

**SETOR DE CÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E CIÊNCIA DE
MATERIAIS**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA

**INFLUÊNCIA DO TALCO NAS PROPRIEDADES DE COMPOSIÇÕES TIPO
PORCELANATO**

Simone Maruchin

Ponta Grossa

2007

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E CIÊNCIA
DE MATERIAIS

INFLUÊNCIA DO TALCO NAS PROPRIEDADES DE COMPOSIÇÕES TIPO
PORCELANATO

Simone Maruchin

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia e Ciência de Materiais como
requisito parcial à obtenção do título de
MESTRE EM ENGENHARIA E CIÊNCIA
DE MATERIAIS

Orientador: Dr. Egon Antônio Torres Berg

Co-orientador: Dr. Sidnei Antônio Pianaro

Agência Financiadora: CAPES

Ponta Grossa

2007

Ficha catalográfica elaborada pelo Setor de Processos Técnicos
BICEN/UEPG

M389i	Maruchin, Simone Influência do talco nas propriedades de composições tipo porcelanato. / Simone Maruchin. Ponta Grossa. 2007. 85f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais) , Universidade Estadual de Ponta Grossa – Pr. Orientador: Prof. Dr. Egon Antônio Torres Berg Co-orientador : Prof. Dr. Sidnei Antônio Pianaro 1. Grês porcelanato. 2. Talco. 3. Propriedades mecânicas. I. Berg, Egon Antônio Torres. II. Pianaro, Sidnei Antônio. III. Universidade Estadual de Ponta Grossa. IV. T. CDD : 549.67
-------	---

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho à Leão Maruchin, Maria Lúcia Maruchin, Marcos Maruchin, Liliana Maruchin e ao meu namorado David Bosom Garcia.

VITAE DE SIMONE MARUCHIN

Engenheira de Processos, Pincéis Tigre, Engenheira de Materiais pela UEPG (2002).

TERMO DE APROVAÇÃO

SIMONE MARUCHIN

INFLUÊNCIA DO TALCO NAS PROPRIEDADES DE COMPOSIÇÕES TIPO PORCELANATO

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Materiais da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela seguinte banca examinadora:

Orientador:



Prof. Dr. Egon Antonio Torres Berg
Departamento de Engenharia de Materiais, UEPG/PR



Profª Drª Nora Díaz Mora
Centro de Engenharia e Ciências Exatas, CECE, UNIOESTE/PR



Prof. Dr. Sergio Mazurek Tebcherani
Departamento de Química, UEPG/PR

Ponta Grossa, 27 de abril de 2007.

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos ao meu Orientador Dr. Egon Antônio Torres Berg, que em momentos difíceis me ofereceu muito estímulo, auxílio e conselhos para a elaboração desse trabalho, e também pela sua experiência.

Aos demais professores Sidnei Antonio Pianaro, Carlos Granado, Adilson Chinelatto, Sérgio Tebecherani e demais professores do Mestrado em Engenharia de Materiais e Departamento de Engenharia de Materiais.

Aos amigos Valéria Motoyama e Robson Couto e Silva, pela amizade e companheirismo e pela ajuda para a elaboração do projeto.

À secretária do mestrado Selma, que além de ser muito prestativa à tudo, sempre se mostrou uma ótima amiga.

As novas amizades que foram surgindo ao longo desse percurso.

Ao técnico de Laboratório Douglas, que sempre esteve disposto a realizar as análises necessárias independente dos horários disponíveis.

À Sr^a Ana e Sr. Elias, que sempre nos auxiliaram com seu delicioso café e das conversas descontraídas.

À Capes pela bolsa concedida.

RESUMO

Em uma composição utilizada industrialmente foi introduzido talco nas proporções de 0, 4, 6 e 8% para estudar a influência desse material em uma composição de grês porcelanato. O principal motivo do estudo do talco se prende ao fato da região de Ponta Grossa e Castro estarem próximos ao pólo cerâmico de Campo Largo e a possibilidade de utilização desse material em um produto de grande interesse tecnológico e de aceitação cada vez maior no mercado. Pelo fato do talco ser um produto relativamente barato e com grandes reservas no Estado do Paraná, vislumbrou-se a importância de um estudo mais detalhado, utilizando talcos de diferentes purezas, variando sua proporção para valores superiores aos encontrados na literatura e aos praticados atualmente, visando um maior aproveitamento desse produto.

Inicialmente as matérias-primas foram caracterizadas quanto à composição química, mineralógica e tamanho das partículas. Foram definidas as composições através das composições químicas e mineralógicas. Foi feita a barbotina de cada composição, secada, conformado os corpos de prova e sinterizados a diferentes temperaturas. Dos corpos de prova das amostras conformadas foram realizados ensaios de caracterização cerâmica. Com base nesses resultados foi avaliada a possibilidade e vantagem de utilizar-se maior porcentagem de talco nas composições de grês porcelanato.

TALC INFLUENCE ON THE PROPERTIES OF PORCELAINIZES GRES

ABSTRACT

A industrial composition was utilized for comparison with compositions containing 4, 6, 8 and 10% of talc, that was prepared to study the influence of this raw material in a porcelainized gres composition. This study concerns talc due to the following reasons: Ponta Grossa and Castro are near to Campo Largo's ceramics pole; the increasing use of this material in products of technological interest; and its increasing acceptance in the market. The importance of a more detailed study was made necessary because talc is a relatively cheap product and with large reserves in the state of Paraná. The study was carried out using different levels of talc purity and varying its proportion to values higher than the ones found in the literature, aiming a larger use of this product.

Firstly, the raw materials were characterized according to the chemical and mineralogical composition as well as the particles size. The compositions were defined by the mineralogical compositions. Every composition had its barbotin done, dried, the proof bodies were shaped and sintherized using different temperatures. Analyses of the shaped samples were carried out according to the proof bodies mechanical characterization. The advantage of using a larger percentage of talc in the porcelainizes gres compositions was assessed according to these results.

PUBLICAÇÕES

- MARUCHIN S.; BERG, E.A.T.; PIANARO, S.A.; Production of Stoneware Porcelain Tiles from Clay Materials from Castro's Basin; III ENCONTRO DA SBPMAT 2004; Foz do Iguaçu – PR. Outubro, 2004.
- MARUCHIN S.; BERG, E.A.T.; PIANARO, S.A.; GODOY L. C.; Argilas primárias da bacia de Castro para produção de grês porcelanato; 48º CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA; Curitiba – PR. Julho 2004.
- MARUCHIN S.; BERG, E.A.T.; PIANARO, S.A.; Argilas primárias da bacia de Castro para produção de grês porcelanato; UNIVERSOUEPG – MOSTRA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA & ARTE; Ponta Grossa – PR. Outubro 2003.

ÍNDICE DE ASSUNTOS

TERMO DE APROVAÇÃO.....	I
AGRADECIMENTOS	II
RESUMO.....	III
ABSTRACT	IV
PUBLICAÇÕES.....	V
ÍNDICE DE TABELAS.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DA LITERATURA	2
2.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS	2
2.2 MATÉRIAS-PRIMAS.....	5
2.2.1 Argila.....	5
2.2.2 Caulim.....	7
2.2.3 Feldspato	7
2.2.4 Quartzo	8
2.2.5 Filito	10
2.2.6 Talco	11
2.3 FORMULAÇÃO	17
2.4 PROCESSO DE FABRICAÇÃO.....	19
2.5 VARIÁVEIS DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO	21
2.5.1 Moagem	21
2.5.2 Atomização	22
2.5.3 Conformação	23
2.5.4 Sinterização	24
3 MATERIAIS E MÉTODOS	26
3.1 MATÉRIAS-PRIMAS.....	26
3.2 COMPOSIÇÕES.....	28

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1 ANÁLISE QUÍMICA DAS MATÉRIAS-PRIMAS E DA MASSA CERÂMICA	31
4.2 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DAS MATÉRIAS-PRIMAS	33
4.3 ANÁLISE DE RAIOS X DAS MATÉRIAS-PRIMAS.....	35
4.4 CARACTERIZAÇÃO CERÂMICA DAS MATÉRIAS-PRIMAS	38
4.5 FORMULAÇÃO DAS COMPOSIÇÕES.....	39
4.6 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DAS COMPOSIÇÕES	41
4.7 ANÁLISES TERMOGRAVIMÉTRICAS DAS COMPOSIÇÕES	43
4.8 COR.....	51
4.9 CARACTERIZAÇÃO CERÂMICA DAS COMPOSIÇÕES	59
5 CONCLUSÕES	69
6 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	71
7 REFERÊNCIAS.....	72
APÊNDICE A: COR	77

INDICE DE TABELAS

TABELA 2.1 – Classificação e definição do grês porcelanato segundo a norma CEN EN 87 [2, 7, 11].....	2
TABELA 2.2 – Classificação e definição do grês porcelanato segundo a norma americana ASTM ANSI A 137.1 1980 [2, 7, 11].....	3
TABELA 2.3 – Características técnicas do grês porcelanato [2, 7, 11].....	4
TABELA 2.4 – Composição química aproximada dos minerais que compõem o talco industrial	16
TABELA 3.1 – Formulação inicial.....	29
TABELA 4.1 – Análise química das matérias-primas.....	31
TABELA 4.2 – Resultado da análise de tamanho de partículas em porcentagem para as matérias-primas	34
TABELA 4.3 – Caracterização cerâmica das matérias-primas sinterizadas a 1200°C/1hora.....	38
TABELA 4.4 – Composição utilizando o Talco Marc (CM).....	39
TABELA 4.5 – Composição utilizando o Talco Lagoa Bonita (CLB)	39
TABELA 4.6 – Composição utilizando o Talco Itajara (CI).....	39
TABELA 4.7 – Resultado da análise de tamanho de partículas em porcentagem para as composições	42
TABELA 4.8 – Coordenada colorimétrica L* da composição C0 para as temperaturas de 1180, 1200 e 1220°C	51
TABELA 4.9 – Coordenada colorimétrica L* da composição CM para as temperaturas de 1180, 1200 e 1220°C	52
TABELA 4.10 – Coordenada colorimétrica L* da composição CLB para as temperaturas de 1180, 1200 e 1220°C	52

TABELA 4.11 – Coordenada colorimétrica L^* da composição CI para as temperaturas de 1180, 1200 e 1220°C	53
TABELA 4.12 – Coordenada colorimétrica a^* da composição C0.....	53
TABELA 4.13 – Coordenada colorimétrica a^* da composição CM.....	54
TABELA 4.14 – Coordenada colorimétrica a^* da composição CLB	54
TABELA 4.15 – Coordenada colorimétrica a^* da composição CI.....	55
TABELA 4.16 – Coordenada colorimétrica b^* da composição C0.....	55
TABELA 4.17 – Coordenada colorimétrica b^* da composição CM.....	56
TABELA 4.18 – Coordenada colorimétrica b^* da composição CLB	56
TABELA 4.19 – Coordenada colorimétrica b^* da composição CI.....	57
TABELA 4.20 – Diferença de cor ΔE da composição C0	57
TABELA 4.21 – Diferença de cor ΔE da composição CM	58
TABELA 4.22 – Diferença de cor ΔE da composição CLB.....	58
TABELA 4.23 – Diferença de cor ΔE da composição CI	59
TABELA 4.24 – Características cerâmicas da composição C0 nas temperaturas 1180°C, 1200°C e 1220°C	60
TABELA 4.25 – Características cerâmicas da composição CM4 nas temperaturas 1160°C, 1180°C e 1200°C	60
TABELA 4.26 – Características cerâmicas da composição CM6 nas temperaturas 1160°C, 1180°C e 1200°C	61
TABELA 4.27 – Características cerâmicas da composição CM8 nas temperaturas 1160°C, 1180°C e 1200°C	62
TABELA 4.28 – Características cerâmicas da composição CM10 nas temperaturas 1160°C, 1180°C e 1200°C	63
TABELA 4.29 – Características cerâmicas da composição CLB4 nas temperaturas 1160°C, 1180°C e 1200°C	63

TABELA 4.30 – Características cerâmicas da composição CLB6 nas temperaturas 1160°C, 1180°C e 1200°C	64
TABELA 4.31 – Características cerâmicas da composição CLB8 nas temperaturas 1160°C, 1180°C e 1200°C	64
TABELA 4.32 – Características cerâmicas da composição CLB10 nas temperaturas 1160°C, 1180°C e 1200°C	65
TABELA 4.33 – Características cerâmicas da composição CI4 nas temperaturas 1160°C, 1180°C e 1200°C	66
TABELA 4.34 – Características cerâmicas da composição CI6 nas temperaturas 1160°C, 1180°C e 1200°C	66
TABELA 4.35 – Características cerâmicas da composição CI8 nas temperaturas 1160°C, 1180°C e 1200°C	67
TABELA 4.36 – Características cerâmicas da composição CI10 nas temperaturas 1160°C, 1180°C e 1200°C	68

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 – Expansão térmica percentual em função da temperatura para o quartzo, tridimita, cristobalita e sílica vítrea [19]	9
FIGURA 2.2 – Localização do Distrito de Talco do Paraná	13
FIGURA 2.3 – Quadro esquemático mostrando a evolução das mineralizações de talco da região de Itaiacoca/Abapã.....	14
FIGURA 2.4 – Composição de grês porcelanato formuladas com as matérias-primas anteriormente descritas de grês porcelanato adotada nos velhos ciclos de trabalho.....	18
FIGURA 2.5 – Composição de grês porcelanato formuladas com as matérias-primas anteriormente descritas de grês porcelanato adotadas aos ciclos rápidos	18
FIGURA 2.6 – Esquema do processo de manufatura do revestimento porcelânico e relação entre os estágios do processo, microestrutura do revestimento e propriedades do produto.....	20
FIGURA 4.1 – Tamanho médio dos grãos de cada matéria-prima	33
FIGURA 4.2 – Análise de raios X da Argila Floreiro.....	35
FIGURA 4.3 – Análise de raios X do Caulim Hori	36
FIGURA 4.4 – Análise de raios X do Feldspato	36
FIGURA 4.5 – Análise de raios X do Quartzo Pianaro.....	37
FIGURA 4.6 – Análise de raios X do Talco	37
FIGURA 4.7 – Tamanho médio dos grãos das composições	41
FIGURA 4.8 – Análise termogravimétrica da composição C0.....	43
FIGURA 4.9 – Análise termogravimétrica da composição CM4.....	44
FIGURA 4.10 – Análise termogravimétrica da composição CM6.....	44
FIGURA 4.11 – Análise termogravimétrica da composição CM8.....	45

FIGURA 4.12 – Análise termogravimétrica da composição CM10.....	45
FIGURA 4.13 – Análise termogravimétrica da composição CLB4	46
FIGURA 4.14 – Análise termogravimétrica da composição CLB6	46
FIGURA 4.15 – Análise termogravimétrica da composição CLB8	47
FIGURA 4.16 – Análise termogravimétrica da composição CLB10	47
FIGURA 4.17 – Análise termogravimétrica da composição CI4.....	48
FIGURA 4.18 – Análise termogravimétrica da composição CI6.....	48
FIGURA 4.19 – Análise termogravimétrica da composição CI8.....	49
FIGURA 4.20 – Análise termogravimétrica da composição CI10.....	49

1 INTRODUÇÃO

As duas grandes evoluções cerâmicas foram à moagem úmida contínua, ocorrida nos anos 80 e o desenvolvimento do porcelanato, revestimento cerâmico este, que se difere dos demais, pelo processo de produção altamente tecnológico (ciclos rápidos de queima). Características como baixa absorção de água e propriedades mecânicas proporcionaram ao grês porcelanato a capacidade de tornar-se um produto inovador, diversificado e versátil que apresenta todas as características fundamentais necessárias para conquistar e manter uma posição de destaque no mercado. Em termos mundiais o Brasil ocupava em 2000 a posição de quarto maior exportador em revestimentos cerâmicos (48 milhões de m²/ano), sendo que somente o Paraná possui capacidade de produção de 11,97% da região Sul [1,2,3,4,5, 6].

O grande desafio na produção do grês porcelanato começa na seleção das matérias-primas, as quais devem atender as características do produto final. Atualmente busca-se desenvolver composições de grês porcelanato com intuito de melhorar suas características e diminuir o custo de produção. Por isso tem-se buscado cada vez mais adicionar produtos fundentes à composição, formando fase vítrea viscosa. Dentre esses produtos pode-se citar o talco, o qual possui a propriedade de diminuir o ponto eutético, diminuindo assim a temperatura de sinterização. A principal motivação para o uso do talco nas composições de grês porcelanato deve-se as grandes reservas estarem localizadas no Estado do Paraná, totalizando 41% da produção anual [3, 7,8].

Nesse trabalho utilizou-se três tipos de talco, os quais foram adicionados a uma composição, já conhecida por estudos anteriores, na proporção de 4, 6, 8 e 10%, sinterizadas as temperaturas de 1160°C a 1220°C por 1 hora para verificar as influências do talco numa composição de grês porcelanato.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

A definição de grês porcelanato é originário das palavras grês e porcelanato. O grês corresponde a massa extremamente compacta composta por uma ou mais fases vítreas, submersas numa matriz vítrea. Por outro lado o porcelanato refere-se à qualidade da porcelana, um produto cerâmico totalmente vitrificado, sendo impermeável, branco ou artificialmente colorido. Portanto, pode-se definir “grês porcelanato” como um revestimento cerâmico impermeável, totalmente vitrificado, esmaltado ou não, cuja peça queimada é branca ou artificialmente colorida, feita a partir de uma mistura de caulim (ou argilas cauliníticas), quartzo e feldspato [9,10].

As tabelas 2.1 e 2.2 mostram respectivamente a classificação, definição e principais características técnicas do grês porcelanato tendo em vista a normalização europeia CEN EN 87 e americana ASTM ANSI A.137.1

Tabela 2.1 - Classificação e definição do grês porcelanato segundo a norma CEN EN 87 [2,7,11].

Absorção de água E (%)					
I		IIa	IIb	III	
E ≤ 3		3 < E ≤ 6	6 < E ≤ 10	E > 10	
Piso prensado	B I				
	Não esmaltado	< 1,5	B IIa	B IIb	B III
	Vitrificado	< 0,5			

Segundo a norma europeia, o grês porcelanato é classificado no grupo BI, que compreende os materiais gresificados, porosidade menor que 3% expressos em termos de absorção de água. Uma nota da mesma norma, entretanto, especifica que os produtos que apresentam absorção de água inferior a 0,5% devem ser considerados completamente vitrificados.[2]

Tabela 2.2 - Classificação e definição do grês porcelanato segundo a norma americana ASTM ANSI A 137.1 1980 [2,7,11].

Piso prensado	Absorção de água E (%)			
	$\leq 0,5$	0,5 - 3	3 – 7	$>7 < 18$
Pavimento	Muito vitrificado	Vitrificado	Semivitrificado	Não vitrificado
Revestimento	-	-	Semivitrificado	Não vitrificado

As normas americanas provêm uma subdivisão mais detalhada que individualiza especificamente os materiais com absorção de água inferior a 0,5%, assinalando-os a classe BI.[2]

Entre os diferentes pisos cerâmicos o grês porcelanato é um dos que apresentam melhor resistência ao desgaste. Outras características como valores extremamente baixos de absorção de água, alta tensão de ruptura, ataques químicos, dureza superficial, resistência ao congelamento e tensão de compressão são bastante importantes.

Na realidade os produtos industriais apresentam uma porosidade inferior a aquela prevista pela norma, geralmente é inferior a 0,2%. A tabela 2.3 mostra uma comparação dos máximos valores encontrados com os valores já comercializados [9].

Tabela 2.3 - Características técnicas do grês porcelanato [2,7,11].

Característica	Padrão	Valor prescrito pela norma	Valor real no mercado
Absorção de água	Definição	$\leq 0,5 \%$	$< 0,2 \%$
Resistência à flexão	EN 100	$\geq 27 \text{ N/mm}^2$	$> 50 \text{ N/mm}^2$
Resistência à abrasão	EN 102	$< 205 \text{ mm}^3$	$< 130 \text{ mm}^3$
Resistência ao congelamento	EN 202	Sem defeito visível	Sem defeito visível
Coeficiente de dilatação linear	EN 103	$\leq 9 \times 10^{-6}$	7×10^{-6}
Resistência ao ataque químico	EN 106	Nenhuma variação visível	Nenhuma variação visível
Choque térmico	EN 104	Nenhuma alteração	Nenhuma alteração
Dureza Mohs	EN 101	> 5	8/9
Resistência à mancha	EN 122	Nenhuma variação visível	Nenhuma variação visível

Dentre os produtos existentes, o grês porcelanato assemelha-se muito as pedras naturais, porém com características que superam o desempenho do mármore, granito, etc. Entre as características que destacam o grês porcelanato das pedras naturais, pode-se citar: maior resistência química (adequado ao uso em laboratório e indústrias); impermeável (maior resistência a manchas, maior facilidade de limpeza e em caso de infiltração de umidade, não há desenvolvimento de manchas de umidade); maior resistência à abrasão (recomendável para áreas de altíssimo tráfego); uniformidade de cores na peça e entre peças (efeito estético agradável aos olhos); mais leve, menor espessura e maior resistência mecânica (mais fáceis de transportar e manusear); maior facilidade de assentar: um assentador de cerâmica tradicional poderá assentar o grês porcelanato [3].

