moagem é feita, após o peneiramento, com o objetivo de uniformizar e diminuir os grãos do material. Foram retirados do moinho 16,1 dos 17,3 kg colocados no mesmo, tendo-se assim uma perda de 6,9%.

4.1.1.3 Considerações sobre o peneiramento e a moagem

Restou-se 16,1 dos 18,3 kg iniciais, do início ao fim destes processos. Ou seja, houve perda aproximada de 12%. Das razões da perda de material pode-se citar:

- a) Material impuro e mal queimado;
- b) Equipamentos utilizados rústicos e que contribuem para uma grande perda de material.

Algumas das possíveis soluções que podem ser citadas como para minimização das perdas de material seriam:

- a) Introdução de mais uma etapa de queima, que pudesse reduzir o teor de palha e bagaço mal queimado;
- b) Utilização de equipamentos menos rústicos e mais fechados.

4.1.2 COMPOSIÇÃO DA CBC

A etapa posterior à verificação da disponibilidade geral, limpeza e padronização da CBC, foi a realização de uma análise para verificação da composição química tanto do pó atomizado P-48 quanto da própria CBC, para que se pudesse determinar suas composições e assim analisar possíveis compatibilidades entre os mesmos e/ou elementos indesejáveis.

Quanto ao último quesito, fora-se expressamente explicitado pela Villagres que o material a ser testado como substituinte parcial da sua formulação não poderia conter grandes quantidades de cálcio. A justificativa dada pelos técnicos do setor de formulação no momento iria justamente de encontro com o estudo da autora, e se justificado mais à frente em vários tópicos em específico deste trabalho; o corpo técnico alegou que o Ca aumentaria a demanda de água, algo bastante indesejável, sendo que a empresa atua em seu ciclo produtivo através da via úmida. Em contrapartida, seria recomendado, segundo os mesmos técnicos, que os materiais tivessem significantes quantidades de sílica e alumínio.

Para a CBC, encontramos uma literatura bastante ampla, mas também com grande variação de resultados para as composições químicas. Vários tópicos distintos podem explicar este comportamento, dentre eles podemos citar:

- a) Metodologia, temperatura e tempo de queima;
- b) Impurezas contidas no processo de queima (solos, metais, pedras, etc.);
- c) O ciclo produtivo e os processos envolvidos;
- d) Condições do solo e nutrientes onde a cana-de-açúcar é plantada.

A escolha preliminar do material pode ser justificada pela quantidade bastante significativa de dióxido de silício (SiO_2), contida em todas as amostras de CBC. No caso do estudo desenvolvido por MACEDO (2009), podemos observar que a quantidade de SiO_2 é sempre bastante significativa, todavia com consideráveis oscilações (não apenas para o dióxido de silício como para os demais componentes químicos da CBC), como podemos ver na figura abaixo.

Figura 16 - Análise química de 6 lotes distintos de CBC.

Amostra		CBC1	CBC2	CBC3	CBC4	CBC5	CBC6	Especificações
Data		30/7/2007						NBR 12653
Análise Química (%)	Umidade da amostra %	1,29	0,50	1,37	2,24	0,15	0,06	3,00
	Perda ao fogo	13,30	4,68	12,14	38,92	0,96	0,51	6,0
	SiO_2	59,75	71,96	62,34	33,94	94,11	85,26	
	Fe_2O_3	6,00	5,43	6,00	2,86	1,14	2,57	
	Al_2O_3	10,28	7,15	7,78	5,62	0,74	1,98	
	CaO	1,21	1,00	0,98	5,62	0,35	0,71	
	MgO	0,56	0,63	0,53	0,61	0,13	0,50	
	SO_3	0,08	0,03	0,08	0,23	0,11	0,17	5,0
	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	16,28	12,58	13,78	8,48	1,88	4,55	
	$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	76,03	84,54	75,12	42,42	95,99	89,81	70,00
	Eq.alc.(álcalis dispon.)	1,50	1,43	1,59	0,62	0,43	0,98	1,5

Fonte: MACEDO (2009), p.72.

O estudo desenvolvido por Macedo (2009) evidencia o quanto a amplitude na composição da CBC, referente ao dióxido de silício pode ser enorme (como por exemplo comparando-se os dados CBC4 (33,94% de SiO_2) com os da CBC5 (94,11%

de SiO_2)). Também deve-se atentar ao fato de que as CBC1, CBC2 e CBC3 eram da Usina Interlagos, e as CBC5 e CBC6, da Usina Destilaria Generalco S/A; CBCs de mesma coletadas no mesmo local, porém em épocas distintas, segundo a autora, possibilita uma discrepância mostrada pelos dados, em especial da CBC1 em relação à CBC2.

Uma análise extremamente pertinente para o desenvolvimento do estudo em questão, como já abordado no tópico **2.5**, é a análise da equação que descreve a reação de troca catiônica; podemos inferir que se houvesse um acréscimo de qualquer elemento bivalente ao sistema (e não apenas do cálcio), seria necessária uma maior quantidade do defloculante em questão, e não necessariamente de água, pois este aumento tiraria o balanço da equação que descreve o processo de defloculação.

Na Tabela 2 encontra-se os valores percentuais atômicos e em massa dos elementos presentes na cinza de bagaço de cana-de-açúcar utilizada neste estudo.

Tabela 2 - Composição da cinza de bagaço de cana-de-açúcar.

Elemento	Massa (%)	Atômica (%)
C	9,00	13,50
O	59,59	67,15
Mg	0,89	0,66
Al	1,74	1,17
Si	24,25	15,56
S	0,27	0,15
K	2,31	1,06
Ca	0,91	0,41
Fe	1,04	0,34
Total	100,00	100,00

Fonte: (COSTA, 2019)

De acordo com o que pôde-se depreender pela Tabela 3, podemos tirar algumas considerações, pertinentes aos dados relevantes para este estudo em questão e também aos pontos citados pela Villagres:

- a) Conforme o tópico **2.5**, a presença de Manganês, elemento bivalente, pode então influenciar negativamente no processo de defloculação baseado em silicato de sódio (assim como a presença do Cálcio, embora em quantidades moderadas);

- b) Característica das CBCs, há uma significativa quantidade de silício, em sua grande maioria provavelmente na forma de sílica (SiO_2);
- c) Apesar de que o desejável seria uma maior presença deste elemento, tem-se a presença de alumínio, porém em quantidade pequena.

Podemos apontar dados negativos e positivos acerca da escolha da CBC, de acordo com os critérios já abordados, ao analisar os pontos listados.

Feita a análise da composição do lote de CBC a ser usado e bem como os possíveis impactos dos elementos presentes, foi feita também a análise da composição química do pó atomizado P-48, apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 - Composição do pó atomizado P-48.

Elemento	Massa (%)	Atômica (%)
O	61,15	73,80
Na	0,35	0,29
Mg	0,96	0,76
Al	9,77	6,99
Si	23,93	16,45
K	2,40	1,19
Ti	0,39	0,16
Fe	1,06	0,37
Total	100	100

Fonte: (COSTA, 2019)

Temos considerações bastantes significantes a partir da Tabela 3; podemos notar uma coerência com o que é abordado no tópico MATERIAIS ENVOLVIDOS NA FORMULAÇÃO P-48 DE PORCELANATO, pois há silicatos aluminosos e silicatos hidratados como base da maioria dos materiais descritos, além de, por vezes, notar-se a presença de impurezas como óxidos de ferro e titânio, indicados pelo EDS efetuado. Pode-se notar também, entre a CBC e o pó atomizado P-48, uma semelhança entre as proporções dos elementos de oxigênio e silício apresentadas em ambos.

Desta forma, podemos inferir que a composição química do material não comprometeria o estudo, e, conseqüentemente, a escolha do mesmo se justificaria para os testes. Pode-se verificar em ambas as análises de composição dos materiais em questão tanto semelhanças quanto diferenças, porém, apenas após a realização dos testes e conseqüente análise de seus efeitos práticos é que poderemos verificar a real influência da CBC no pó atomizado P-48.

4.1.3 PROCEDIMENTO VIA ÚMIDA VILLAGRES – CARACTERIZAÇÃO CBC

De acordo com a metodologia descrita no tópico **3.3.1.2**, apresenta-se os resultados a seguir.

4.1.3.1 Dados obtidos – Densidade e tempo de escoamento

A seguir, apresenta-se resultados referentes ao conjunto de 500 gramas de CBC, 400 gramas de água e 5 gramas de silicato de sódio, enquanto os valores para dados desejados são os para a formulação P-48 (amostra padrão e/ou com substituições). Os dados obtidos nesta etapa foram:

- a) Tempo de escoamento para a formulação P-48 menor ou próximo de 40,28s
- Resultado: tempo de escoamento para a CBC de 13,75s.
- b) Densidade desejada de 1,62g/cm³;
- Resultado: densidade obtida de 1,51g/cm³;

Pode-se inferir destes resultados que:

- a) O tempo de escoamento foi quase 3 vezes menor que o obtido pela formulação padrão. Porém, não se pode ainda concluir que o comportamento da CBC será positivo ou não à formulação padrão, haja vista que a análise deve ser realizada quando houver a adição no conjunto, de forma a constatar o comportamento e os impactos da CBC como um todo.

Todavia, podemos inferir que a presença de argilas na formulação da P-48 já seria suficiente para justificar uma viscosidade tão superior, visto que este é o

componente em grande parte responsável pelo fenômeno de floculação presente nas barbotinas.

- a) Não observa-se discrepâncias significativas em relação às densidades, sendo que as mesmas se mantêm próximas;
- b) A composição inicial da CBC é favorável em relação aos compostos do pó atomizado P-48 utilizado pela Villagres;
- c) As amostras de CBC apresentam melhor comportamento em relação à água do que ao ligante.

