



**INSTITUTO POLITÉCNICO  
DE VIANA DO CASTELO**

Teresa Catarina Rodrigues Simões

## Desenvolvimento de Aluminas Coradas para aplicação em Joalheria

Projecto apresentado à Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Viana do Castelo para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Tecnologia Cerâmica, realizada sob a orientação científica do Doutor João Carlos de Castro Abrantes, Professor Adjunto da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Viana do Castelo, e co-orientação do Doutor Manuel Joaquim Peixoto Ribeiro, Professor Adjunto da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Viana do Castelo.

Fevereiro de 2011

## **Júri**

Presidente: Prof. Doutora Eduarda Maria Gomes Pereira Lima  
Professora Adjunto da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto  
Politécnico de Viana do Castelo

Vogais: Prof. Doutor João Carlos de Castro Abrantes  
Professor Adjunto da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto  
Politécnico de Viana do Castelo

Prof. Doutora Maria Grácia Cordeiro da Costa  
Professora Auxiliar da Escola Superior Gallaécia, Vila Nova de Cerveira

## **Agradecimentos**

Um trabalho como este, que por vezes pode parecer solitário, não seria possível sem a preciosa ajuda de algumas pessoas.

Em primeiro lugar tenho de agradecer ao Prof. João Abrantes toda a disponibilidade, atenção e conhecimentos transmitidos como orientador deste projecto. Seguidamente ao Prof. Manuel Ribeiro toda a ajuda prestada nas mais variadas ideias transmitidas durante o desenvolvimento deste projecto.

Agradecer também à CCT (Colores Ceramicos de Tortosa, S.A) pela Eng. Sandra Furtado pela colaboração e fornecimento de todos os pigmentos estudados.

Um agradecimento sincero aos meus pais por terem apostado e deixado que eu apostasse na minha formação e que foram fundamentais para a minha chegada até aqui. Um carinho então especial para eles.

Deixo também uma palavra de apreço a todos os meus amigos que directamente ou indirectamente me ajudaram a chegar até aqui, nunca deixando de acreditar em mim e sempre apoiando naqueles momentos onde falta o alento e a coragem para prosseguir.

Por fim, um agradecimento especial ao Gil por todo o incentivo, compreensão e paciência que sempre demonstrou em todos os momentos, durante a realização deste projecto.

## **Resumo**

Tendo em conta a crescente procura pela inovação dos produtos estéticos/acessórios por parte dos jovens designers, surgiu interesse em aliar as características da cerâmica, nomeadamente brilho e cor à joalharia feita em todo o mundo.

Este trabalho pretende produzir uma paleta de cores, que funcionará como catálogo de cores disponíveis para os designers incluírem nos seus projectos. Para tal, realizou-se um estudo de cor numa matriz de alumina, corada com vários pigmentos. Testaram-se diferentes teores de vários pigmentos e verificou-se o desenvolvimento da cor após cozedura e após polimento.

A produção de amostras de alumina com as diferentes quantidades de pigmento, processou-se por prensagem a seco numa prensa hidráulica manual. Realizou-se o tratamento térmico da amostra a 1200°C, com posterior polimento. Esta temperatura de sinterização foi seleccionada, após a realização de diversos testes e se ter verificado que muitos dos pigmentos são instáveis para temperaturas superiores. Desta forma conseguiu-se alargar o leque de cores produzidas.

Como complemento ao trabalho, também se realizaram ensaios sobre uma alumina proveniente de resíduos industriais. E efectuou-se o estudo de uma lama de anodização proveniente da LacoViana que após calcinação origina alumina. Os resultados destes ensaios demonstraram pior desempenho do que o verificado com a alumina pura, o que combinado com o facto de a joalharia ser um produto de alto valor acrescentado e se produzir em pequenas quantidades, reduz o interesse deste tipo de reciclagem industrial.

Palavras-chave: alumina, pigmentos, joalharia.

## **Abstract**

Given the increasing demand of young designers for the innovation of aesthetic products and/or accessories, the combination of ceramic characteristics, including brightness and colour, with the jewellery made in the world, becomes a new challenge for new products.

This work intends to do a colour study of the effect of various pigments contents into an alumina matrix and find out the progression of the colour after sintering and also after a polish treatment.

For this, alumina samples with different amounts of pigment were prepared by uniaxial press. The sintering process it was done at 1200°C. This low sintering temperature it was selected after several tests which demonstrates pigment instability for higher temperatures. Thus it was possible to extend the range of colors produced.

Taking into account environmental issues, it was also analysed the possibility of use an anodizing slurry rich in alumina, from Lacoviana company. This slurry, after a calcination process it is almost constituted by alumina. One of the pigments used with the high grade alumina, was also tested with this industrial waste, to allow a comparison between this two different aluminas. The results of these trials showed a worse performance than that observed with pure alumina, which combined with the fact that jewellery is a product of high added value and is produced in small amounts, reduces the attractiveness of this type of industrial recycling.

**Keywords:** alumina, pigments, jewellery.

## Índice

<b>Capítulo 1. Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1 Cor .....	1
1.1.1 Parâmetros da Percepção da Cor .....	3
1.2 Medição de Cor .....	3
1.2.1 Espaços de Cor .....	4
1.2.2 Medidores de Cor .....	7
1.3 Coloração de Cerâmicos Tradicionais (Vidro/Louça).....	8
1.3.1 Corantes .....	9
1.3.2 Pigmentos .....	9
1.3.3 Processo de Coloração.....	11
1.4 Influência da Joalheria na Sociedade.....	13
1.4.1 Cerâmica na Joalheria.....	14
<b>Capítulo 2. Metodologia.....</b>	<b>19</b>
2.1 Preparação da Mistura Alumina/Pigmento.....	19
2.2 Análises Térmicas.....	20
2.3 Preparação e Conformação da Amostra .....	21
2.4 Cozedura.....	21
2.5 Polimento.....	21
2.6 Determinação da Cor .....	21
2.7 Determinação da Densidade e Densidade Relativa .....	22
2.8 Determinação da Percentagem de Retracção Linear .....	22
<b>Capítulo 3. Análise de Resultados.....</b>	<b>23</b>
3.1 Estudo das amostras produzidas com alumina Alcoa CT3000 cozidas a 1500°C <sup>23</sup>	
3.2 Estudo das amostras produzidas com alumina Alcoa CT3000 cozidas a 1200°C <sup>24</sup>	
3.2.1 Pigmento Negro.....	26

3.2.2	Pigmento Azul-turquesa.....	28
3.2.3	Pigmento Amarelo.....	30
3.2.4	Pigmento Cinza .....	33
3.2.5	Pigmento Vermelho.....	35
3.2.6	Pigmento Laranja .....	38
3.2.7	Pigmento Castanho.....	40
3.2.8	Pigmento Azul.....	44
3.3	Normalização do efeito dos pigmentos .....	47
3.4	Estudo das amostras produzidas com a alumina proveniente de lamas de anodização .....	51
3.4.1	Pigmento Azul-turquesa.....	54
<b>Capítulo 4. Conclusões e sugestão para trabalhos futuros.....</b>		<b>61</b>
<b>Bibliografia.....</b>		<b>63</b>
<b>Anexos.....</b>		<b>65</b>

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.1-</b> Espectro de radiação electromagnética, adaptado [3].....	2
<b>Figura 1.2-</b> Esquema representativo do sistema de Munsell, adaptado [12].....	5
<b>Figura 1.3-</b> Representação esquemática das funções RGB e quantidades necessárias para reproduzir as cores do espectro visível [5]. .....	6
<b>Figura 1.4-</b> Esquema representativo do sistema CIELAB, adaptado [13]. .....	7
<b>Figura 1.5-</b> Classificação dos pigmentos em várias classes, adaptado [5,11]. .....	11
<b>Figura 1.6-</b> Vários exemplos de peças de joalheria fabricadas em cerâmica com aplicação de outros materiais (a) e exclusivamente em cerâmica (b) [21,22]. .....	15
<b>Figura 1.7-</b> Colar da linha Ruby fabricado em alumina com aplicações de filigrana [1]...	16
<b>Figura 1.8-</b> Colar da linha <i>Le secret du Lézard</i> fabricada em alumina verde escura e filigrana de prata [19,24]. .....	16
<b>Figura 1.9-</b> Colar da linha <i>Fragmentos</i> fabricada em alumina branca e filigrana de prata em banho de ouro [19,25].....	17
<b>Figura 1.10-</b> Colar da linha <i>Bandô-Braga</i> fabricada em alumina castanha e filigrana [19,26]. .....	17
<b>Figura 3.1-</b> Representação esquemática dos parâmetros $L^*$ $a^*$ e $b^*$ para cada uma das amostras com o pigmento negro na matriz de alumina, antes e depois do polimento (dados em anexo). .....	28
<b>Figura 3.2-</b> Representação esquemática dos parâmetros $L^*$ $a^*$ e $b^*$ para cada uma das amostras com o pigmento azul-turquesa na matriz de alumina, antes e depois do polimento (dados em anexo).....	30
<b>Figura 3.3-</b> Representação esquemática dos parâmetros $L^*$ $a^*$ e $b^*$ para cada uma das amostras com o pigmento amarelo na matriz de alumina, antes e depois do polimento (dados em anexo).....	33
<b>Figura 3.4-</b> Representação esquemática dos parâmetros $L^*$ $a^*$ e $b^*$ para cada uma das amostras com o pigmento cinza na matriz de alumina, antes e depois do polimento (dados em anexo). .....	35
<b>Figura 3.5-</b> Representação esquemática dos parâmetros $L^*$ $a^*$ e $b^*$ para cada uma das amostras com o pigmento vermelho na matriz de alumina, antes e depois do polimento (dados em anexo).....	37