De maior significado deve-se a transformação do grês porcelanato em um material de características modernas e versáteis, através do processo de polimento e da introdução de técnicas de decoração. O desenvolvimento deste tipo de produto foi de grande significado, pois estendeu o uso da cerâmica para locais de domínio das pedras naturais, que possuem uma resistência a abrasão mais elevada do que produtos cerâmicos esmaltados [3].

2.2 MATÉRIAS-PRIMAS

As matérias-primas usadas na formulação de massas de grês porcelanato assumem configurações mineralógicas distintas e cada uma exerce uma função própria e específica, levando-se em consideração as propriedades requeridas ao produto e as características inerentes ao processo [12].

Em geral, as massas de grês porcelanato são preparadas a partir de uma mistura de argilas cauliníticas-ilíticas, feldspato, areia feldspática e, as vezes, caulins.

As matérias-primas plásticas conferem importante característica na fase de conformação das peças cerâmicas, tais como trabalhabilidade e resistência mecânica a cru, e no processamento térmico, como estrutura e cor. As matérias-primas não-plásticas também atuam nas fases de conformação e secagem, diminuindo a retração das peças e favorecendo a secagem. Na fase do processamento térmico, quando desempenham o papel mais relevante, controlando as transformações, deformações e a sinterização. Devido principalmente ao seu papel na fase de queima, os materiais não-plásticos são ainda qualificados de inertes, vitrificantes e fundentes [13,14].

2.2.1 Argila

Entre as matérias-primas que compõe a massa de grês porcelanato, a argila é a que apresenta a granulometria mais fina, sendo responsável pela plasticidade final da massa cerâmica. Quanto maior sua porcentagem, maior será a resistência mecânica à verde e à seco das peças conformadas. Dependendo de suas características e pureza, seu uso varia de 35-50% da massa. Os principais elementos encontrados nas argilas são:

SiO₂: provêm de fontes mineralógicas totalmente diferentes do mineral argiloso (Al₂O₃.2SiO₂.nH₂O) e do quartzo livre. Quanto menor sua porcentagem, menor será a quantidade de quartzo livre na argila e, portanto maior plasticidade.

Al_2O_3 : quanto maior sua porcentagem, maior será a plasticidade da argila associada ao incremento da caulinita como constituinte do mineral argiloso e, portanto poderá diminuir a porcentagem de argila na formulação da massa. Quanto maior sua porcentagem, maior será a pureza da argila.

TiO_2 . Fe_2O_3 : ambos elementos são considerados como impurezas colorantes, já que mudam a coloração da massa até tons mais escuros como marrons e amarelados. Ao mesmo tempo, estes tipos de impurezas dificultam posteriormente a coloração de grês porcelanato. Deve-se reduzir a porcentagem desses elementos o máximo possível.

MgO . CaO : normalmente provêm de carbonatos ou de argilas dolomíticas. Estes elementos atuam como modificadores de fusão, mas os óxidos alcalinos terrosos prejudicam a cor desenvolvida, já que tendem a formar estruturas espinélias. Os tons negros mudam para marrons e os azuis do cobalto para violeta.

Na_2O . K_2O : ambos atuam como fundentes e são desejáveis porque permitem uma redução na porcentagem final de feldspato da composição.

P.F.: procede da presença da água estrutural e a desidroxilação do mineral argiloso, bem como da matéria orgânica que poderia gerar problemas de coração negro durante a etapa de sinterização.

Pode-se ainda distinguir as argilas como argilas ilíticas e cauliníticas. A diferença entre elas afeta uma ou outra estrutura do produto sinterizado e ao longo da vitrificação. De uma maneira geral, a argila caulinítica apresenta uma variação mais gradual da porosidade aberta (medida como a capacidade da absorção de água), e da contração linear com o aumento da temperatura.

Já as argilas ilíticas apresentam uma redução de porosidade e um aumento da contração mais brusco. Apresentando um intervalo de

temperatura, no qual essas propriedades variam pouco. A essa característica segue um forte inchamento das peças com grandes deformações.

As argilas cauliníticas com uma menor quantidade de óxidos fundentes apresentam uma formação de fase líquida na sinterização, maior e de forma mais gradual, o que permite a densificação adequada das peças. Sendo que as peças formadas por argilas cauliníticas apresentam uma maior quantidade de mulita, fase muito resistente ao ataque químico e que ao apresentar uma estrutura cristalina proporciona grande resistência mecânica das peças sinterizadas [15,16].

2.2.2 Caulim

O caulim confere plasticidade, sendo fundamental do ponto de vista composicional para aumentar o teor de alumina e auxiliar na brancura do produto [12].

Seu tamanho normal de cristal primário é muito maior que das argilas e muito menor que dos feldspatos, podendo gerar alguns problemas de compactação.

Porcentagens maiores que 10% podem criar problemas durante a etapa de prensagem, diminuindo a densidade aparente a seco e a verde e, portanto a resistência mecânica das peças conformadas. Normalmente se utiliza um subproduto de menor qualidade da extração do caulim devido ao elevado preço do caulim de alta pureza. Sua porcentagem de Fe_2O_3 e TiO_2 é menor que nas argilas, sendo maior sua refratariedade devido a sua baixa concentração de alcalinos e pela elevada quantidade de Al_2O_3 [15].

2.2.3 Feldspato

Matéria-prima que permite a diminuição da temperatura de queima. Os feldspatos são, portanto, responsáveis por modificar gradualmente a porosidade inicial das peças de grês porcelanato até alcançar à completa gresificação [14].

Durante a sinterização tem como função aumentar a permeabilidade facilitando a secagem e as desgaseificações. Melhora a compactação a crú, diminuindo a contração de queima. Atua como fundente, formando fase vítrea, diminuindo a temperatura de sinterização [13].

Normalmente esta matéria-prima é a mais cara de todas as que integram a composição e é utilizada em porcentagens que oscilam entre 35-50%.

Do ponto de vista químico o feldspato pode-se distinguir em feldspato sódico (Albita – $\text{Na(AlSi}_3\text{O}_8)$); feldspato cálcico (Anortita – $\text{Ca(Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$) e feldspato potássico (Ortoclásio – $\text{K(AlSi}_3\text{O}_8)$).

O feldspato tem um largo emprego na composição de massa de grês porcelanato, devido ao alto grau de vitrificação que este mineral proporciona. Quando misturado em proporções adequadas ao mineral talco, tem-se a formação de um eutético, e a gresificação ocorre em temperaturas mais baixas [11].

Na produção de grês porcelanato é preferível a utilização de feldspato sódico ao invés do feldspato potássico, pois o primeiro apresenta um maior caráter fundente do que o segundo [17,18].

Os principais constituintes dos feldspatos são:

$\text{Na}_3\text{O.K}_2\text{O}$: são fundentes ou geradores de fase vítrea de baixa viscosidade e sua porcentagem deve ser a mais alta possível. O Na_2O é um fundente mais energético que o K_2O e, portanto sua presença é mais desejável, deve ser levado em consideração o fator custo.

Fe_2O_3 , TiO_2 : sua porcentagem deve ser menor no feldspato do que as encontradas nas argilas devido a sua alta transparência.

2.2.4 Quartzo

É o óxido mais abundante da crosta terrestre e, na natureza, geralmente é encontrado na forma livre. A sílica pode assumir três formas cristalográficas (quartzo, tridimita e cristobalita). A tridimita é a forma mais rara e a cristobalita

apresenta-se na forma de partículas muito pequena, derivada da ruptura da rede da caulinita ou da transformação do quartzo. A densidade real de cada uma das formas cristalinas é diferenciada, sendo os valores: quartzo $2,65 \text{ g/cm}^3$, cristobalita $2,33 \text{ g/cm}^3$ e tridimita $2,27 \text{ g/cm}^3$. [19]

Ao ser aquecido, o quartzo se dilata uniformemente até os 573°C . Então ocorre o que é conhecido como inversão, transformando-se de sua fase α para β , como demonstrado na figura 2.1, marcado por uma forte expansão. Esta é uma temperatura crítica na queima de materiais cerâmicos e deve ser bem controlada para evitar danos ao produto. Para as outras formas também existe inversão, porém a temperaturas mais baixas. As inversões são reversíveis e se procedem de maneira rápida. [19]

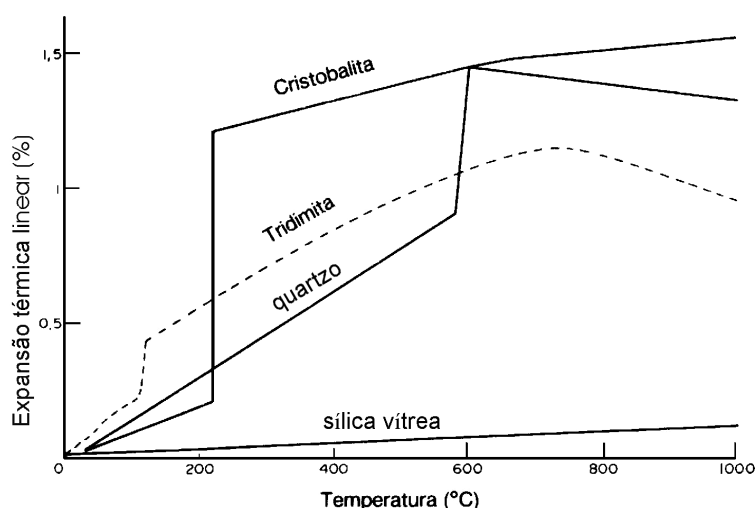


FIGURA 2.1 - Expansão térmica percentual em função da temperatura para o quartzo, tridimita, cristobalita e sílica vítrea [19].

A presença de sílica livre pode provocar com que o produto se rompa se for aquecido ou esfriado muito rapidamente, reduz a resistência mecânica da cerâmica e diminui a resistência ao choque térmico.

Quando participa da fusão com os feldspatos, é um componente que equilibra a viscosidade e o fluxo vítreo. Quando não participa das reações, constitui a matriz base da(s) fase(s) cristalinas presentes no material e,

conseqüentemente, do produto acabado, junto a uma modesta quantidade de mulita, resultante da decomposição da caulinita [2,20].

O quartzo, como as matérias-primas não plásticas, diminui a plasticidade da massa e sua retração de secagem. Esta diminuição durante a secagem reduz o risco de gretamento, o qual permite que as peças possam ser secadas a velocidades maiores. Por outro lado, diminui a resistência mecânica à verde e à seco, fator esse que pode originar dificuldades na manipulação das mesmas.

O quartzo afeta amplamente o coeficiente de dilatação dos biscuitos sinterizados de forma muito distinta, tanto em produtos porosos ou vitrificados. Aumenta o coeficiente de dilatação dos produtos porosos e diminui dos vitrificados. Isto se deve pelo fato do coeficiente de dilatação da sílica cristalina (quartzo) ser maior que da matéria argilosa sinterizada, enquanto que a sílica incorporada na fase vítrea é muito menor.

Um aumento da quantidade de quartzo reduz a retração e aumenta a porosidade das peças sinterizadas. Uma quantidade excessiva de quartzo nos biscuitos não é recomendável já que pode produzir a quebra característica por trincamento produzida pelas enormes tensões que se produz pela inversão desta espécie cristalina.

A vantagem da utilização do quartzo na fabricação de grês branco é consequência das interações entre as fases presentes, de maneira que um aumento na temperatura de sinterização dissolve uma maior quantidade de quartzo, aumentando a viscosidade do líquido e, portanto ampliando a faixa de sinterização [15].

2.2.5 Filito

Filitos são rochas metamórficas que moídas são usadas em massas cerâmicas como substitutos de argilas e feldspatos. São utilizados também em várias proporções para aumentar a velocidade de sinterização. Devido conter mineral com potássio e sódio, tem atuação importante como fundentes substituindo o feldspato.

Os filitos são rochas muito comuns constituindo-se em matérias-primas cerâmicas de baixo valor, o que inviabiliza o seu uso quando a distância entre a mina e a indústria for grande [21].

2.2.6 Talco

A palavra talco provém do termo “talc”, da língua árabe. Apresenta duas conotações: mineralógica e outra comercial. A primeira corresponde ao mineral do grupo dos silicatos, a segunda corresponde ao produto formado por um conjunto de minerais que tem propriedades e destinações industriais semelhantes e rochas ricas nestes minerais.

Portanto, o nome talco é utilizado para designar o minério de talco, um produto constituído pelo mineral talco (silicato de magnésio hidratado), ou pelo mineral pirofilita (silicato hidratado de alumínio), e as rochas com talco (esteatito) e com pirofilita (agalmatolito).

O Talco é um silicato de magnésio, com a composição teórica de $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Minerais acessórios comuns são a clorita e a dolomita. Os minérios mais puros são aquelas de origem metamórficos. O talco de origem ultrabásicas já tem teores de ferro mais elevados e a presença de contaminantes que podem comprometer sua aplicação geral. Teores significativos de alumínio e ferro podem estar presentes na estrutura cristalina do mineral [22].

O mineral talco ocorre numa variedade de ambientes geológicos e comercialmente está sempre associado a uma série de outros minerais. É um mineral de metamorfismo, produto de reações ativadas por altas temperaturas e pressões, envolvendo rochas carbonatas, rochas calco-silicáticas, rochas básicas e ultrabásicas metamorfisadas e soluções hidrotermais. Durante estas reações, as variações nas condições de temperatura e pressão, condições de mistura e cisalhamento, natureza e concentração dos componentes determinam variações e heterogeneidades na textura, natureza e concentração das impurezas minerais.

O distrito de talco do Paraná é o mais importante do Brasil em termos anuais de produção. Esse distrito produziu em 2000 aproximadamente 144.000 toneladas de talco, correspondendo 41% da produção brasileira.

Esse distrito pode ser dividido em duas zonas, Ponta Grossa e Castro, Cada uma exibe características diferentes do talco. Essas características são muito importantes para os diferentes usos do talco, especialmente para uso industrial.

O Paraná possui aproximadamente 40 minas das quais 16 estão em atividades (10 na região de Castro e 6 em Ponta Grossa). Por outro lado, o talco vindo de Castro é mais apropriado para o uso industrial em cerâmica e borracha. Talcos originários de Castro são sempre possíveis obter na cor branca com o aumento da temperatura por ser mais puro que o talco originário de Ponta Grossa. A presença de minerais reduzem a temperatura de sinterização em cerâmica [23].

O distrito de talco do Paraná tem potencial para atender mercados mais exigentes, pois os minérios em geral apresentam características comerciais compatíveis com as aplicações mais nobres. Dentro de cada área os minérios são homogêneos, havendo necessidade de se efetuar uma melhor classificação de acordo com as exigências do mercado consumidor, apresentando garantias de qualidade e regularidade quanto à composição química, mineralógica e granulométrica, dentre outras.

A área de Ponta Grossa está localizada entre a região próxima à localidade de Abapã até o contato do grupo Itaiacoca com as rochas sedimentares da Bacia do Paraná.

A área de Castro está localizada próxima ao povoado de Socavão, onde afloram as litologias do Grupo Itaiacoca.

A localização do Distrito de talco do Paraná dentro do mapa do estado, os municípios de Ponta Grossa e Castro, bem como dos principais distrito, pode ser observado na figura 2.2:

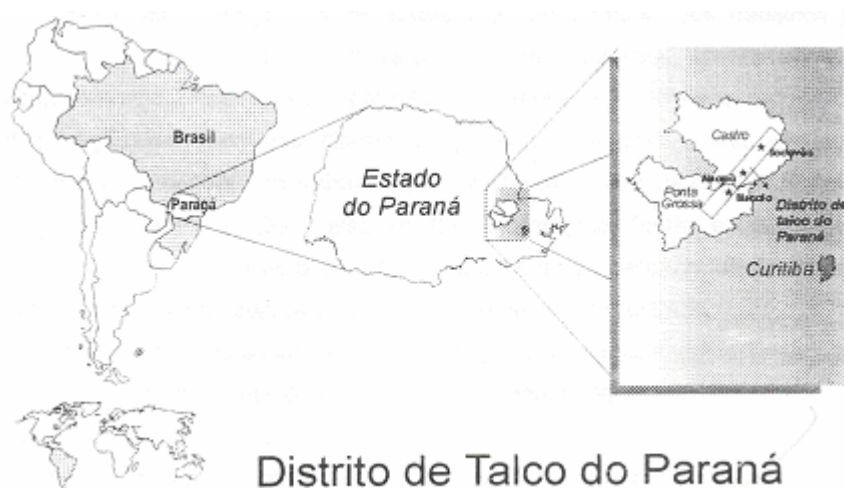


FIGURA 2.2 – Localização do Distrito de Talco do Paraná.

Os mármorees dolomíticos representam a litologia predominante do Distrito de Talco do Paraná e representam a unidade litológica hospedeira dos depósitos econômicos de talco. Estas rochas apresentam cores que variam desde branco à cinza claro, eventualmente cinza escuro e muito raramente coloração rósea ou esverdeada. A granulometria varia desde fina até grosseira, dependendo do grau dos carbonatos. Localmente apresenta calcita recristalizada em níveis preferenciais ou ainda cristais fibrosos de tremolita e ocasionalmente de calcita.

Depósitos de talco de importância econômica industrial ocorrem a partir de rochas sedimentares, especialmente dolomitos, que tenham sido transformados por metamorfismo regional e também em rochas ígneas serpentizadas. Talco e comumente serpentina, surgem nos últimos estágios de retrometamorfismo, com queda de temperatura e a liberação de calcita CO_2 .

O talco quando formado de dolomitos é o que apresenta maior importância econômica.

Hoje existem propostas sobre a formação dos depósitos de talco e uma terceira fase, que apenas retrabalhou os depósitos originais. A seqüência dos eventos encontra-se na figura 2.3.:

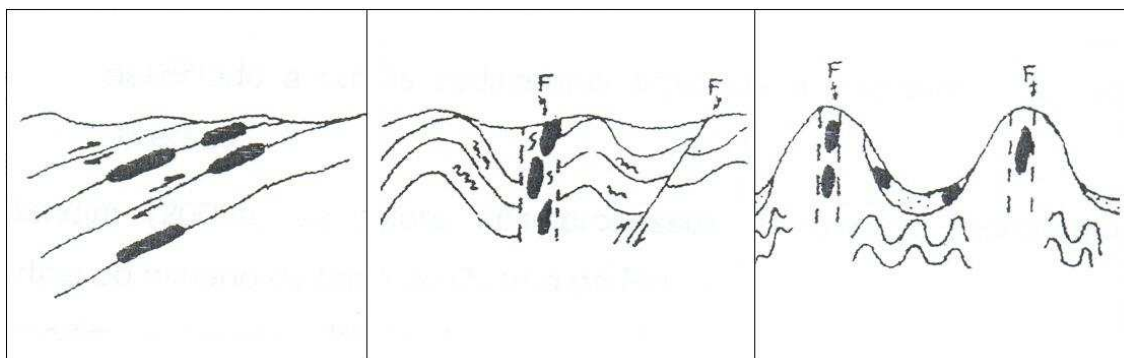


FIGURA 2.3 – Quadro esquemático mostrando a evolução das mineralizações de talco da região de Itaiacoca/Abapã.

O primeiro evento está relacionado ao metamorfismo e ao cavalgamento que atingiu as rochas pré-existentes, gerando o talco e concordante com a xistosidade regional predominante.

O segundo evento formou o talco hidrotermal, relacionado a fluidos hidrotermais, que percolam os lineamentos nordeste. Os fluidos teriam sido derivados dos Granitos Três Córregos e Cunhaporanga.

O terceiro episódio, ou terceira fase refere-se à erosão dos depósitos originais, depositando-se sob forma de colúvios, brechas de preenchimento de cavidades cársticas e eventualmente em camadas.

Os meios utilizados para classificar o minério pelos mineradores são baseados na cor in natura, cor após queima e pelo teor de MgO presente.

Na região de Ponta Grossa, os minérios de talco são predominantemente lamelares e conseqüentemente untuosos ao tato.

Na região de Castro, os minérios de talco são pulverulentos e pouco untuosos ao tato.

As principais impurezas são fragmentos de mármore dolomítico, clorita, tremolita, sericita, quartzo e pirita. Os óxidos de ferro, secundários, são também impurezas importantes dos minérios. Os minérios são maciços e pulverulentos. Os minérios maciços apresentam-se quase sempre lamelar, os minérios pulverulentos chegam formar blocos que, porém, desagregam-se facilmente.

Há minérios do Distrito de Talco do Paraná microcristalinos (partículas arredondadas, as quais são aglomeradas em cristais individuais) e macrocristalinos (partículas lamelares que são macrocristais elementares).

O Mineral talco apresenta as seguintes características:

- Cristalografia: sistema monoclinico, hábito prismático, usualmente tabulares com contorno romboédrico ou hexagonal, maciço ou laminar, em alguns casos apresentam-se com estrutura radiada.
- Propriedades físicas: clivagem (0 0 1) perfeita. Lâminas delgadas, flexíveis, mas de elasticidade. Dureza 1. Densidade 2,7 – 2,8. Brilho nacarado e gorduroso. Cor: branca, verde maçã, cinza, rosa e amarela clara. Sensação untuosa ao tato.
- Composição: silicato de magnésio hidratado. $Mg(Si_4O_{10})(OH)_2$, sendo $MgO=31,89\%$, $SiO_2=63,36\%$, $H_2O=4,75\%$.

Outros minerais comuns no produto talco, muitas vezes como impurezas, são: pirofilita, serpentina, clorita, tremolita, antofilita, diopsídio, quartzo, calcita, dolomita, magnesita, siderita, sulfetos, sulfatos, óxidos de ferro e manganês.