4.1.4 PROCEDIMENTO VIA ÚMIDA VILLAGRES – CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL POR CBC

4.1.4.1 Proposta inicial da substituição parcial do pó atomizado por CBC

Feita a caracterização e análise dos dados correspondentes à CBC, o próximo passo a ser dado fora a determinação de uma faixa de substituição em massa para as formulações. Inicialmente, foram propostos os percentuais de 5%, 10% e 15%. Os parâmetros iniciais utilizados, citados em tópico **3.3.1.2.4 Formulação das amostras com seus respectivos percentuais de substituição**, foram:

- a) 500 gramas de material (Pó atomizado + CBC);
- b) 270 gramas de água;
- c) 0,6% de silicato de sódio (3 gramas).

Optou-se por fazer amostras com e sem silicato de sódio, por conta de a CBC conter quantidades relevantes de silicatos em sua composição, de modo a verificar uma possível característica da CBC: a capacidade de ajudar no escoamento da formulação.

Caso a amostra de controle Standard não apresentasse a adição de silicato de sódio, o conjunto Pó atomizado + água não escoaria, devido ao efeito defloculante do mesmo; isto fora previsto pelo técnico responsável no início da preparação das amostras. As esferas do misturador estariam envoltas por material, e a separação só

seria possível através da exposição em água corrente aliada à contínua esfregação (acontecimento que poderia-se atribuir ao fenômeno de defloculação das argilas).

Continuando-se com a realização das formulações, as amostras de 5% com e sem silicato foram produzidas sem dificuldades. Porém, ao efetuar as de 10% com e sem silicato, não houve escoamento suficiente, e o material apresentava característica pastosa e dificuldade considerável em ser retirada do misturador.

4.1.4.2 Formulações adotadas para as amostras

Novas faixas de substituição foram determinadas e adotadas neste estudo, diante do ocorrido, conforme mencionado anteriormente: Standard, 1% com e sem silicato, 2,5% com e sem silicato e 5% com e sem silicato, em conformidade com a Tabela 1 – Quantidades de material por formulação.

4.1.4.3 Densidade e tempo de escoamento para cada formulação (primeira visita)

Nesta etapa, os pontos a serem obtidos eram tempo de escoamento no viscosímetro tipo copo Ford de orifício 4 e as suas correspondentes densidades. Os dados foram dispostos na Tabela 4.

Tabela 4 – Tempo de escoamento e densidade para cada formulação.

Formulação	Tempo de Escoamento (s)	Densidade (g/cm ³)
STD	40,28	1,608
1%S	35,54	1,616
1%C	29,87	1,603
2,5%S	21,00	1,585
2,5%C	37,60	1,605
5%S	41,91	1,607
5%C	50,00	1,605

Fonte: (COSTA, 2019)

A partir dos dados obtidos e dispostos na Tabela 4, pôde-se realizar as seguintes constatações, constatações estas que fomentaram o objetivo específico do

estudo da autora, que seria a análise do comportamento da CBC como possível defloculante:

a) Quando se a amostra 5%S em relação à 5%C, pode-se notar que houve aumento no tempo de escoamento, ou seja, a amostra tornou-se mais viscosa. Os possíveis fatores que podem ter levado a este comportamento baseado no abordado no tópico **2.5**, de acordo com a presença de cátions bivalentes na CBC (Ca e Mg);

- Divergência entre o silicato de sódio e a CBC na interação com a água, reforçando o processo de defloculação;
- Falta de água no sistema de pó atomizado + CBC;

Porém, as amostras de 5% com e sem silicato mantiveram-se na média em relação à formulação Standard.

b) Ainda sobre a formulação 5% de substituição sem silicato de sódio, que fora primeira substituição a ser realizada, pode-se dizer apresentou-se como um marco para este estudo, visto que mesmo sem o adicional de silicato de sódio (antes composto obrigatório para que houvesse escoamento adequado), houve escoamento dentro dos padrões aceitáveis. Dessa forma, há indicativos de que trata-se de uma propriedade positiva e relevante da CBC, em determinadas quantidades a serem sondadas e estudadas;

c) Ao analisar-se as amostras com 1% de substituição, observa-se aqui um comportamento inverso do encontrado nas amostras 5%S e 5%C, pois a coexistência da CBC e do silicato de sódio fez com que houvesse significativo decréscimo no tempo de escoamento (1%C obteve tempo de 29,87, e 1%S obteve tempo de 35,54), talvez indicando que ao sistema 1%S poderia ser adicionado mais material para diminuir o tempo de escoamento;

d) O comportamento apresentado para amostras de 2,5%S e 2,5%C, foi parecido com o encontrado nas amostras 5%S e 5%C. Portanto pode-se afirmar que para análise do escoamento, a partir de 2,5% de substituição por CBC, a adição de silicato

de sódio torna-se prejudicial ao sistema, pelo menos no caso das formulações até então testadas;

e) Pode-se concluir que a inclusão dessa faixa de substituição não altera efetivamente a densidade, pois não obteve-se variações acentuadas;

Por fim, pode-se inferir que como os efeitos reológicos da interação da formulação cerâmica porcelanato em conjunto com a CBC não possui registros em literatura, bem como sobre contato da CBC com silicato de sódio, questões sobre causa real do da diminuição ou aumento da viscosidade nessas diferentes formulações, bem como do porquê de a cinza atuar efetivamente como um defloculante ao estar sozinha deveriam ser abordados com mais afinco em pesquisas específicas para esta.

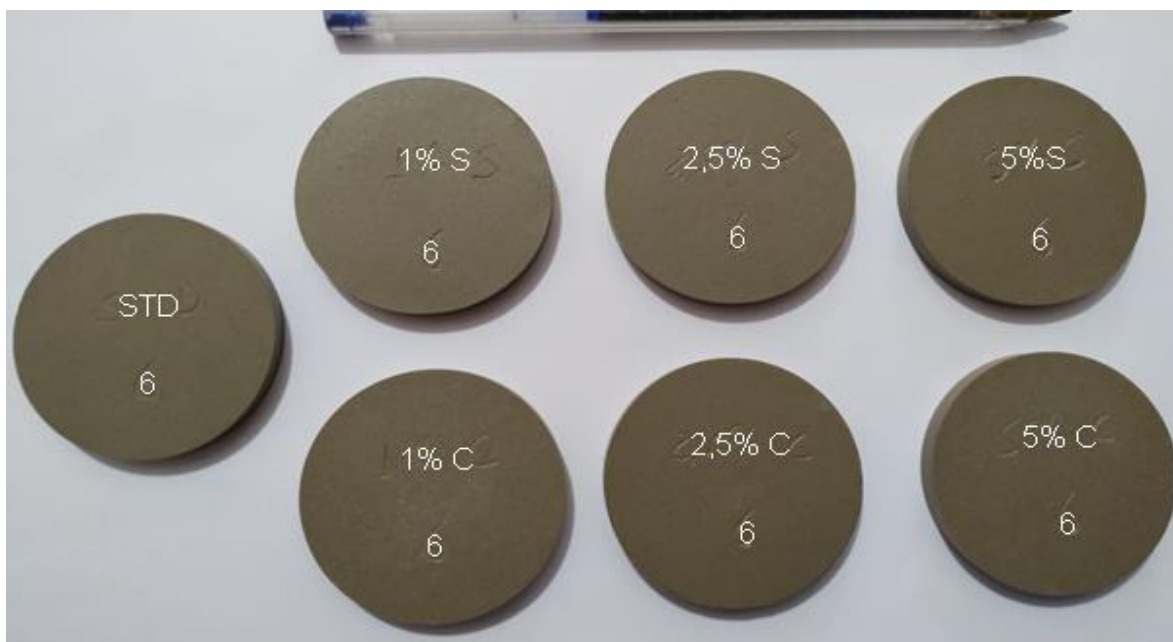
Consequentemente, como já explicado, assim surgiu a concepção do objetivo principal do estudo da autora. No próximo tópico será abordado um resumo dos demais dados obtidos pelo prosseguimento do estudo (a partir de então individual) da na época mestranda Nayane Marquese da Costa, porém apenas para que se possa ter, futuramente, um indicativo de como essas amostras, preparadas com estas diferentes formulações, se comportariam com relação às demais propriedades requeridas para peças de porcelanato, após, é claro, todo o restante do processo de produção das mesmas. Assim podemos fazer uma prévia correlação entre o comportamento reológico de cada formulação, de acordo com o teor de CBC na mesma, e o que se pode esperar, positiva ou negativamente para cada propriedade de suas peças resultantes.

Após esta sintetização, prosseguir-se-á com o estudo mais aprofundado dos efeitos reológicos do uso da CBC como defloculante na produção do porcelanato.

4.1.4.4 Resultados Pós-Queima das amostras circulares e conclusões sintetizadas das amostras de 25 gramas

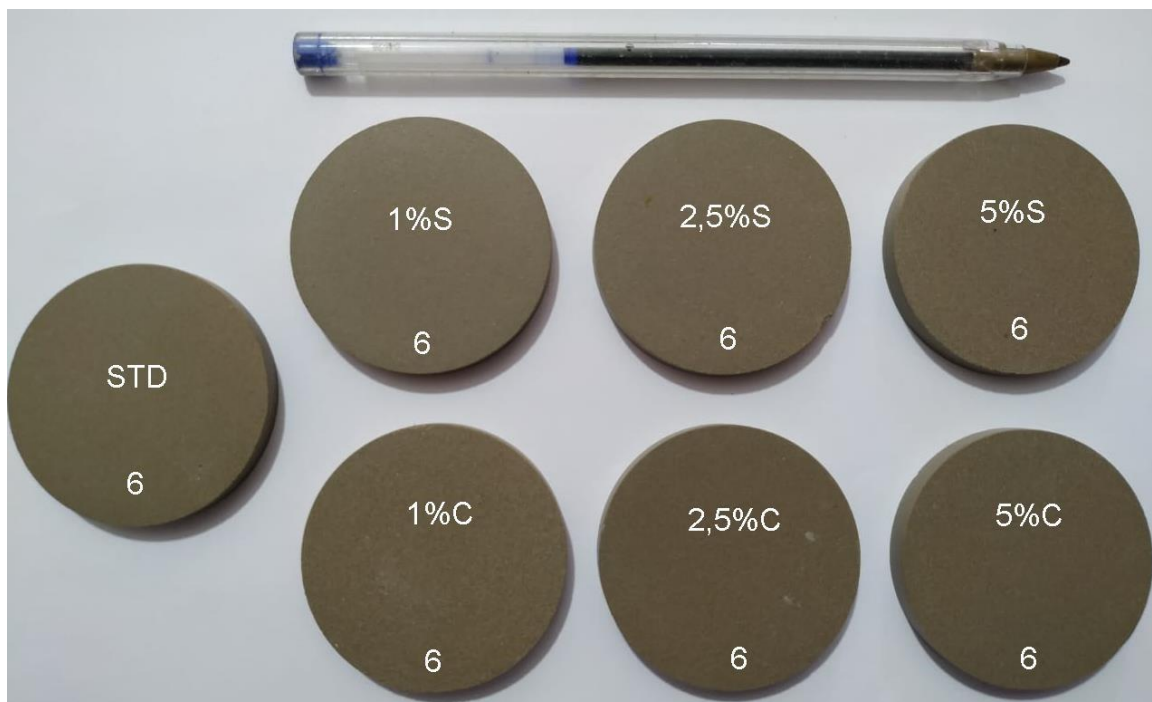
Os resultados visuais das formulações de substituição parcial estão expostos na Figura 17 e Figura 18.

