

**APROVEITAMENTO DE REJEITOS DA MINERAÇÃO DE CAULIM EM  
CERÂMICA BRANCA**

**Lana Lopes de Souza Nobre**

Tecnóloga em Materiais pelo Centro Federal de Educação Tecnológica do Rio Grande do Norte (2004) e Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (2007). lanalopesrn@hotmail.com.

**Wilson Acchar**

Graduação em Engenharia Metalúrgica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (1982), Mestrado em Ciências dos Materiais pelo Instituto Militar de Engenharia (1985), Doutorado em Física dos Materiais - Werkstoffphysik - Technische Universität Hamburg Harburg (1993) na área de Materiais Cerâmicos e Pós-Doutorado na Universidade de Aveiro, Portugal área de Materiais.

---

**RESUMO**

O presente trabalho tem por objetivo caracterizar o rejeito de caulim proveniente de empresa de mineração localizada em Junco do Seridó – PB – Brasil. Foram analisados as suas propriedades físicas e químicas visando sua incorporação na composição de massas para a cerâmica branca.

**PALAVRAS-CHAVE:** Caulim, mineração, resíduos de caulim.

**UTILIZATION OF TAILINGS FROM MINING KAOLIN IN WHITE CERAMIC**

**ABSTRACT**

The present work aims to characterize the kaolin waste from mining in Junco do Seridó - PB – Brazil. Were analyzed their chemical and physical properties aiming its incorporation in the composition of masses for the white ceramic.

**KEY-WORDS:** Kaolin, mining, kaolin tailings.

## APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DE CAULIM EM CERÂMICA BRANCA

### INTRODUÇÃO

O descarte de resíduos gerado pelas indústrias de beneficiamento de caulim entre os estados do Rio Grande do Norte e da Paraíba incidem negativamente sobre toda a sociedade. Na maioria das vezes esses resíduos são retirados e dispostos clandestinamente em locais como terrenos baldios, margens de rios e nas ruas das periferias das cidades. (CONAMA n° 307, 2002).

Em virtude de tal fato, é objetivo do presente trabalho estudar as propriedades dos rejeitos de caulim provenientes do município de Equador na divisa da Paraíba com o Rio Grande do Norte e verificar a sua aplicação na cerâmica branca.

### PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

No fluxograma abaixo está contido, de uma forma geral, o procedimento utilizado na metodologia.

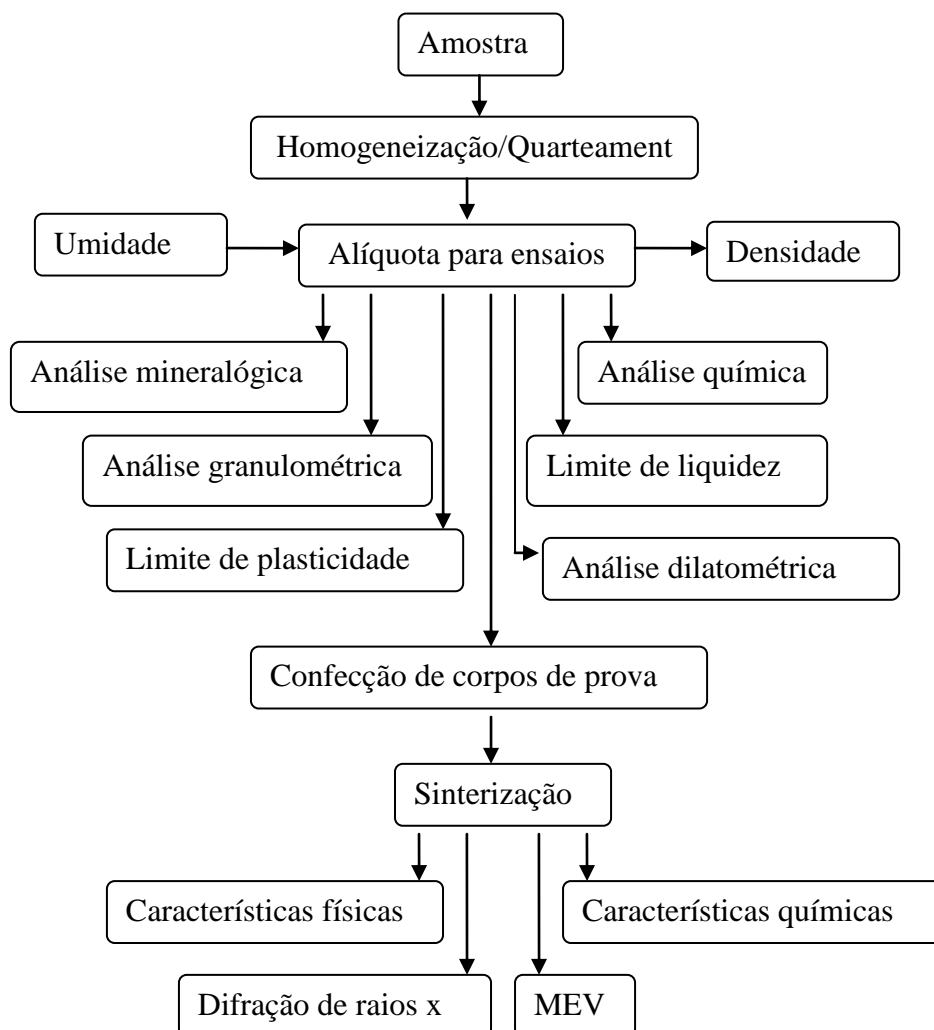


Figura 1: Fluxograma usado para a caracterização do caulim

A composição química e mineralógica da argila e do caulim foram determinadas por fluorescência de Raios-X (FRX) e por difração de Raio-X (DRX).

A análise termogravimétrica (TG) e a térmica diferencial (DTA) foram obtidas em equipamentos seguindo as técnicas para determinação.