Quando presentes em excesso, podem alterar a composição do produto talco, influenciando no uso industrial e nos preços de mercado.

Abaixo segue uma tabela de composição química aproximada dos minerais que compõem o talco industrial.

TABELA 2.4 - Composição química aproximada dos minerais que compõem o talco industrial.

Mineral	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CO ₂	H ₂ O
Quartzo				100%		
Calcita	56%				44%	
Dolomita	30%	22%			48%	
Magnesita		48%			52%	
Diopsídio	26%	18%		56%		
Tremolita	13%	28%		57%		1,5 – 2,3%
Antofilita	2%	30%		58%		1,5 – 2,2%
Clorita		36%	18%	33%		5 – 14%
Serpentina		43%		44%		8 – 13%
Talco		32%		63%		3 – 7%
Pirofilita			28%	66%		5%

Os diferentes tipos de minério de talco apresentam características diferentes na composição mineralógica, composição química, coloração (a cru a após calcinação), brilho e alvura e morfologia das partículas (forma, granulometria, grau de cristalinidade e rugosidade).

As diferentes colorações do talco são causadas pela morfologia cristalina e presença de elementos traços (C, Cu, Fé, Co, Mo, Cr, Pb, etc).

A diversidade de tipos de minério de talco indica que há grande variação na associação mineralógica, resultando em variadas composições químicas e, também, em heterogeneidade de granulometria e de formas de partículas.

Na lamela individual do mineral talco, uma fatia de MgCOH₂ é intercalada entre duas de SiO₄. O conjunto forma uma macromolécula planar. A superfície basal não contém grupos de OH ou íons ativos, tornando o talco hidrofóbico e inerte. Não há ligações covalentes ou iônicas entre as camadas, então elas deslizam facilmente uma contra a outra, tornando o talco o mais macio dos minerais e explicam a baixa dureza do mineral e o excelente poder de lubrificação.

A maior quantidade do minério produzido no Distrito de Talco do Paraná destina-se à indústria cerâmica, seguido da indústria de tintas, borracha e plásticos. No Brasil, o setor cerâmico consome 65% do talco e pirofilita produzidos no Brasil, seguido de tintas e vernizes (14%), defensivos agrícolas (5%), plásticos (4%), papel (3%) e outras indústrias (9%) [24].

Muitas dessas indústrias requerem um produto finamente moído que, às vezes, podem incluir o refugo do corte dos blocos de talco ou de blocos de esteatito. De modo geral, é muito importante a granulometria, o grau de pureza e a cor do produto. As especificações das propriedades físico-químicas necessárias variam com a destinação industrial do talco. [25]

2.3 FORMULAÇÃO

As novas composições de grês porcelanato adotadas e o emprego dos fornos a rolos associados as modernas prensas hidráulicas de alta pressão e precisão de conformação permitiram que o produto aumentasse o seu valor agregado, valendo-se da confiabilidade alcançada pela queima rápida. As figuras 2.4 e 2.5 apresentam um confronto entre uma composição tradicional de grês porcelanato adotada nos velhos ciclos de trabalho (temperaturas de queima de aproximadamente 1200-1250°C e ciclo de 40-50h) e uma composição atual adequada aos ciclos rápidos de queima (temperatura de queima entre 1200-1230 °C e ciclo de 50-70 min). [2]

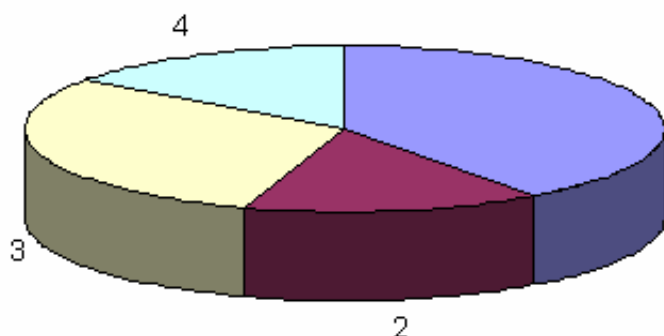


FIGURA 2.4: Composições de grês porcelanato formuladas com as matérias-primas anteriormente descritas de grês porcelanato adotada nos velhos ciclos de trabalho.

Da figura acima se tem como composição clássica:

- 1 – caulim: 35-45%,
- 2 – argila plástica: 12-18%,
- 3 – feldspato: 27-32%, e
- 4 – quartzo: 12-18%.

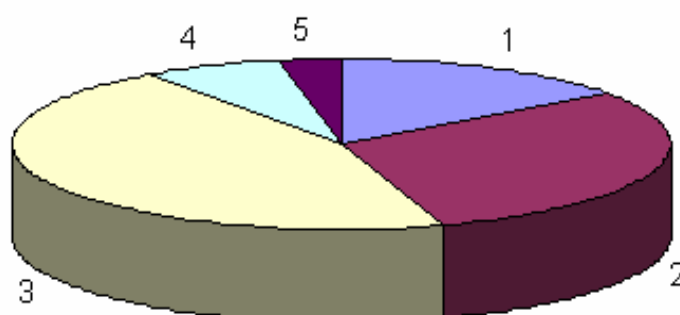


FIGURA 2.5: Composições de grês formuladas com as matérias-primas anteriormente descritas de grês porcelanato adequadas aos ciclos rápidos.

Da figura acima se tem como composição clássica:

- 1 – caulim: 12-18%,
- 2 – argila plástica: 27-32%,
- 3 – feldspato: 42-48%,
- 4 – quartzo: 5-10%, e
- 5 – talco: 0-3%).

A estrutura após queima é similar nos dois casos, todavia no caso de ciclo lento se verifica a presença de mulita em altos percentuais e a ausência de microporosidade (poros abertos e fechados), propriedade que confere ao material uma altíssima resistência a manchas.

A quase absoluta ausência de porosidade e a formação dos cristais de mulita podem ser atribuídas principalmente ao prolongado ciclo de queima, que permite a completa densificação do material [2].

2.4 PROCESSO DE FABRICAÇÃO

A manufatura de um produto com alta performance , como é o caso do revestimento porcelânico, por meio do controle microestrutural rigoroso, requer alta qualidade da matéria-prima e um processo de produção altamente tecnológico. Essas características estão mais próximas dos processos de produção de cerâmica “high-tech” do que aquelas para manufaturar produtos cerâmicos tradicionais.

O processo de manufatura está ilustrado esquematicamente na figura 2.6:

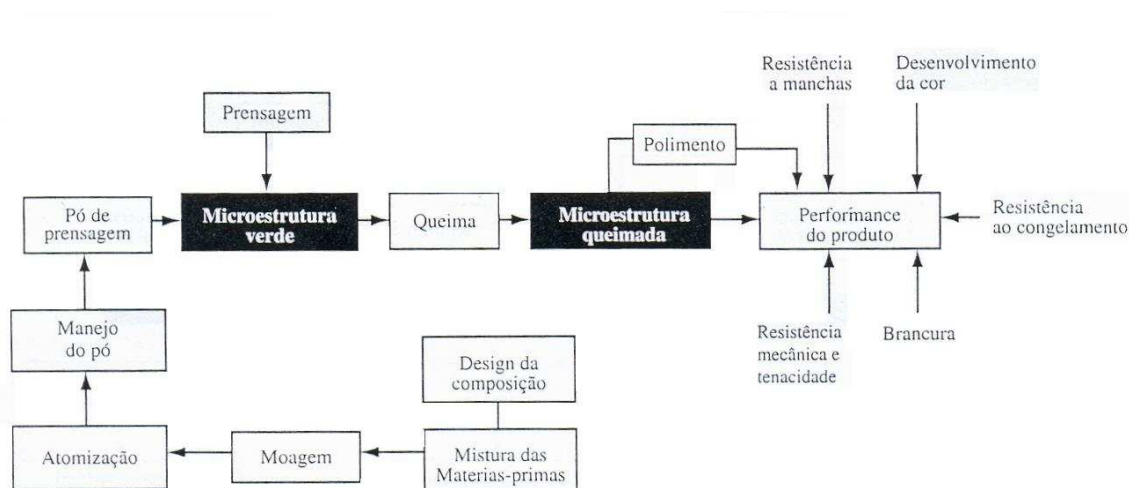


FIGURA 2.6 – Esquema do processo de manufatura do revestimento porcelânico e relação entre os estágios do processo, microestrutura do revestimento e propriedades do produto.

A obtenção dos requisitos referentes ao produto, os quais já foram mencionados, está basicamente relacionada à produção da microestrutura apropriada no revestimento queimado.

Não seria possível adquirir essa microestrutura queimada sem a produção prévia de uma microestrutura no revestimento formado. Junto com essa condição, a seleção das variáveis de queima é um aspecto fundamental envolvido na aquisição desse objetivo.

Uma microestrutura adequada no revestimento à verde refere-se a um revestimento cuja porosidade consiste de poros de pequeno tamanho com distribuição de tamanho relativamente estreita. Além disso, essa microestrutura não deve conter grânulos deformados ou não completamente quebrados, já que isso resultaria em descontinuidade e heterogeneidade que diminuiriam a performance, não somente do revestimento formado, mas também do produto final.

Como pode ser observado, a performance do produto somente pode ser adquirida por meio do design do material que consiste de uma matriz vítrea que assegure a redução da porosidade em um ciclo de queima rápida com temperaturas relativamente baixas, utilizando um agente de reforço de natureza cristalina que reduz a fragilidade da matriz vítrea [10].

2.5 VARIÁVEIS DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO

Os principais fatores tecnológicos que afetam a produção do grês porcelanato são granulometria da massa cerâmica, densidade a verde do compacto e ciclo e temperatura de queima [9].

2.5.1 Moagem

O objetivo de qualquer processo de moagem é a diminuição do tamanho das partículas de um material sólido, tendo em vista o aumento da superfície específica para melhorar a velocidade de reação de determinada matéria-prima, misturar de um modo mais uniforme vários materiais e permitir a obtenção de um pó com as características ideais de utilização.

O tamanho da partícula exerce uma influência determinante nas propriedades e comportamento dos materiais ao longo do processo de fabricação, como por exemplo: no comportamento reológico, na conformação, na queima e nas características finais do produto.

De um modo geral, o rendimento da moagem é influenciado pelas características da própria matéria-prima como dimensão e forma inicial das partículas, dureza do material (resistência à compressão, ao choque e à abrasão), estrutura homogênea ou heterogênea, umidade ou higroscopicidade, sensibilidade à variação da temperatura e tendência a aglomeração [26].

Estudos demonstram que existe uma porcentagem ótima de partículas grosseiras para a qual a peça alcança a máxima compactação, tendo em vista que as partículas menores ocupam a totalidade dos buracos existentes entre as partículas de maior tamanho [27,28].

Para fabricação de grês porcelanato, a moagem se dá via úmida, devido à finas granulometrias e ao rigoroso tamanho de atomizado requerido para alcançar as características desejadas [29].

2.5.2 Atomização

O processo de atomização consiste na transformação de suspensão aquosa em partículas secas, a partir da pulverização da suspensão em uma câmara aquecida, denominada atomizador. As partículas resultantes podem apresentar-se na forma de pó, grânulos ou aglomerados, sendo que a forma dessas partículas vai depender das propriedades físicas e químicas da suspensão, das características do atomizador e das condições de operação. Variações no tamanho do grão significam variações na tonalidade do produto acabado [3,30].

A maioria dos granulados obtidos a partir da atomização de massas cerâmicas apresenta um oco ou cavidade interna que se deve fundamentalmente a quatro mecanismos [30,31]:

- 1) Formação de filme elástico de baixa permeabilidade ao redor das partículas pulverizadas, que reduz a velocidade de evaporação e origina um aumento da temperatura no interior das partículas atomizadas;
- 2) Presença de sais solúveis, que precipitam à superfície dos grãos após fluência para a periferia das partículas seguidas de evaporação da água;
- 3) Migração do líquido contendo sólidos insolúveis para a superfície dos grãos atomizados sob ação da capilaridade, com arrastamento das partículas sólidas. A posterior evaporação origina uma porosidade interna no granulado.
- 4) Ao ar retido na barbotina [30, 31].

A implantação do processo de secagem por atomização para a obtenção da matéria-prima do suporte possui uma importante vantagem que favorece o desenvolvimento das posteriores etapas do processo de fabricação. Uma das vantagens é a obtenção de grãos mais ou menos esféricos, ocos em seu interior e muito uniformes, o que confere ao pó atomizado uma elevada fluidez, facilitando as operações de conformação e prensagem de peças de formatos grandes.

Outra vantagem a destacar é a possibilidade de realizar duas operações, secagem e granulação, ao mesmo tempo e com o mesmo equipamento.

2.5.3 Conformação

O procedimento de conformação mais utilizado para fabricação de grês porcelanato é a prensagem, devido a maior estabilidade dimensional que proporciona ao produto. Para produtos não esmaltados e decorados, o processo de decoração é realizado durante a operação de prensagem, combinando grãos de diferentes cores à massa. [29]

A prensagem é o processo de moldagem universalmente utilizado na fabricação de pavimentos de grês por monoqueima. Isto se deve ao fato que com ele se consegue grande rendimento de produção, facilidade em automatizar o processo, baixa contração na secagem e grande exatidão dimensional.

Os principais objetivos na operação de prensagem das peças de grês porcelanato são: distribuição uniforme do atomizado no molde e a aplicação correta de uma pressão suficientemente elevada que confira a peça características de compactação uniforme e resistência mecânica a crú adequada.

Em escala industrial, alguns dos defeitos mais comuns associados à fabricação de pavimentos de grês porcelanato tem sua origem ou estão muito influenciados por valores da compactação a crú ou por variações desta no transcurso da produção diária [32].

O procedimento predominante de conformação das peças é a prensagem a seco (5-7% de umidade), mediante o uso de prensas hidráulicas. Este procedimento de formação das peças opera por ação de uma compressão mecânica da massa no molde e representa um dos procedimentos mais econômicos na fabricação de produtos cerâmicos de geometria regular.

A prensagem é a etapa onde, além da conformação, busca-se uma redução da porosidade interna. A pressão específica de compactação varia de 400 a 500kgf/cm².

O aumento da pressão de prensagem facilita a densificação do revestimento, uma vez que ela aumenta a energia que contribui para a deformação e quebra dos aglomerados. O aumento do teor de umidade gera

maior compressibilidade do pó por meio da diminuição do aglomerado que libera pressão e reduz as forças de fricção entre as partículas [3].

A variação da densidade aparente deverá ser mínima para evitar deformações e desvios na ortogonalidade. O uso de prensas isostáticas é imprescindível.

Nos casos de confecção de produtos decorados com sais solúveis, a temperatura da peça deve ser rigorosamente controlada de forma a garantir uma penetração de 1,5 a 2,0mm. Os produtos decorados são críticos, pois o desvio na planaridade das peças deverá ser mínimo, já que no processo de polimento a camada removida deverá ser uniforme para evitar diferenças de tonalidade.

2.5.4 Sinterização

O processo de sinterização consiste num tratamento térmico, com ou sem aplicação de pressão externa, mediante o qual um corpo poroso, geralmente formado por partículas individuais, reduz sua superfície específica e, em geral, diminui sua porosidade até alcançar a máxima compactação.

Durante a sinterização dos produtos cerâmicos, paralelamente as reações químicas conduzem a formação ou desaparecimento de fases cristalinas e vítreas, tem lugar a outras mudanças microestruturais nas peças. Um dos mais importantes é o tamanho e a forma dos poros.

A sinterização pode ocorrer com ou sem a fase líquida [33].

Na queima do grês porcelanato, a sinterização em presença de fase líquida viscosa é o processo de densificação que mais contribui para a baixa porosidade final das peças e confere-lhes as propriedades desejadas.

Para que a composição apresente um intervalo de sinterização adequado, é imprescindível durante a queima desenvolver fase líquida suficiente com viscosidade apropriada para que a peça possa alcançar a porosidade desejada. No intervalo de queima, a variação da quantidade de fase líquida e sua viscosidade devem ser graduais com a temperatura [3].

Considerando os aspectos econômicos e sua relação com a disponibilidade regional das matérias-primas, tem-se por objetivos desse trabalho:

- Desenvolver formulações de grês porcelanato utilizando matérias-primas da região sul do Brasil, com proximidade ao pólo cerâmico de Campo Largo, Paraná.
- Incorporação de talco à massa previamente formulada e caracterização de suas propriedades avaliando seu efeito nas características tecnológicas do produto final.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATÉRIAS-PRIMAS

Foram selecionadas as seguintes matérias-primas: Argila Floreiro (AF) – Tijucas do Sul (PR), Caulim Hori (CH) – Jundiaí (SP); Feldspato (FES) – Minas Gerais, Quartzo Pianaro (QP) – Campo Largo (PR), Talco Itajara (TI) – Socavão (PR), Talco Lagoa Bonita (TLB) – Socavão (PR) e Talco Marc (TM) – Itaiacoca (PR). Dentre os materiais selecionados 71% são da região do Paraná, sendo que destes 43% estão localizados na região de Castro e Ponta Grossa, visto que essas regiões são ricas em matéria-prima para a indústria cerâmica em geral.

Depois do recebimento dessas matérias-primas, as mesmas foram secas ao ar, desaglomeradas e secas em estufa a 100°C por 24 horas. Após secagem, as mesmas foram trituradas e passadas em peneira malha “tyler” 100 (150 μm).

Para a confecção dos corpos de prova, cada matéria-prima foi umedecida com 10% de água, conformadas à pressão de 200kgf/cm² em prensa hidráulica (Nanetti modelo Mignon SS/ES) em formato retangular (80 x 30 x 6 mm) e sinterizados à temperatura de 1200°C por 1 hora com taxa de aquecimento de 10°C/min em forno elétrico de laboratório (modelo mufla) com resistências de SiC (Jung modelo 0914).

A caracterização cerâmica foi realizada conforme determinações estabelecidas por Souza Santos [34]. Pelos ensaios realizados pode-se determinar retração linear, retração de queima, absorção de água, perda ao fogo e módulo de resistência à flexão.

A retração linear é definida pela redução do tamanho do corpo de prova em porcentagem durante a secagem. Consiste da diferença entre o comprimento do corpo de prova seco e após estufa, sendo calculado matematicamente:

$$RS = \frac{L_{\text{antes da secagem}} - L_{\text{após secagem}}}{L_{\text{antes da secagem}}} \times 100 \quad (3.5)$$

Onde: RSL = retração linear na secagem (%); L1 = comprimento do corpo-de-prova após secagem (cm); L = comprimento do corpo-de-prova antes da secagem (cm).

A retração de queima é definida pela porcentagem que o corpo de prova retrai durante a queima. Consiste da diferença entre o comprimento após estufa e após queima do corpo de prova, sendo calculado matematicamente:

$$RL = \frac{L_{\text{seco}} - L_{\text{após queima}}}{L_{\text{seco}}} \times 100 \quad (3.6)$$

Onde: RL = retração linear na queima (%); L_{seco} = comprimento do corpo-de-prova após secagem (cm); L_{após queima} = comprimento do corpo-de-prova após queima (cm).

A Absorção de água consiste na capacidade do material em absorver água quando imerso em água por 24 horas, sendo calculado matematicamente:

$$AA = \frac{P_u - P_s}{P_s} \times 100 \quad (3.7)$$

Onde: AA = absorção de água (%); P_u = peso úmido (g); P_s = peso seco (g).

A perda ao fogo consiste na porcentagem de massa que o material perde durante a queima, sendo calculado matematicamente:

$$PF = \frac{P_s - P_Q}{P_s} \times 100 \quad (3.8)$$

Onde: PF = perda ao fogo (%); P_s = peso seco (gr); P_Q = peso após queima (gr)

O módulo de ruptura à flexão consiste na força que o material suporta até romper. O ensaio consiste em apoiar o corpo de prova em dois pontos e submeter o material a uma carga em sentido oposto até sua ruptura. Também

conhecido como ensaio de flexão de 3 pontos, pode ser calculado matematicamente:

$$MRF = \frac{3F \times L}{2b \times e^2} \quad (3.9)$$

Onde: MRF = módulo de ruptura à flexão (MPa); F = força de ruptura (N); L = distância entre as barras de apoio (mm); b = largura do corpo-de-prova ao longo da ruptura após ensaio (mm); e = espessura do corpo-de-prova, medida na seção de ruptura, excluídas as bordas da seção de ruptura (mm).

A distribuição do tamanho das partículas foi realizada por um granulômetro de difração a laser, CILAS 920 N.314.

As fases mineralógicas foram identificadas através de difração de raios X em um difratômetro Shimatzu D-6000, empregando-se radiação de Cu α_1 $\lambda=1,54060$, no intervalo de $2\Theta=80^\circ$, frequência de $4^\circ/\text{min}$.

A caracterização cerâmica foi realizada conforme determinações estabelecidas por Souza Santos [34]. Pelos ensaios realizados pode-se determinar retração linear, retração de queima, absorção de água, perda ao fogo e módulo de resistência à flexão.

3.2 COMPOSIÇÕES

A partir dos resultados encontrados na fase de caracterização e seleção de matérias-primas, foram estabelecidas 13 formulações.

Partiu-se de uma formulação inicial sem talco, chamada de C0:

TABELA 3.1 - Formulação Inicial

Mateiral	% Composição
Argila Floreiro	6,5
Caulim Hori	20,0
Feldspato	50,0
Quartzo Pianaro	23,5
<i>Talco</i>	<i>0,0</i>

A partir dessa formulação foram traçadas as demais. Partiu-se de uma composição 100% de componentes. Á essa composição foi adicionado 4% de talco (em peso) totalizando uma formulação de 104% a qual foi balanceada a porcentagem de cada material. O mesmo ocorreu acrescentando 6, 8 e 10% (em peso) de talco na composição inicial (CO).