Figura 17 – Resultados de queima para amostras de 25g a 1200°C – face superior.



Fonte: (COSTA, 2019)

Figura 18 – Resultados de queima para amostras de 25g a 1200°C – face inferior.



Fonte: (COSTA, 2019)

Visualmente, nenhuma das amostras apresentou divergências relevantes quanto a tamanho, coloração e textura em relação à amostra padrão Standard, exemplificado pela Figura 17 e 18, que dispõe das amostras queimadas na temperatura $T_6=1200^{\circ}\text{C}$, temperatura máxima utilizada na indústria, e consequentemente mais propícia para o possível aparecimento destas anomalias citadas acima.

Para as amostras de 25 gramas, a Tabela 5 a seguir sintetiza o obtido, de forma a analisar os resultados obtidos como um conjunto de requisitos a serem atendidos.

Tabela 5 – Resultados de forma sintetizada – 25g.

Formulação	Perda ao fogo	Retração	Absorção	Resultado
P-48				
1%S	*			
1%C			*	*
2,5%S			*	*
2,5%C				
5%S				
5%C				

Fonte: (COSTA, 2019)

As células em verde da Tabela 5 representam resultados satisfatórios (e, de preferência melhores do que o da formulação padrão P-48, enquanto as células em vermelho representam resultados insatisfatórios. Já células preenchidas com “ * ” representam resultados com ressalvas.

As ressalvas colocadas referentes à formulação de 2,5%S, que apresentou o efeito reológico mais interessante dentre todas, são referentes à sua amostra representar valores inferiores a 0,5% de absorção somente a partir de 1195°C , sendo um resultado pior que a Standard (absorção inferior a 0,5% a partir de 1190°C), pois, temperaturas maiores demandam de maior energia, incorrendo a maiores gastos.

Já demais formulações que também obtiveram resultados consideráveis em relação à questão reológica (1%S, 1%C e 2,5%C), como pode ser observado, também obtiveram ressalvas (1%C) ou resultados que poderiam ser classificados como insatisfatórios para a peça cerâmica (1%S e 2,5%C).

Porém, apesar destes resultados, não poderíamos ainda afirmar que os efeitos positivos na diminuição da viscosidade causados pela presença de CBC na composição da barbotina seriam essencialmente negativos para as propriedades da peça de porcelanato a ser formada, pois a quantidade de formulações até então testadas não seria insuficiente para isto, bem como a faixa de variação entre um teor de CBC e outro nestas formulações em questão (de 2,5 a 5%) seria muito grande, necessitando-se assim um mapeamento melhor deste comportamento, o que será feito mais à frente neste trabalho.

4.2 SEGUNDA ETAPA

4.2.1 Formulações das composições do pó-atomizado da Villagres e componentes envolvidos

Aqui começam os resultados referentes à parte do estudo que diz respeito exclusivamente à análise do uso da CBC como defloculante, ou o seu efeito na composição que envolve os materiais cerâmicos.

Na Tabela 6 encontra-se a composição da fórmula do pó atomizado P-48, fórmula esta que era utilizada na primeira visita feita à indústria de porcelanato, assim como a da P-59, que é a formulação atualmente utilizada. Também estão contidas na tabela algumas das formulações intermediárias entre as citadas. As formulações se encontram em termos de porcentagem em massa dos diversos materiais envolvidos na mesma (caulim, feldspato, filito, argilas, talco, etc), materiais estes que têm suas respectivas características explicadas no tópico **2.3 MATERIAIS ENVOLVIDOS NA FORMULAÇÃO DE PORCELANATO**.

Tabela 6: Matérias-Primas utilizadas nas formulações.

FORMULAÇÃO N°	P-48	P-49	P-51	P-53	P-55	P-57	P-59
MATÉRIA PRIMA							
FILITO FUNDENTE (LV)	19,0	19,0	8,0	8,0	8,0	12,0	10,0
FILITO ITAPEVA (RIII)	28,0	28,0	10,0	10,0	10,0	13,0	10,0
ARGILA EF-(BCA)	15,0	15,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0
ALBITAS (Patio)	X	x	x	1,0	x	x	x
ARGILA MAFRA (MF)	10,0	10,0	5,0	5,0	5,0	5,0	8,0
PH7	1,0	x	x	x	x	x	x
TALCO B-28 SÃO JUDAS	7,0	7,0	6,0	7,0	7,0	7,0	7,0
BENTONITA 4 BARRAS	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	4,0
ROYALMINING 11	X	x	10,0	10,0	10,0	x	x
AGUAI R	X	x	14,0	15,0	15,0	17,0	17,0
CAULIM SC	8,0	8,0	x	x	x	x	x
GRANITO SÃO JERONIMO	5,0	5,0	16,0	14,0	14,0	14,0	14,0
CKS 6820 (Feldspato)	5,0	6,0	13,0	12,0	13,0	14,0	14,0
BORRA da RETIFICA SECA	x	x	x	x	x	2,0	4,0
TOTAL (%)	100,0			100,0	100,0	102,0	104,0
AGOSTO/17: P-48							
16/09/2019: P-59, fórmula para aumentar fusibilidade.							

Fonte: Autor.

Pode-se observar que as maiores diferenças entre as formulações P-48 e P-59 se encontram nos fatos de quem o caulim presente na primeira deixara de ser utilizado na segunda, que, apesar da ausência deste material, tem a adição de um novo tipo de argila (Aguai R.). Sendo assim, aparentemente há um equilíbrio na quantidade de materiais argilosos/finos utilizados nas duas formulações. Este equilíbrio é necessário, pois cada componente tem uma função diferente na formulação, e apesar das diferenças entre cada uma por diversas questões, não seria recomendado um desbalanço entre esses “ingredientes”.

A análise química da massa por espectrometria de fluorescência de raios-X das matérias-primas utilizadas nas formulações também foi encomendada pela indústria, e podem ser vistas nas tabelas 7 e 8 a seguir.

Tabela 7: Análise química das matérias-primas contidas no pó-atomizado P-48.

Materia Prima	Caulim (SC)	Filito Fundente (FLV)	Filito Itapeva (R3)	Argila EF (BCA)	Argila Mafra (MF)	Talco São Judas (B-28)	Bentnita 4 Barras (B4B)	Granito São Jerônimo (SJ)	Feldspato (CKS)
P.F. (%)									
SiO ₂ (%)	45,09	76,17	71,75	67,10	66,31	52,98	64,06	74,36	75,30
Al ₂ O ₃ (%)	36,33	13,27	15,93	16,59	22,71	9,76	17,50	15,13	14,88
Fe ₂ O ₃ (%)	3,35	1,52	1,23	3,53	1,79	3,93	5,54	0,80	1,02
TiO ₂ (%)	0,35	0,89	0,61	0,72	1,93	0,44	0,86	0,07	0,00
CaO (%)	0,00	0,16	0,00	0,65	0,05	0,31	0,69	0,63	0,00
MgO (%)	0,06	0,59	1,84	1,74	0,21	24,96	1,96	0,01	0,45
K ₂ O (%)	0,68	4,73	4,60	2,27	0,70	0,55	2,14	4,74	1,60
Na ₂ O (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,61	3,59	4,87
Li ₂ O (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,97
P ₂ O ₅ (%)	0,08	0,01	0,00	0,06	0,07	0,02	0,03	0,02	0,00
BaO (%)	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Fonte: Villagres Cerâmicas.

Tabela 8: Análise química das matérias-primas contidas no pó-atomizado P-59.

Materia Prima	Argila Aguai R	BORRA	Filito Fundente(FLV)	Filito Itapeva (R3)	Argila EF (BCA)	Argila Mafra (MF)	Talco São Judas (B-28)	Bentonita 4 Barras (B4B)	Granito São Jerônimo (SJ)	Feldspato (CKS)
P.F. (%)										
SiO ₂ (%)	52,10	69,43	70,30	71,96	67,20	67,30	53,29	65,35	78,14	75,11
Al ₂ O ₃ (%)	31,94	18,58	15,90	16,14	17,84	21,11	7,71	16,97	11,68	13,34
Fe ₂ O ₃ (%)	1,72	1,95	1,56	1,20	3,31	1,86	4,30	5,96	0,81	1,05
TiO ₂ (%)	1,48	0,76	1,20	0,55	1,14	1,84	0,36	0,93	Fi 0,05	0,00
CaO (%)	0,05	0,51	0,02	0,20	0,16	0,08	0,35	0,68	0,54	1,16
MgO (%)	0,18	2,29	0,99	1,76	1,65	0,22	24,86	1,72	0,03	0,36
K ₂ O (%)	1,29	2,95	5,18	4,28	2,47	0,72	0,33	2,11	4,39	1,27
Na ₂ O (%)	0,15	1,39	0,12	0,20	0,27	0,15	0,05	0,62	3,84	3,90
Li ₂ O (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,81
P ₂ O ₅ (%)	0,15	0,10	0,04	0,00	0,08	0,02	0,08	0,06	0,03	0,00
BaO (%)	x	0,07	x	x	x	x	x	x	x	x

Fonte: Villagres Cerâmicas.