Os limites de Atterberg das matérias-primas foram determinados de acordo com as normas vingente, e utilizando a Equação 1.

$$IP = LL - LP$$

**equação 1**

onde: IP = Índice de plasticidade;

LL = Limite de Liquidez;

LP = Limite de Plasticidade

**Tabela 1: Formulação das massas cerâmicas estudadas**

| <b>Massa Cerâmica</b> | <b>Argila (g)</b> | <b>Rejeito de Caulim(g)</b> | <b>% de Argila adicionada ao Rejeito</b> |
|-----------------------|-------------------|-----------------------------|--|
| <b>1</b>              | <b>60</b>         | <b>140</b>                  | <b>30</b>                                |
| <b>2</b>              | <b>70</b>         | <b>130</b>                  | <b>35</b>                                |
| <b>3</b>              | <b>92</b>         | <b>108</b>                  | <b>46</b>                                |

A análise granulométrica foi processada através de duas técnicas: peneiramento e classificação de partículas por difração à laser.

Após a caracterização das matérias-primas iniciais, que foram passadas em peneiras, foram elaboradas as composições das massas cerâmicas. A homogeneização foi feita com a utilização de um moinho de bolas.

As massas cerâmicas foram preparadas a partir de 3 (três) formulações como mostra a Tabela 1

Para a conformação dos corpos-de-prova foi utilizada uma matriz retangular com punções inferior e superior, confeccionado em aço. A pressão de compactação utilizada foi de 20 MPa como também foi relatado por Santos (1989).

Depois da compactação, as amostras foram secas em uma estufa a 110°C por um período de 24h. A fim de determinar a retração linear de queima, foi realizada análise de dilatométrica sob gradiente de temperatura ideal para queima dos corpos-de-prova.

A etapa de sinterização dos corpos-de-prova foi realizada em um forno mufla, em atmosfera natural no patamar de 30 min e taxa de aquecimento de 10° C/min. Foram

empregadas as temperaturas de patamares: 1175, 1200, 1250 e 1300°C. O resfriamento ocorreu naturalmente com o forno desligado e fechado até temperatura ambiente.

Os corpos de provas foram medidos antes e após a queima e os dados obtidos foram inseridos na Equação 2 para determinar a retração linear de queima.

$$RLQ(\%) = \frac{CI - CQ}{CQ} \times 100 \quad \text{equação (2)}$$

sendo: RLQ = retração linear de queima (%);

CI = comprimento inicial do corpo de prova seca (em mm);

CQ = comprimento do corpo de prova queimado (em mm).

A massa específica de um corpo de prova é calculada pela razão entre a porosidade aparente e a absorção de água. A massa específica aparente foi obtida pela Equação 3.

$$Mea = \frac{ms}{va(\frac{g}{cm^3})} \quad \text{equação (3)}$$

sendo: Mea = massa específica aparente (g/cm<sup>3</sup>);

MS = massa seca (g);

Va = volume aparente (cm<sup>3</sup>).

O procedimento para obtenção do parâmetro de absorção de água consiste na imersão dos corpos-de-prova em água destilada por 24 horas depois de serem secos em uma estufa à temperatura de 110°C até atingirem uma massa constante. A absorção é calculada pela Equação 4.

$$AA = \frac{Mu - Ms}{Ms} \times 100 \quad \text{equação(4)}$$

sendo: AA = absorção de água (%);

MU = massa do corpo – de – prova úmido (g);

MS = massa do corpo –de – prova seco (g).

A porosidade aparente dos corpos-de-prova queimados foi determinada de acordo com a equação 5.

$$PA(\%) = \frac{Mu - Ms}{Ms} \times 100 \quad \text{equação(5)}$$

sendo: PA = porosidade aparente (%);

MU = massa do corpo de prova úmido (g);

MS = massa do corpo de prova seco (g);

MI = massa do corpo de prova imerso em água (g).

A tensão de ruptura à flexão é a resistência do material ao ensaio de flexão simples pelo método de três pontos. Fez-se uso da equação 6 para obter o resultado.

$$TRF \left( \frac{N}{mm^2} \right) = \frac{3xFxL}{2xbxh} \quad \text{equação(6)}$$

sendo: TRF = Tensão de ruptura à flexão; (N/mm<sup>2</sup>)

F = força de ruptura (N);

L = distância entre as duas barras de apoio (mm);

b = largura do corpo-de-prova ao longo da ruptura após ensaio (mm);

h = altura do corpo de prova (mm).

A superfície dos corpos-de-prova pós-queima foi analisada em um microscópio eletrônico de varredura.

## ANÁLISE QUÍMICA

As composições químicas das amostras de argila e do resíduo de caulim foram realizadas a partir das alíquotas dos mesmos e estão representados na Tabela 2 e 3 respectivamente.