Essas composições utilizando 4, 6, 8 e 10% de talco foram utilizadas para o Talco Marc (composição CM), Talco Lagoa Bonita (composição CLB) e Talco Itajara (composição CI).

Para cada posição, as matérias-primas foram pesadas e misturadas via úmida em um moinho de bolas por 1 hora. As composições foram secas em estufa por 110° C por 1 hora, trituradas e passadas em peneira “tyler” 100.

Para a confecção dos corpos de prova, cada composição foi umedecida a 10% de água e prensadas à pressão de 400kgf/cm², o formato e a especificação da prensa é a mesma que foi utilizada para confeccionar os corpos de prova das matérias-primas individuais.

A distribuição do tamanho das partículas, identificação das fases mineralógicas através de difração de raios X e caracterização cerâmica também foram realizadas conforme descritas para caracterizar as matérias-primas, utilizando também os mesmos equipamentos e parâmetros.

A caracterização da cor dos corpos de prova foi feita através da medida dos parâmetros do espaço L*a*b* (CIELAB). As condições de iluminação foram iluminante padrão D65 que representa a luz do dia, padrão suplementar de observador 10°.

O sistema CIELAB ou L^* , a^* , b^* é o mais usado para medir a cor de uma superfície cerâmica, L^* indica a luminosidade, $+a^*$ (vermelho), $-a^*$ (verde), $+b^*$ (amarelo) e $-b^*$ (azul). Para a determinação da diferença de cor, todas as amostras foram relacionadas com um padrão de branco calibrado pela RBC (Rede Brasileira de Calibração) relatório N°R-0542, constituído de óxido de magnésio previamente conformado por prensagem, seco a 110°C e queimado a 1350°C por 3 h. A equação que determina esta diferença de cor é determinada pela distância Eucladiana entre os pontos no espaço e é dada pela expressão 3.1 [37]:

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (3.1)$$

Sendo:

$$\Delta L^* = L_{\text{padrão}} - L_{\text{amostra}} \quad (3.2)$$

$$\Delta a^* = a_{\text{padrão}} - a_{\text{amostra}} \quad (3.3)$$

$$\Delta b^* = b_{\text{padrão}} - b_{\text{amostra}} \quad (3.4)$$

Os valores do óxido de magnésio padrão obtidos foram: $L_{\text{padrão}} = 100$; $a_{\text{padrão}} = 0$ e $b_{\text{padrão}} = 0$. Assim, pelo equipamento foram determinados os valores de L_{amostra} , a_{amostra} e b_{amostra} e pelas fórmulas pode-se determinar os valores de ΔL , Δa , Δb e ΔE .

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesse capítulo serão apresentadas e discutidas as análises realizadas para que se pudessem caracterizar os produtos formulados como grês porcelanato.

4.1 ANÁLISE QUÍMICA DAS MATÉRIAS-PRIMAS E DA MASSA CERÂMICA

As matérias-primas foram selecionadas de modo que a interação entre elas, numa composição, resultasse numa massa de grês porcelanato. A caracterização das matérias-primas começou com a análise química de cada uma delas para a determinação da porcentagem dos elementos químicos que a compõem.

A tabela 4.1 mostra a análise química das matérias-primas usadas nesse trabalho.

TABELA 4.1 - Análise química das matérias-primas.

	A. FL.	C.H.	F.E.S.	Q.PIAN.	T. M.	T. LB	T. I.
SiO ₂	46,15	45,59	69,50	96,43	63,74	62,72	54,58
Al ₂ O ₃	35,54	38,41	15,79	2,10	0,65	0,81	0,88
Fe ₂ O ₃	2,01	1,06	0,01	0,05	0,28	0,66	0,39
TiO ₂	0,98	0,16	0,00	0,08	0,00	0,05	0,11
CaO	0,03	0,01	0,41	0,01	0,03	0,10	6,29
MgO	0,43	0,10	0,01	0,00	30,07	30,38	31,73
Na ₂ O	0,01	0,09	11,66	0,01	0,00	0,00	0,01
K ₂ O	1,27	1,24	1,57	0,26	0,00	0,00	0,01
MnO	0,01	0,03	0,03	0,01	0,08	0,10	0,02
P ₂ O ₅	0,07	0,05	0,38	0,02	0,03	0,03	0,04
P. Fogo	12,92	12,65	0,31	0,80	5,12	5,15	6,06
Total	99,42	99,39	99,67	99,78	100,00	100,00	100,12

Pode-se observar o baixo teor de contaminantes cromóforos, óxido de ferro (Fe_2O_3) e óxido de titânio (TiO_2). Os teores destes óxidos, bem como de matéria orgânica e sulfatos, devem ser os mais baixos possíveis para garantir uma elevada brancura e que não sofram desgaseificação em temperaturas elevadas que possam produzir um aumento na porosidade aberta e/ou fechada das peças após queima [4,22]. Dentre as matérias-primas selecionadas a que possui menor porcentagem de elementos cromóforos é o feldspato, constituído de 0,01% de Fe_2O_3 e TiO_2 , sendo que a argila floreiro é a que possui maior porcentagem desses elementos, 2,91%

Para as argilas recomenda-se teor de TiO_2 menor que 1,5% e Fe_2O_3 menor que 1,0%. As porcentagens de MgO e CaO não deve ultrapassar 2%. Portanto, percebe-se que os valores de Fe_2O_3 estão bem acima do recomendado. Porém, o alto valor de Al_2O_3 auxilia na formação da fase mulita, melhorando as propriedades mecânicas após queima [14,22].

As baixas porcentagens de SiO_2 da argila floreiro e caulim Hori, com alto teor de Al_2O_3 refletem a maior concentração de caulinita e menor quantidade de quartzo livre, que é bastante importante no balanço químico da formulação. No entanto, esta composição fornece um caráter refratário à formulação, também confirmado pelo baixo teor de Na_2O e K_2O .

Para o feldspato, os elementos mais eficientes para promover a formação de fase líquida são os óxidos alcalinos (Na_2O e K_2O) e alcalino-terrosos (CaO e MgO), os quais garantem um ponto de fusão em temperaturas menores. A viscosidade da fase líquida formada é uma função da proporção entre os óxidos formadores de vidro (SiO_2 e Al_2O_3) e dos óxidos modificadores (Na_2O e K_2O). O Na_2O é responsável por valores de viscosidade menores [5]. Também é imprescindível que possuam baixo teor de óxidos cromóforos.

Para os talcos, os elementos que promovem a formação de fase líquida são CaO e MgO . Dentre os talcos utilizados o que possui maior concentração desses óxidos é o TI 38,02% e o que possui a menor concentração é o TM 30,10%. O talco TLB possui a maior concentração de elementos cromóforos 0,71%.

4.2 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DAS MATÉRIAS-PRIMAS

Para se calcular o tamanho médio de cada matéria-prima foi realizada a análise granulométrica. A figura 4.1 mostra o tamanho médio de grão para cada matéria-prima:

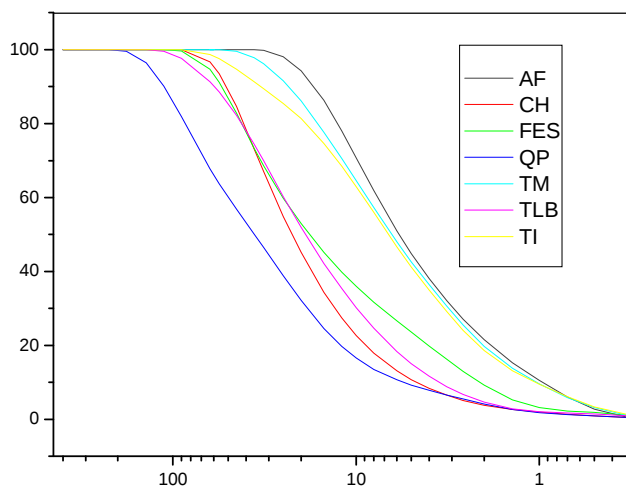


FIGURA 4.1: Tamanho médio dos grãos de cada matéria-prima.

A parte mais ativa das argilas e talcos está na fração mais fina devido a uma grande área específica.

À 50% de material retido pode-se dizer que a matéria-prima mais reativa é a Argila Floreiro, e dentre os talcos, Talco Marc e Talco Itajara,. Dentre estes ainda a Argila Floreiro é o material de granulometria mais fina seguido do Talco Marc e Talco Itajara. O Feldspato e Talco Lagoa Bonita apresentam granulometria muito próxima, sendo que os materiais que apresentam granulometria mais grossa a essa porcentagem são Caulim Hori seguido do Quartzo Pianaro (material com maior tamanho médio de grão).

As matérias-primas utilizadas podem ainda ser divididas em duas classes: os materiais argilosos ou plásticos e os materiais não-argilosos ou não-plásticos. Os materiais argilosos são representados principalmente pela argila e tem como principal característica a de partícula extremamente finas e com grande plasticidade. Os materiais não-argilosos possuem tamanho de

partículas maior que os da argila e somente adquirem alguma plasticidade quando são moídos finamente.

O material que apresenta distribuição mais larga nos tamanhos de partículas é o quartzo pianaro contra a argila floreiro que apresenta distribuição mais estreita no tamanho das partículas.

Pela figura 4.1, verifica-se que praticamente toso os materiais apresentam uma granulometria onde quase que a totalidades das partículas é menores que 40 μm .

Conforme a tabela 4.2 apresentada abaixo, percebe-se que há uma grande variação de tamanho de grãos, principalmente comparando o menor valor 0,96 μm (argila floreiro com diâmetro menor que 10%) e o maior valor 111,55 μm (quartzo Pianaro com diâmetro menor que 90%).

TABELA 4.2 - Resultado da análise de tamanho de partículas em porcentagem para as matérias-primas.

MATÉRIAS-PRIMA	Diâmetro menor que 10% (μm)	Diâmetro menor que 50% (μm)	Diâmetro menor que 90% (μm)	Diâmetro médio (μm)
AF	0,96	5,83	17,16	7,65
CH	4,68	22,37	51,32	25,81
FELDS	2,11	17,95	54,34	23,96
QP	5,52	35,87	111,55	49,55
TM	1,03	6,37	23,42	9,70
TLB	3,52	18,89	59,48	26,20
TI	1,05	6,65	33,03	12,33

Os materiais que apresentam uma distribuição mais larga de tamanho de partículas são os que mais contribuem no empacotamento durante a fase de conformação e melhorando as características após queima. Dentre eles pode-se citar o caulim Hori, Feldspato, Quartzo Pianaro, talco Itajara e Talco Lagoa Bonita.

4.3 ANÁLISE DE RAIOS X DAS MATÉRIAS-PRIMAS

O ensaio de difração de raios X foi efetuado com o objetivo de detectar as principais fases existentes em cada uma das matérias-primas. A figura 4.2 representa a análise de raios X da Argila Floreiro.

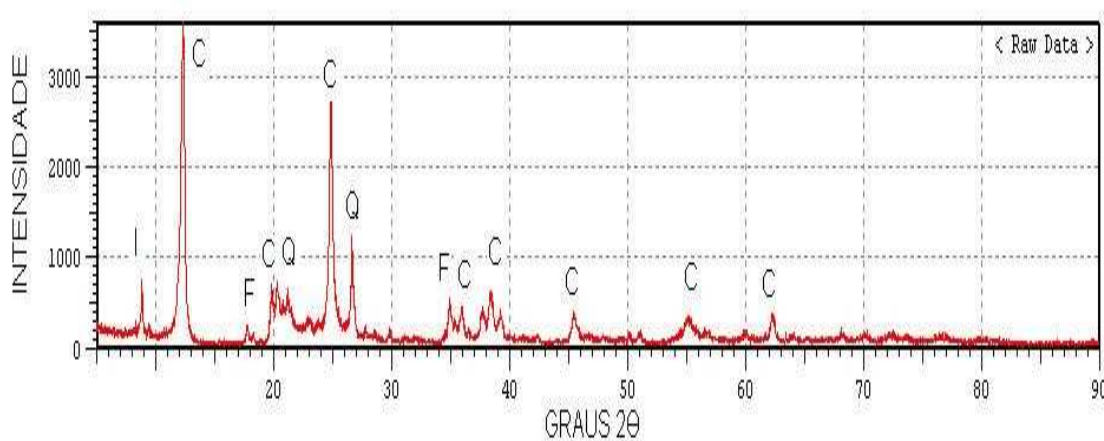


FIGURA 4.2 - Análise de raios x da Argila Floreiro.

A maioria das argilas puras contém, principalmente, o mineral caulinita. No Brasil, os caulins primários são misturas em proporções diferentes de caulinita e haloisitas. As micas e ilitas são de ocorrência muito comum e são encontrados como um acessório em muitas argilas. Estes materiais argilosos ilíticos quando usados juntamente com feldspatos sódicos e com pequenas quantidades de óxidos alcalino-terrosos propiciam temperaturas de queima mais baixas. Outra contaminação importante é o quartzo, resultado da decomposição do feldspato que dá origem às argilas através do intemperismo [4,39].

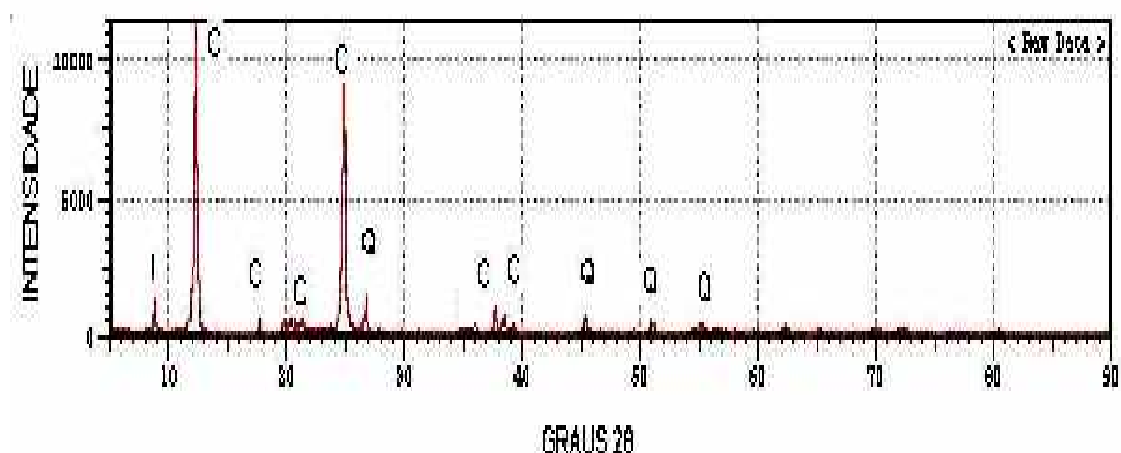


FIGURA 4.3 - Análise de raio x do Caulim Hori.

A figura 4.3 mostra o difratograma do Caulim Hori. As informações aplicadas às argilas, neste caso, são também aplicáveis aos caulins. Percebe-se uma definição maior dos picos relativos à caulinita, devido à maior concentração destes argilo-minerais.

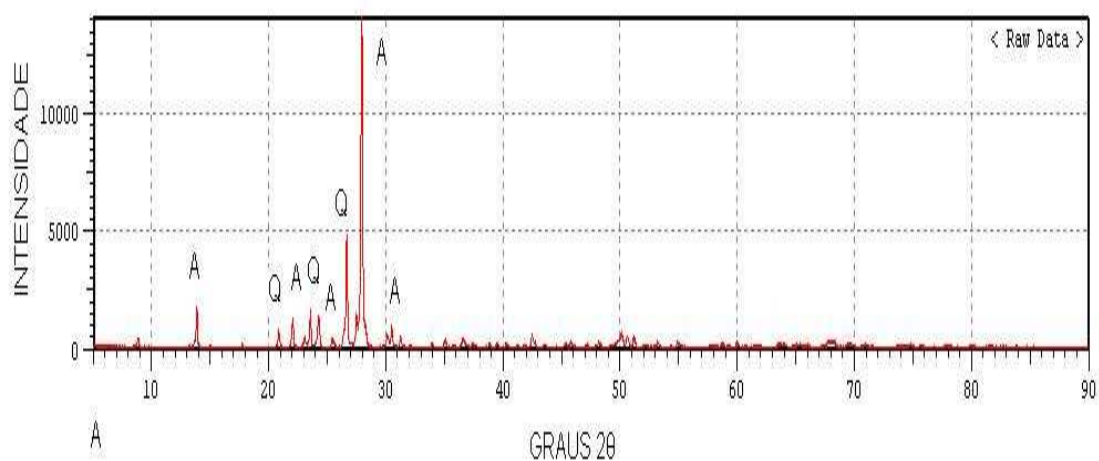


FIGURA 4.4 - Análise de raio x do Feldspato.

A figura 4.4 mostra o difratograma do feldspato, o qual apresenta picos intensos do mineral albita, caracterizando este como feldspato sódico. A maior impureza do feldspato assim como demais materiais é o quartzo livre.

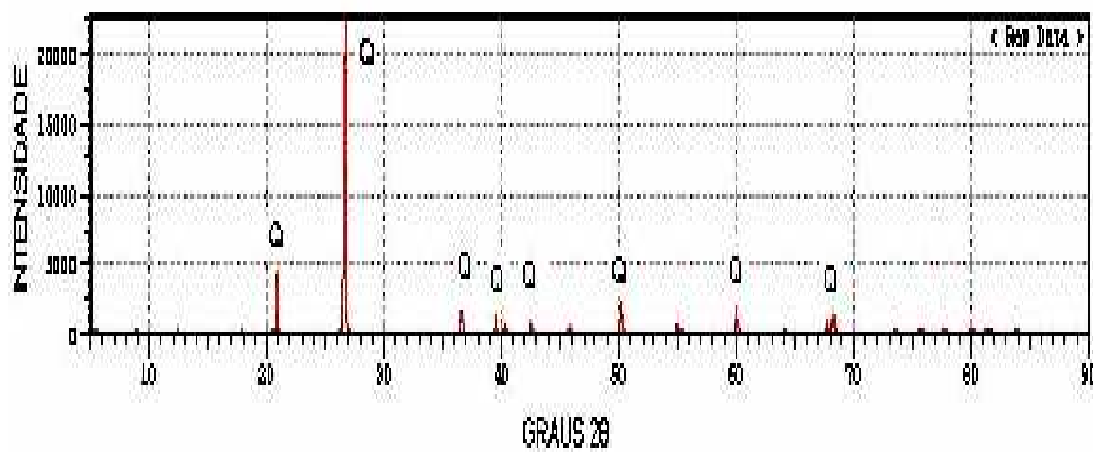


FIGURA 4.5 - Análise de raio x do Quartzo Pianaro.

A figura 4.5 representa o difratograma do quartzo Pianaro. Pela grande cristalinidade pode-se dizer que é uma matéria-prima com pequena quantidade de impurezas, apresentando somente picos de quartzo.

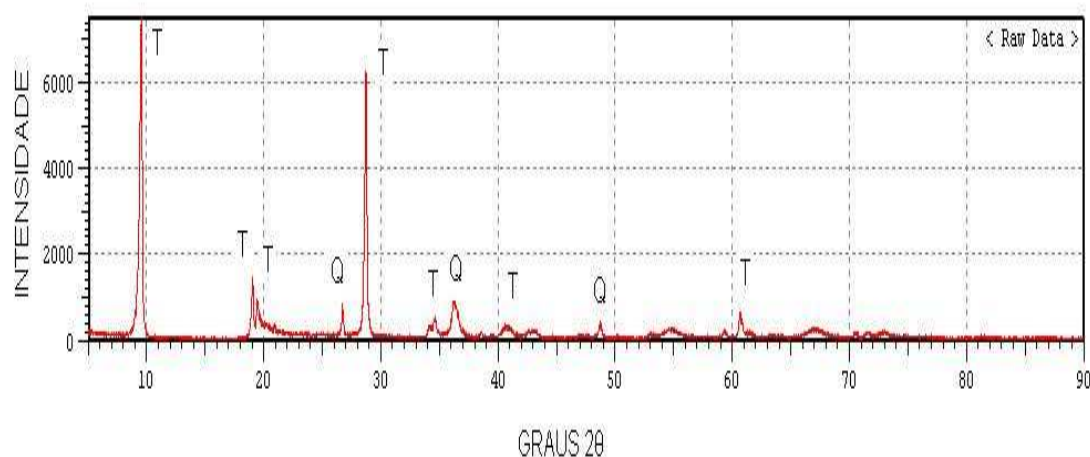


FIGURA 4.6 - Análise de raio x do Talco.

A figura 4.6 é um difratograma representativo dos talcos devido a pouca variação apresentada nos picos dos talcos Marc, Lagoa Bonita e Itajara.

Para o talco o principal contaminante é o quartzo, dentre os talcos o talco mais puro é o talco lagoa bonita.

4.4 CARACTERIZAÇÃO CERÂMICA DAS MATÉRIAS-PRIMAS

Abaixo estão representados os valores de Retração de Secagem (%), Retração de queima (%), Absorção de água (%), Perda ao Fogo (%) e Resistência à Flexão (MPa):

TABELA 4.3 - Caracterização cerâmica das matérias-primas sinterizadas a 1200°C/1 hora.