<b>Figura 3.6-</b> Representação esquemática dos parâmetros $L^*$ $a^*$ e $b^*$ para cada uma das amostras com o pigmento laranja na matriz de alumina, antes e depois do polimento (dados em anexo). .....	40
<b>Figura 3.7-</b> Representação esquemática dos parâmetros $L^*$ $a^*$ e $b^*$ para cada uma das amostras com o pigmento castanho na matriz de alumina, antes e depois do polimento (dados em anexo). .....	44
<b>Figura 3.8-</b> Representação esquemática dos parâmetros $L^*$ $a^*$ e $b^*$ para cada uma das amostras com o pigmento azul na matriz de alumina, antes e depois do polimento (dados em anexo). .....	47
<b>Figura 3.9-</b> Representação gráfica do declive e da ordenada na origem da coordenada colorimétrica $L^*$ para uma determinada gama de cada um dos pigmentos estudados. ....	49
<b>Figura 3.10-</b> Representação gráfica do declive e da ordenada na origem da coordenada colorimétrica $a^*$ para uma determinada gama de cada um dos pigmentos estudados. ....	50
<b>Figura 3.11-</b> Representação gráfica do declive e da ordenada na origem da coordenada colorimétrica $b^*$ para uma determinada gama de cada um dos pigmentos estudados. ....	51
<b>Figura 3.12-</b> Análise térmica diferencial e análise termo-gravimétrica da lama de anodização. ....	52
<b>Figura 3.13-</b> Representação esquemática dos parâmetros $L^*$ $a^*$ e $b^*$ para cada uma das amostras de alumina proveniente da lama de anodização com o pigmento azul-turquesa, antes e depois do polimento. ....	57
<b>Figura 3.14-</b> Representação esquemática dos parâmetros $L^*$ $a^*$ e $b^*$ para cada teor de pigmento azul-turquesa na matriz de alumina proveniente da lama de anodização e na matriz de alumina Alcoa CT3000 depois do polimento. ....	59

## Índice de Tabelas

<b>Tabela 1.1-</b> Vários tipos de iluminantes e respectivas características.....	4
<b>Tabela 2.1-</b> Registo dos pigmentos e respectivos teores utilizados na produção das amostras.....	20
<b>Tabela 3.1-</b> Amostras de alumina Alcoa CT3000 coradas com os diferentes pigmentos em estudo.....	25
<b>Tabela 3.2-</b> Resultados obtidos da cor para as diferentes percentagens de pigmento negro na matriz de alumina antes e depois do polimento, as respectivas densidades e densidades relativas e as percentagens de retracção linear.....	27
<b>Tabela 3.3-</b> Resultados obtidos da cor para as diferentes percentagens de pigmento azul-turquesa na matriz de alumina antes e depois do polimento, as respectivas densidades e densidades relativas e as percentagens de retracção linear.....	29
<b>Tabela 3.4-</b> Resultados obtidos da cor para as diferentes percentagens de pigmento amarelo na matriz de alumina antes e depois do polimento, as respectivas densidades e densidade relativa e as percentagens de retracção linear.....	31
<b>Tabela 3.5-</b> Resultados obtidos da cor para as diferentes percentagens de pigmento cinza na matriz de alumina antes e depois do polimento, as respectivas densidades e densidade relativa e as percentagens de retracção linear.....	34
<b>Tabela 3.6-</b> Resultados obtidos da cor para as diferentes percentagens de pigmento vermelho na matriz de alumina antes e depois do polimento, as respectivas densidades e densidades relativas e as percentagens de retracção linear.....	36
<b>Tabela 3.7-</b> Resultados obtidos da cor para as diferentes percentagens de pigmento laranja na matriz de alumina antes e depois do polimento, as respectivas densidades e densidades relativas e as percentagens de retracção linear.....	38
<b>Tabela 3.8-</b> Resultados obtidos da cor para as diferentes percentagens de pigmento castanho na matriz de alumina antes e depois do polimento, as respectivas densidades e densidades relativas e percentagens de retracção linear.....	42
<b>Tabela 3.9-</b> Resultados obtidos da cor para as diferentes percentagens de pigmento azul na matriz de alumina antes e depois do polimento, as respectivas densidades e densidades relativas e as percentagens de retracção linear.....	45
<b>Tabela 3.10-</b> Intervalos de aplicabilidade e resultados da normalização do efeito de cada pigmento. A interpolação será a aplicação de $y = m x + b$ , sendo y o valor da coordenada	

colorimétrica pretendido, m e b, respectivamente, o declive e a ordenada na origem determinadas experimentalmente.....	48
<b>Tabela 3.11-</b> Resultados obtidos na determinação da densidade e densidade relativa das amostras compostas exclusivamente por alumina Alcoa CT3000 e por alumina proveniente da lama de anodização.....	53
<b>Tabela 3.12-</b> Resultados obtidos da medição da cor das amostras compostas exclusivamente por alumina Alcoa CT3000 e por alumina proveniente da lama de anodização.....	54
<b>Tabela 3.13-</b> Resultados obtidos da cor para as diferentes percentagens de pigmento azul-turquesa na matriz de alumina proveniente da lama de anodização antes e depois do polimento, as respectivas densidades e densidades relativas e as percentagens de retracção linear.....	56
<b>Tabela 3.14-</b> Amostras produzidas com alumina Alcoa CT3000 e a alumina proveniente da lama de anodização coradas com o pigmento azul-turquesa depois do polimento. ....	58
<b>Tabela A 1-</b> Resultados obtidos na medição de cor para cada percentagem de pigmento negro na matriz de alumina Alcoa CT3000 antes do polimento.....	65
<b>Tabela A 2-</b> Resultados obtidos na medição de cor para cada percentagem de pigmento negro na matriz de alumina Alcoa CT3000 depois o polimento.....	66
<b>Tabela A 3-</b> Resultados obtidos na medição de cor para cada percentagem de pigmento azul-turquesa na matriz de alumina Alcoa CT3000 antes do polimento.....	67
<b>Tabela A 4-</b> Resultados obtidos na medição de cor para cada percentagem de pigmento azul-turquesa na matriz de alumina Alcoa CT3000 depois do polimento. ....	67
<b>Tabela A 5-</b> Resultados obtidos na medição de cor para cada percentagem de pigmento amarelo na matriz de alumina Alcoa CT3000 antes do polimento. ....	68
<b>Tabela A 6-</b> Resultados obtidos na medição de cor para cada percentagem de pigmento amarelo na matriz de alumina Alcoa CT3000 depois do polimento. ....	69
<b>Tabela A 7-</b> Resultados obtidos na medição de cor para cada percentagem de pigmento cinza na matriz de alumina Alcoa CT3000 antes do polimento.....	70
<b>Tabela A 8-</b> Resultados obtidos na medição de cor para cada percentagem de pigmento cinza na matriz de alumina Alcoa CT3000 depois do polimento. ....	71
<b>Tabela A 9-</b> Resultados obtidos na medição de cor para cada percentagem de pigmento vermelho na matriz de alumina Alcoa CT3000 antes do polimento. ....	72

<b>Tabela A 10-</b> Resultados obtidos na medição de cor para cada percentagem de pigmento vermelho na matriz de alumina Alcoa CT3000 depois do polimento. ....	73
<b>Tabela A 11-</b> Resultados obtidos na medição de cor para cada percentagem de pigmento laranja na matriz de alumina Alcoa CT3000 antes do polimento.....	74
<b>Tabela A 12-</b> Resultados obtidos na medição de cor para cada percentagem de pigmento laranja na matriz de alumina Alcoa CT3000 depois do polimento. ....	75
<b>Tabela A 13-</b> Resultados obtidos na medição de cor para cada percentagem de pigmento castanho na matriz de alumina Alcoa CT3000 antes do polimento. ....	76
<b>Tabela A 14-</b> Resultados obtidos na medição de cor para cada percentagem de pigmento castanho na matriz de alumina Alcoa CT3000 depois do polimento. ....	77
<b>Tabela A 15-</b> Resultados obtidos na medição de cor para cada percentagem de pigmento azul na matriz de alumina Alcoa CT3000 antes do polimento.....	78
<b>Tabela A 16-</b> Resultados obtidos na medição de cor para cada percentagem de pigmento azul na matriz de alumina Alcoa CT3000 depois do polimento. ....	79
<b>Tabela A 17-</b> Resultados obtidos na medição de cor para cada percentagem de pigmento azul-turquesa na matriz de alumina proveniente da lama de anodização antes do polimento. ....	80
<b>Tabela A 18-</b> Resultados obtidos na medição de cor para cada percentagem de pigmento azul-turquesa na matriz de alumina proveniente da lama de anodização depois do polimento.....	81

## ***Capítulo 1. Introdução***

Nos tempos que correm, a criatividade e originalidade são sem dúvida critérios a ter em conta quando se analisa um qualquer produto, nomeadamente quando se refere à joalheria. No âmbito de um projecto de final de curso, alguns alunos do curso de Design do Produto do Instituto Politécnico de Viana do Castelo, desenvolveram peças de joalheria aliando a cerâmica à filigrana tradicional [1].