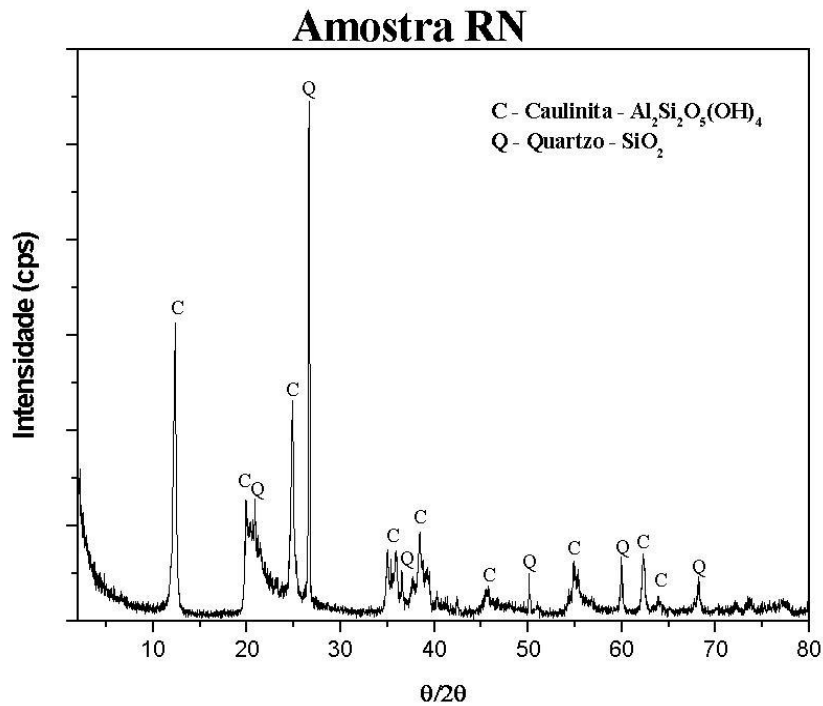
**Tabela 2: Análise química da argila**

| ÓXIDOS PRESENTES               | PROCENTAGEM |
|--------------------------------|-------------|
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 49,23       |
| SiO <sub>2</sub>               | 46,61       |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1,32        |
| TiO <sub>2</sub>               | 1,22        |
| K <sub>2</sub> O               | 0,36        |
| CaO                            | 0,33        |
| Na <sub>2</sub> O              | 0,28        |
| MgO                            | 0,22        |
| ZrO <sub>2</sub>               | 0,9         |
| V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,7         |
| SO <sub>3</sub>                | 0,5         |
| Outros                         | 0,178       |

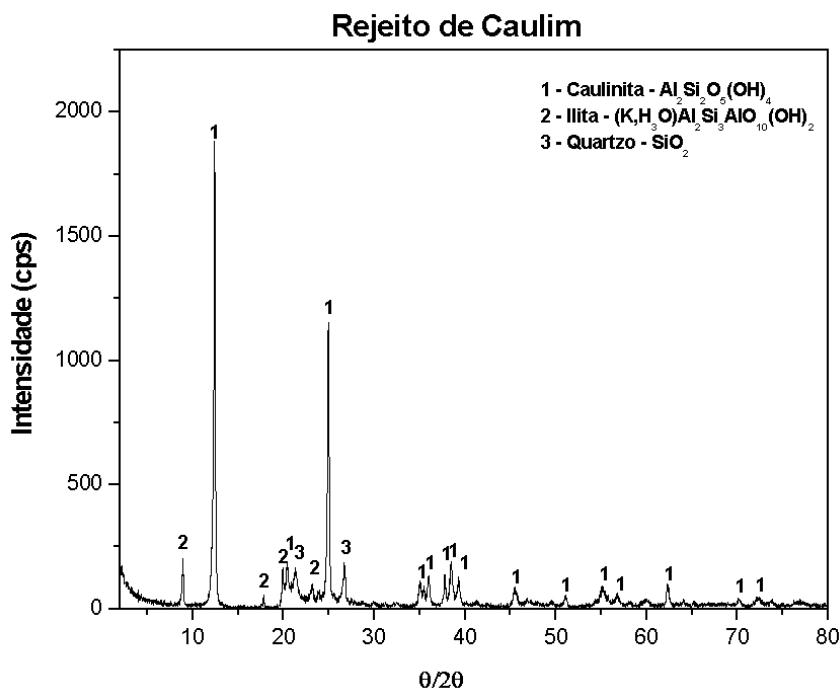
**Tabela 3: Caracterização química do caulim**

| ÓXIDOS PRESENTES               | PROCENTAGEM |
|--------------------------------|-------------|
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 51,43       |
| SiO <sub>2</sub>               | 45,08       |
| K <sub>2</sub> O               | 1,94        |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,75        |
| MgO                            | 0,39        |
| CaO                            | 0,09        |
| Outros                         | 0,29        |

Nas Figuras 2 e 3 visualizamos as análises mineralógicas das matérias-primas utilizadas neste trabalho através dos seus respectivos difratogramas.

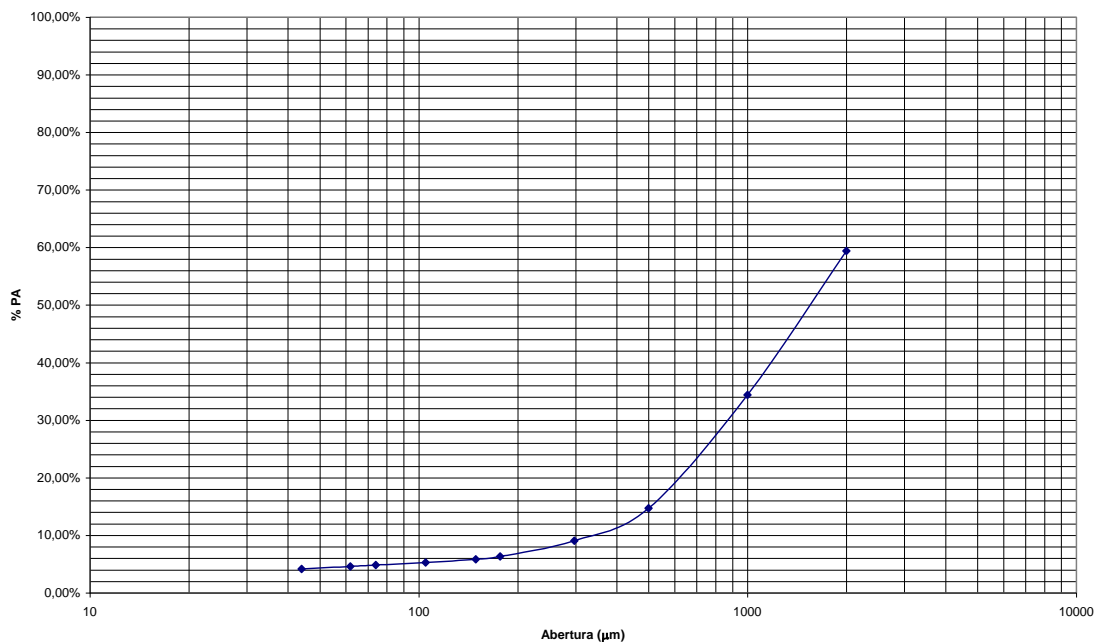


**Figura 2: Difratograma de raios-X da argila**



**Figura 3: Difratograma de raios-X do resíduo de caulim**

A Figura 4 mostra o resultado da análise granulométrica do rejeito de caulim.