	Retração de secagem	Retração de queima	Absorção de água	Perda ao Fogo	Resistência à Flexão
AF	-0,01	5,34	25,20	12,88	10,41
CH	-0,04	2,62	23,56	13,01	7,83
QP	0,03	0,46	87,58	6,12	0,23
TI	-0,09	1,96	28,46	5,34	0,05
TLB	-0,24	1,45	31,47	6,11	-
TM	-1,06	1,74	22,16	5,08	0,54

Para o talco lagoa bonita, não foi medido o valor de resistência à flexão devido seu valor ficar abaixo do limite do equipamento. O material que apresentou maior tensão de ruptura pós queima foi a argila.

Na retração a secagem a argila floreiro, caulim hori, talco itajara, talco lagoa bonita e talco marc apresentaram expansão na secagem em estufa.

A matéria-prima que possui maior perda ao fogo é a argila devido à perda de água de cristalização e matéria orgânica.

Na retração a secagem a argila floreiro, caulim hori, talco itajara, talco lagoa bonita e talco marc apresentaram expansão na secagem em estufa.

4.5 FORMULAÇÃO DAS COMPOSIÇÕES

Com o resultado da análise química das matérias-primas pode-se formular cada composição, como mostrado nas figuras 4.4 a 4.6.

TABELA 4.4 - Composição utilizando o Talco Marc (CM).

Composição %					
	Argila Floreiro	Caulim Hori	Feldspato	Quartzo Pianaro	Talco Marc
CM4	6,25	19,23	48,08	22,60	3,85
CM6	6,13	18,87	47,17	22,17	5,66
CM8	6,02	18,52	46,30	21,75	7,41
CM10	5,90	18,19	45,45	21,36	9,10

TABELA 4.5 - Composição utilizando o Talco Lagoa Bonita (CLB).

Composição %					
	Argila Floreiro	Caulim Hori	Feldspato	Quartzo Pianaro	Talco Lagoa Bonita
CLB4	6,25	19,23	48,08	22,60	3,85
CLB6	6,13	18,87	47,17	22,17	5,66
CLB8	6,02	18,52	46,30	21,75	7,41
CLB10	5,90	18,19	45,45	21,36	9,10

TABELA 4.6 - Composição utilizando o Talco Itajara (CI).

Composição %					
	Argila Floreiro	Caulim Hori	Feldspato	Quartzo Pianaro	Talco Itajara
CI4	6,25	19,23	48,08	22,60	3,85
CI6	6,13	18,87	47,17	22,17	5,66
CI8	6,02	18,52	46,30	21,75	7,41
CI10	5,90	18,19	45,45	21,36	9,10

As nomenclaturas 4, 6, 8 e 10 correspondem ao respectivo acréscimo de talco na composição C0. A partir daí, reformulou-se a composição para 100%.

As composições químicas de cada formulação são representadas nos apêndices de A a M. Pelos apêndices em anexo, podem-se perceber o baixo teor de componentes cromóforos, principalmente Fe_2O_3 e TiO_2 . O teor desses óxidos bem como de matéria orgânica e sulfatos são essenciais para obter material com a máxima brancura. O TiO_2 na presença de Fe_2O_3 faz aumentar o poder de coloração do Fe_2O_3 . A quantidade de material orgânico está relacionada à desgaseificação desse material a altas temperaturas que podem ocasionar porosidade fechada e aberta nas peças pós queima.

No caso das argilas recomenda-se que a quantidade de TiO_2 seja menor de 1,5% e de ferro de 1,0%. As porcentagens de MgO e CaO não deve ultrapassar 2%. Analisando somente as matérias-primas percebe-se que a porcentagem de FeO_2 é maior que a recomendada, porém a porcentagem de argila na composição faz com que esses valores estejam abaixo do recomendado. Levando em consideração que a soma dos componentes cromóforos são mais representativos na argila que nas outras matérias-primas a escolha das matérias-primas e da composição está auxiliando para obter um material com alto teor de brancura.

O elevado teor de SiO_2 auxilia na formação da mulita e aumenta as propriedades mecânicas das peças pós queima.

Para promover a fase líquidas os elementos mais eficientes são os óxidos alcalinos (Na_2O e K_2O) e alcalinos terrosos (CaO e MgO), os quais promovem ponto de fusão à temperaturas menores promovendo o eutético. O Na_2O é responsável por valores de viscosidade menores.

Do ponto de vista industrial, quanto menor o eutético, menor a temperatura de trabalho e menor o tempo de ciclo, diminuindo com isso o custo do material e o tempo de processo.

4.6 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DAS COMPOSIÇÕES

Os resultados das análises granulométrica das composições estão representados abaixo:

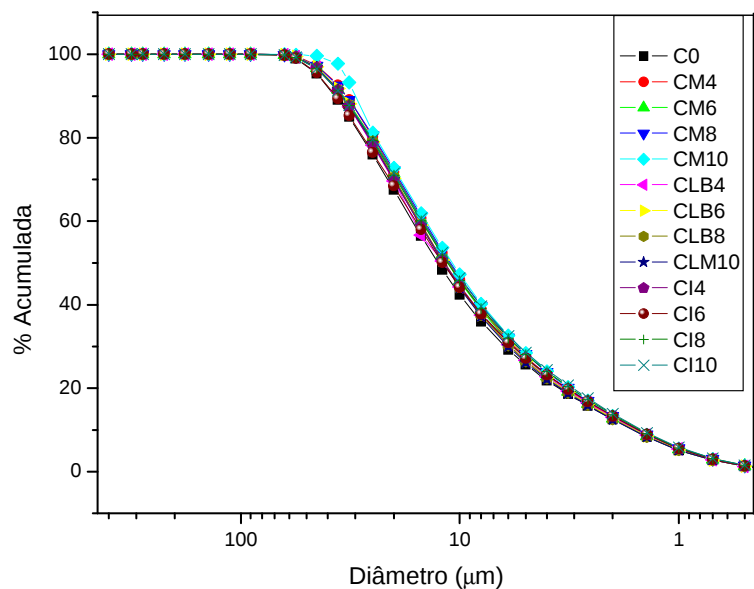


FIGURA 4.7: Tamanho médio dos grãos das composições.

Abaixo segue uma tabela representativa com um resumo dos resultados encontrados nas granulometrias das composições.

TABELA 4.7- Resultado da análise de tamanho de partículas em porcentagem para as composições.

COMPOSIÇÃO	Diâmetro menor que 10% (μm)	Diâmetro menor que 50% (μm)	Diâmetro menor que 90% (μm)	Diâmetro médio (μm)
C0	1,61	12,56	37,24	16,42
CM4	1,57	11,22	33,00	14,72
CM6	1,59	11,33	34,17	15,05
CM8	1,52	11,02	33,04	14,61
CM10	1,53	10,81	32,18	14,31
CLB4	1,56	11,85	34,65	15,43
CLB6	1,59	11,77	34,01	15,24
CLB8	1,60	11,74	34,27	15,28
CLB10	1,62	11,88	34,40	15,40
CI4	1,53	11,76	34,65	15,37
CI6	1,53	11,96	36,84	16,01
CI8	1,50	11,34	34,49	15,09
CI10	1,48	11,15	34,48	14,98

Através dos gráficos granulométricos e da tabela 4.7, pode-se perceber que a distribuição granulométrica das composições ficou muito próxima. Para o diâmetro menor que 10 % a variação foi de 8,6%, para o diâmetro menor que 50% a variação foi de 13,93% e para o diâmetro menor que 90% a variação foi de 13,6%, ficando o diâmetro médio com uma variação de 4,7%. Essas variações indicam pequenas variações no empacotamento das partículas à seco, uma vez que deve existir variação na distribuição do tamanho das partículas para facilitar o empacotamento, pois partículas de tamanhos pequenos e médios tendem a ocupar os espaços vazios deixados entre as partículas de maior tamanho. Quanto maior o empacotamento das partículas à seco, maior a resistência mecânica a seco desse material, maior a facilidade de obtenção de fase líquida e conseqüentemente, menor a probabilidade de existir

porosidade aberta e fechada na peça sinterizada, bem como maior a resistência a flexão.

A composição C0 foi a que apresentou um maior valor no diâmetro das partículas, sendo que a composição que CM a que o valor menor do diâmetro das partículas. Essa variação ocorre pela variação do tamanho de partícula do talco, uma vez que a composição C0 não possui talco e as demais composições apresentam porcentagem de talco, o qual é uma partícula muito fina, sendo o talco Marc a segunda partícula de granulometria mais finas 9,7 μ m.

4.7 ANÁLISES TERMOGRAVIMÉTRICAS DAS COMPOSIÇÕES

As figuras 4.8 a 4.20 apresentam a curva da DTA e TG das massas cerâmicas utilizadas. Essa técnica é utilizada para determinar as reações químicas que ocorrem na massa cerâmica com a evolução da temperatura. As formas dessas curvas são características de composições ílíticas/cauliníticas.

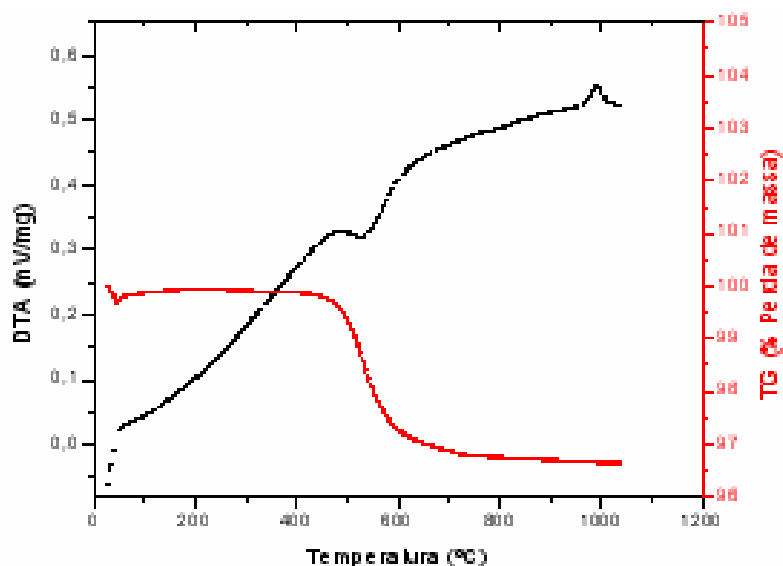


FIGURA 4.8 - Análise termogravimétrica da composição C0.

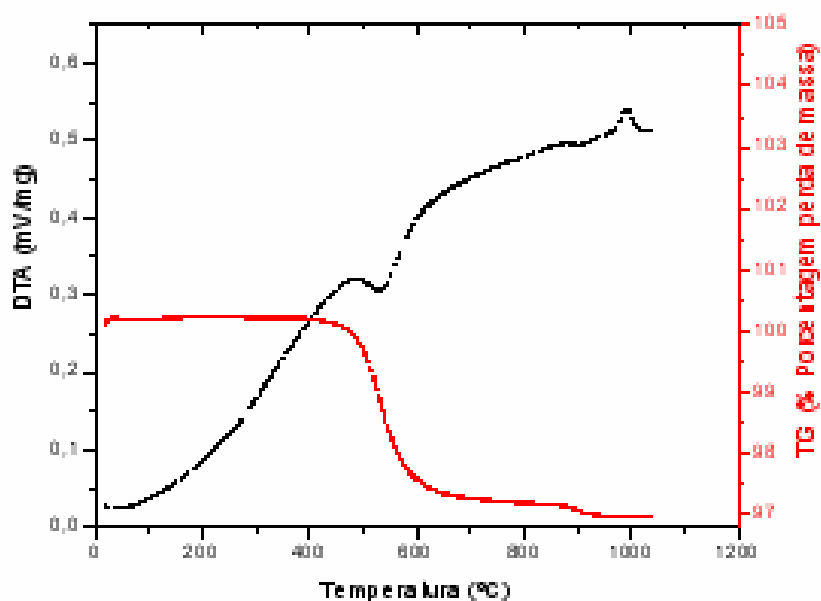


FIGURA 4.9 - Análise termogravimétrica da composição CM4.

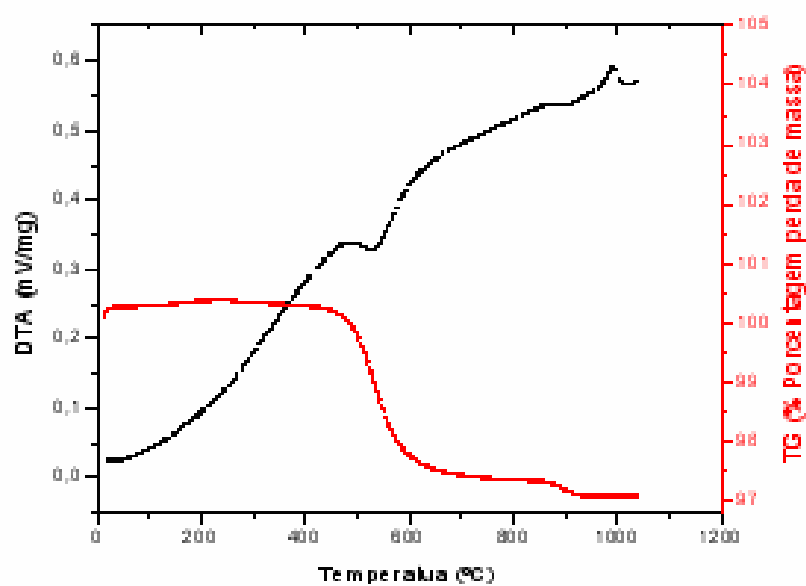


FIGURA 4.10 - Análise termogravimétrica da composição CM6.

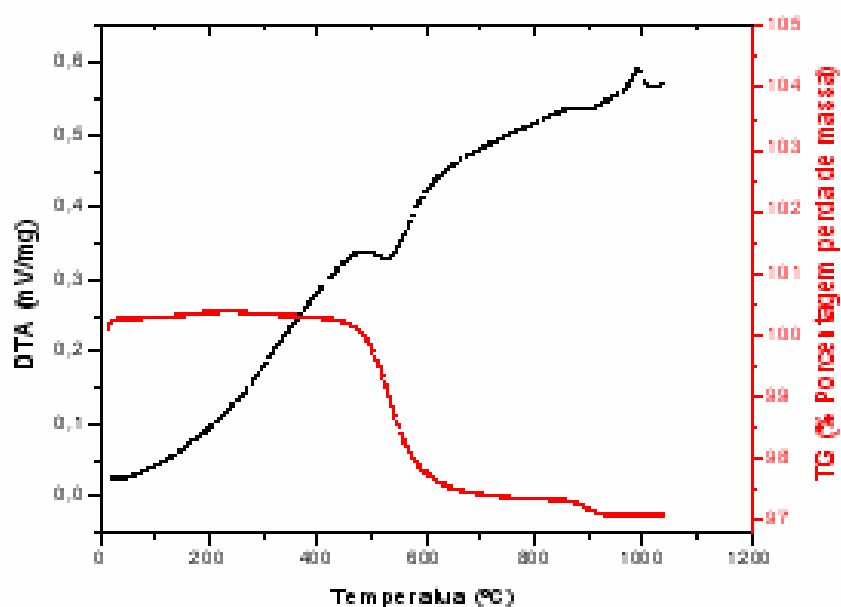


FIGURA 4.11 - Análise termogravimétrica da composição CM8.

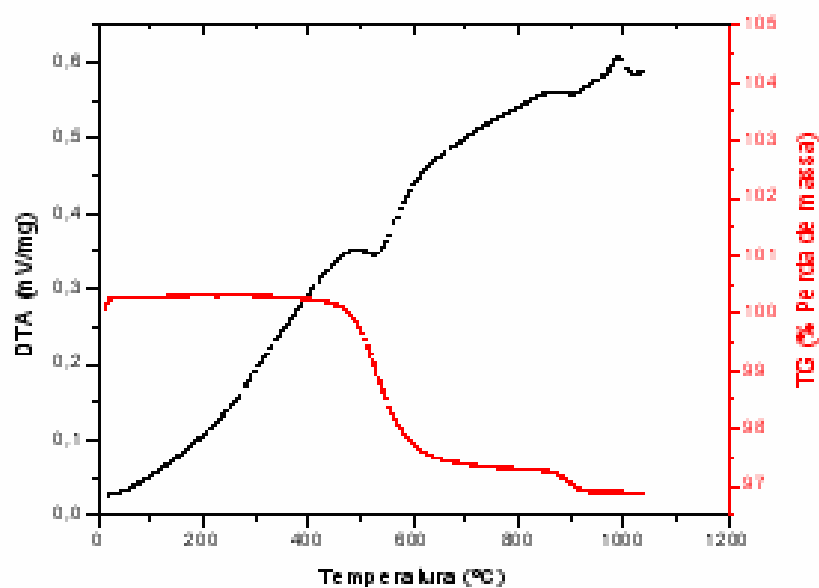


FIGURA 4.12 - Análise termogravimétrica da composição CM10.

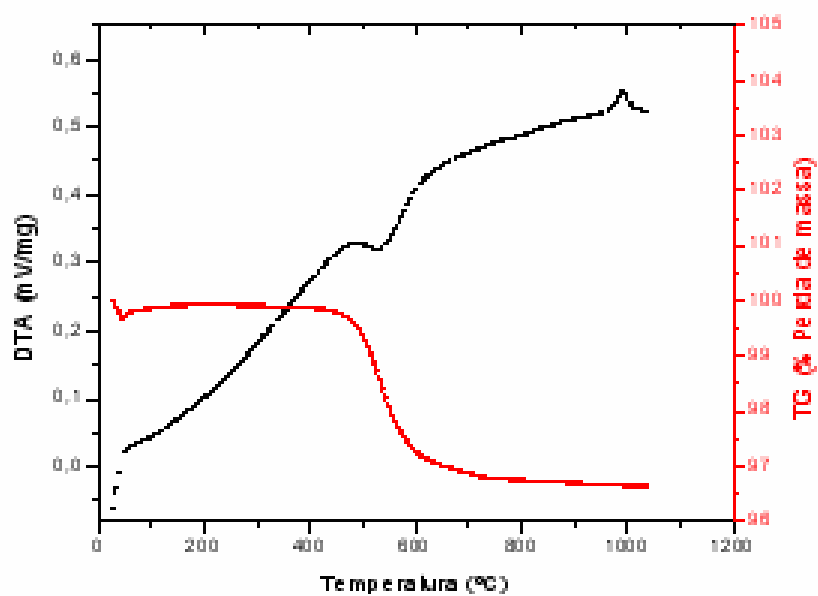


FIGURA 4.13 - Análise termogravimétrica da composição CLB4.

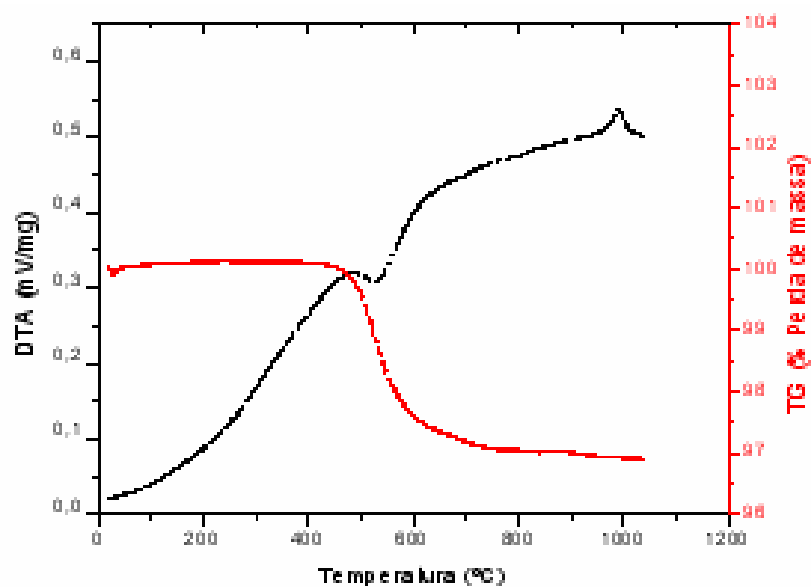


FIGURA 4.14 - Análise termogravimétrica da composição CLB6.

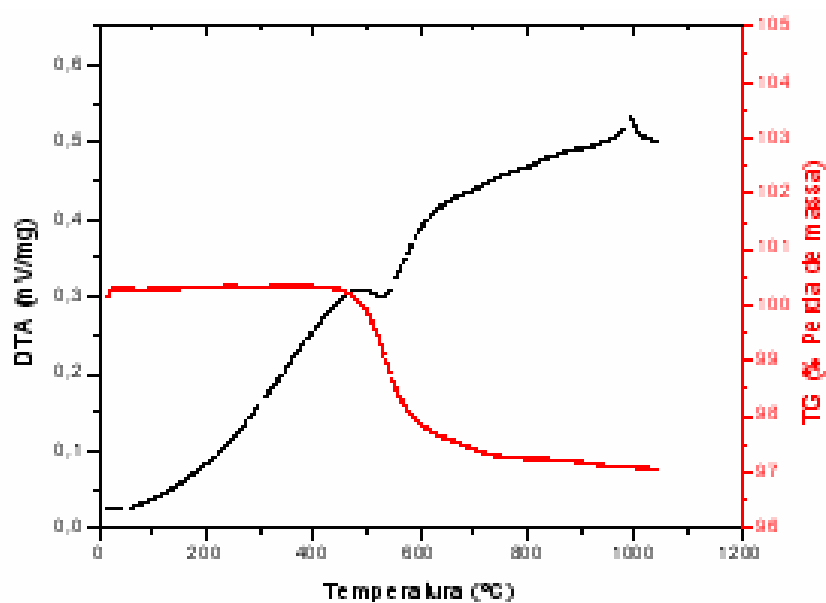


FIGURA 4.15 - Análise termogravimétrica da composição CLB8.