O presente trabalho teve como principal objectivo criar um conjunto de amostras coradas com diferentes pigmentos cerâmicos, fazendo para isso uma evolução na percentagem de pigmento introduzida na matriz, criando assim uma paleta de cores. Foi também feito um estudo com uma lama de anodização proveniente de uma fábrica de tratamento e lacagens de alumínio, a LacoViana, que depois de calcinada origina alumina, no entanto esta não é pura uma vez que apresenta impurezas na sua composição. A alumina obtida permite assim desenvolver o mesmo estudo de cores e assim verificar se é possível utilizar a esta lama.

### **1.1 Cor**

A cor é uma das características mais influentes quando se pretende avaliar a estética de um determinado objecto. Ela resulta da percepção humana face a estímulos recebidos pela retina, não sendo, por isso, uma característica absoluta de cada objecto. Os estímulos devem-se, fundamentalmente, à distribuição de energia e às propriedades espectrais da luz visível que pode atravessar ou ser reflectida pelo objecto. As sensações visuais são obtidas a determinados comprimentos de onda, de acordo com o espectro visível [2].

Para que o indivíduo consiga ter uma percepção da cor é necessário que exista um observador, uma fonte luminosa e um objecto, sendo fundamental perceber a relação que existe entre estes três factores [2].

A luz não é mais do que uma radiação electromagnética, isto é, possui comportamento eléctrico e magnético, tendo por isso, um espectro electromagnético característico [2]. Como se pode verificar pela Figura 1.1, no espectro electromagnético a radiação é ordenada segundo os comprimentos de onda, sendo que a radiação solar emite radiação desde do ultravioleta até ao infravermelho passando pela região do visível. De referir que a região do visível está compreendida entre os 400 e os 700nm. As radiações

correspondentes a este intervalo de comprimentos de onda representam as cores (vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, anil e violeta por ordem decrescente) perceptíveis pelo ser humano [2].

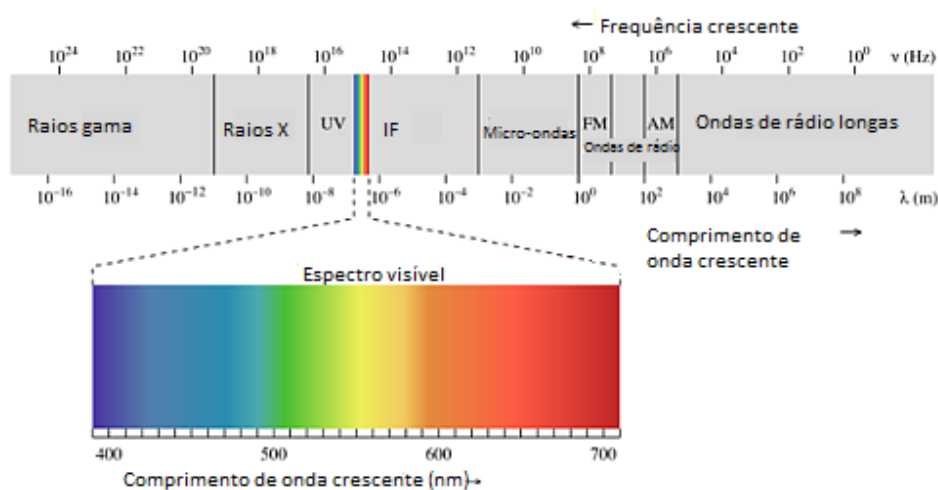


Figura 1.1- Espectro de radiação eletromagnética, adaptado [3].

Assim, pode afirmar-se que a percepção da cor de um objecto por parte do observador varia conforme o espectro da luz incidente, uma vez que as interações entre a luz e o objecto são diferentes originando, conseqüentemente, cores diferentes [2].

Quando uma fonte luminosa incide sobre um objecto podem ocorrer três fenómenos distintos: transmissão, reflexão e absorção. A luz ao interagir com o objecto vai fazer com que este altere as características do espectro incidente, o que conduz a alterações na cor do objecto. Com estas interações é possível concluir acerca do grau de transparência do objecto, que se encontra directamente relacionada com o fenómeno de transmissão. Os fenómenos de absorção e reflexão são fundamentais para a percepção da cor de um objecto, uma vez que esta se deve à capacidade de absorção ou reflexão de determinados comprimentos de onda. Assim, quando a cor observada é o vermelho, isso significa que o objecto reflecte apenas a fracção do comprimento de onda de cor vermelha. Já os objectos que apresentam cor branca têm capacidade de reflectir todos os comprimentos de onda da zona do visível, da mesma forma, um objecto preto absorve todos os comprimentos de onda da região visível do espectro eletromagnético [2].

A recepção de energia luminosa por parte do olho indica que se está perante um objecto colorido, esta energia é proveniente da interacção da luz com o próprio objecto [2].

O olho humano possui três cones receptores, sendo que cada um deles tem mais apetência para as cores verde, vermelho e azul, podendo assim dizer-se que o olho apenas percebe estas três cores, no entanto por combinação delas ele consegue visualizar as restantes [2].

É de salientar que, a percepção da cor não é igual de indivíduo para indivíduo, uma vez que esta está dependente da recepção luminosa e da consequente transmissão dos impulsos nervosos ao cérebro [2].

### **1.1.1 Parâmetros da Percepção da Cor**

Para que se consiga caracterizar visualmente a cor de determinado objecto é necessário ter em conta a luminosidade, a tonalidade e o grau de saturação.

- Luminosidade – está relacionada com a intensidade do espectro, isto é a fracção de radiação que é reflectida comparativamente com a que é absorvida. Esta escala vai desde o branco até ao preto, passando por toda a escala de cinzentos.
- Tonalidade – esta característica permite distinguir as cores, isto é, identifica o comprimento de onda dominante, ou seja o que tem maior reflexão, dando assim origem à cor do objecto.
- Grau de saturação – este parâmetro permite concluir acerca da pureza da cor, podendo-se assim distinguir uma cor intensa (pura) de outra não intensa. A cor é tanto mais saturada quanto maior for a concentração de radiação com comprimento de onda dominante reflectida [2,4,5].

## **1.2 Medição de Cor**

A colorimetria é a ciência que recorrendo a modelos matemáticos quantifica a cor de uma forma numérica com valores específicos e descreve a percepção humana da mesma [6,7]. Como já foi dito, a cor de um objecto é uma característica fundamental e como a sua determinação varia de indivíduo para indivíduo, foi necessário criar sistemas de medição de cor capazes de dar coordenadas exactas de modo a que se consiga comparar cores, tendo por base as características fundamentais, tonalidade, luminosidade e grau de saturação. Estes sistemas são fundamentais, nomeadamente para a indústria, pois assim consegue-se a reprodução exacta de pigmentos que originem a cor pretendida, uma vez que se atribui coordenadas finitas a cada cor [2,5,6].

Os modelos usados para descrever a cor criados pela CIE (*Commission Internationale de l'Éclairage*) não são mais do que modelos matemáticos, que requerem três coordenadas para que se possa localizar uma cor específica no espaço colorimétrico [5].

A cor do objecto varia consoante a fonte luminosa, então a CIE padronizou várias fontes de luz que são designadas por iluminantes [7]. Na Tabela 1.1 encontram-se os vários tipos de iluminantes padronizados pela CIE assim como as suas respectivas características.