**Figura 4: Análise granulométrica do rejeito de caulim**

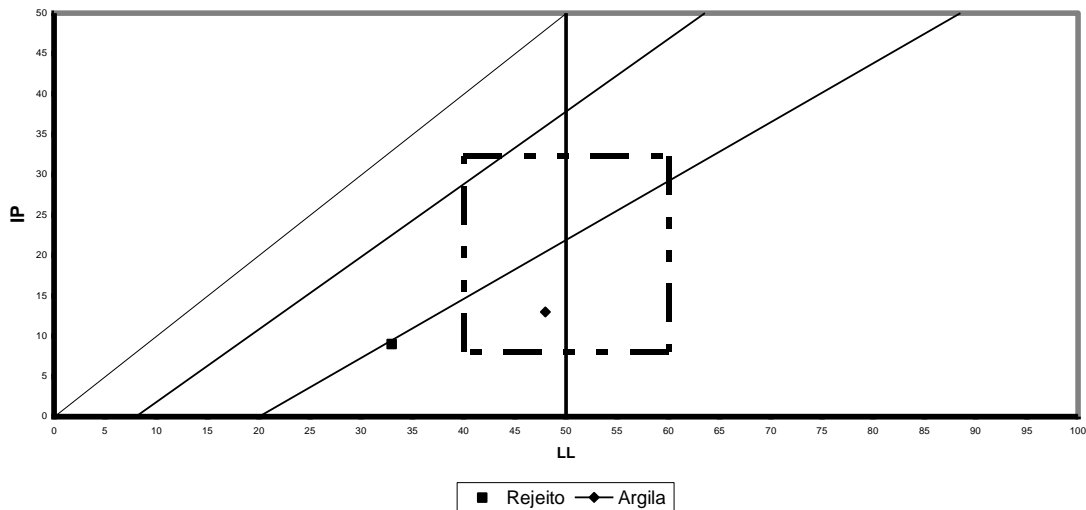
A análise mostra que 5% das partículas do rejeito apresentam diâmetro equivalente inferior a cerca de 325#.

A granulometria da argila, também, é de 325#

Os limites de plasticidade da argila e do resíduo de caulim estão representados na Tabela 4 e no diagrama de Casa Grande, exibido na Figura 5

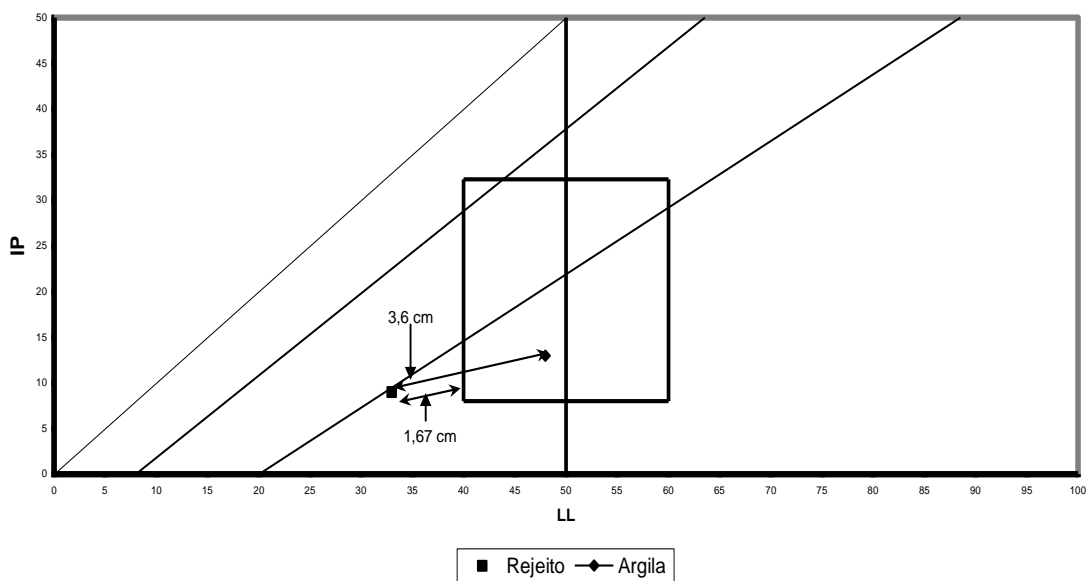
**Tabela 4: Limite de liquidez, plasticidade e índice de plasticidade da argila e do resíduo de caulim**

| <b>Amostra</b> | <b>Limite de Liquidez (%)</b> | <b>Limite de Plasticidade (%)</b> | <b>Índice de Plasticidade (%)</b> |
|----------------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Argila</b>  | 48                            | 35                                | 13                                |
| <b>Caulim</b>  | 33                            | 24                                | 9                                 |



**Figura 5: Limite de liquidez e plasticidade da argila e do resíduo de caulim**

Com os dados da figura acima, é possível propor uma composição argila-caulim para que o resíduo venha a se posicionar dentro da zona de máxima trabalhabilidade como mostra a Figura 6