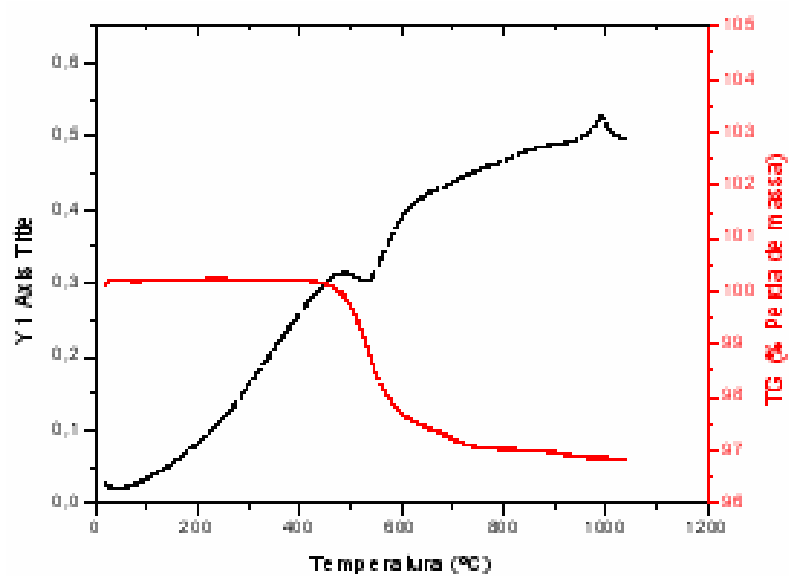


FIGURA 4.16 - Análise termogravimétrica da composição CLB10.

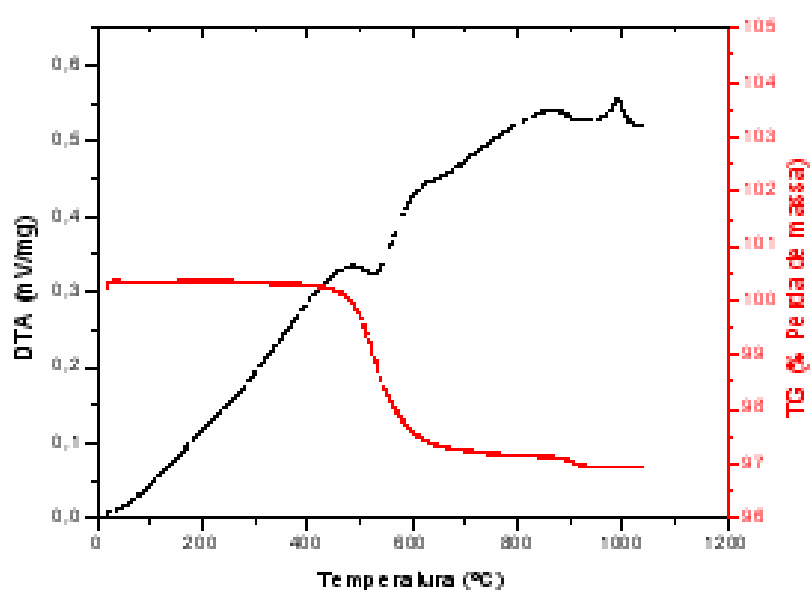


FIGURA 4.17 - Análise termogravimétrica da composição CI4.

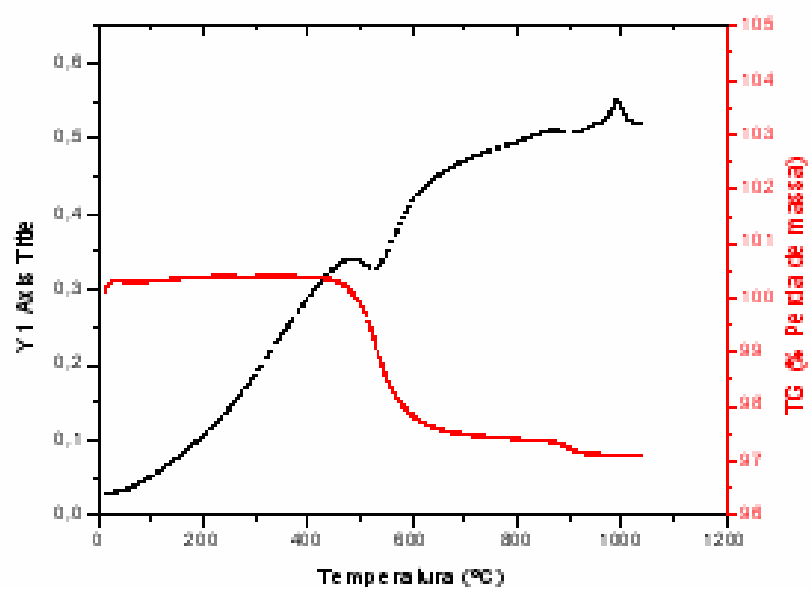


FIGURA 4.18 - Análise termogravimétrica da composição CI6.

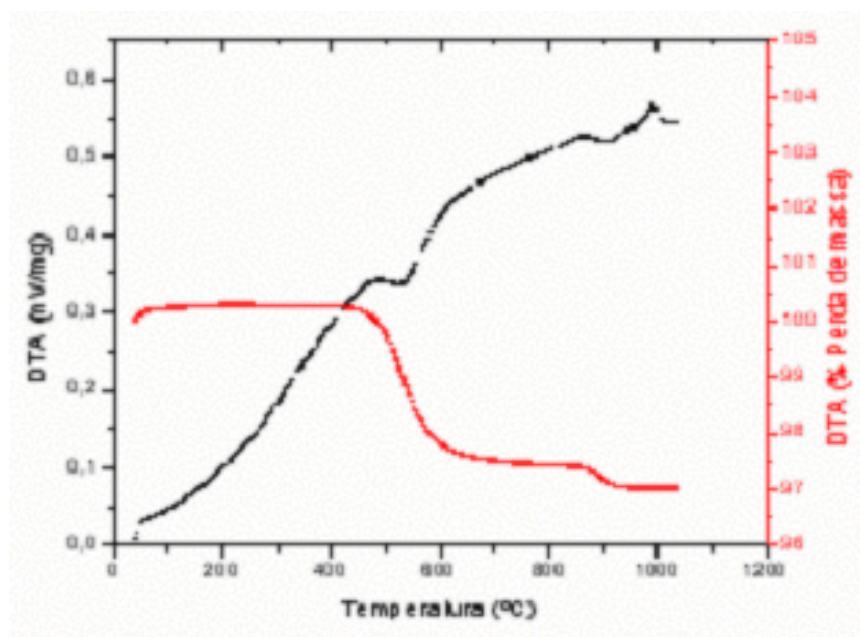


FIGURA 4.19 - Análise termogravimétrica da composição CI8.

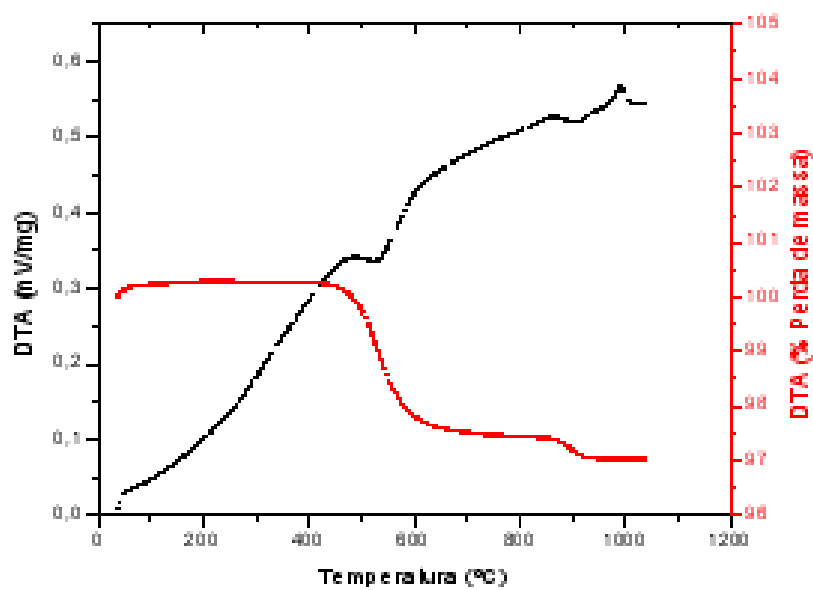


FIGURA 4.20 - Análise termogravimétrica da composição CI10.

A forma dos gráficos é parecida e pode-se verificar que a 110°C ocorre perda de água de adsorção. De 520 e 600°C perda de água de cristalização da caulinita, gerada pela dextrinização de materiais argilosos cauliniticos e ilíticos, sendo bastante pronunciado pela argila floreira apresentar grande quantidade de caulinita, conforme análise mineralógica. Nessa faixa de temperatura também ocorre à transformação do quartzo alfa para quartzo beta. Entre 970 e 1000°C a estrutura tipo espinélio se transforma em mulita, ocasionando a nucleação da mulita.

Pela linha TG, verifica-se que a composição C0 apresentou perda de massa de 2,90%.

Para as composições CM, a perda de massa foi de 3,13%, 3,03%, 3,16% e 3,21 % respectivamente para as composições CM4, CM6, CM8 e CM10.

Para as composições CLB, a perda de massa foi de 3,38%, 3,11%, 3,12% e 3,24% respectivamente para as composições CLB4, CLB6, CLB8 e CLB10.

Para as composições CI, a perda de massa foi de 3,27%, 3,02%, 2,99% e 3,0% respectivamente para as composições CI4, CI6, CI8 e CI10.

Assim, o material que apresentou maior perda de massa foi a composição CLB com 3,24%.o material que apresentou menor perda de massa foi a composição C0 com 2,9%. Percebe-se pelas figuras que as composições C0 e CLB apresentaram no primeiro pico uma pequena perda de massa. Já as composições CM e CI apresentaram no primeiro pico um ganho pequeno de massa. Sendo que a com posição CM apresentou dois picos acentuados de perda de massa de 520 a 600°C e de 970 a 1000°C. A composição CLB não apresentou pico de perda de massa de 970 a 1000°C e a composição CI apresentou um pico acentuado de 520 a 600°C e um bem menos acentuado que a composição CM de 970 a 1000°C.

4.8 COR

As medidas de diferença de cor ΔL , Δa e Δb , foram feitas segundo o espaço de cor CIELAB, onde a coordenada L^* é uma indicação de claro e escuro (quanto maior o valor de L^* , maior a brancura), coordenada a^* é uma identificação de tonalidade na direção do verde para o vermelho ($-a$ = verde e $+a$ = vermelho) e a coordenada b^* é uma identificação de tonalidade na direção do azul para o amarelo ($-b$ = azul e $+b$ = amarelo). Quanto menor o valor do ΔE melhor a matéria-prima para a aplicação desejada.

A tabela 4.8 mostra os valores para a coordenada colorimétrica L^* .

TABELA 4.8- Coordenada colorimétrica L^* da composição C0 para as temperaturas de 1180, 1200 e 1220°C.

COMPOSIÇÃO	TEMPERATURA (°C)	L^*
C0	1180	81,81
C0	1200	84,20
C0	1220	84,46

TABELA 4.9- Coordenada colorimétrica L* da composição CM para as temperaturas de 1160, 1180 e 1200°C.

COMPOSIÇÃO	TEMPERATURA (°C)	L*
CM4	1160	81,31
CM4	1180	81,65
CM4	1200	82,86
CM6	1160	80,02
CM6	1180	80,07
CM6	1200	81,39
CM8	1160	80,48
CM8	1180	81,21
CM8	1200	82,63
CM10	1160	80,42
CM10	1180	81,30
CM10	1200	81,68

TABELA 4.10 - Coordenada colorimétrica L* da composição CLB para as temperaturas de 1160, 1180 e 1200°C.

COMPOSIÇÃO	TEMPERATURA (°C)	L*
CLB4	1160	79,59
CLB4	1180	80,59
CLB4	1200	82,06
CLB6	1160	80,11
CLB6	1180	80,15
CLB6	1200	80,95
CLB8	1160	80,36
CLB8	1180	81,76
CLB8	1200	83,20
CLB10	1160	81,10
CLB10	1180	81,72
CLB10	1200	83,27

TABELA 4.11 - Coordenada colorimétrica L^* da composição CI para as temperaturas de 1160, 1180 e 1200°C.

COMPOSIÇÃO	TEMPERATURA (°C)	L^*
CI4	1160	79,47
CI4	1180	80,79
CI4	1200	81,67
CI6	1160	79,86
CI6	1180	81,89
CI6	1200	80,18
CI8	1160	79,64
CI8	1180	79,74
CI8	1200	80,15
CI10	1160	80,82
CI10	1180	81,09
CI10	1200	82,08

Não houve diferença acentuada entre as composições para o valor de L^* sendo a variação de 5,9%. Os valores mais altos de L^* foi para a composição C0, sinterizados à 1200 e 1200°C.

As coordenadas a^* são mostradas nas tabelas 4.12 a 4.15.

TABELA 4.12 - Coordenada colorimétrica a^* da composição C0.

COMPOSIÇÃO	TEMPERATURA (°C)	a^*
C0	1180	0,81
C0	1200	1,37
C0	1220	1,53

TABELA 4.13 - Coordenada colorimétrica a* da composição CM.

COMPOSIÇÃO	TEMPERATURA (°C)	a*
CM4	1160	0,70
CM4	1180	1,11
CM4	1200	0,15
CM6	1160	1,10
CM6	1180	0,91
CM6	1200	0,46
CM8	1160	0,82
CM8	1180	0,45
CM8	1200	0,04
CM10	1160	0,37
CM10	1180	0,70
CM10	1200	0,34

TABELA 4.14 - Coordenada colorimétrica a* da composição CLB.

COMPOSIÇÃO	TEMPERATURA (°C)	a*
CLB4	1160	1,65
CLB4	1180	1,13
CLB4	1200	0,54
CLB6	1160	0,27
CLB6	1180	1,25
CLB6	1200	0,93
CLB8	1160	1,11
CLB8	1180	0,45
CLB8	1200	0,20
CLB10	1160	1,16
CLB10	1180	0,00
CLB10	1200	0,01

TABELA 4.15 - Coordenada colorimétrica a^* da composição CI.

COMPOSIÇÃO	TEMPERATURA (°C)	a^*
CI4	1160	1,42
CI4	1180	0,84
CI4	1200	0,40
CI6	1160	0,79
CI6	1180	0,12
CI6	1200	0,53
CI8	1160	0,18
CI8	1180	0,91
CI8	1200	0,83
CI10	1160	0,19
CI10	1180	0,30
CI10	1200	0,01

Os valores de a^* são relativamente baixos, porém pode-se perceber que as amostras tendem para o vermelho.

As coordenadas a^* são mostradas nas tabelas 4.16 a 4.19.

TABELA 4.16 - Coordenada colorimétrica b^* da composição C0.

COMPOSIÇÃO	TEMPERATURA (°C)	b^*
C0	1180	4,19
C0	1200	5,03
C0	1220	5,16

TABELA 4.17 - Coordenada colorimétrica b^* da composição CM.

COMPOSIÇÃO	TEMPERATURA (°C)	b^*
CM4	1160	5,16
CM4	1180	4,94
CM4	1200	5,44
CM6	1160	5,50
CM6	1180	5,48
CM6	1200	6,49
CM8	1160	5,79
CM8	1180	5,96
CM8	1200	6,34
CM10	1160	6,25
CM10	1180	5,87
CM10	1200	6,60

TABELA 4.18 - Coordenada colorimétrica b^* da composição CLB.

COMPOSIÇÃO	TEMPERATURA (°C)	b^*
CLB4	1160	5,31
CLB4	1180	5,09
CLB4	1200	5,50
CLB6	1160	5,82
CLB6	1180	5,34
CLB6	1200	5,49
CLB8	1160	5,99
CLB8	1180	5,63
CLB8	1200	6,06
CLB10	1160	5,73
CLB10	1180	6,84
CLB10	1200	6,60

TABELA 4.19 - Coordenada colorimétrica b^* da composição CI.

COMPOSIÇÃO	TEMPERATURA (°C)	b^*
CI4	1160	5,64
CI4	1180	5,01
CI4	1200	5,64
CI6	1160	5,54
CI6	1180	5,30
CI6	1200	5,38
CI8	1160	6,28
CI8	1180	6,01
CI8	1200	5,13
CI10	1160	6,61
CI10	1180	5,97
CI10	1200	6,82

Os valores de a^* são relativamente baixos, porém pode-se perceber que as amostras tendem para o amarelo.

A análise mais apurada só pode ser realizada através do estudo dos valores do ΔE . Valores baixos significam que a diferença de cor entre a amostra e o padrão escolhido. Os valores calculados para o ΔE estão dispostos nas tabelas 4.20 a 4.23.

TABELA 4.20 – Diferença de cor ΔE da composição C0.

COMPOSIÇÃO	TEMPERATURA (°C)	ΔE
C0	1180	18,68
C0	1200	16,62
C0	1220	16,45

TABELA 4.21 – Diferença de cor ΔE da composição CM.

COMPOSIÇÃO	TEMPERATURA (°C)	ΔE
CM4	1160	19,40
CM4	1180	19,03
CM4	1200	17,98
CM6	1160	20,75
CM6	1180	20,68
CM6	1200	19,71
CM8	1160	20,37
CM8	1180	19,72
CM8	1200	18,49
CM10	1160	20,55
CM10	1180	19,60
CM10	1200	19,47

TABELA 4.22 – Diferença de cor ΔE da composição CLB.

COMPOSIÇÃO	TEMPERATURA (°C)	ΔE
CLB4	1160	21,14
CLB4	1180	20,08
CLB4	1200	18,77
CLB6	1160	20,72
CLB6	1180	20,59
CLB6	1200	19,84
CLB8	1160	20,56
CLB8	1180	19,09
CLB8	1200	17,86
CLB10	1160	19,77
CLB10	1180	19,51
CLB10	1200	17,97

TABELA 4.23 – Diferença de cor ΔE da composição CI.

COMPOSIÇÃO	TEMPERATURA (°C)	ΔE
CI4	1160	21,33
CI4	1180	19,86
CI4	1200	19,17
CI6	1160	20,89
CI6	1180	18,87
CI6	1200	20,55
CI8	1160	21,30
CI8	1180	21,14
CI8	1200	20,50
CI10	1160	20,28
CI10	1180	19,82
CI10	1200	19,17

Com o aumento da temperatura os materiais tendem a clarear apresentando menores valores de ΔE . O valor mais baixo de ΔE foi para a composição C0 à 1200°C. O valor mais alto de ΔE foi para a composição CI 4 sinterizado à 1160°C.

4.9 CARACTERIZAÇÃO CERÂMICA DAS COMPOSIÇÕES

Para a caracterização cerâmica das matérias-primas foram avaliados resultados de retração de secagem, retração de queima, absorção de água, perda ao fogo e resistência a flexão. Esses valores estão representados nas tabelas 4.24 a 4.26.

TABELA 4.24 - Características cerâmicas da composição C0 nas temperaturas 1180°C, 1200°C e 1220°C.

	Retração de secagem (%)	Retração de queima (%)	Absorção de água (%)	Perda ao Fogo (%)	Resistência à Flexão (MPa)
1180°	-0,14	8,94	3,04	3,75	37,92
1200°	-0,16	8,59	1,64	4,05	39,56
1220°	-0,18	7,51	0,68	3,95	40,05

Pela literatura o valor de retração de queima deve ser até 10%, sendo que os valores obtidos estão dentro do esperado. A absorção de água diminui com o aumento de temperatura, porém os valores ainda são elevados para material caracterizado como grês porcelanato, onde a absorção de água deve ser menor ou igual a 0,5%. O valor mais próximo a esse corresponde ao sinterizado a 1200°C. O valor de perda ao fogo não apresentou variação representativa com o aumento de temperatura. Os valores de resistência à flexão estão acima dos indicados por norma sendo que o menor valor está 40% e o maior valor 48%.

TABELA 4.25 – Características cerâmicas da composição CM4 nas temperaturas 1160°C, 1180°C e 1200°C.

	Retração de secagem (%)	Retração de queima (%)	Absorção de água (%)	Perda ao Fogo (%)	Resistência à Flexão (MPa)
1160°	-0,12	7,66	0,21	3,89	72,61
1180°	-0,13	7,40	0,07	3,95	74,32
1200°	-0,18	8,73	0,03	3,98	77,24

Os valores de retração de queima estão dentro do indicado. A absorção de água está dentro da norma indicando como grês porcelanato sendo ainda que os materiais sinterizados à 1180°C e 1200°C apresentam valores bem abaixo do indicado por norma. Os valores de resistência à flexão apresentaram um acréscimo com o aumento de temperatura, sendo de o menor valor está a 167% acima da norma e 45% dos valores encontrados hoje no mercado por

algumas empresas de fabricação está a 186% acima do valor estipulado por norma e 55% do valor de produtos encontrados hoje no mercado.