**Tabela 1.1-** Vários tipos de iluminantes e respectivas características.

<b>Iluminante</b>	<b>Descrição</b>	<b>Referência</b>
A	É a fonte de luz mais comum, a lâmpada tem um filamento de tungsténio que funciona a uma temperatura de cor de 2856 K, deve ser usado para determinar a cor de objectos que serão iluminados por lâmpadas incandescentes.	[7,8,9]
B	Equivalente a um dia de sol, atingindo temperatura de cor de 4874 K.	[10]
C	A luz produzida é equiparada à luz do dia, não incluindo a zona do ultravioleta, deve ser usado quando se pretende medir a cor de objectos que serão iluminados pela luz do dia (6774 K).	[9,10]
D	São vários iluminantes que representam a luz do dia de diferentes formas e inclui também a região do ultravioleta. O iluminante D <sub>65</sub> tem temperatura de cor de 6504 K, enquanto que o D <sub>50</sub> é cerca de 5000 K, este último é para aplicação mais específica comparativamente com o primeiro.	[7,9,10]
E	Esta fonte de luz emite radiação com a mesma energia para todos os comprimentos de onda do espectro de luz.	[8]
F	Existem cerca de doze iluminantes e emitem radiação equiparada à das lâmpadas fluorescentes.	[8]

### 1.2.1 Espaços de Cor

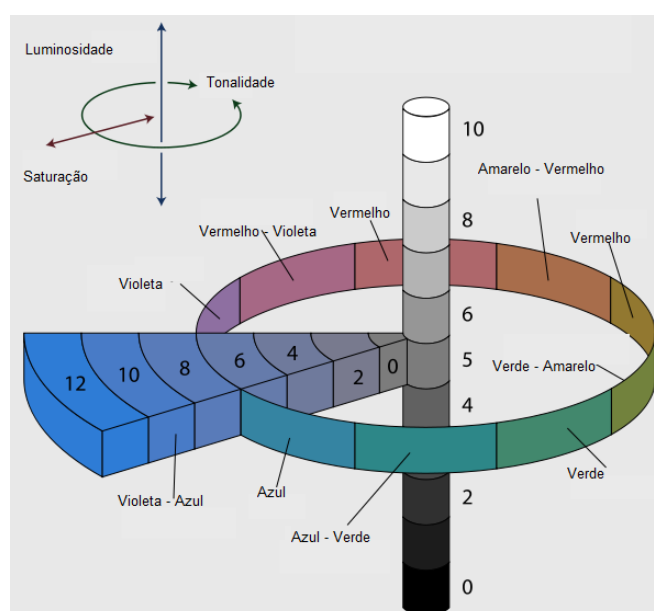
A representação das cores de uma forma numérica facilita a sua comparação e também o tratamento das diferenças entre elas. Para isso foram desenvolvidos sistemas que permitem a medição de cor, que se baseiam na tonalidade, luminosidade e saturação, ou



nas quantidades de verde, vermelho e azul que constituem uma cor, ou quantidades de magenta, ciano e amarelo ou podem ainda ser baseados em sistemas matemáticos que foram definidos pela CIE. A grande vantagem deste tipo de sistemas é a representação de uma cor por um ponto num espaço colorimétrico, recorrendo a coordenadas dimensionais [5,11].

O sistema de Munsell foi dos primeiros a ser criado e baseia-se na percepção da cor pelo observador, tendo em conta os três parâmetros fundamentais (luminosidade, tonalidade e grau de saturação) [5]. Este sistema dispõe as cores de uma forma uniforme que permite criar um arranjo tridimensional de todas as cores num cilindro de três eixos facilitando a determinação da cor. A luminosidade encontra-se disposta ao longo de uma linha vertical, a tonalidade no eixo circular e por fim o grau de saturação aumenta do centro para a periferia, como se verifica pela Figura 1.2 [10].

Este modelo continua a ser usado nos dias de hoje, apesar das limitações que apresenta, nomeadamente o facto do julgamento da cor ser feito pelo observador assim como a dificuldade que existe na comparação das cores dos objectos dada a proximidade das cores. Claro está que este julgamento depende do observador, do tamanho da amostra e da iluminação do objecto [2,5].



**Figura 1.2-** Esquema representativo do sistema de Munsell, adaptado [12].

Para fazer face às limitações dos sistemas, que têm por base a percepção visual a CIE, desenvolveu novos sistemas mais científicos. Em 1930, a CIE criou um sistema

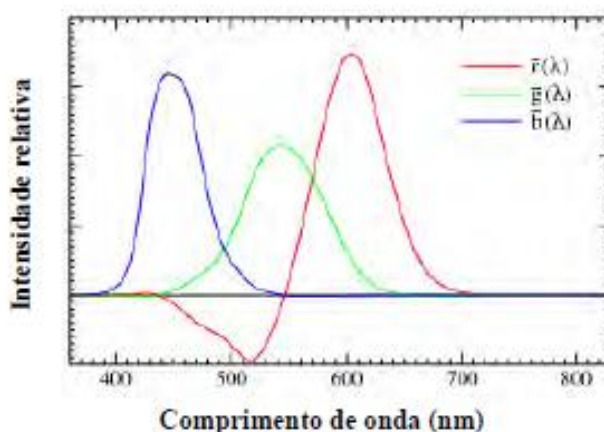
denominado CIE – RGB que foi o pioneiro de todos os sistemas desenvolvidos posteriormente.

Este espaço colorimétrico fundamenta-se na percepção da cor através do olho humano (triestímulos). Estes triestímulos são baseados nos três componentes da visão, uma vez que o olho tem três receptores para as cores primárias, o verde (*g*, green), o vermelho (*r*, red) e azul (*b*, blue) e a mistura de determinadas quantidades destes três componentes dão origem às restantes cores do espectro (Equação 1) [6,9].

$$C(\lambda) = R_r(\lambda) + G_g(\lambda) + B_b(\lambda) \quad (1)$$

onde,  $C(\lambda)$  é a cor que se pretende definir, *r*, *g*, e *b*, são as quantidades necessárias para se obter a cor desejada [5].

Quando os valores de *R*, *G* e *B* são todos iguais a zero o objecto apresenta cor preta, já quando estes valores atingem o máximo, o objecto tem cor branca. No eixo que faz a diagonal do cubo encontra-se a escala dos cinzentos para iguais quantidades de *R*, *G*, e *B* (Figura 1.3) [6].



**Figura 1.3-** Representação esquemática das funções RGB e quantidades necessárias para reproduzir as cores do espectro visível [5].

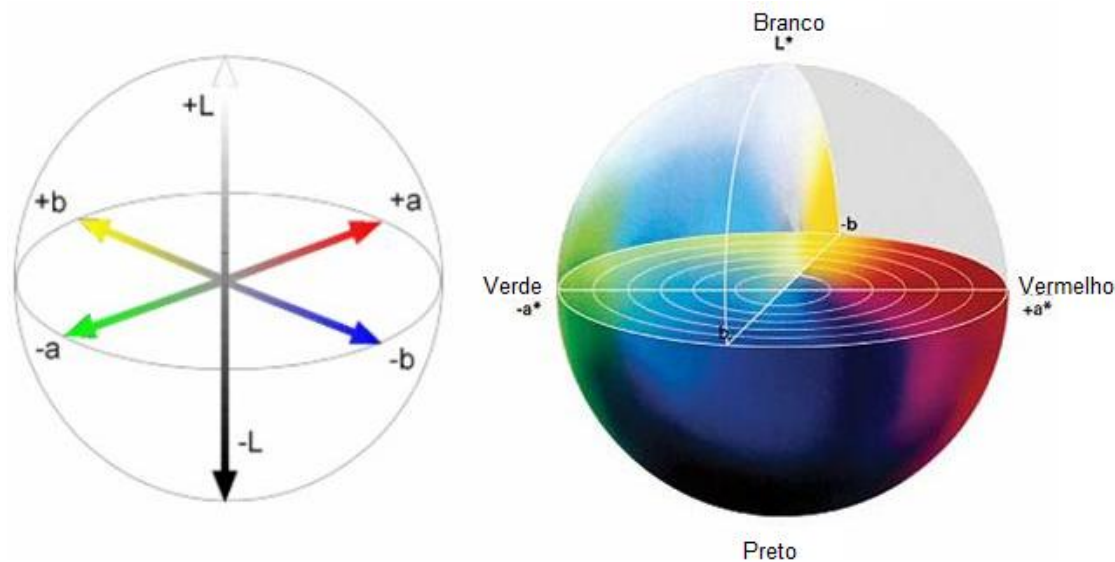
No entanto, este sistema apresenta limitações, nomeadamente o facto de existirem cores que não se conseguem representar por este sistema, assim como não permite uma relação entre a cor representada e a sua aparência real, visto que este sistema não se baseia na percepção visual. Uma outra limitação é o facto de algumas coordenadas não poderem ser usadas noutros sistemas semelhantes, sob pena de a cor não ser igual [6].

Dadas estas limitações, em 1931, a CIE desenvolveu um novo modelo derivativo do interior ao qual chamaram de CIE – XYZ. No entanto, também este sistema tinha limitações pelo que a CIE desenvolveu os sistemas tridimensionais com espaço de cor uniforme denominado de CIELAB e CIELUV, em 1976 [7].

O sistema CIELAB é o mais utilizado para a caracterização de uma cor [7], e por isso foi o sistema utilizado para medir todas as cores que foram produzidas ao longo deste trabalho.