Através da comparação das análises químicas das duas formulações, também não se observa, de imediato, diferenças tão significantes entre as duas composições. Tal fato, como citado acima, já deveria ser esperado, por conta do interesse industrial

na manutenção das propriedades do porcelanato fabricado, que poderia ser afetado diante de grandes diferenças entre as formulações.

4.2.2 Produção das amostras de barbotina cerâmica (formulação P-59 da Villagres) após moagem das matérias-primas e adição de defloculantes

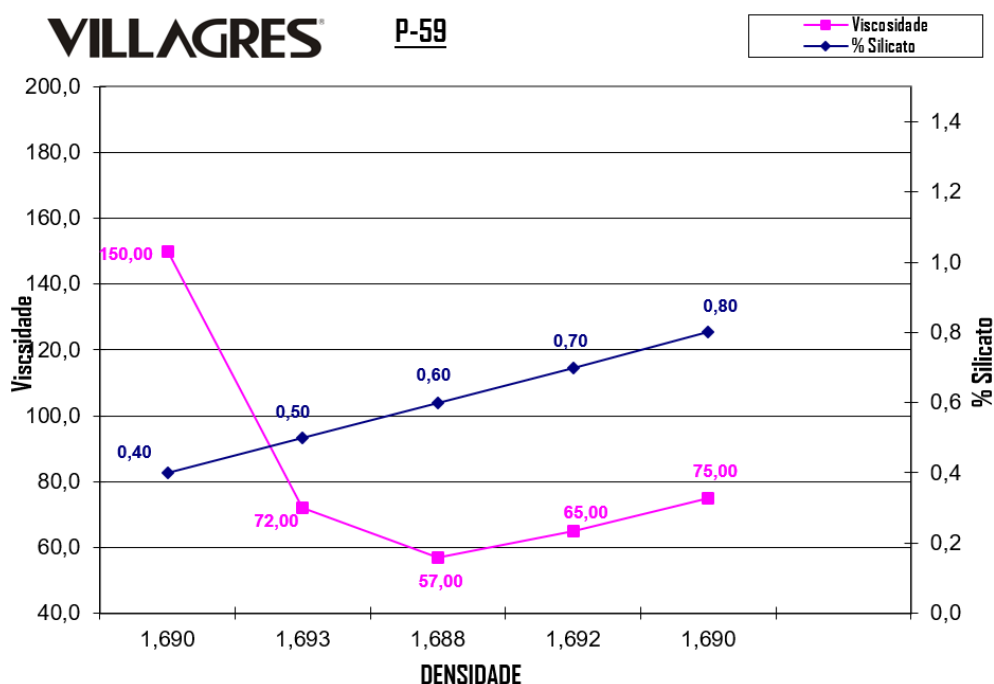
4.2.2.1 Curvas de Defloculação

De acordo com a metodologia descrita no tópico **3.3.2.1**, foram feitas amostras de barbotina cerâmica afim de obter-se dados para confecção de curvas de defloculação comparativas entre si, para assim se determinar a concentração ideal de defloculante, obtendo-se assim um valor mínimo para a viscosidade aparente.

4.2.2.1.1 Curva de Defloculação para o Silicato de Sódio

No Gráfico 1 pode-se observar a determinação do valor de CID do silicato de sódio para a barbotina da formulação P-59, onde pode-se verificar que o melhor percentual de defloculante foi obtido a 0,6%.

Gráfico 1: Curva de defloculação da formulação P-59 para o Silicato de Sódio.



Fonte: Autora.

Observa-se com a curva de defloculação que o silicato de sódio apresenta tendências a inversão mais rápida da curva, quando adicionada uma pequena concentração a mais em relação ao CID, ou seja, pode-se constatar, pelo Gráfico 1 que 0,6% seria a concentração ideal para a barbotina de massa de porcelanato.

Desta forma, pode-se observar que após a adição de 0,6% de silicato de sódio a barbotina rapidamente aumenta a viscosidade segundo sua curva de defloculação, mostrando que rapidamente ocorre uma saturação do silicato de sódio pela barbotina. Pode-se observar que os valores de densidade e o resíduo, fatores que podem (ou não) influenciar na viscosidade, apresentaram praticamente os mesmos valores, ou seja, a diferença de viscosidade nessa primeira etapa não foi afetada pelo resíduo ou pela densidade da barbotina.

4.2.2.1.2 Amostras para possível verificação do teor ótimo da CBC como defloculante

Ao contrário do esperado, não foi possível obter uma curva de defloculação para a formulação P-59 utilizando a CBC como material defloculante. Todas as amostras, com metodologias de preparação e composições detalhadas no tópico **3.3.2.1**, formaram uma pasta dentro do agitador, grudando dentro do mesmo e ao redor das esferas. Este é o comportamento que se espera das barbotinas de porcelanato quando não há o uso de aditivo defloculante durante a sua moagem. Consequentemente, estes resultados indicaram que o objetivo de se analisar o uso do material CBC como defloculante para a formulação P-59 não seria possível, pelo menos dentro dos mesmos parâmetros.

O fenômeno descrito pode ser observado na Figura 19.

Figura 19: Pasta formada com a moagem das matérias-primas da formulação P-59 em adição à CBC.



Fonte: Autora.

4.2.2.2 Produção das amostras de barbotina cerâmica (formulação P-48 da Villagres) após moagem das matérias-primas e adição de CBC

Em face aos resultados inesperados obtidos no item **4.2.2.1.2**, eventualmente surgiram inúmeros questionamentos sobre o que ocasionou um resultado tão diferente da expectativa, ocasionada pelos dados obtidos inicialmente. Assim sendo, algumas hipóteses foram levantadas, e a solução encontrada de imediato foi tentar reproduzir os ensaios de forma que os parâmetros utilizados se aproximassem mais dos da primeira visita.

Inicialmente, suspeitou-se que as diferenças entre as formulações P-48 e P-59 pudessem estar levando a estas divergências, ainda que, segundo o que foi discutido no item 4.2.1, em um primeiro momento essas diferenças não sejam consideradas substanciais.

Então, como descrito no tópico **3.3.2.2**, foram preparadas amostras com as matérias-primas da formulação P-48 (já em desuso), para fins comparativos em relação aos efeitos da CBC na fórmula até então atual. As composições dessas amostras e teores de CBC utilizados estão descritos no mesmo tópico.

Porém, o resultado obtido com essas moagens foi o mesmo da etapa anterior; assim como na moagem das matérias-primas à úmido com adição de CBC para a formulação P-59, a mistura resultante da moagem das matérias-primas para a

formulação P-48 não defloculou na presença dos vários teores de CBC testados, formando a mesma pasta que pode ser observada na Figura 17.

Obviamente não foi possível medir o tempo de escoamento das amostras, porém durante o lavamento do agitador e de suas bolas, observou-se uma dificuldade equiparável para a retirada do material. Isto indicou que os problemas de inconsistências nos resultados não estariam ligados às variações nas formulações.

4.2.2.3. Produção das amostras barbotina com utilização direta do pó-atomizado (formulação P-59 da Villagres) com adição de CBC e/ou (re)adição de silicato de sódio como defloculante

Como explicitado no item **3.2.2.3**, apesar da metodologia empregada nos últimos itens ser a mais interessante para a análise do potencial defloculante de um determinado material, afim de obter-se resultados mais comparativos com os que motivaram este estudo, resolveu-se testar o efeito da CBC e do silicato de sódio diretamente no pó-atomizado da formulação P-59, como fora feito na primeira visita.

Um fato muito importante a ser mencionado é que, durante a realização destas misturas, o corpo técnico informou a autora de que no pó-atomizado poderia ou não já haver a adição de defloculante, pois o mesmo é oriundo do processo de moagem das matérias-primas à úmido, na presença de defloculante (como reproduzido nos processos anteriores); o produto final desta mistura logicamente é obtido após a completa secagem e moagem. A dúvida do corpo técnico sobre o fato do silicato de sódio estar ou não previamente contido no pó-atomizado se devia ao fato de os profissionais não saberem informar se o produto evapora ou de alguma forma se perde total ou parcialmente durante o processo de obtenção do pó.