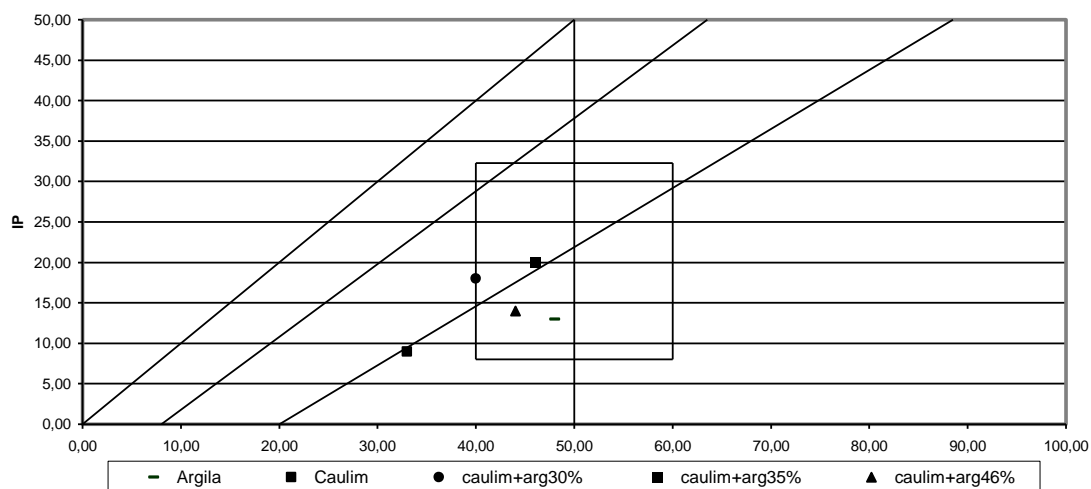
**Figura 6: Proposição da mistura baseado no gráfico de Casagrande**

Foram realizadas misturas de acordo com a Tabela 5 para verificar o comportamento do sistema argila - resíduo no Diagrama de Casagrande. Os resultados estão apresentados na Figura 7.



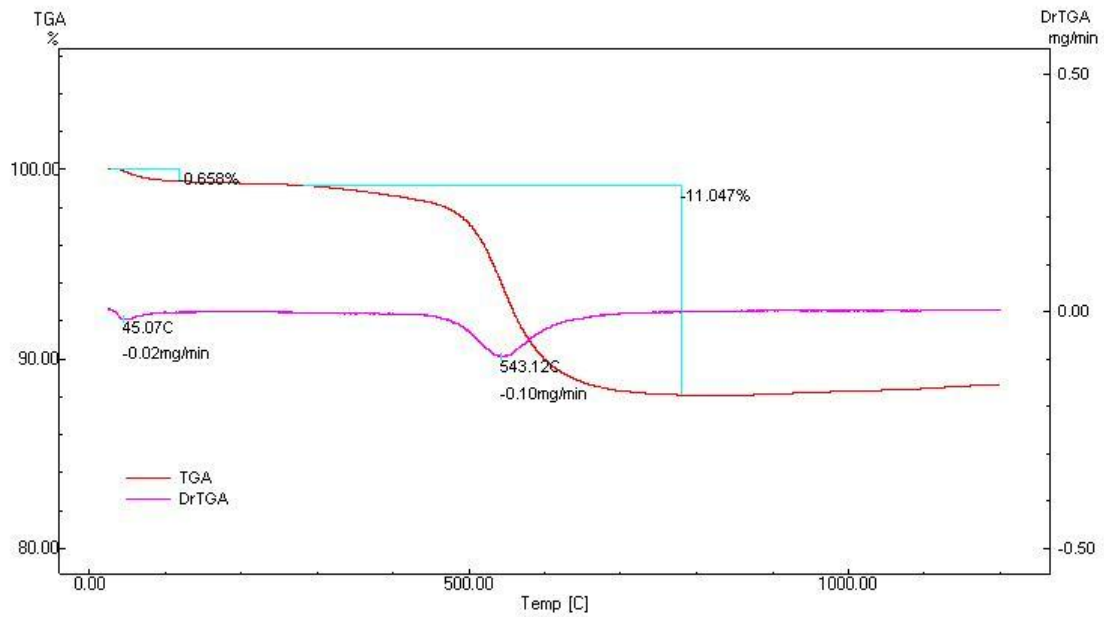
**Tabela 5: Limite de liquidez, plasticidade e índice de plasticidade das Misturas**

| Amostra                 | Limite de Liquidez | Limite de Plasticidade | Índice de Plasticidade |
|-------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|
| Rejeito + 30% de Argila | 40                 | 22                     | 18                     |
| Rejeiro + 35% de Argila | 46                 | 26                     | 20                     |
| Rejeito + 46% de Argila | 44                 | 24                     | 14                     |

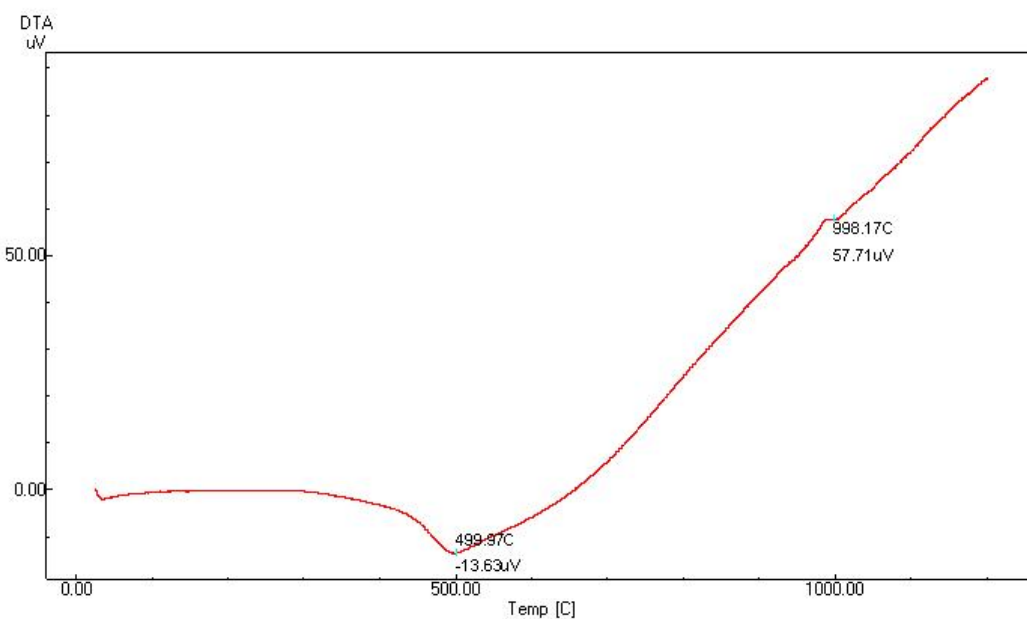


**Figura 7: Diagrama de Casagrande para as misturas realizadas**

As Figuras 8 e 9 apresentam o comportamento termogravimétrico e termodiferencial, respectivamente da mistura argila-resíduo de caulim.