Este sistema baseia-se então nas coordenadas colorimétricas  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  como evidência a Figura 1.4, onde  $L^*$  mostra a luminosidade que se encontra no eixo central, numa escala de 0 (preto) a 100 (branco), e as coordenadas  $a^*$  e  $b^*$  indicam a variação entre o vermelho (positivo) e verde (negativo) e o amarelo (positivo) e azul (negativo), respectivamente [9, 11].

Os eixos  $a^*$  e  $b^*$  interceptam-se na origem no ponto (0,0) onde se localiza o ponto acromático. A tonalidade é descrita pelo eixo perpendicular à direcção do eixo da luminosidade, enquanto que a saturação se mede pela distância a esse mesmo eixo [9, 11].



**Figura 1.4-** Esquema representativo do sistema CIELAB, adaptado [13].

## 1.2.2 Medidores de Cor

Fundamentalmente existem dois sistemas disponíveis que permitem a caracterização da cor de determinado objecto sendo eles o colorímetro e o espectrofotómetro [2].

Os espectrofotómetros não lêem apenas a radiação reflectida de verde, vermelho e azul, uma vez que estes equipamentos permitem a separação da radiação num grande número de intervalos de comprimento de onda, sendo feita a leitura da intensidade de cada um desses intervalos [2].

Estas características permitem que o espectrofotómetro faça um espectro de reflexão da superfície do objecto, sendo por isso uma caracterização mais completa do que a que se consegue com o colorímetro de triestímulos baseado no sistema de RGB [2].

No que diz respeito aos colorímetros estes possuem uns filtros que têm como função filtrar a radiação que é reflectida pelo objecto, quando este é iluminado por uma luz padrão, separando e quantificando as fracções de verde, vermelho e azul. Para que se consiga determinar a cor de um objecto específico através das coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  é necessário ter em conta a intensidade da radiação reflectida e o tipo de sistema de medição escolhido [2,5].

No entanto, é de salientar que os colorímetros têm um baixo custo e são de manuseamento fácil mas a sua principal vantagem é serem mais sensíveis à detecção de pequenas diferenças entre dois objectos com cores semelhantes, sendo por isso algumas vezes preferidos em relação aos espectrofotómetros [5]. Dadas as vantagens do colorímetro foi este o equipamento utilizado para a medição de cores que foi feita ao longo de todo este trabalho.

### **1.3 Coloração de Cerâmicos Tradicionais (Vidro/Louça)**

O uso de vidrados coloridos são sem dúvida a forma mais utilizada para que as peças cerâmicas apresentem cor. Estes apresentam na sua composição os pigmentos que vão conferir a cor.

No entanto um método que tem vindo a ser utilizado é a incorporação directa dos pigmentos na composição da pasta cerâmica. Esta técnica tem vindo a ser desenvolvida no grés porcelanato. E, esta classe de produtos cerâmicos, pode possuir coloração natural, isto é, coloração devida essencialmente à composição da pasta, pois cada matéria-prima tem as suas próprias propriedades que conferem cor (presença de óxidos de ferro e hidróxidos, etc.). No entanto, também podem ser corados por adição de pigmentos.

Não sendo o objectivo do trabalho, é importante ainda salientar que a coloração do produto final, depende ainda da:

- Presença de compostos orgânicos e sulfurados que quando queimam no processo de cozedura produzem uma atmosfera redutora permitindo a redução do  $\text{Fe}^{3+}$  (ou outras espécies aliovalentes) provocando alterações na cor;
- Atmosfera de alguns fornos industriais, com deficiente controlo da razão ar/combustível, que é normalmente difícil de controlar, pode impedir a oxidação total das matérias-primas conduzindo à obtenção de cores cinza inconstantes. O controlo deliberado da atmosfera pode também provocar alterações de coloração de pastas, como é o caso da cozedura de porcelana em atmosfera redutora [14].

### **1.3.1 Corantes**

Os corantes são substâncias solúveis na matriz onde são inseridos, perdendo assim a sua identidade estrutural e cristalina, formando uma solução com a matriz [5,15]. É evidente que formam solução até se atingir o limite de solubilidade, uma vez que a partir daí formam precipitados deixando de se obter a cor pretendida. Têm a capacidade de conferir uma grande diversidade de tonalidades quando adicionados a corpos cerâmicos [16].

### **1.3.2 Pigmentos**

Pigmento significa uma substância que é constituída por partículas de dimensões reduzidas, praticamente insolúveis no meio aplicado, não reagindo química nem fisicamente, com a finalidade de atribuir cor ao material assim como de lhe conferir propriedades magnéticas [5,11]. Os pigmentos têm vastas aplicações nas indústrias de tintas, tecidos, cerâmica, vernizes, plásticos, entre muitas outras [11]. Os pigmentos dão coloração à matriz através da dispersão mecânica no meio que se pretende colorir, formando uma mistura heterogénea [5,11].

Os pigmentos cerâmicos devem apresentar as seguintes propriedades [5,11,15]:

- Estrutura cristalina e estável a elevadas temperaturas, não reagindo com a matriz nem provocando emissões gasosas durante o processo térmico. De referir que à medida que a temperatura aumenta o número de pigmentos

disponíveis no mercado diminuí, uma vez que poucos têm a capacidade de, a altas temperaturas, garantir cor;

- Deve ser insolúvel quando introduzido na matriz, mantendo a sua identidade estrutural durante o processo térmico de modo a conseguir-se uma coloração uniforme;
- O pigmento introduzido não deve alterar as características físicas da matriz, nomeadamente a resistência mecânica, a resistência à abrasão e a resistência aos agentes químicos e atmosféricos.

Existem várias classificações dos pigmentos cerâmicos, nomeadamente a de W. D. J. Evans, a recomendada pela ISO (International Standard Organization), entre outras. Na actualidade a da DCMA (Dry Color Manufactures Association) é a mais utilizada, sendo que todas elas têm por base a cor, a estrutura e natureza química e cristalográfica e ainda as suas aplicações e modo de preparação [5,11,17].

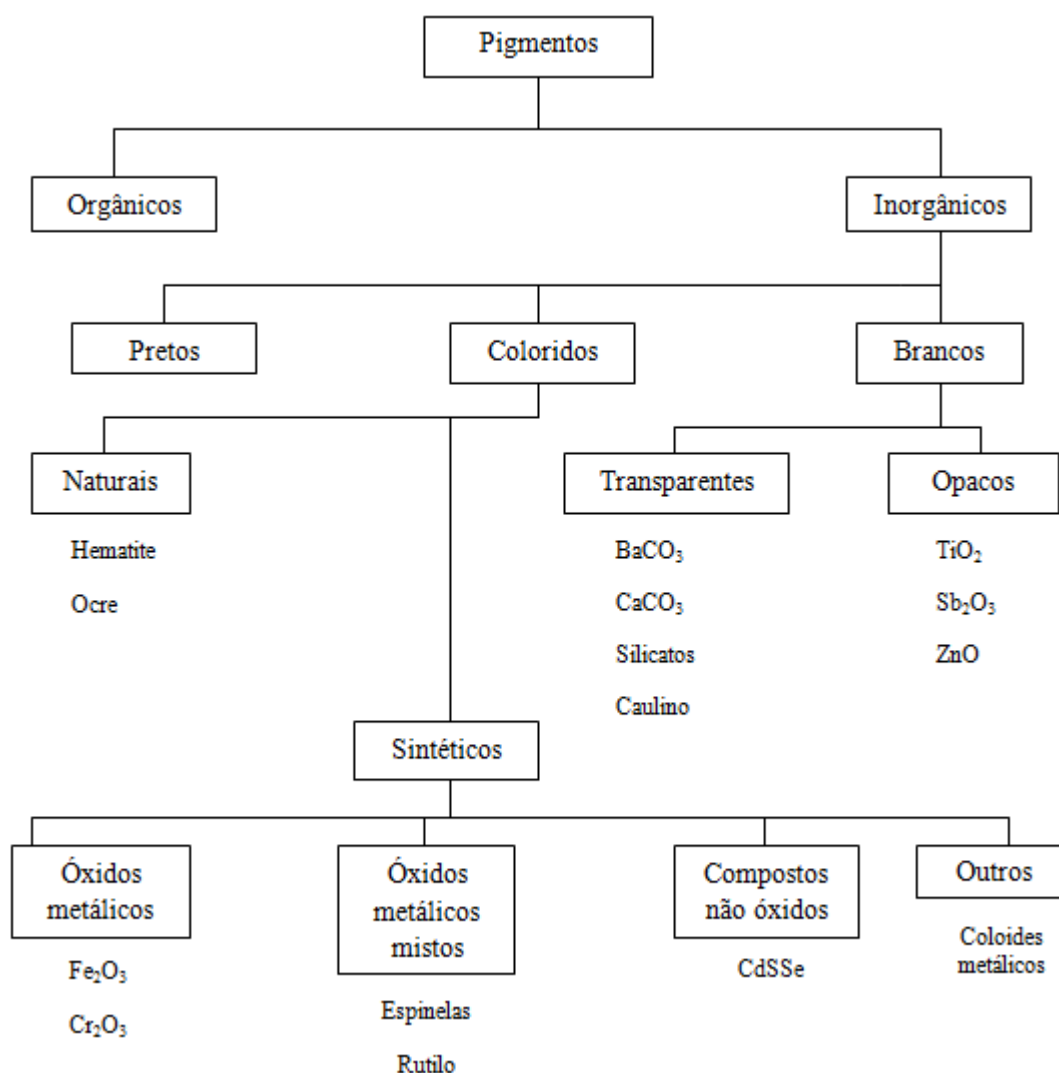
No entanto, o método mais usado divide os pigmentos em dois grandes grupos, os pigmentos orgânicos e os pigmentos inorgânicos [5, 9, 15]. Onde os primeiros se distinguem pela variedade de cores brilhantes, permitindo uma melhor coloração, já os inorgânicos possuem uma maior estabilidade química e térmica, apresentando uma característica fundamental que é ter menos toxicidade que os orgânicos [5,15].