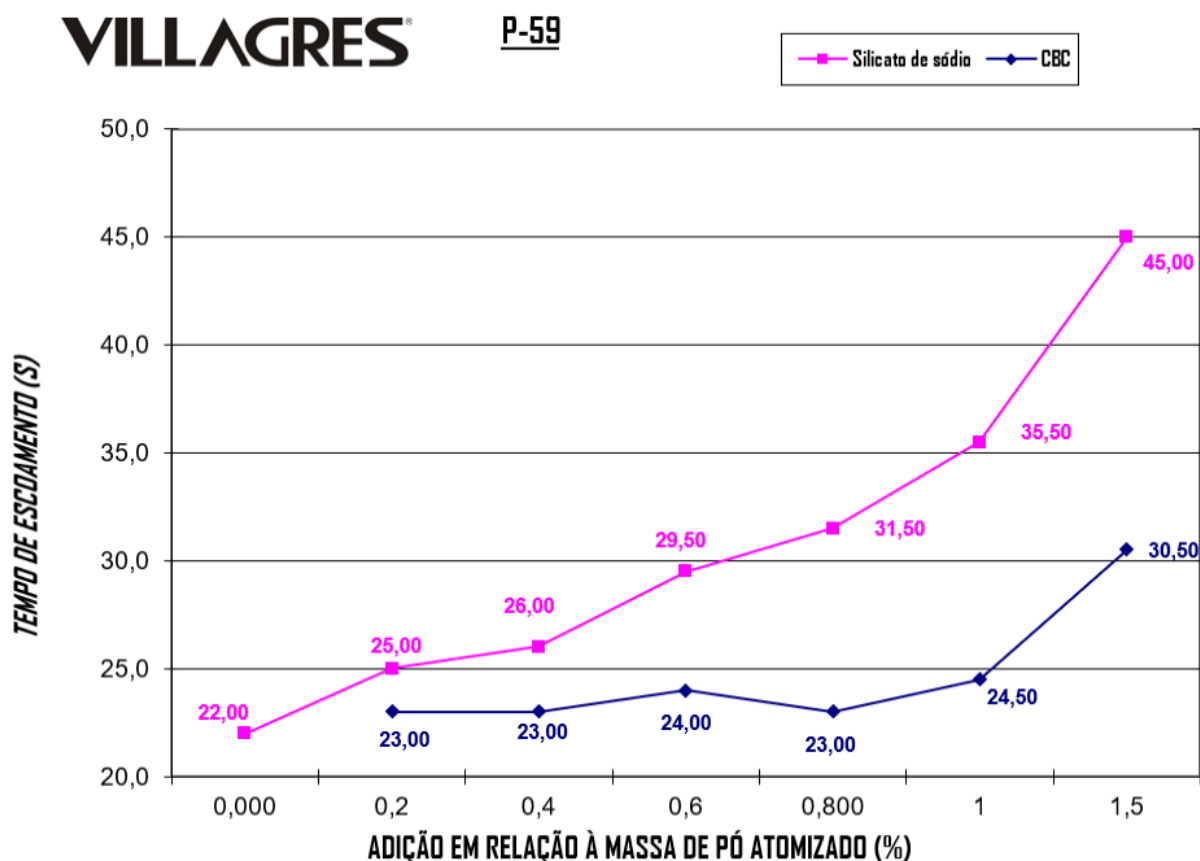
Este é um questionamento um tanto quanto difícil de responder, pois, embora a composição do pó-atomizado P-48 contida no **item 4.1.2** indicar a presença dos elementos Na e Si, não é o suficiente para afirmar-se se alguma parte dos mesmos é oriunda do defloculante ou não, pois as matérias-primas, segundo suas análises químicas contidas no tópico **4.2.1** também contém estes elementos.

A autora também não conseguiu informações referentes à temperatura de ebulição do defloculante; porém, de qualquer forma, a informação de que o silicato de sódio poderia ou não já estar previamente contido no pó-atomizado contribuiu

grandemente para o levantamento de possíveis explicações para os fenômenos apresentados.

De acordo com a metodologia e composições descritas no tópico **3.2.2.3**, finalmente foram obtidos dados mensuráveis e comparáveis aos da primeira visita, que podem ser observados no Gráfico 2.

Gráfico 2: Adição crescente em porcentagem de CBC em comparação à de silicato de sódio.



Em adição aos dados anteriormente apresentados, podemos tirar as seguintes observações e/ou interpretação do **Gráfico 2**:

a) Inicialmente, observa-se que de todas as composições testadas, a que não contém nenhuma adição de CBC ou Silicato de Sódio ao pó-atomizado P-59 é a que apresenta o menor tempo de escoamento (22 segundos). Sendo assim, isto indica que há sim um valor prévio de defloculante contido no pó-atomizado, e de que este valor está em torno de seu valor ótimo, pois a viscosidade das misturas sempre aumenta conforme o teor de silicato de sódio cresce.

b) Com a adição crescente do teor de CBC às misturas, a viscosidade também tende a aumentar, porém mantendo-se praticamente constante até o valor de 1% e aumentando de maneira mais branda a partir de então. Em face disto, pode-se fazer as seguintes interpretações:

- **Primeira interpretação:** A CBC é um material que não reage com os componentes da mistura de forma positiva para a reologia do sistema (pelo menos dentro dos teores de adição testados), e assim, em comparação com amostras de mesmas porcentagens de (re)adições de silicato de sódio (adições que estariam além do seu teor ótimo, se realmente há a presença de defloculante no pó-atomizado – o que tende a aumentar a viscosidade das amostras, ao invés de diminuí-las), pode criar uma falsa interpretação de que a mesma tem um potencial defloculante.

O aumento mais significativo de viscosidade a partir da adição de 1% de CBC em massa pode-se dar pela presença, ainda que não substancial, da presença de cátions bivalentes (Ca e Mg) na mistura, fazendo com que possivelmente a reação que descreve o processo de defloculação, descrita no item **2.5**, se inverta.

- **Segunda interpretação:** A CBC pode sim reagir com os componentes da mistura e/ou com o silicato de sódio de forma a ter um efeito positivo na defloculação do sistema em determinadas porcentagens, porém sem conseguir agir isoladamente (ou seja, sem a adição do silicato de sódio ou outro defloculante).

A explicação para o aumento mais significativo a partir da adição de 1% de CBC também pode ser dada pelo mesmo motivo da explicação anterior.

Na Tabela 9 pode-se observar os valores de densidades medidos para cada composição desta etapa, juntamente com os respectivos tempos de escoamento. Como pode ser constatado, as variações de valores de densidade obtidos não foram significativas.

Tabela 9: Densidades e Viscosidades das Amostras de pó atomizado P-59.

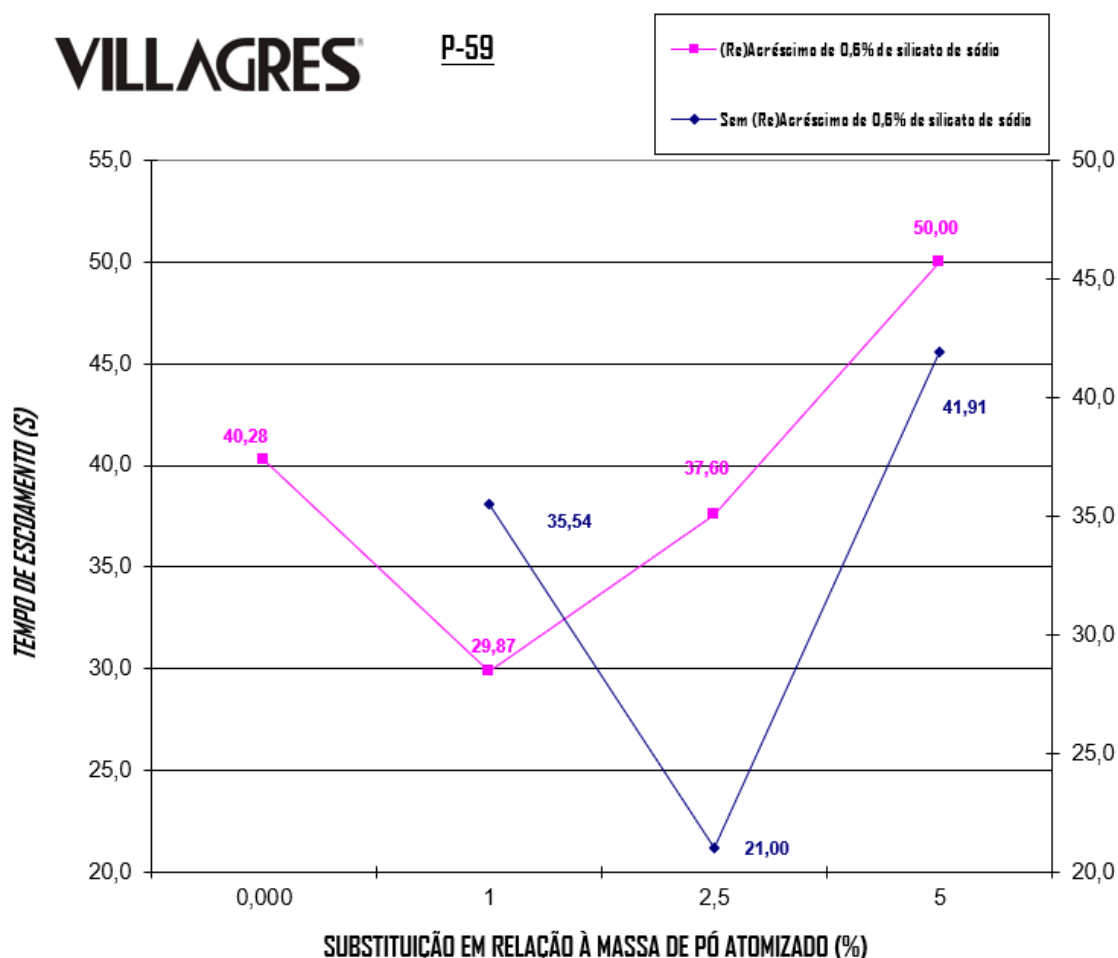
Tempo escoamento(s)	% adição de CBC	% (re)adição de silicato de sódio	Densidade (g/cm ³)
22,00	0,00	0,00	1,62
25,00	0,00	0,20	1,62
26,00	0,00	0,40	1,61
29,50	0,00	0,60	1,61
31,50	0,00	0,80	1,61
35,50	0,00	1,00	1,61
45,00	0,00	1,50	1,61
23,00	0,20	0,00	1,62
23,00	0,40	0,00	1,62
24,00	0,60	0,00	1,62
23,00	0,80	0,00	1,62
24,50	1,00	0,00	1,62
30,50	1,50	0,00	1,61

Fonte: Autora.

4.2.2.4. Nova análise dos dados obtidos através do pó-atomizado (formulação P-48 da Villagres) com adição de CBC e/ou (re)adição de silicato de sódio como defloculante

Diante dos resultados obtidos nos itens anteriores, faz-se necessário uma nova análise dos dados de viscosidade das misturas feitas na etapa preliminar do estudo. Para ajudar nesta análise, foi confeccionado o Gráfico 3, onde podemos ver uma análise gráfica na Tabela X, que contém os resultados da primeira visita.

Gráfico 3: Análise gráfica da Tabela 4.



Fonte: Autora.

Como pode ser observado no Gráfico X através da curva em azul, com um teor constante de silicato de sódio (contando que este já esteja adicionado ao pó atomizado), o tempo de escoamento diminui quando comparamos a amostra de 1% de substituição por CBC com a de 2,5%.