TABELA 4.26 - Características cerâmicas da composição CM6 nas temperaturas 1160°C, 1180°C e 1200°C.

	Retração de secagem (%)	Retração de queima (%)	Absorção de água (%)	Perda ao Fogo (%)	Resistência à Flexão (MPa)
1160°	-0,15	7,8	0,10	3,89	54,00
1180°	-0,22	8,20	0,07	4,17	57,89
1200°	-0,22	9,08	0,06	3,93	70,99

Os valores de retração de queima estão dentro do indicado, sendo que para esse material apresentou aumento com o aumento de temperatura. A absorção de água está dentro da norma indicando como grês porcelanato sendo ainda que os materiais sinterizados à 1180°C e 1200°C apresentam valores bem abaixo do indicado por norma. Os valores de resistência à flexão apresentaram um acréscimo com o aumento de temperatura, sendo que para o material sinterizado à 1160°C os valores de resistência à flexão está 100% acima do valor indicado por norma e 8% acima do valor encontrado no mercado. Materiais sinterizados à 1180°C apresentam valores de resistência a flexão a 114% acima do valor da norma e 16% acima dos valores encontrados no mercado. Materiais sinterizados a 1200°C apresentam valores de resistência a flexão 163% acima do valor estipulado por norma e 42% de valores encontrados no mercado. Percebe-se um aumento de 16,99 MPa (31%) do material sinterizado a 1160°C e 1200°C. Esse aumento no valor de resistência a flexão pode ter ocorrido por uma quantidade significativa de fase mulita a essa temperatura.

TABELA 4.27 - Características cerâmicas da composição CM8 nas temperaturas 1160°C, 1180°C e 1200°C.

	Retração de secagem (%)	Retração de queima (%)	Absorção de água (%)	Perda ao Fogo (%)	Resistência à Flexão (MPa)
1160°	-0,17	7,12	0,10	3,73	55,90
1180°	-0,20	8,43	0,06	4,09	67,22
1200°	-0,15	9,19	0,04	4,55	70,90

Os valores de retração de queima estão dentro do indicado, sendo que para esse material apresentou aumento com o aumento de temperatura. A absorção de água está dentro da norma indicando como grês porcelanato sendo ainda que os materiais sinterizados à 1180°C e 1200°C apresentam valores bem abaixo do indicado por norma. Os valores de resistência à flexão apresentaram um acréscimo com o aumento de temperatura, sendo que para o material sinterizado à 1160°C o valor de resistência à flexão está 107% acima do valor indicado por norma e 12% acima do valor encontrado no mercado. Materiais sinterizados à 1180°C apresentam valores de resistência à flexão a 149% acima do valor da norma e 34% acima dos valores encontrados no mercado. Materiais sinterizados a 1200°C apresentam valores de resistência à flexão 162% acima do valor estipulado por norma e 41% de valores encontrados no mercado. Percebe-se um aumento de 15 MPa (27%) do material sinterizado a 1160°C e 1200°C. Esse aumento no valor de resistência a flexão pode ter ocorrido por uma quantidade significativa de fase mulita a essa temperatura. Para essa concentração de talco percebe-se que houve grande aumento desses valores com o aumento de temperatura, porém, gradual o que não ocorreu acrescentando 6% de talco, o qual apresentou um acréscimo brusco desse valor com o aumento da temperatura.

TABELA 4.28 - Características cerâmicas da composição CM10 nas temperaturas 1160°C, 1180°C e 1200°C.

	Retração de secagem (%)	Retração de queima (%)	Absorção de água (%)	Perda ao Fogo (%)	Resistência à Flexão (MPa)
1160°	-0,18	6,95	0,06	10,84	63,21
1180°	-0,16	7,83	0,05	7,24	63,20
1200°	-0,18	8,34	0,01	3,54	65,72

O valor de retração de queima deve ser até 10%, sendo que os valores obtidos estão dentro do esperado. A absorção de água diminui com o aumento de temperatura, e o valor para cada temperatura está abaixo dos valores estipulados por norma e dentro dos valores encontrados no mercado. O valor de perda ao fogo decresceu com aumento de temperatura. Não houve variação de resistência à flexão comparando material sinterizado a 1160°C e 1180°C. À temperatura de 1200°C o aumento foi de 4%. Com essa concentração de talco o aumento de temperatura faz com o aumento da resistência mecânica seja pequeno comparado com concentrações menores de talco à composição.

TABELA 4.29 - Características cerâmicas da composição CLB4 nas temperaturas 1160°C, 1180°C e 1200°C.

	Retração de secagem (%)	Retração de queima (%)	Absorção de água (%)	Perda ao Fogo (%)	Resistência à Flexão (MPa)
1160°	-0,25	9,59	0,03	13,68	43,32
1180°	-0,24	9,89	0,03	10,89	46,97
1200°	-0,23	9,94	0,02	3,38	49,52

O valor de retração de queima deve ser até 10%, sendo que os valores obtidos estão dentro do esperado. A absorção de água diminui com o aumento de temperatura, e o valor para cada temperatura está abaixo dos valores estipulados por norma e dentro dos valores encontrados no mercado. O valor de perda ao fogo decresceu com aumento de temperatura, principalmente para o material sinterizado à 1200°C. O aumento da resistência a flexão foi gradativa e constante com o aumento de temperatura. Todos os valores estão acima do

valor estipulado por norma, porém abaixo de valores encontrados hoje no mercado.

TABELA 4.30 - Características cerâmicas da composição CLB6 nas temperaturas 1160°C, 1180°C e 1200°C.

	Retração de secagem (%)	Retração de queima (%)	Absorção de água (%)	Perda ao Fogo (%)	Resistência à Flexão (MPa)
1160°	-0,20	9,78	0,07	13,67	54,53
1180°	-0,22	9,85	0,06	9,81	56,44
1200°	-0,23	9,91	0,02	3,53	59,41

O valor de retração de queima deve ser até 10%, sendo que os valores obtidos estão dentro do esperado. A absorção de água diminui com o aumento de temperatura, e o valor para cada temperatura está abaixo dos valores estipulados por norma e dentro dos valores encontrados no mercado. O valor de perda ao fogo decresceu com aumento de temperatura, principalmente para o material sinterizado à 1200°C. O aumento da resistência a flexão foi gradativa e constante com o aumento de temperatura. Todos os valores estão acima do valor estipulado por norma e próximos a valores encontrados hoje no mercado.

TABELA 4.31 - Características cerâmicas da composição CLB8 nas temperaturas 1160°C, 1180°C e 1200°C.

	Retração de secagem (%)	Retração de queima (%)	Absorção de água (%)	Perda ao Fogo (%)	Resistência à Flexão (MPa)
1160°	-0,24	9,09	0,04	11,10	57,52
1180°	-0,22	9,45	0,03	12,83	59,28
1200°	-0,23	9,81	0,02	3,42	60,31

O valor de retração de queima apresentado está inferior de 10%, estando assim dentro do esperado. A absorção de água diminui com o aumento de temperatura, e o valor para cada temperatura está abaixo dos valores estipulados por norma e dentro dos valores encontrados no mercado. O

valor de perda ao fogo decresceu com aumento de temperatura, principalmente para o material sinterizado à 1200°C. O aumento da resistência a flexão foi gradativa e constante com o aumento de temperatura. Todos os valores estão acima do valor estipulado por norma, estando a 1160°C a 113% acima do valor da norma e 15% dos valores de mercado, a 1180°C a 119% acima do valor da norma e 1200°C a 123% acima do valor da norma e 20% acima do valor de mercado.

TABELA 4.32 - Características cerâmicas da composição CLB10 nas temperaturas 1160°C, 1180°C e 1200°C.

	Retração de secagem (%)	Retração de queima (%)	Absorção de água (%)	Perda ao Fogo (%)	Resistência à Flexão (MPa)
1160°	-0,18	8,89	0,04	11,27	52,24
1180°	-0,12	9,17	0,01	10,24	74,39
1200°	-0,17	9,49	0,00	7,85	81,70

O valor de retração de queima apresentado está inferior de 10%, estando assim dentro do esperado. A absorção de água diminui com o aumento de temperatura, e o valor para cada temperatura está abaixo dos valores estipulados por norma e dentro dos valores encontrados no mercado, sendo ainda que à temperatura de 1180°C e 1200°C apresentam absorção nula ou praticamente nula. O valor de perda ao fogo decresceu com aumento de temperatura, principalmente para o material sinterizado à 1200°C. O aumento da resistência a flexão foi gradativa e constante com o aumento de temperatura. Todos os valores estão acima do valor estipulado por norma, estando a 1160°C a 93% acima do valor da norma e 4% dos valores de mercado, a 1180°C a 175% acima do valor da norma e 49% acima do valor de mercado, a 1200°C a 202% acima do valor da norma e 63% acima do valor de mercado.

TABELA 4.33 - Características cerâmicas da composição CI4 nas temperaturas 1160°C, 1180°C e 1200°C.

	Retração de secagem (%)	Retração de queima (%)	Absorção de água (%)	Perda ao Fogo (%)	Resistência à Flexão (MPa)
1160°	-0,24	7,65	0,08	13,65	48,00
1180°	-0,28	8,39	0,05	10,39	46,97
1200°	-0,28	9,93	0,02	3,53	50,71

O valor de retração de queima apresentado está inferior de 10%, estando assim dentro do esperado. A absorção de água diminui com o aumento de temperatura, e o valor para cada temperatura está abaixo dos valores estipulados por norma e dentro dos valores encontrados no mercado. O valor de perda ao fogo decresceu com aumento de temperatura, principalmente para o material sinterizado à 1200°C. O aumento da resistência a flexão foi gradativa e constante com o aumento de temperatura. Todos os valores estão acima do valor estipulado por norma, 77% acima a temperatura de 1160°C, 74% acima à temperatura de 1180°C e 88% acima à temperatura de 1200°C. Os valores estão próximos aos valores encontrados no mercado.

TABELA 4.34 - Características cerâmicas da composição CI6 nas temperaturas 1160°C, 1180°C e 1200°C.

	Retração de secagem (%)	Retração de queima (%)	Absorção de água (%)	Perda ao Fogo (%)	Resistência à Flexão (MPa)
1160°	-0,14	9,30	0,27	12,72	54,42
1180°	-0,15	9,95	0,08	9,93	56,44
1200°	-0,17	9,95	0,04	3,10	62,35

O valor de retração de queima apresentado está inferior de 10%, estando assim dentro do esperado. A absorção de água diminui com o aumento de temperatura, e o valor para cada temperatura está abaixo dos valores estipulados por norma e dentro dos valores encontrados no mercado. O valor de perda ao fogo decresceu com aumento de temperatura, principalmente para o material sinterizado à 1200°C. O aumento da resistência a flexão foi

gradativa com o aumento de temperatura. Todos os valores estão acima do valor estipulado por norma estando à temperatura de 1160°C a 101% acima do valor estipulado por norma e 8% acima do valor de mercado, à temperatura de 1180°C a 109% acima do valor da norma e 13% acima do valor de mercado, à temperatura de 1200°C a 130% do valor da norma e 25% do valor de mercado.

TABELA 4.35 - Características cerâmicas da composição CI8 nas temperaturas 1160°C, 1180°C e 1200°C.

	Retração de secagem (%)	Retração de queima (%)	Absorção de água (%)	Perda ao Fogo (%)	Resistência à Flexão (MPa)
1160°	-0,24	8,39	0,06	3,74	57,72
1180°	-0,24	8,44	0,02	3,73	59,28
1200°	-0,19	8,70	0,01	3,75	60,31

O valor de retração de queima apresentado está inferior de 10%, estando assim dentro do esperado. A absorção de água diminui com o aumento de temperatura, e o valor para cada temperatura está abaixo dos valores estipulados por norma e dentro dos valores encontrados no mercado. O valor de perda ao fogo permaneceu praticamente constante com o aumento de temperatura. O aumento da resistência à flexão foi gradativa com o aumento de temperatura. Todos os valores estão acima do valor estipulado por norma estando à temperatura de 1160°C a 113% acima do valor estipulado por norma e 15% acima do valor de mercado, à temperatura de 1180°C a 119% acima do valor da norma e 18% acima do valor de mercado, à temperatura de 1200°C a 123% do valor da norma e 20% do valor de mercado.

TABELA 4.36 - Características cerâmicas da composição CI10 nas temperaturas 1160°C, 1180°C e 1200°C.

	Retração de secagem (%)	Retração de queima (%)	Absorção de água (%)	Perda ao Fogo (%)	Resistência à Flexão (MPa)
1160°	-0,19	7,07	0,00	3,69	66,65
1180°	-0,18	7,62	0,00	3,71	68,65
1200°	-0,19	8,14	0,00	3,72	69,55

O valor de retração de queima apresentado está inferior de 10%, estando assim dentro do esperado. A absorção de água foi nula para todas as temperaturas. O valor de perda ao fogo permaneceu praticamente constante com o aumento de temperatura. O aumento da resistência a flexão foi gradativa com o aumento de temperatura. Todos os valores estão acima do valor estipulado por norma e mercado apresentando como média 150% acima do valor da norma e 36% acima do valor de mercado.

5 CONCLUSÕES

Pode-se melhorar as propriedades mecânicas e a fusibilidade do grês porcelanato com o aumento da porcentagem de talco e controlando as variáveis de processo.

As matérias-primas empregadas nesse trabalho apresentaram baixos teores de contaminantes cromóforos ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$). Essa variação foi de 0,01% para o feldspato à 2,99% para a argila Floreiro. Esses valores indicam as matérias-primas empregadas são indicadas para o uso em cerâmica branca. Como principal impureza encontra-se o quartzo.

A argila AFL possui maior quantidade do argilo-mineral caulinita. Este favorece a formação da microestrutura mulita, melhorando as propriedades de resistência à flexão e também na plasticidade do material a verde ajudando na compactação.

A granulometria das composições ficaram muito próximas, não havendo diferença significativa na variação do tamanho das partículas, ficando a composição CO (sem talco) com valor médio dos tamanhos das partículas superior as demais.

A composição CO, sem talco, apresentou valores de absorção de água superiores ao especificado por norma e valores de resistência a flexão dentro da norma, porém fora do encontrado como valor de mercado.

A composição que apresentou melhor resultado, menor absorção de água e maior resistência à flexão, foi a CLB 10 com 10% de talco, apresentando absorção de água <0,01% e resistência à flexão de 81MPa e L^* 82,08.

As composições CM apresentaram valores de absorção de água igual ou superior a 0,5% para temperaturas de 1160 e 1180°C sendo que os valores de resistência à flexão ficaram acima de 50 MPa.

A composição CLB4 apresentou valores abaixo de 50 MPa, porém com baixa absorção de água. As composições CL6 e CL8 apresentaram valores acima de 50 MPa para todas as temperaturas de sinterização.

As composições CI apresentaram valores baixos de absorção de água, <0,5% e valores de resistência à flexão maiores de 50MPa.

Pode-se dizer que o talco tem influencia bastante significativa na fusibilidade e propriedades mecânicas do grês porcelanato e seu uso pode variar até 10% da composição.

6 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

- Utilizar outras concentrações de talco bem como outros tipos de talco como os que contém em sua composição outros minerais como clorita, montmorilonita, e calcáreo.
- Utilizar diferentes temperaturas de sinterização que as utilizadas nesse trabalho.
- Utilização de zirconita e alumina para realçar o grau de brancura da massa básica.

7 REFERÊNCIAS

1. MENEGAZZO, A. P. M. et.al. **Grês Porcelanato. Partel: Uma Abordagem Mercadológica.** Cerâmica Industrial, Nº 05, p.7-10, Setembro/Outubro, 2000.
2. OLIVEIRA, N. O. PEDRO; **Grês porcelanato: aspectos mercadológicos e tecnológicos;** Cerâmica Industrial, 3 (3) Maio/Junho, 1998.
3. HECK, CLARICE; **Grês porcelanato;** Cerâmica Industrial, 01 (04/05) Agosto/Dezembro, 1996.
4. A.P.M. MENEGAZZO ET AL; **Grês porcelanato: uma abordagem técnica e mercadológica;** Cerâmica Informação nº 14 Janeiro/Fevereiro 2001
5. BOSCHI, O. ANSELMO; **Uma Analise Crítica do setor de revestimento cerâmico;** Cerâmica Industrial, 7 (2) Março/Abril, 2002.
6. LOYLOLA, L. C.; **Perfil da Indústria Cerâmica.** Curitiba: Mineropar, 2000.
7. ROMERO, R. M. R. JESÚS; **A atual expansão de grês porcelanato como passo prévio para a produção de revestimentos cerâmicos maciços;** Cerâmica Industrial, 6 (4) Julho/Agosto, 2001.
8. BORBA, G. D. C. ET AL; **Estudo de matérias-primas fundentes;** Cerâmica Industrial, 01 (01) mar/abr, 1996.
9. BIFFI, GIOVANNI; **Grês porcellanatto, tecnologia, produzione, mercato;** Gruppo editiriale faenza editrice s.p.a..

10. SÁNCHEZ, ENRIQUE; **Considerações técnicas sobre produtos de revestimentos porcelânicos e seus processos de manufatura. Parte I;** Cerâmica Industrial, 8 (2) Março/Abril,2003.
11. BEDONI, G. ET AL; **Comportamento Durante Queima de Massas de Grês Porcelanato com Base na Relação Na/K;** Cerâmica Informação, Nº12,p. 37-41, 2000.
12. RODRIGUES, M. ADRIANA. et al.; **Propriedades de matérias-primas selecionadas para a produção de grês porcelanato.** Tese de Mestrado; Universidade Estadual de Ponta Grossa; 2004.
13. LLORENS, G. F. ET AL.; **Matérias-primas fundentes para a fabricação de grês porcelanato;** Cerâmica e informação, nº 9, março/abril 2000.
14. MOTTA, J. F. M. ET AL.; **As Matérias-primas Cerâmicas. Parte II: Os Minerais Industriais e as Massas da Cerâmica Tradicional.** Cerâmica Industrial, 7(1), Janeiro/Fevereiro, p. 33-40, 2002.
15. NAVARRO, J.E.E. ET.AL.; **Materias Primas para la Fabricación de Pavimentos y Revestimientos Cerâmicos.** Cerâmica Informazione.
16. BRUSA, A.; CONTOLI, L.; DARDI, M. **Fine Porcelainized Stoneware. Gres Porcellanato:** tecnologia, produzione, mercato. Faenza, Editoriale Faenza, 1999. p. 16-37.
17. INSTITUTO DE TECNOLOGIA CERÁMICA. **Matérias primas para la fabricación de soportes de baldosas cerámicas.** AICE/97.

18. CHATTERJEE, A.; ET AL. **Efeito da Razão entre Feldspatos Sódicos e Potássico no Desenvolvimento de Fases e Microestrutura de Porcelanatos Queimados**. Cerâmica Industrial, Nº06, p. 23-26, 2001.
19. RADO, P. **Introducción a la Tecnología de la Cerámica**. Barcelona: Omega, 1988.
20. DROZDA, F. O. **Otimização da Porosidade Fechada de Peças de Grês Porcelanato**, Ponta Grossa, 2003, 72f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) Setor de Ciências Agrárias e de Tecnologia, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2003.
21. BIONDI, J.C., MARCZYNSKI E.S.; **caracterização física e química dos filitos Açungui (PR) visando sua utilização pela indústria cerâmica**; cerâmica 50 (2004)21-32;
22. CININELLI, R. C. RENATO; **Projetos de P&D em mineração de talco**; Centro de Gestão e estudos Estratégicos.
23. GODIM, C. ANTONIO; LOYOLA, C. LUCIANO; **Ponta Grossa and Castro zones in Paraná talc district, Brazil, ore properties and mineral industry**; **Boletim paranaense de geociencias**, n. 50, p. 9-14, 2002, editora UFPR.
24. LOYOLA, C. LUCIANO; **O Distrito de talco doParaná, gênese e características dos minérios**; Tese de mestrado; Curitiba 2003.
25. <http://www.pr.gov/mineropar/htm/rocha/talco/htm>; 24/03/2004
26. RIBEIRO, M.J. ET AL; **Moagem em moinho de bolas: estudo de algumas variáveis e otimização energética do processo**. Cerâmica Industrial, 6 (2) Março, Abril, 2001.

27. MARÓS, J.J.A.; F. A.; BELTRÁN, V.; et al. . **Pastas de gres de monococción. Influencia de las variables de processo en la calidad del producto acabado.** Tecnica Cerámica, nº 120, p. 1368-1384, 1984.

28. BAGÁN, V.; ENRIQUE, J.E.; MALLOL, G.; SANCHEZ, E.; **Influence of process variables on the quality of impervious tiles.** TBI, nº 5, p. 35-42, 1990.

29. SANCHES, ET AL; **Critérios de selección de matérias-primas para la fabricación de pavimentos y revestimientos cerámicos;** Cerâmica Informação, nº 157, julio – agosto.

30. RIBEIRO, M.J., VENTURA, J.M., LABRINCHA, J.A. **A Atomização como Processo de Obtenção de Pós para a Indústria Cerâmica.** Cerâmica Industrial, 6 (5) Setembro/Outubro, 2001.

31. LUKASICWICZ, **Spray-Drying Ceramic Powders.** Journal American Ceramics Society, 72 (4) 617-624, 1989.

32. ALBARO, J.L.A. **Estúdio de la Compactación de Soportes Ceramicos de Pavimento y Revestimiento. I. Influência del Tamaño de Granulo de Atomizado.** Bol. Coc. Esp. Ceram. Vidr. Nº 4-5, Vol 21, 1982.