A classe dos pigmentos inorgânicos ainda se divide em duas classes, os pigmentos naturais que facilmente são encontrados na natureza e que por isso são ainda hoje utilizados no meio industrial devido ao seu reduzido custo. No entanto, não é recomendável o seu uso em produções em série pois podem existir variações na sua composição [5, 9, 15].

A outra classe é a dos pigmentos inorgânicos sintéticos que são obtidos por processos termoquímicos, sendo também designados por pigmentos coloridos inorgânicos complexos [5,9].

De referir ainda que os pigmentos inorgânicos sintéticos devem apresentar elevado teor de pureza e uniformidade, permitir o desenvolvimento de cores que não se conseguem com pigmentos naturais, serem química e termicamente mais estáveis que os pigmentos naturais, no entanto apresentam a grande desvantagem de serem mais caros que os pigmentos naturais devido à especificidade do seu processo de produção [15].

Na Figura 1.5 encontra-se um esquema representativo da classificação dos pigmentos.



**Figura 1.5-** Classificação dos pigmentos em várias classes, adaptado [5,11].

### 1.3.3 Processo de Coloração

Para que seja possível observar-se cor num material é necessário que a radiação electromagnética que interage com a superfície seja absorvida em parte ou na sua totalidade, para que essa energia seja transferida aos iões ou átomos que fazem parte da composição do material, conduzindo a uma alteração no espectro que é reflectido, originando a cor. A cor pode então ser o resultado das transições do campo cristalino, das transições das orbitais moleculares (ou transferência de carga) e ainda dos centros de cor (hiato de bandas).

Quando a energia da radiação electromagnética que entra em contacto com o material é igual ou superior à diferença que existe entre os níveis electrónicos conduz a uma absorção de fotões, que origina uma excitação dos electrões e a consequente mudança de nível energético (Equação 2).

$$E_0 - E_1 = \frac{hc}{\lambda} \quad (2)$$

onde,  $E_0$  e  $E_1$  representam a diferenças de energias de radiação do nível 0 e 1,  $h$  é a constante de Planck ( $6,626 \times 10^{-34} \text{J.s}$ )  $c$  a velocidade da luz no vazio ( $299792459 \text{m.s}^{-1}$ ) e  $\lambda$  o comprimento de onda (m).

Os valores da energia dos fotões estão compreendidos entre 1,77eV (700nm) e 3,09eV (400nm) para a zona do visível, querendo isto dizer que para valores superiores a 3,09eV a luz visível não possui energia suficiente para excitar os electrões levando à ausência de cor do material [5].

#### ▪ **Transições das orbitais moleculares (transferência de carga)**

Quando existe uma pequena quantidade de ferro na composição de um material este vai apresentar um tom amarelado, no entanto noutras circunstâncias pode conseguir-se outra coloração. Estas diferenças devem-se a transições nas orbitais moleculares e surge quando o electrão de valência se desloca de um ião para o outro.

#### ▪ **Transições do campo cristalino**

Os metais de transição apresentam uma configuração electrónica das orbitais  $d$  e  $f$  incompletas, isto permite diferentes estados de oxidação, como as diferenças de energia dos níveis electrónicos correspondem a valores de energia da radiação do visível, estas transições electrónicas promovem o aparecimento de cor. [5].

Estes iões vão ligar-se aos aniões (ligandos) gerando assim um campo cristalino levando à divisão das orbitais  $d$  em diferentes níveis com amplitudes energéticas variáveis, sendo esta amplitude de energia influenciada pela natureza do ligando.

A cor obtida sofre influência do metal que está presente devido à sua composição, do seu estado de oxidação, da geometria e consequentemente da posição que ele ocupa e ainda da força do campo cristalino [5].



### ▪ Centros de cor (hiato de bandas)

Outra forma de se conseguir ter cor num material que é composto por cristais incolores, isto é, que apresentam a banda de valência completamente preenchida, é estes apresentarem defeitos, nomeadamente, estruturais como por exemplo impurezas ou buracos electrónicos. Estes defeitos vão permitir obter níveis de energia suplentes e assim permitir as transições, uma vez que possuem energia inferior. Quando os defeitos originam cor denominam-se de centros de cor.

Então, existem vários métodos para se conseguir a coloração do material cerâmico recorrendo ao uso de pigmentos resistentes à temperatura já que as peças são cozidas a elevadas temperaturas.

O método de coloração mais simples é adicionar iões de metais de transição sob a forma de óxidos ou sais, com a mesma função de um corante simples, que durante a cozedura se dissolvem no material dando origem à cor. No entanto não se verifica a opacidade característica das cores conferidas pelos pigmentos, sendo, por isso, usado com frequência para coloração de vidrados, de modo a preservar a transparência.

Pode-se também induzir a precipitação de cristais. A zircónia e o titânio dissolvem-se facilmente na matriz a elevadas temperaturas, no entanto à medida que a temperatura diminui a solubilidade também diminui, ocorrendo precipitação. Usa-se quando se pretende que a matriz fique opaca e apresente cor branca.

Por último, é ainda viável a dispersão de partículas coloidais que ficam em suspensão no meio, uma vez que são insolúveis no mesmo. Consegue-se cor usando vários metais como o ouro, a prata, entre outros, ou por partículas que têm fase cristalina estável. Estas substâncias normalmente têm os mesmos iões cromóforos dos corantes simples, no entanto estão integrados numa estrutura cristalina [5].

## 1.4 Influência da Joalheria na Sociedade

Desde tempos muito antigos que a joalheria é uma arte de grande relevância na sociedade. Na antiguidade a joalheria era usada como forma de classificar e dividir as pessoas pertencentes a uma sociedade, uma vez que as famílias mais ricas possuíam mais riqueza que se fundamentava em jóias. Era também vista como forma de descrever os

hábitos sociais, religiosos, políticos e culturais de um determinado povo, contribuindo assim para a estruturação dos populares quer ao nível da imagem individual, quer também ao nível social. Foi também usada como moeda e até como forma de pagamento do dote de uma mulher aquando do seu casamento.

Na actualidade, as jóias são encaradas como acessórios de moda/estéticos, influenciadas pelas correntes artísticas que estão, normalmente, associadas ao desenvolvimento do vestuário. Maioritariamente utilizadas pelas mulheres, mas também tem sido crescente a procura destes objectos por parte dos homens.

O aumento da procura por novos produtos e que estes sejam cada vez mais modernos e inovadores, conduziu à utilização de materiais tradicionais, como é o caso da filigrana tradicional tão característica de Portugal, no entanto com um toque mais actual. Isto tem sido possível devido às parcerias criadas entre escolas de design e ourives.

Também nesta área o desenvolvimento tecnológico acarretou um aumento da procura e conseqüente evolução na produção de peças de joalheria. Nos tempos que correm a joalheria e ourivesaria já não se cingem apenas ao uso de metais (ouro, prata, bronze, entre outros) para a sua produção, mas têm vindo a ser introduzidos cada vez mais novos materiais na sua composição, nomeadamente cerâmicos. [18, 19, 20].

### **1.4.1 Cerâmica na Joalheria**

A cerâmica e a joalheria em Portugal sempre caminharam de mão dada sofrendo praticamente as mesmas influências artísticas, quer ao nível da moda ou de outro tipo de tendências, sendo por isso património fundamental, uma vez que são parte principal da cultura do nosso país.

Desde tempos muito antigos que a cerâmica está incluída nos materiais a utilizar no fabrico de peças de uso diário, nomeadamente pratos e travessas. No entanto algumas características como a versatilidade do material, a capacidade que possui de ser moldado pelo Homem promovem uma crescente procura deste material para a produção de peças de joalheria e objectos de adorno.

O uso de materiais cerâmicos na produção de peças estéticas/moda pode ser em parceria com outros materiais que o consumidor está habituado, como mostra a Figura 1.6

(a), ou então substituindo esses na íntegra, sendo então a peça composta exclusivamente por material cerâmico como está representada na Figura 1.6 (b).