Se a CBC fosse um material inerte que não tivesse a capacidade de influenciar positivamente na viscosidade, de nenhuma forma, como ocorrido na primeira interpretação apresentada no item anterior **4.2.2.3**, este fenômeno certamente não aconteceria, reforçando a segunda interpretação que foi discorrida no mesmo item (a de que a CBC pode sim reagir com os componentes da mistura e/ou com o silicato de sódio de forma a ter um efeito positivo na defloculação do sistema em determinadas porcentagens, porém sem conseguir agir isoladamente (ou seja, sem a adição do silicato de sódio ou outro defloculante)).

Porém, para que a análise desta interpretação possa ser feita, será necessário redefinir os rumos do estudo em questão, com novos mapeamentos de dados.

4.3 TERCEIRA ETAPA

Esta etapa final visa fazer uma caracterização comparativa entre as argilas e materiais finos, afim de se entender melhor em qual (ou quais) delas a CBC tem uma influência maior, e em quais teores. Esta etapa visa também um melhor entendimento e confirmação do que se pôde inferir na etapa anterior.

4.3.1 PREPARAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS A SEREM UTILIZADAS NAS CARACTERIZAÇÕES

Como já mencionado anteriormente, os materiais retirados dos boxes de armazenamento precisaram ser limpados e uniformizados, para assim terem condições de trabalhabilidade compatíveis com os equipamentos utilizados e também terem, entre si, critérios comparativos entre os mesmos. Para tal fim, o material passou por destorroamentos e peneiramentos. A seguir, tem-se imagens ilustrativas do quão impuro esses materiais se apresentaram, inicialmente.

Figura 20 - Material retido em peneira comum, “Argila BCA”



Fonte: Autora.

Figura 21 e 22 – Pedacos de rocha e pedregulhos extraídos do material Caulim



Fonte: Autora.

4.3.2. Curvas de Defloculação

De acordo com a metodologia descrita no tópico **3.3.2.1**, foram feitas amostras de barbotina cerâmica afim de obter-se dados para confecção de curvas de defloculação comparativas entre si, para assim se determinar a concentração ideal de

CBC em cada matéria-prima fina, e assim, ter-se uma noção de qual argila é mais influenciada pela ação da CBC em conjunto com o defloculante.

Com base nos diferentes resultados apresentados, a serem detalhados mais adiante, podemos dividir os materiais nas seguintes categorias:

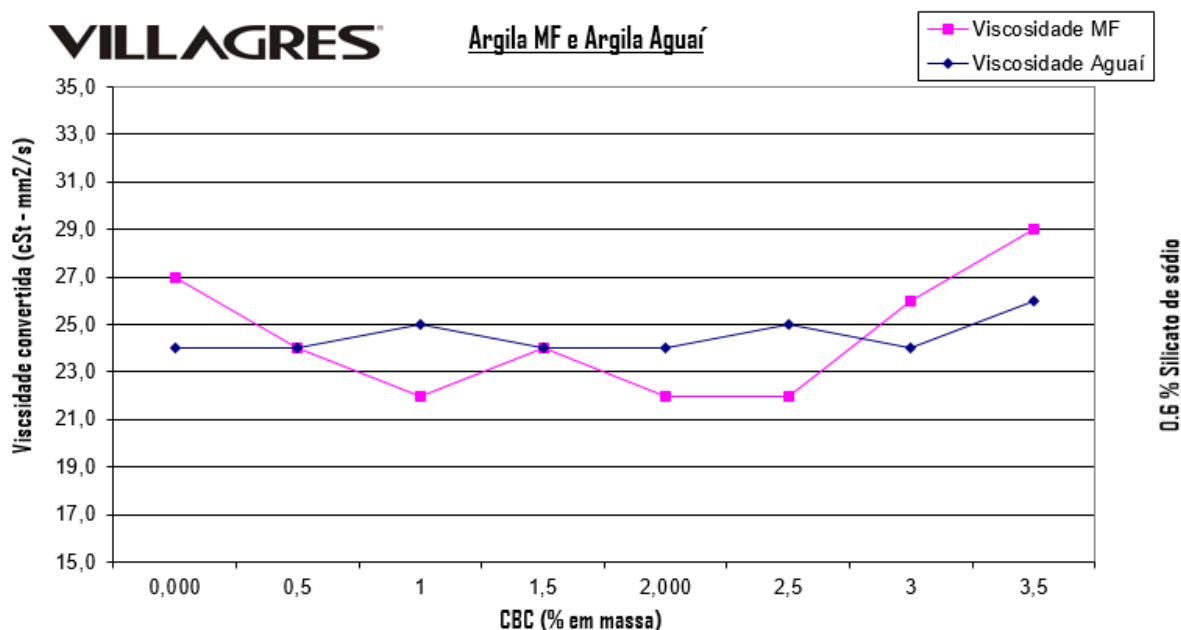
- A) Matérias-primas que não sofrem grande influência positiva com a adição de CBC, e nem com a adição de defloculante além do ponto ótimo;
- B) Matérias-primas que não sofrem nenhuma influência da CBC e do defloculante, por não configurarem em uma classificação “argilosa”;
- C) Matérias-primas que não sofrem nenhuma influência positiva com a adição de CBC, porém se influenciam com a adição de defloculante;
- D) Matérias-primas que se influenciam positivamente com a adição de CBC em determinados teores, bem como se influenciam com a adição de defloculante.

4.3.2.1 Curvas de defloculação das Matérias-primas da Categoria A

Como mencionado, os materiais desta categoria não apresentaram uma influência tão significativa da CBC em sua viscosidade. Muito embora, se batidos apenas com água e nenhum defloculante (teste que foi feito para todos os materiais) virem uma pasta que não escoar (o que comprova sua essência argilosa, apesar de possuírem uma grande parte arenosa também), esses materiais não sofrem grande influência da adição de defloculante além de seu teor ótimo. Isto pode ser afirmado porque, apesar das curvas de defloculação a serem apresentadas abaixo terem apenas 0,6% de silicato de sódio (teor ótimo), os experimentos foram repetidos com 1,2% do mesmo defloculante, com o intuito de assim fazer-se uma simulação do que provavelmente acontecera ao adicionar-se 0,6% de silicato ao pó-atomizado (que já continha defloculante em sua composição) nas etapas anteriores.

Esperava-se um aumento de viscosidade com estes dados de maior teor de defloculante, o que não aconteceu; os valores de viscosidade permaneceram praticamente inalterados (não sendo listados abaixo para não tornar o trabalho repetitivo). A seguir, têm-se as curvas de defloculação das matérias-primas enquadradas nesta categoria, sendo estas a Argila MF e a Argila Aguai.

Gráfico 4: Curva de Defloculação da Argila MF e da Argila Aguai com adição de CBC



Fonte: Autora.

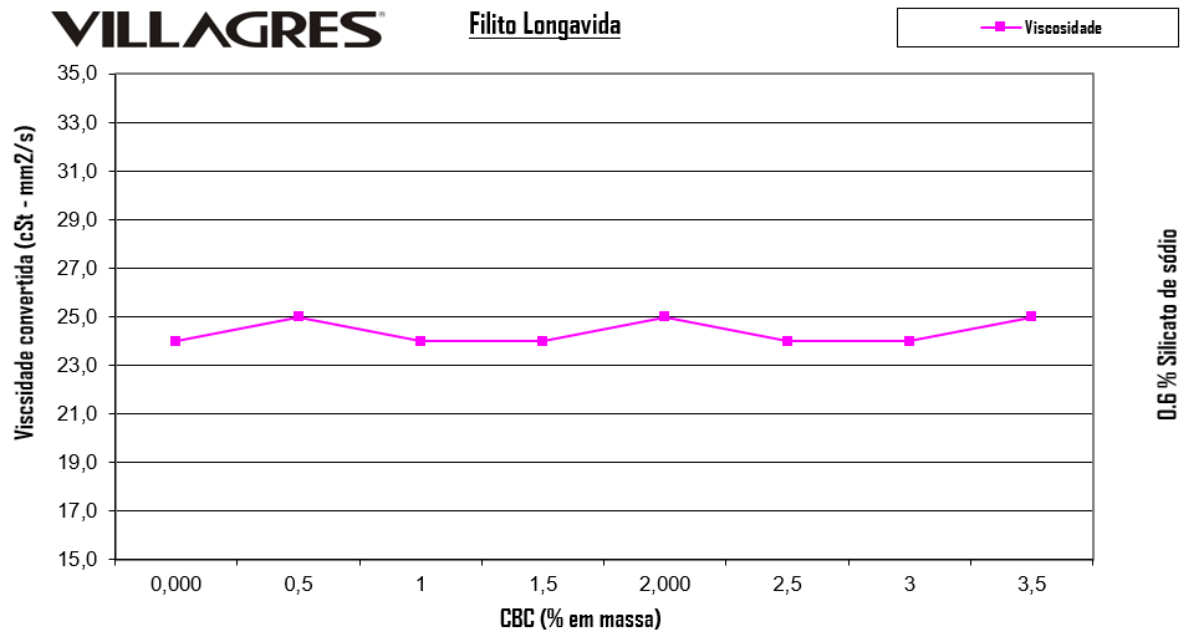
4.3.2.2 Curvas de defloculação das Matérias-primas da Categoria B

Estes materiais não apresentaram comportamentos que pudessem os configurar como materiais argilosos. O comportamento de cada material enquadrado nesta categoria será detalhado a seguir.

Filito Longavida

O filito Longavida, apesar de solúvel em água e ter, a olho nu, tamanho de grãos muito parecidos com os da Argila MF, não sofre o fenômeno da floculação quando misturado apenas com água, como fora constatado na última. Provavelmente este material se enquadre na categoria de “silte”, pois os mesmos, a olho nu, são bem parecidos com a argila, porém sem plasticidade e com tamanho de partícula maior que 5 microns (diâmetro máximo dos grãos de argila). Foi confeccionado um gráfico análogo aos dos materiais da categoria A, apenas para constatar a inexistência de variação de viscosidade da mistura, quando adicionada à CBC.