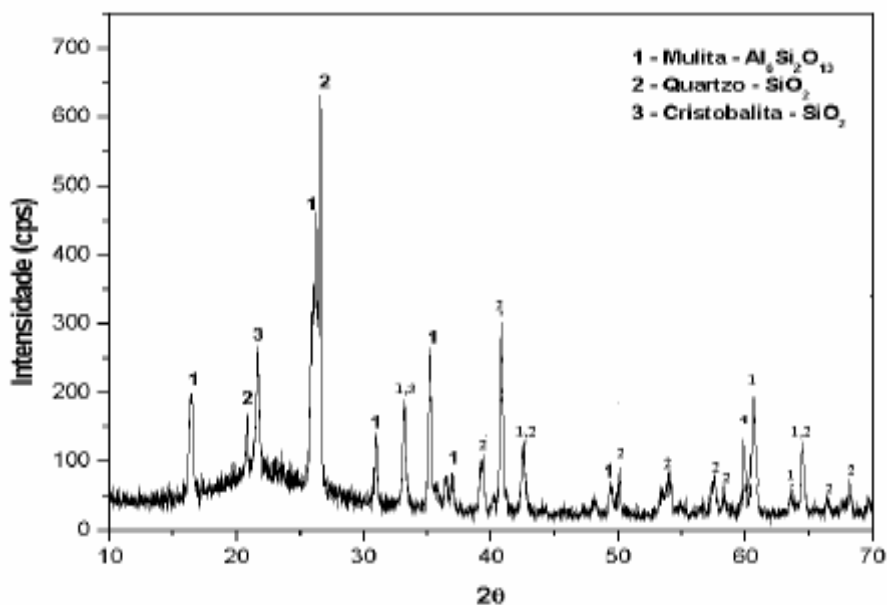


**Figura 8: Curva Termogravimétrica (TG) com sua respectiva derivada (DrTG)**



**Figura 9: Curva Termodiferencial (DTA) da mistura argila-resíduo de caulim**

A Figura 10 apresenta o difratograma de raios-X da amostra de argila adicionada ao resíduo de caulim nas seguintes proporções: 35% de argila ao resíduo.



**Figura 10: Difratograma de raios-X da argila adicionada ao resíduo de caulim**

A Tabela 6 e a Figura 11 apresentam o comportamento da absorção de água dos corpos-de-prova.

**Tabela 6: Absorção de água em porcentagem para amostras sinterizadas em patamar de 30 min**

| Mistura                         | Absorção de água (%) |        |        |        |
|---------------------------------|----------------------|--------|--------|--------|
|                                 | Patamar 30 min       |        |        |        |
|                                 | 1175°C               | 1200°C | 1250°C | 1300°C |
| <b>30% de argila ao rejeito</b> | 18,9                 | 15,3   | 10,6   | 8,5    |
| <b>35% de argila ao rejeito</b> | 16,6                 | 14,4   | 10,9   | 6,4    |
| <b>46% de argila ao rejeito</b> | 15,7                 | 12,3   | 9,8    | 6,3    |

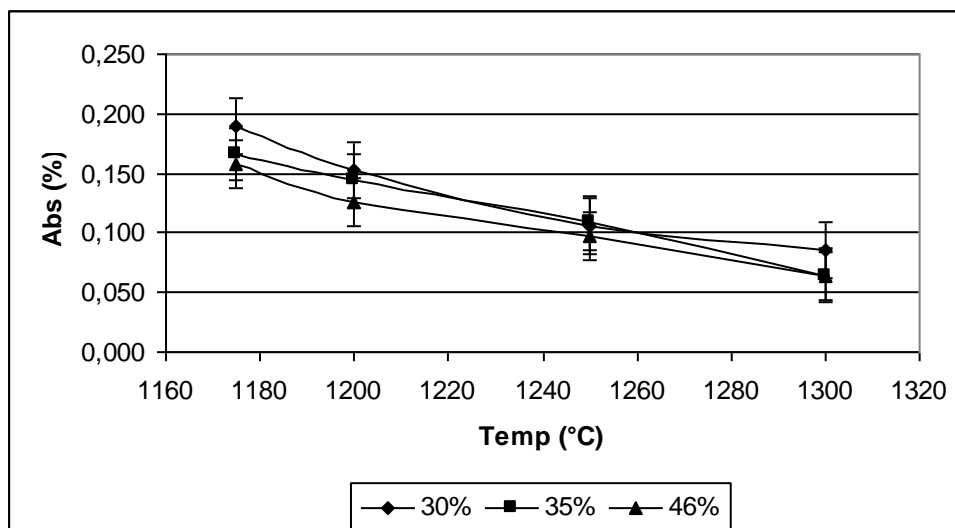


Figura 11: Absorção de água x temperatura para as misturas estudadas

A Tabela 7 e a Figura 12 apresentam o comportamento da retração linear dos corpos-de-prova.