(a)



(b)

**Figura 1.6-** Vários exemplos de peças de joalharia fabricadas em cerâmica com aplicação de outros materiais (a) e exclusivamente em cerâmica (b) [21,22].

Normalmente são utilizados os cerâmicos de alta tecnologia nomeadamente o óxido de zircónio (zircónia), o carboneto de titânio e o óxido de alumínio (alumina), entre outros. O facto das peças produzidas sofrerem um processo de polimento com pó ou suspensões de diamante permite a obtenção de superfícies brilhantes [20, 21]. Podem também sofrer processos posteriores para melhoramento desta propriedade consoante a aplicação do material. Este acabamento permite melhorar o aspecto estético da peça e assim atrair o consumidor.

São várias as peças que se podem produzir que vão desde anéis passando por pulseiras e colares. A cerâmica apresenta grande vantagem para a produção de objectos de adorno/estéticos, uma vez que estes estão em permanente contacto com a pele e os materiais cerâmicos possuem características anti-alérgicas, elevada resistência ao choque, à abrasão e à descoloração e apresentam elevada durabilidade [20,23].

No âmbito do projecto dos alunos de Design de Produto do Instituto Politécnico de Viana do Castelo (IPVC), foi desenvolvido um trabalho que tinha por base aliar a cerâmica à filigrana tradicional, inspirando-se na azulejaria. Este projecto, designado por Luxtiles, resulta de uma parceria entre o Instituto Politécnico de Viana do Castelo, o Museu do Ouro de Travassos e a Câmara Municipal da Póvoa de Lanhoso.

A produção das peças foi por prensagem unidireccional a seco, de modo a garantir um melhor acabamento do que o obtido por via húmida e ainda porque permitia uma maior

rentabilização para uma eventual produção em série. As amostras eram coloridas por pigmentação directa, isto é incorporação directa do pigmento na matriz, uma vez que permitia uma maior uniformização da cor, levando por isso a uma homogeneização da cor quer na parte interior quer na exterior da amostra. No que diz respeito às cores que foram utilizadas, deveu-se essencialmente à escolha realizada por parte dos designers.

Nas Figuras 1.7, 1.8, 1.9, 1.10 encontram-se alguns exemplos das peças produzidas pelos jovens designers e que potenciou o desenvolvimento deste trabalho.



**Figura 1.7-** Colar da linha Ruby fabricado em alumina com aplicações de filigrana [1].



**Figura 1.8-** Colar da linha *Le secret du Léopard* fabricada em alumina verde escura e filigrana de prata [19,24].



**Figura 1.9-** Colar da linha *Fragmentos* fabricada em alumina branca e filigrana de prata em banho de ouro [19,25].



**Figura 1.10-** Colar da linha *Bandô-Braga* fabricada em alumina castanha e filigrana [19,26].



## **Capítulo 2. Metodologia**

A metodologia do trabalho desenvolvido baseou-se na caracterização de amostras constituídas por uma matriz de alumina Alcoa CT3000 (e também de alumina proveniente de lamas de anodização). A essas matrizes foram adicionados diferentes pigmentos através de um processo de moagem e homogeneização, para posterior prensagem para obtenção das amostras. A sinterização processou-se a 1200°C, onde o corpo cerâmico adquiriu as suas características finais. De modo a permitir algum brilho foi também realizado o polimento da superfície de cada uma das amostras e no final procedeu-se à determinação da cor com um colorímetro.

Para se obter mais informações sobre o comportamento e transformações que ocorrem na lama de anodização quando sujeita a temperaturas elevadas, realizaram-se análises térmicas, nomeadamente (ATG e ATD).

### **2.1 Preparação da Mistura Alumina/Pigmento**

Para a preparação da mistura usou-se sempre uma base de 100g, aumentando, ao longo dos ensaios, a quantidade de pigmento, de modo a obter as percentagens pretendidas. Na Tabela 2.1 encontram-se registados todos os pigmentos que deram origem às cores estudadas assim como o intervalo de percentagens que foram usados. Os pigmentos que foram utilizados eram todos da empresa CCT (Colores Ceramicos de Tortosa, S.A.), de salientar, que não existe conhecimento da composição de cada um dos pigmentos consequência do sigilo industrial, o que dificulta a tentativa de interpretação do efeito da sua adição no corpo cerâmico.

A mistura foi depois moída a seco durante 30 minutos num moinho de bolas de modo a conseguir-se uma homogeneização completa, estando assim pronta para a fase de conformação da amostra.

A alumina proveniente da lama de anodização, foi obtida por calcinação da respectiva lama. Essa calcinação foi feita a 1200°C, por ser esta a temperatura que garante a decomposição total dos seus constituintes e originando alumina. Depois de obtida a alumina, todo o processo para a produção das amostras foi homólogo ao realizado com a alumina Alcoa CT3000.

**Tabela 2.1-** Registo dos pigmentos e respectivos teores utilizados na produção das amostras.

<b>Material de Base</b>	<b>Designação do Pigmento</b>	<b>Referência do fabricante</b>	<b>Teores utilizados %</b>
Alumina Alcoa CT3000	Negro	AL 84016	5-35
	Azul-turquesa	AL 3416	10-30
	Amarelo	AL 5406	20-55
	Vermelho	AL 2401	35-60
	Cinza	AL 84005	10-40
	Laranja	AL 64016	10-50
	Castanho	AL 4409	5-50
	Azul	AL 3430	10-55
Alumina (Lama)	Azul-turquesa	AL 3416	10-45

## 2.2 Análises Térmicas

De modo a conhecer melhor o comportamento da lama de anodização e as transformações que sofre quando sujeita a um tratamento térmico, fizeram-se análises térmicas, nomeadamente análise termogravimétrica (ATG) e uma análise térmica diferencial (ATD). Estas análises foram realizadas simultaneamente (STA) no equipamento Netzsch STA 409 EP.

A ATG permite determinar as perdas de peso que ocorrem na amostra durante o tratamento térmico e teve uma taxa de aquecimento de 10°C/min, até à temperatura máxima de 1250°C. Como padrão para a ATD utilizou-se alumina calcinada e os cadinhos usados também foram de alumina.

Através da análise térmica diferencial é possível saber-se que tipo de reacções ocorrem durante o processo de cozedura, nomeadamente, as reacções endotérmicas e exotérmicas e assim perceber onde existe absorção ou libertação de calor. De referir ainda que o equipamento assim como as condições de operação foram iguais às utilizadas para a análise anterior.



### **2.3 Preparação e Conformação da Amostra**

Depois de moída e homogeneizada, procedeu-se à preparação da amostra por prensagem unidireccional a seco numa prensa hidráulica manual. Pesou-se 5g da mistura e prensou-se num molde de aço de 2,5cm de diâmetro com uma pressão de 100MPa, de referir que foram prensadas duas amostras de cada ensaio. Concluído este processo as amostras são submetidas ao processo de cozedura.

### **2.4 Cozedura**

O processo de cozedura das amostras foi realizado num forno eléctrico (Termolab, Fornos Eléctricos) a uma temperatura de 1200°C, com uma taxa de aquecimento de 4°C/min até 1200°C, onde permaneceram em patamar durante de 4h.

### **2.5 Polimento**

Esta etapa tem como objectivo conseguir dar à superfície da amostra algum brilho e suavidade, para isso recorre-se a lixas e panos de polimento com suspensões de diamante. Nesta etapa de produção das amostras utilizaram-se duas lixas, uma com granulometria de 120mesh que servia para fazer o primeiro desbaste, eliminando assim pequenas rebarbas que poderiam surgir devido ao processo de conformação usado. Numa segunda fase a amostra passava por uma lixa de 500mesh, que como era mais fina já permitia melhorar a aparência da amostra e assim permitir maior suavidade ao toque. Por fim, e para se obter brilho, o polimento era realizado com panos e usando uma suspensão de diamante com partículas de 3µm de diâmetro. O uso de panos de polimento permite um acabamento melhorado e um aspecto mais atraente assim como uma sensação ao toque mais suave, uma vez que toda a superfície da amostra é rectificada.

### **2.6 Determinação da Cor**

Ao longo de todo o trabalho foram efectuadas duas medições de cor das superfícies de cada uma das amostras, a primeira antes do polimento e outra após esse processo. Esta medição servia para que se avaliasse a evolução da cor, através da medida dos parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , com o teor de pigmento utilizado, assim como o efeito do polimento. Estas medições foram feitas num colorímetro Color Reader CR-10 Minolta.

As cores que constam nas diferentes tabelas de cada um dos pigmentos foram obtidas por transformação das coordenadas colorimétricas  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  obtidas na leitura com o colorímetro em coordenadas colorimétricas RGB, uma vez que é neste sistema que funcionam os editores de cor dos programas de computador. O método utilizado encontra-se descrito na referência 27. De salientar que as cores visualizadas no monitor ou em papel impresso, podem não corresponder à cor real, porque a calibração do próprio monitor e impressora, podem condicionar a cor obtida. Este problema de reprodução de cores reais, também existe na visualização e impressão de fotografias de originais.