Gráfico 5: Curva de "Defloculação" do Filito Longavida com adição de CBC



Fonte: Autora.

Filito Itapeva

O filito Itapeva, sequer se mostrou solúvel em água (tendo sido colocado em contato com a mesma). Da forma como fora coletado dos boxes, se apresentou na forma de uma rocha, como descreve a figura 23.

Figura 23: Filito Itapeva (pedaços maiores e menores).



Fonte: Autora.

Bentonita 4 Barras

O material designado como bentonita 4 barras não apresentou uma uniformização suficiente para formar uma mistura, quando batido apenas com água, não tendo formado, porém, uma pasta altamente viscosa que pudesse o configurar como material argiloso; a parte líquida da mistura se tornou uma mistura altamente rala e esbranquiçada, como pode ser visto na Figura 24. Sendo assim, as curvas de defloculação para este material não foram confeccionadas, visto que, mesmo em contato com defloculante, apresentou-se o mesmo comportamento.

Figura 24: Bentonita 4 Barras misturada com água.



Fonte: Autora.

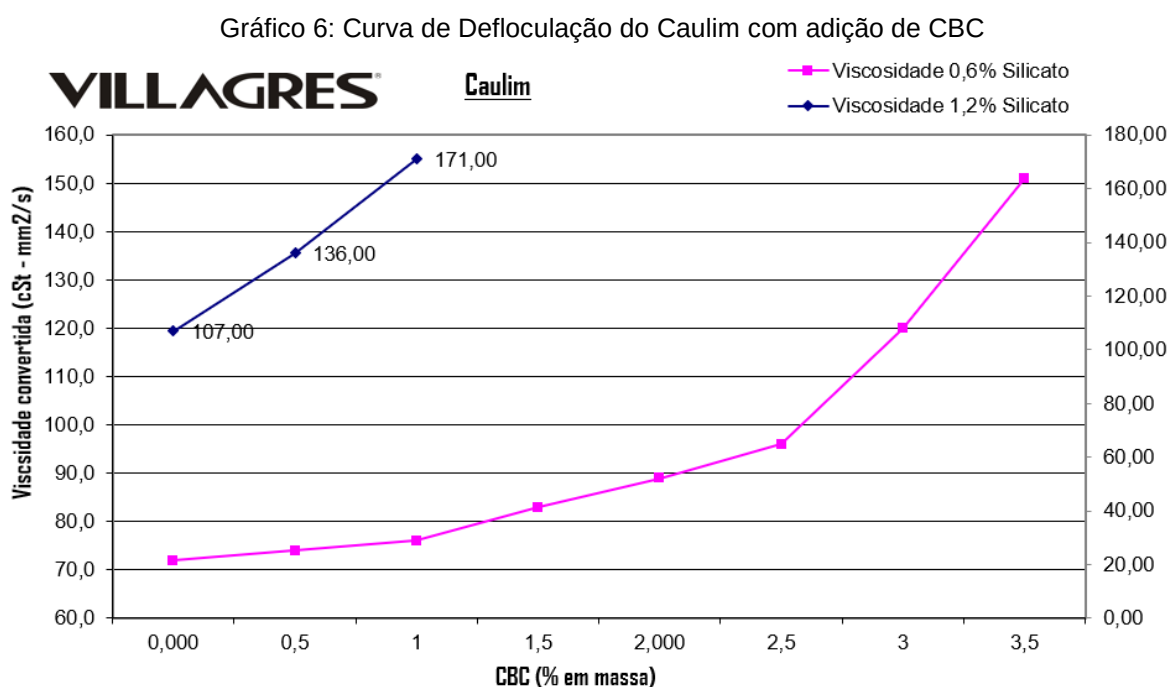
4.2.2.3 Matéria-prima da Categoria C (Caulim)

Como mencionado, esta categoria, que abrange apenas a matéria-prima caulim, é designada por caracterizar um material que não sofre influência positiva conforme a

CBC vai sendo adicionada, porém tem um comportamento perfeitamente argiloso; ocorre uma grande floculação quando misturado apenas na presença de alta, aumenta sua viscosidade com a presença de silicato de sódio além do teor ótimo, etc.

Dentre todos os materiais, é o que possui menor fase arenosa, o mais fino (perceptível a olho nu) e o mais fácil de se destorroar por apiloamento.

Foram feitas curvas de defloculação do material com adição crescente de CBC, com silicato de sódio em teor de 0,6% e 1,2%, o que ocasionou a conclusão acima. O resultado pode ser conferido em gráfico 6.



Fonte: Autora.

Os pontos que não estão no gráfico para a curva de 1,2% de silicato, foram pontos em que a viscosidade cresceu a ponto de não ser medida com o Copo Ford de orifício 4 mm. Analisando o gráfico, percebemos o quanto o teor de defloculante pode aumentar a viscosidade, além do teor ótimo. Percebemos também que a CBC não

possui nenhum efeito positivo na defloculação do caulim, sendo que esta, muito pelo contrário, aumenta sua viscosidade gradativamente.

4.2.2.4 Matéria-prima da Categoria D (Argila BCA)

De todas as matérias-primas, a argila BCA configura o caso mais curioso e o resultado mais interessante. A argila se mostra um material com uma defloculação bastante difícil, sendo que com a mesma quantidade de água usada para misturar as amostras anteriores (121,5g), não fora possível medir nenhuma viscosidade deste material com o copo de Ford de orifício 4mm; mesmo formando-se uma pasta líquida, a amostra começava a escoar e depois de alguns segundos parava; em alguns casos por conta da alta viscosidade, e em outros casos, por conta da alta tixotropia do material, que rapidamente se aglomerava com as partículas de areia presentes na composição (findada a agitação), obstruindo o orifício do copo.

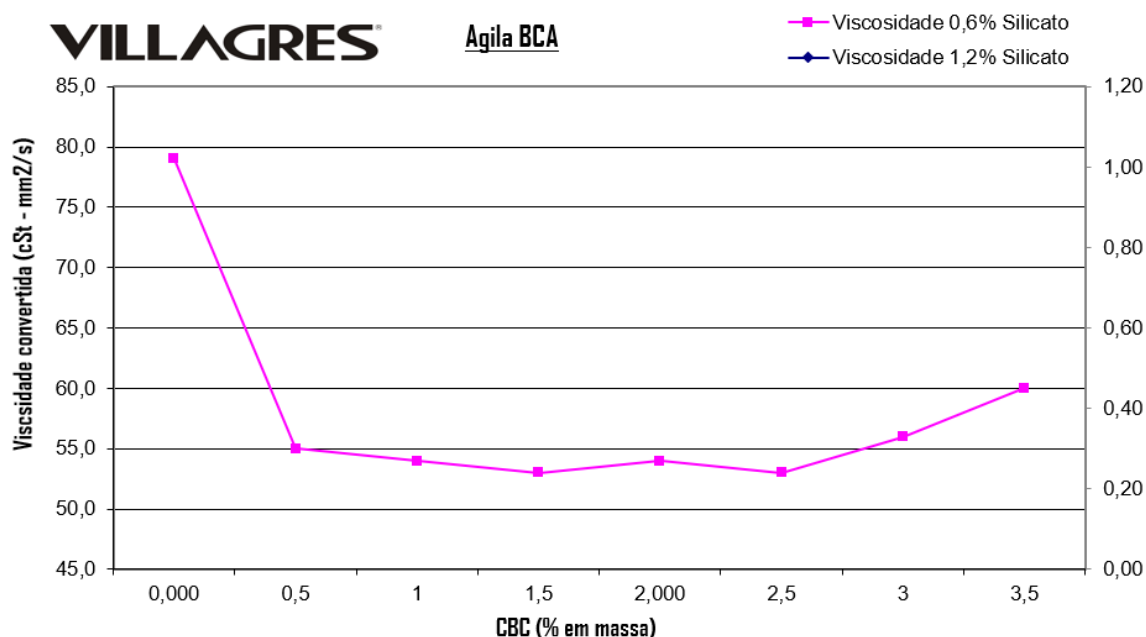
Assim, para que se pudesse ter uma noção do quanto a CBC influi ou não nesta argila, precisou-se refazer os experimentos com uma quantidade maior de água; aumentou-se essa quantidade para 162g (33,33% por cento de aumento), e assim, medir a viscosidade da argila em contato com diferentes teores de CBC.

Portanto, obviamente não se deve tomar os valores de viscosidade como absolutos e comparáveis com os demais materiais; a argila BCA é, de longe, a que apresenta maior viscosidade adicionada ao mesmo teor de água das demais; porém, para que se possa medir os efeitos da CBC nesta argila, se fez necessário reduzir esta viscosidade com adição de mais água.

O objetivo era, assim como para o caulim, confeccionar-se curvas de 0,6% e 1,2% de silicato de sódio; porém, não foi possível medir nenhuma viscosidade com teor de 1,2% de defloculante, ainda com a adição de água, pois, por conta do aumento de viscosidade em relação à curva de 0,6%, o material não conseguia escoar por completo.

Os resultados podem ser vistos no Gráfico 7.

Gráfico 7: Curva de Defloculação da Argila BCA com adição de CBC.



Fonte: Autora.

Neste caso, podemos ver que a CBC tem sim uma grande influência na Argila BCA, logo a partir da adição de 0,5%. Estes resultados indicam que o silicato de sódio não é um defloculante eficaz para deflocular as amostras desta argila isolada, sendo necessário um defloculante mais potente, para este caso (ex. poliacrilato de sódio).

De acordo com os dados obtidos nesta parte final do estudo, podemos concluir que a argila BCA é a matéria-prima na qual a CBC produziu a diferença de viscosidade notável que fora apontada na primeira etapa do mesmo.

Grande parte desta diferença se deu ao fato de ter-se adicionado (mesmo não intencionalmente, naquele momento) defloculante com o dobro de seu teor ótimo, como pode ser verificado através dos resultados obtidos nesta etapa.