Tabela 7: Retração Linear de Queima percentagem para amostras sinterizadas em patamar de 30 min

| Retração Linear de Queima (%) |                |        |        |        |
|-------------------------------|----------------|--------|--------|--------|
| Mistura                       | Patamar 30 min |        |        |        |
|                               | 1175°C         | 1200°C | 1250°C | 1300°C |
| 30% de argila ao rejeito      | 5,84           | 7,15   | 8,96   | 11,30  |
| 35% de argila ao rejeito      | 6,36           | 7,77   | 9,46   | 12,04  |
| 46% de argila ao rejeito      | 6,79           | 8,46   | 10,15  | 13,12  |

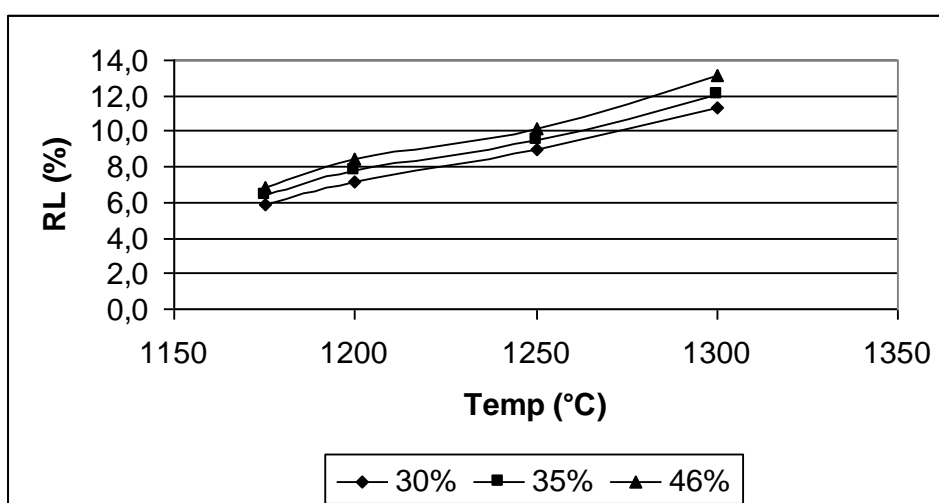
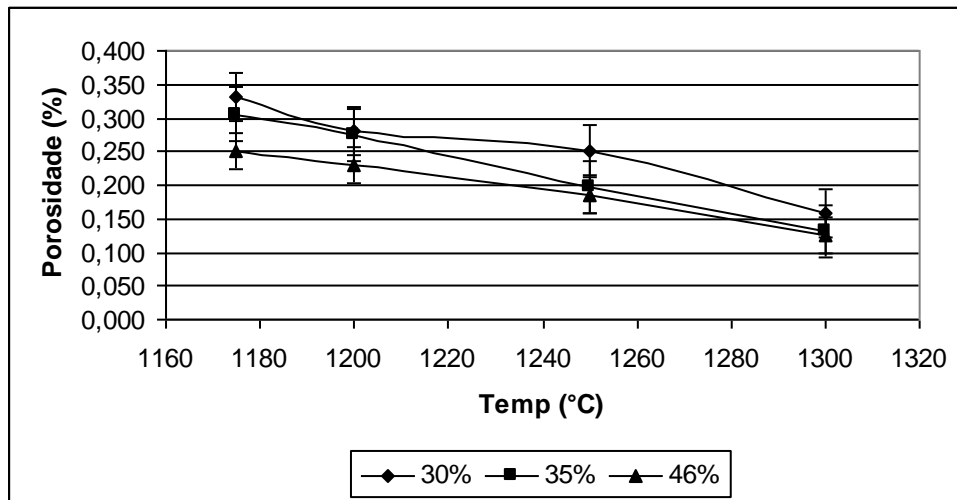


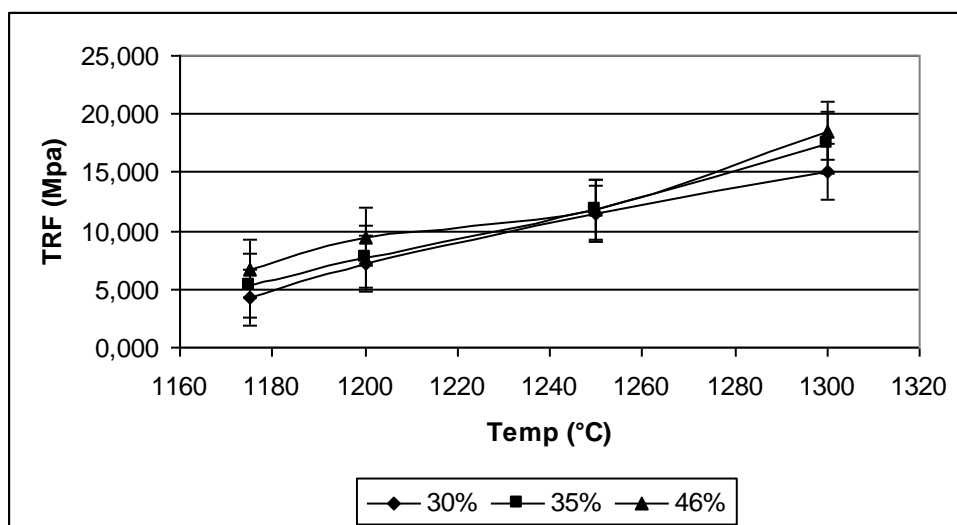
Figura 12: Retração Linear de queima para as misturas estudadas

Os resultados da porosidade aparente dos corpos cerâmicos do resíduo de caulim com argila são apresentados na Figura 13.



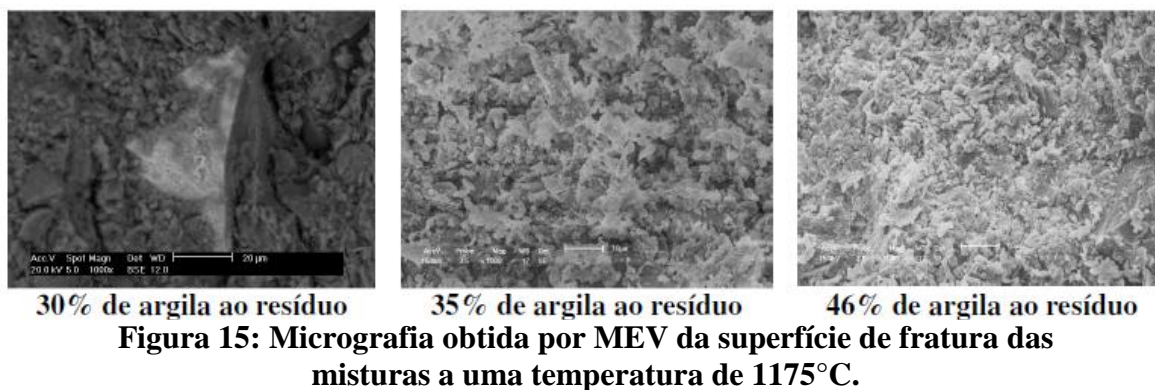
**Figura 13: Porosidade Aparente em Função da Temperatura de Queima**

A Figura 14 apresenta o comportamento da resistência mecânica sob flexão, dos corpos-de-prova em função da temperatura de sinterização estudadas.