33. TARÍ J. O. M.; **SINTERIZACIÓN DE PIEZAS DE PAVIMENTO GRESIFICADO;** Universidade de Valencia; Septiembre 1991.

34. SANTOS, P. S. **Ciência e Tecnologia de Argilas.** 2. ed. São Paulo: Edgar Blucher, 1989, v.1.

35. SACMI IMOLA. **Tecnologia Cerâmica Applicata,** Ímola-Itália, La Mandrágora, 2001, v.2, p.30-32.

36. MENEGAZZO, A.P.M.; Paschoal, J.O.A.; Andrade, A.M.; Carvalho, J.C.; Gouvêa, D. **Avaliação da Resistência Mecânica e Módulo de Weibull de Produtos Tipo Grês Porcelanato e Granito**. Cerâmica Industrial, São Paulo, v.7, n.1, p.24-32, jan./fev. 2002.
37. BERNARDIN, M.A.; PIELLA, H. G.; **Variação de tonalidades em placas colorimétricas: CMC X CIELAB C CIELCH**; Cerâmica Industrial, 4 (1-6); Janeiro/Dezembro; 1999.

APÊNDICE A: COR

Introdução

A cor é uma propriedade ótica de percepção e interpretação subjetiva. Desta forma, a cor de um objeto depende da composição espectral da luz incidente, da reflectância ou da transmitância do objeto, da resposta do observador, do iluminante e da geometria ótica de visualização.

A cor percebida é um atributo de percepção visual que pode ser descrito por nomes de cores. A cor psicofísica possui as características de um estímulo de cor (a luz produzindo uma sensação de cor) denotada pela especificação colorimétrica com 3 valores, tais como valores tristímulos.

O olho humano é sensível a uma faixa de comprimentos de onda que vão de aproximadamente 350 a 750 nm, estes produzem certas sensações visuais que representam as cores. No entanto, este representa somente uma pequena parte do total do espectro eletromagnético, conforme a figura A.1.

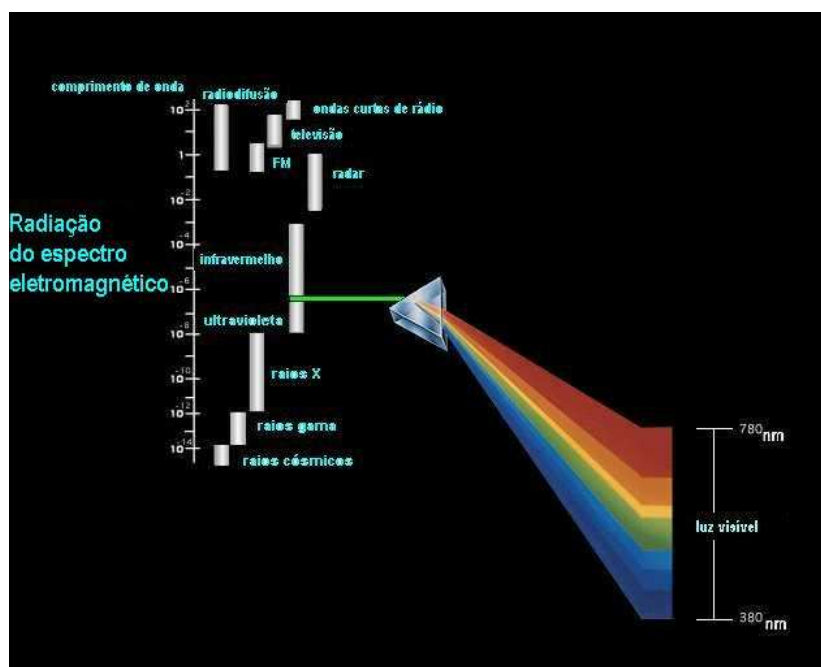


Figura A.1 O espectro eletromagnético, adaptado [35]

Espaço de cores

Cada cor pode ser descrita por sua localização em um espaço tridimensional de cor. Cada distribuição espectral de energia é associada com um ponto no espaço de cor, cada ponto no espaço é especificado por suas três coordenadas, ou seja, pelos valores de tristímulos. Um espaço de cor é um método formal de se representar as sensações visuais das cores, através do qual, as cores podem ser precisamente especificadas por palavras ou números. Esta representação matemática no processo de especificação da cor gera muitos benefícios já que permite a especificação de um espaço de cor através de um sistema de coordenadas cartesianas, geralmente conhecido como modelo de cor.

Dos sistemas de cores usuais, temos duas classes: os sistemas baseados em dimensões perceptuais de cores e os não perceptuais.

No primeiro caso, as dimensões são subjetivas, excelente para descrever qualitativamente as cores, mas destituídas de precisão e de formalismo matemático, mostrando-se inapropriadas quando uma especificação mais precisa de cor é necessária. Exemplos: Sistema de Nomear Cores (CNS), Sistema Natural de Cores (NCS) e Sistema de Cor de Munsell.

Para aplicações industriais, no entanto, este tipo de classificação de cores é inadequado, necessitando de coordenadas matemáticas fáceis de serem medidas e comparadas. Desta forma, usa-se o segundo tipo de classificação ou as não perceptuais. Dentro deste grupo pode-se encontrar várias formas de representação em vários espaços de cor.

No estudo de materiais cerâmicos, o espaço usual de representação é o conhecido como CIELAB que será discutido com maiores detalhes.

Sistema C.I.E

É o mais importante dos sistemas de especificação de cores, desenvolvido em 1931 pela “Comission Internationale L’ Eclairage”, C.I.E, ou Comissão Internacional de Iluminação.

Este grupo recomendou que se seguisse a idéia de um observador padrão, cuja visão para cor é representativa de toda população de pessoa com uma visão normal. Esse sistema baseia-se no conceito desenvolvido por Maxwell: é determinado um conjunto de três estímulos X, Y, Z, correspondentes a cores primárias imaginárias, de forma a circundar todo espectro visível. Essas cores imaginárias constituem uma abstração de cor. Por ser fundamentado em experimentos psicofísicos, tem se tornado um padrão internacional formando a base da colorimetria industrial.

A cor depende da iluminação na qual é observada, por isso, padronizaram as fontes luminosas sob as quais deve-se observar os objetos coloridos. Para a medida de cor o C.I.E definiu as características espectrais de vários tipos de iluminantes típicos conforme a figura A.2.

A luz incidente é usualmente construída dentro do instrumento de medição de cor. Esta luz pode ou não ser um dos iluminantes da C.I.E, em vez disso, o instrumento determina os dados de medida sob as condições do iluminante especificado através de cálculos baseados nos dados medidos no momento e sob a luz incidente do instrumento e a distribuição espectral do iluminante guardado na memória do instrumento.

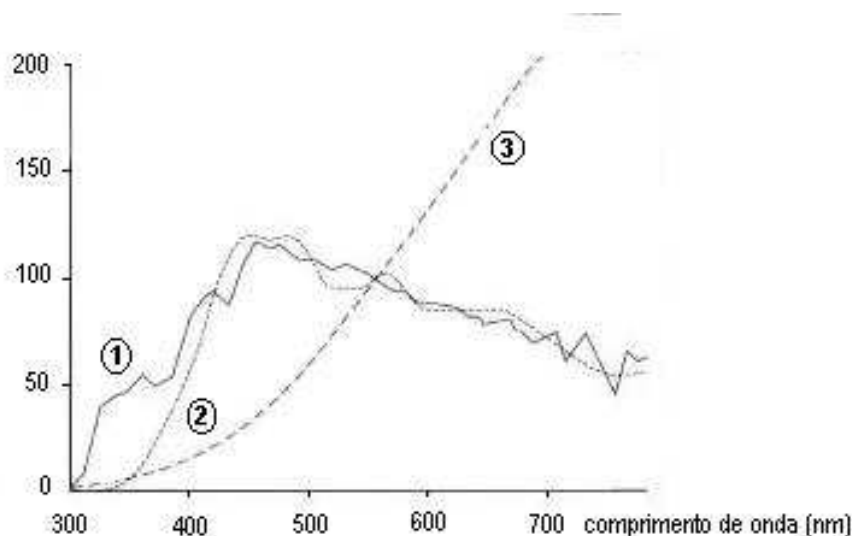


Figura A.2 Distribuição Espectral dos iluminantes CIE

1 = iluminante padrão D₆₅: luz do dia (incluindo a região de tamanho de onda do ultravioleta) com a cor relativa a 6504K, pode ser usada para medir espécimes os quais serão iluminados pela luz do dia incluindo a radiação ultravioleta.

2 = iluminante padrão C: luz do dia (excluindo a região de tamanho de onda do ultravioleta) com a cor relativa a 6774K, pode ser usada para medir espécimes os quais serão iluminados pela luz do dia na região do visível mas não incluindo a radiação ultravioleta.

3 = iluminante padrão A: luz incandescente com a cor relativa a 2856K, pode ser usada para medir espécimes os quais serão iluminados por lâmpadas incandescentes.

Os atributos de definição da cor são a tonalidade (hue), saturação (saturation) e luminosidade (lightness). A tonalidade é o termo usado para a classificação do tom predominante, por exemplo, vermelho, azul, amarelo, verde, violeta (figura A.3). A saturação determina o grau de pureza desta cor e o quanto ela está próxima ou afastada dos tons neutros de cinza, branco ou preto (figura A4). A luminosidade determina o quanto a cor está próxima da luminosidade total (branco) ou de sua falta (preto), a luminosidade pode ser medida independentemente do tom (figura A4).

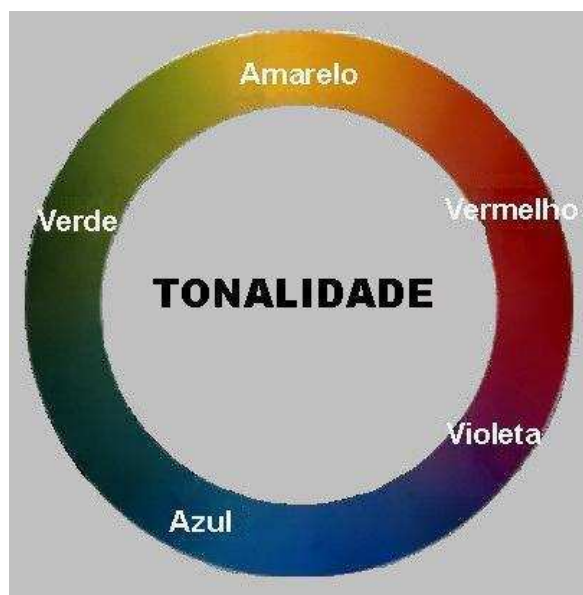


Figura A.3 círculo de tonalidade

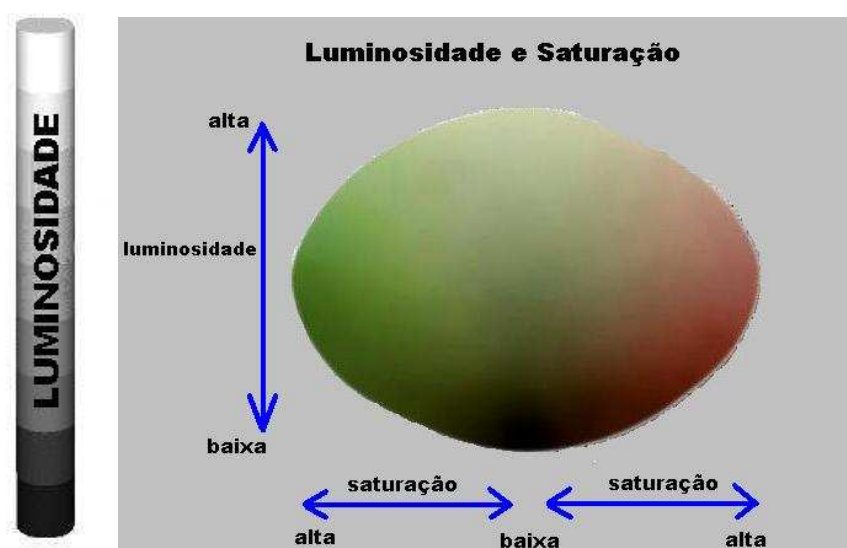


Figura A.4 luminosidade e saturação

Ângulo do observador padrão

O ângulo pelo qual o objeto é observado (tamanho do objeto), assim como o ângulo pelo qual é iluminado, deve ser constante para medições de cor confiáveis. Originalmente os dados do observador padrão, Padrão de Observador 2°, foram derivados de experimentos de igualação de cores com um arranjo que

significa que o estímulo ativou uma área da retina de 2 graus. Isto é equivalente a visualização de uma pequena moeda a uma distância do comprimento de um braço, que não corresponde com as condições de visualização freqüentemente utilizada na indústria.

Por isso, a C.I.E em 1964 definiu um segundo jogo de funções de observador conhecido como Padrão Suplementar de Observador 10°, com um campo de 10 graus. A figura A.5 exemplifica a diferença do uso das duas situações.

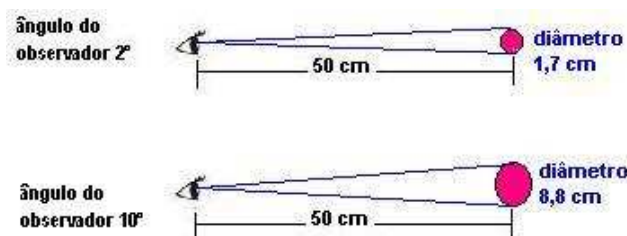


Figura A.5: Ângulo do Observador Padrão 2° e Padrão Suplementar de Observador 10°

Vantagens do Sistema C.I.E:

- Constitui um meio preciso de se especificar um estímulo de cor, desde que sob condições de visão fixas. Isso faz com que seja uma excelente escolha como referência para medidas de cores em aplicações das indústrias.

Desvantagens:

- Não é uma boa opção para especificações perceptuais de cor, porque as primárias de referência, X, Y e Z correspondem a fontes luminosas imaginárias, que por sua vez, são difíceis de serem visualizadas.
- espaço de cor XYZ é um espaço não uniforme, provocando distorções indesejáveis.

Espaço $L^*a^*b^*$ (CIELAB)

É um dos espaços de cor uniforme cujas especificações foram publicadas pela CIE em 1976, como forma de reduzir um dos maiores problemas do espaço de cor original XYZ, no qual as distâncias iguais no x, y e z do diagrama de cromaticidade não correspondem às diferenças de cor percebidas. Foi criada para proporcionar cores consistentes, independentemente do dispositivo.

Neste espaço, L^* indica luminosidade e a^* e b^* indicam a direção de cores: $+a^*$ = vermelho, $-a^*$ = verde, $+b^*$ = amarelo, $-b^*$ = azul. As figuras A.6, A.7 mostram as representações da cromaticidade nas dimensões a^* e b^* e do sólido de cores CIELAB respectivamente.

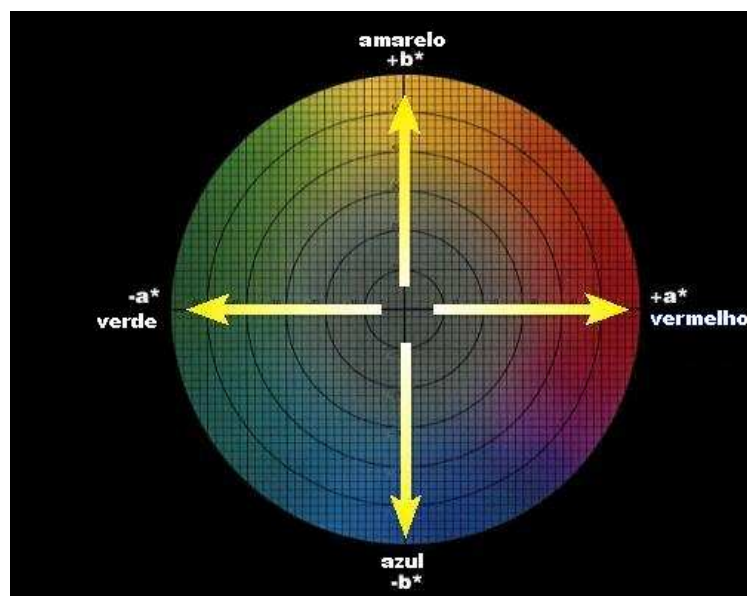


Figura A.6 Diagrama de cromaticidade a^*, b^*



Figura A.7 Representação do sólido de cor para o espaço $L^*a^*b^*$

Os valores de L^* , a^* e b^* são calculados de acordo com as fórmulas abaixo:

A variável luminosidade L^* :

$$L^* = 116 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - 16 \quad (\text{A.1})$$

As coordenadas de cromaticidade a^* e b^* :

$$a^* = 500 \left[\left(\frac{X}{X_n} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad (\text{A.2})$$

$$b^* = 200 \left[\left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Z}{Z_n} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad (\text{A.3})$$

Onde:

X, Y e Z = Valores de tristímulos XYZ (para Padrão de Observador de 2°) ou

X_{10}, Y_{10}, Z_{10} (para Padrão de Observador Suplementar de 10°) de um espécime.

X_n, Y_n e Z_n = Valores de tristímulos XYZ (para Padrão de Observador de 2°) ou

$X_{10}Y_{10}Z_{10}$ (para Padrão de Observador Suplementar de 10°) de um Refletor difuso perfeito.

Se X/X_n , Y/Y_n ou Z/Z_n forem menores que 0,008856, as equações acima são mudadas como segue:

$$\left(\frac{X}{X_n}\right)^{\frac{1}{3}} \text{ passa a ser } 7,787\left(\frac{X}{X_n}\right) + \frac{16}{116} \quad (\text{A.4})$$

$$\left(\frac{Y}{Y_n}\right)^{\frac{1}{3}} \text{ passa a ser } 7,787\left(\frac{Y}{Y_n}\right) + \frac{16}{116} \quad (\text{A.5})$$

$$\left(\frac{Z}{Z_n}\right)^{\frac{1}{3}} \text{ passa a ser } 7,787\left(\frac{Z}{Z_n}\right) + \frac{16}{116} \quad (\text{A.6})$$

Se dois pontos no espaço representando dois estímulos são coincidentes, então a diferença de cores entre os dois estímulos é zero. Conforme aumenta a distância entre os dois pontos no espaço é razoável assumir que a diferença na cor entre dois estímulos é, portanto, a distância Euclidiana DE^* entre os dois pontos no espaço tridimensional.

Esta diferença origina o termo DE que deriva da palavra alemã Empfindung, que significa sensação. Portanto, DE significa literalmente diferença na sensação. O asterisco é algumas vezes usado para denotar a diferença CIELAB. Indica o grau de diferença de cor, mas não a direção. Matematicamente pode ser expressa pela equação abaixo e graficamente pode-se verificar o significado deste termo na figura A.8.

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (\text{A.7})$$

onde:

ΔL^* , Δa^* , Δb^* = diferenças nos valores de L^* , a^* e b^* entre os espécime colorido e a cor desejada.

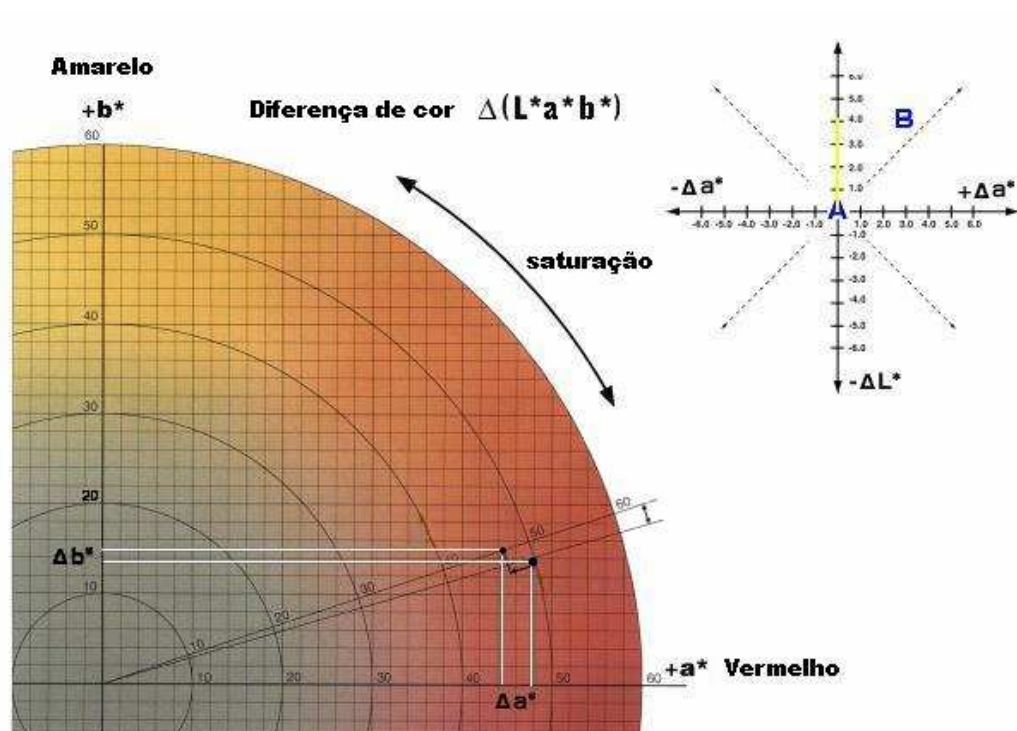


Figura A.8 Representação gráfica da diferença de cor ΔE no espaço