5 CONCLUSÃO

De todos os tópicos abordados, pode-se inferir que:

- a) A CBC utilizada neste estudo, coletada na usina Ipiranga (Mococa – SP) no ano de 2017, não tem a propriedade de, isoladamente, agir como um defloculante durante o processo de moagem úmida das matérias-primas da composição do porcelanato, descartando, assim, o interesse industrial o uso deste resíduo para este fim;
- b) O pó-atomizado da formulação P-48 e da formulação P-59 já contém o defloculante silicato de sódio, em seu valor ótimo de adição;
- c) A CBC, adicionada em determinadas quantidades ao pó-atomizado das formulações cerâmicas pode sim provocar um efeito de diminuição da viscosidade das misturas.

Isto gera uma interpretação de que, apesar de não ter o potencial de diminuir a viscosidade das amostras isoladamente, a CBC reage com o defloculante já contido na mistura, de forma a melhorar a ação deste (em determinados teores). A faixa ótima para esta interação depende de cada formulação cerâmica, bem como dos tipos de materiais argilosos adicionados às mesmas, pois cada um sofre (ou não) um tipo diferente de influência com esta interação, sendo algumas praticamente inexistentes, outras mais brandas e outras mais acentuadas.

- d) As argilas denominadas “MF” e “Aguai” se mostraram matérias-primas que não sofrem influência relevante positiva com a adição de CBC, e nem de adição de defloculante além do ponto ótimo; o mesmo acontece com os materiais denominados “Filito Itapeva”, “Filito Longavida”, e “Bentonita 4 Barras”, porém com o diferencial de que os materiais deste último grupo não configurarem em uma classificação “argilosa”, de acordo com os experimentos.
- e) A adição de CBC não demonstrou influência positiva na diminuição de viscosidade do Caulim, porém pôde-se observar a influência causada por diferentes teores de defloculante nas misturas.

f) Dentre todos os materiais argilosos analisados na última etapa, o material denominado argila BCA é a que melhor reflete o comportamento das formulações cerâmicas como um todo, pois é a que tem uma maior e mais positiva influência da CBC (a partir da adição de 0,5% em massa), agindo em conjunto com o teor ótimo de silicato de sódio (0,6%).

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Cerâmica – ABCERAM.

Disponível em <<https://abceram.org.br/materias-primas-naturais/>>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.463**: Placas cerâmicas para revestimento – Porcelanato, 2013. 6 p.

Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Loucas Sanitárias e Congêneres – ANFACER.

Disponível em <<https://www.anfacer.org.br/brasil>>.

C., Fredericci, G. F. B. Lenz e Silva, R. L. Indelicato, J. B. Ferreira Neto, T.

R. Ribeiro, F. J. G. Landgraf. **Caracterização de cinzas de bagaço de cana como matéria prima para a produção de cerâmica**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 56., 2012, Curitiba, 2012. p. 136 - 147.

CACURO, T. A.; WALDMAN, W. R. Cinzas da Queima de Biomassa: Aplicações e Potencialidades. **Revista Virtual Química**, v. 7, n. 6, p.2154-2165, 7 jul. 2015.

Disponível em: <<http://www.uff.br/rvq>>. Acesso em: 7 fev. 2019.

CERQUEIRA, Daniel Alves; RODRIGUES FILHO, Guimes; MEIRELES, Carla da Silva. Optimization of sugarcane bagasse cellulose acetylation. **Carbohydrate Polymers** n. 69, p.579-582, 17 jan. 2007.

CHAMS, Nour; GARCÍA-BLANDÓN, Josep. On the importance of sustainable human resource management for the adoption of sustainable development goals. **Resources, Conservation And Recycling**, [s.l.], v. 141, p.109-122, fev. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.10.006>.

Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344918303719>>. Acesso em: 17 mar. 2019.

COELHO^a, José Mario. **Impactos da reestruturação do setor de feldspato no Brasil sobre as empresas de pequeno porte: importância de uma nova abordagem na**

análise de investimentos. 2001. 246 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

COELHO^b, José Mario. **Outras Rochas e Minerais Industriais: Perfil do Feldspato.** J.Mendo Consultoria, 2009. 52 p.

CONAB (Org.). **Acompanhamento da Safra Brasileira: Safra 2018/19.** Brasília: Observatório Agrícola, 2018. 74 p.

COSTA, Nayane Marquese. **Utilização da cinza de bagaço de cana-de-açúcar para a produção de pisos cerâmicos (porcelanato).** 2019. 96 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Ciências dos Materiais, Departamento de Física e Química, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2019.

DELAVI, Deyse Gonzaga Gomes. **Defloculação de suspensões aquosas de argila e sua correlação com caracterizações químicas e de superfície.** 2011. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

DIATOM. **Cerâmica: produto silicato de sódio.** Disponível em: <<http://www.diatom.com.br/pt-BR/aplicacoes/ceramica>>. Acesso em: 28 junho 2011.

GAZZOLA, Paola; CAMPO, Ainhoa Gonzalez del; ONYANGO, Vincent. Going green vs for smart for sustainable development: Quo vadis? **Journal of Cleaner Production**, v. 214, p.881-892, 4 jan. 2019.

Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618339556>>. Acesso em: 15 mar. 2019.

GOMES, C.M., AMORIM, L.V., FERREIRA, H.C., Influência da velocidade de agitação na reologia de dispersões de argilas bentoníticas. **Jornadas SAM**, p.827834, 2001.

GOMES, C.M., REIS, J.P., LUIZ, J.P. Defloculação de massas cerâmicas triaxiais obtidas a partir do delineamento de misturas. São Paulo: **Cerâmica**, n.51, p.336342, 2005.

HOJO, Liri Yoko Cruz Prieto et al. **Diagnóstico do gerenciamento dos resíduos em uma indústria sucroalcooleira**. Simpósio de Pós Graduação em Engenharia Urbana, 2012, Maringá. SIMPGEU, 2012. p. 1-9.

LIMA, M.M. **Viscosidade de líquidos**. Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, 2009. 10p.

MACEDO, Pamela Camargo. **Avaliação do desempenho de argamassas com adição de cinza do bagaço de cana-de-açúcar**. 2009. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Unesp - Campus de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2009.

MELCHIADES, Fábio Gomes. **Estudo comparativo entre as tecnologias via úmida e via seca para a preparação de massas de porcelanatos**. 2011. 214 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Materiais, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

MELO, Lis Guimarães de Azeredo; THAUMATURGO, Clelio. **Filito: um material estratégico para a fabricação de novos cimentos**. Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2012.

MODESTO, C., FELISBINO, B.V., **Estudo comparativo de diferentes defloculantes**. Instituto Maximiliano Gaidzinski, 2009.

NETO, J.M. **Reologia**. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Piauí. 2006. Disponível em: <<http://www.fapepi.pi.gov.br/ciencia/>>. Acesso em 14 de abril de 2011.

ORTEGA, F.S., PANDOLFELLI, J.A. Defloculação e propriedades reológicas de suspensões de alumina estabilizadas com dispersante poliacrílicos. **Cerâmica Industrial**, v.2, n.5, p.34-37, 1997.

PANDOLFELLI, V.C., OLIVEIRA, I. R., STUDART, A.R., PILEGGI, R. G. **Dispersão e empacotamento de partículas: princípios e aplicações em processamento cerâmico**. São Paulo: Fazendo Arte Editorial, 2000. 224 p.

PIACENTE, Fabrício José. **Agroindústria canavieira e o sistema de gestão ambiental: o caso das usinas localizadas nas bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí**. 2005. 181 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Desenvolvimento Econômico, Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

RAMOS, Leonardo José. **Balanço Mineral Brasileiro – Feldspato**. 2001. 15 p.

REED, J. S. **Principles of ceramics processing**. 2 ed. New York: John Wiley and Sons, 1995, 565 p.

RODOLFO, A.J., NUNES, L.R., ORMANJI, W. **Tecnologia do PVC**. 2ª edição, Braskem. 447p, 2006.

ROCHA, R.R., ZANARDO, A., MORENO, M.M.T. Estudo do comportamento reológico de barbotinas preparadas com argilas da formação Corumbataí utilizadas no polo cerâmico de Santa Gertrudes (SP). São Paulo: **Cerâmica**, n.54, p.332-337. 2008.

ROSSI, M.A.P. **As argilas**. Cerâmica Alice. Disponível em: http://portorossi.arts.br/as_argilas.htm. Acesso em 10 de junho de 2011.

SANTOS, A.S. **As argilas como matérias-primas cerâmicas**. Salvador: (DCTM) 2009. Universidade Federal da Bahia, 2009. 10p.

SILVA, João Paulo Pereira da. **Mecanismo de ação do silicato de sódio como depressor em flotação**. 2011. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Mineral - PPGEMinas, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

SILVA, Sebastião Pereira da. **Balanço Mineral Brasileiro**. 2001. 13 p.

SOLVAY. **Silicato de sodio.** Produtos sódicos. Disponível em: <<http://www.solvay.com/>>. Acesso em 28 junho 2011.

SUÁREZ-EIROA, B., FERNÁNDEZ, E., MARTÍNEZ, G.M., OÑATE, D.S. Operational principles of circular economy for sustainable development: Linking theory and practice. **Journal of Cleaner Production**, [S.l.], v. 214, p.952-961, mar. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.271>.

Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618340009>>. Acesso em: 17 mar. 2019.

TOMMASELLIL, M.A.G., LIMA, A.V., TSUJI, E.R., MACHADO, C.A.C., ALVES, A.L. **Alternativa de utilização sustentável do resíduo cinza, oriunda da queima do bagaço da cana-de-açúcar, incorporando-a ao concreto como agregado.** In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 31, 2011, Belo Horizonte. Enegep, 2011. p. 1 - 9.

WAKKEE, I., VAN DER SIDJE, P., VAUPELL, C., GHUMANC, K. The university's role in sustainable development: Activating entrepreneurial scholar as agents of change. **Technological Forecasting & Social Change.** p. 195-205. 04 nov. 2018.

Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162517302494>>. Acesso em: 25 mar. 2019.