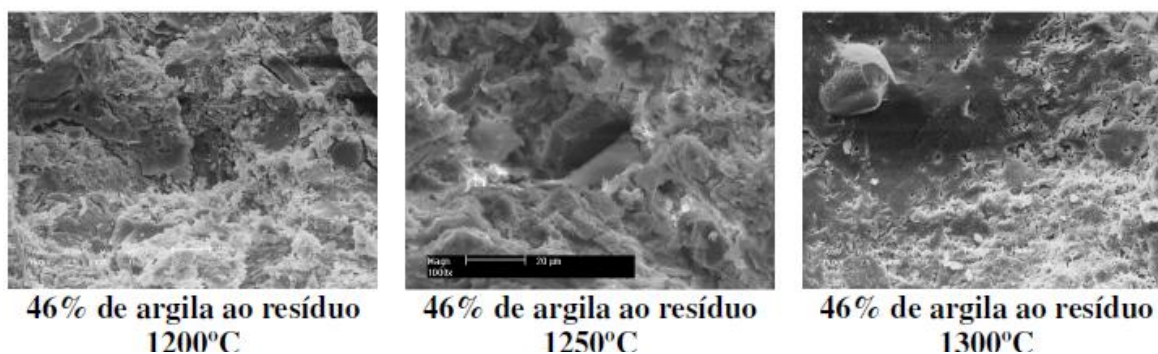


**Figura 14: Resistência a Flexão em função da temperatura de queima**

A Figura 15 exemplifica as micrografias da superfície de fratura das misturas de 30, 35 e 46% de argila ao resíduo de caulim, a uma temperatura de queima igual a 1175°C.



A figura 16 exemplifica as micrografias da superfície de fratura das misturas estudadas, a uma temperatura de queima igual a 1200°C, 1250°C e 1300°C, respectivamente com uma porcentagem de 46% de argila adicionada ao resíduo, essa porcentagem foi a escolhida devido ao comportamento da porosidade aparente do material com o incremento de argila ao resíduo.



**Figura 16 – Micrografia obtida por MEV da superfície de fratura da mistura de 46% de argila ao resíduo nas temperaturas de 1200°C, 1250°C e 1300°C.**

## CONCLUSÕES

O rejeito de caulim utilizado no presente trabalho é composto por 5% de caulim e apresenta uma porcentagem de óxido ferro baixa o que confere aos corpos de prova após queima uma coloração branca;

A adição de argila ao rejeito de caulim contribuiu de forma significativa na melhoria das propriedades do rejeito, aumentando a sua plasticidade;

A argila apresenta um teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  igual a 1,32% em massa, valor aceitável para queima branca;

Em todas as amostras queimadas, as propriedades se mostram melhores a temperatura de 1300°C com adição de 46% de argila ao rejeito, propriedades equivalentes a material semi-poroso;

O valor de ruptura a flexão foi equivalente a 18 Mpa a uma temperatura de 1300°C com adição de 46% de argila ao rejeito, mínimo recomendado para revestimento semi-poroso.

---

**REFERÊNCIAS**

1. MENEGAZZO, A.P.M. ; PASCHOAL, J.O.A. ; GOUVÊIA, D. ; CARVALHO, J.C. NÓBREGA, R.S.N. **Avaliação da Resistência Mecânica e Módulo de Weibull de Produtos Tipo Grês Porcelanato e Granito**. Cerâmica Industrial, 7 (24-32) Janeiro/Fevereiro, 2002.
2. RODRIGUEZ, Adriana Marin ; PIANARO, Sidnei Antônio ; BERG, Egon Antônio Torres ; Santos, Alessandro Hilário. **Propriedades de matérias-primas selecionadas para a produção de grês porcelanato**. Cerâmica Industrial, 9 (33-38) Janeiro/Fevereiro, 2004.
3. LUZ, A. B.; LINS, F. A. F. **Rochas e Minerais Industriais**, pág 247-249, CETEM – MCT – Rio de Janeiro 2005.
4. LUZ, A. B.; CHAVES, A., P., **Tecnologia do Caulim: Ênfase Industrial de Papel – Série Rochas e Minerais Industriais**.
5. CALLISTER JUNIOR, Willian D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 5. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 2002.
6. SANCHEZ, E., et al., **Efeito da compactação da matérias-primas empregadas na fabricação de gres porcelanato sobre as fases formadas durante a queima e as propriedades do produto final**. Cerâmica Industrial, 6 (5), 2003.
7. DNPM. **Sumário Mineral de Rochas Ornamentais e de Revestimento**, 2004
8. CONAMA: **Resoluções N 001, Ano 1986 – “ Disposições sobre Critérios básicos e Diretrizes Gerais para o Relatório de Impacto Ambiental – RIMA”** – Data da legislação: 23/01/1986 – Publicação DOU: 17/02/1986.L
9. MIRANDA , E. A. P.; NEVES, G. A., **Utilização de Resíduo de Caulim e Granito para Composição de Massas Plásticas na Confecção de Grés Cerâmico**. In ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFPB, 7, 2000, João Pessoa. Resumo. João Pessoa - PB, Pró-Reitoria Pós Graduação e Pesquisa, (2000), 158-158.