## **2.7 Determinação da Densidade e Densidade Relativa**

Para a determinação das densidades relativas ( $d_r$ ) de cada uma das amostras, recorreu-se à determinação da massa específica das amostras ( $\rho$ ) e comparou-se com a massa específica teórica da alumina ( $\rho_{Al_2O_3} = 3.98 \text{ g/cm}^3$ ) [28] (Equação 3). Como as amostras possuem uma forma cilíndrica, a determinação da massa específica foi efectuada geometricamente, ou seja, determinou-se o peso ( $m$ ) de cada uma das amostras e o seu volume ( $V$ ) por medição do diâmetro e da altura, Equação (4).

$$d_r = \frac{\rho}{\rho_{Al_2O_3}} \times 100 \quad (3)$$

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (4)$$

## **2.8 Determinação da Percentagem de Retracção Linear**

A determinação da percentagem de retracção linear tem por base a retracção que a amostra sofre durante o processo de cozedura. Foi então calculada segundo a Equação (5).

$$\% \text{ Retracção Linear} = \frac{(\text{diâmetro verde} - \text{diâmetro cozido})}{\text{diâmetro verde}} \times 100 \quad (5)$$

### **Capítulo 3. Análise de Resultados**

Neste capítulo serão discutidos todos os resultados obtidos referentes a cada uma das composições analisadas, nomeadamente a coloração alcançada e a evolução desta com o aumento da percentagem do pigmento. De referir que as percentagens de pigmento utilizadas foram diferentes de acordo com cada um dos pigmentos. Esta opção foi forçada já que nem todos os pigmentos têm a mesma influência de coloração sobre a matriz, sendo que para alguns, como é o caso do vermelho, foi necessário elevar bastante as percentagens utilizadas, porque para valores mais baixos não se notavam quaisquer alterações na coloração da matriz. Serão também examinadas as diferenças encontradas na coloração da amostra antes e após o polimento. Será objecto de discussão o facto da temperatura de cozedura utilizada para todas as amostras ser de 1200°C.

Neste capítulo incluir-se-ão, também os resultados respeitantes ao estudo da cor desenvolvida sobre a alumina proveniente da lama de anodização.

A influência da adição de pigmentos na sinterabilidade da alumina, foi avaliada através da densidade relativa e percentagem de retracção linear de cada uma das amostras. Esta propriedade é bastante importante, porque em fase de projecto, nomeadamente de jóias, a questão dimensional assume uma grande relevância.

#### **3.1 Estudo das amostras produzidas com alumina Alcoa CT3000 cozidas a 1500°C**

Como já é do conhecimento geral, a cor desenvolvida pelos pigmentos não resiste a cozeduras a altas temperaturas, tal facto é comprovado pelo leque restrito de cores que são usadas na decoração de alto fogo da porcelana, uma vez que este material tem temperaturas de cozedura na ordem dos 1300°C-1400°C.

Também neste estudo foi possível comprovar isso, uma vez que inicialmente se começou por fazer o estudo da cor a 1500°C, no entanto a paleta de cores obtida com os pigmentos existentes era bastante restrita, devido à dissolução ou até mesmo eventual volatilização dos componentes do pigmento. Com isto, foi necessário arranjar soluções de modo a que as características finais pretendidas não fossem influenciadas (aspecto, tacto e brilho).

Fez-se, então, um estudo cozendo as amostras a uma temperatura de 1200°C, onde se verificou que as diferenças existentes nas amostras finais não eram significativas. A sensação provocada pelo tacto e o aspecto geral das amostras em pouco diferem das amostras produzidas a 1500°C. O aspecto que aparentemente é mais influenciado por este decréscimo da temperatura de sinterização é o brilho, uma vez que, como a densidade destas amostras é inferior, não se consegue tanto brilho. A grande vantagem da diminuição da temperatura de cozedura é conseguir-se uma maior quantidade de cores, sendo por isso 1200°C a temperatura escolhida para a realização de todo este trabalho.

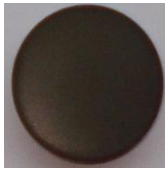





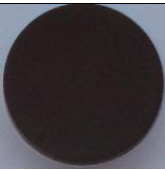

### **3.2 Estudo das amostras produzidas com alumina Alcoa CT3000 cozidas a 1200°C**

De modo a conseguir-se uma vista geral dos resultados obtidos ao longo deste trabalho foram tiradas fotografias às amostras de alumina Alcoa CT3000 coradas com os diferentes pigmentos, que se encontram na Tabela 3.1.

De referir que as fotografias foram tiradas às amostras com maior percentagem de pigmento de modo a garantir-se uma reprodução mais ou menos fiel da cor obtida. No entanto, é de extrema importância referir que podem existir alguns desvios da cor reproduzida no papel e a cor que realmente a amostra possui, uma vez que as características dos equipamentos utilizados podem diferir e assim conduzir a ligeiras oscilações.

No entanto, a análise a cada um dos pigmentos e a influência que eles têm na coloração da amostra serão discutidas posteriormente.

**Tabela 3.1-** Amostras de alumina Alcoa CT3000 coradas com os diferentes pigmentos em estudo.















<b>Pigmento</b>	<b>Fracção Ponderal (%)</b>	<b>Foto</b>
<b>Negro</b>	35	
<b>Azul-turquesa</b>	30	
<b>Amarelo</b>	55	
<b>Cinza</b>	40	
<b>Vermelho</b>	60	
<b>Laranja</b>	50	
<b>Castanho</b>	50	
<b>Azul</b>	55	

### **3.2.1 Pigmento Negro**

Na Tabela 3.2 encontram-se registadas todas as cores obtidas com as diferentes percentagens (5-35%) do pigmento negro antes e após o polimento da superfície da amostra, assim como a densidade absoluta e relativa das mesmas e respectivas percentagens de retracção linear. Verifica-se que à medida que o teor de pigmento aumenta na composição da amostra a cor vai tornando-se mais escura. De referir ainda que existe uma mudança significativa na superfície da amostra antes e depois do seu polimento, ou seja, a amostra ficou mais escura após polimento.

Verificou-se que a densidade das amostras, de uma forma geral, aumenta com a crescente quantidade de pigmento na composição da mistura. Isto corresponde a uma diminuição na porosidade da amostra, reflexo de uma maior compactação das partículas. De referir ainda que as amostras que possuem maior percentagem de pigmento na sua composição apresentam um maior brilho na superfície, no entanto esta diferença no brilho não é notada em demasia. Constata-se também que as amostras obtidas com o referido pigmento são das mais brilhantes. Relativamente à percentagem de retracção linear é de esperar que esta esteja relacionada com a densidade das amostras, uma vez que quanto maior a densidade maior será a retracção. Esta previsão constatou-se, ou seja, a percentagem de retracção de linear, tal como a densidade, aumenta com o aumento do teor de pigmento na matriz de alumina.

**Tabela 3.2-** Resultados obtidos da cor para as diferentes percentagens de pigmento negro na matriz de alumina antes e depois do polimento, as respectivas densidades e densidades relativas e as percentagens de retracção linear.

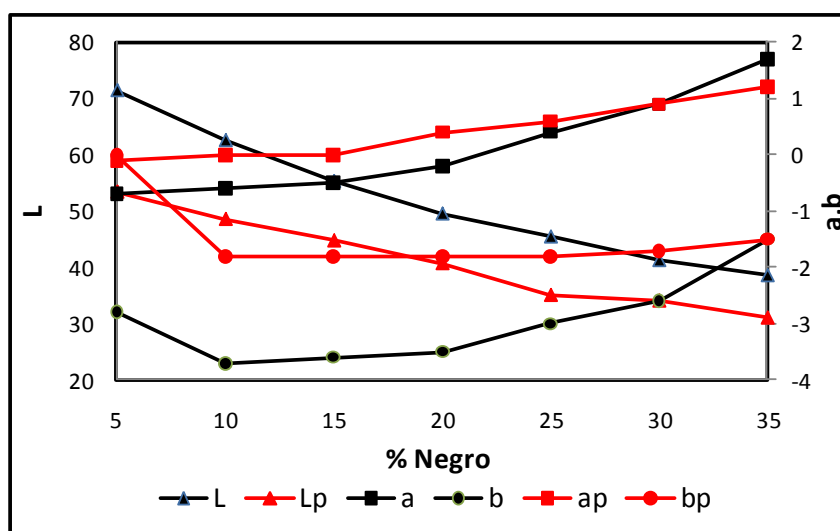
Pigmento	%	Antes do polimento	Depois do polimento	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Densidade relativa (%)	Retracção Linear (%)
Negro	5			2,67	67,13	4,08
	10			2,67	67,00	5,72
	15			2,77	69,64	6,92
	20			2,72	68,34	7,72
	25			2,82	70,87	8,36
	30			2,96	74,38	8,60
	35			2,97	74,72	9,28

A Figura 3.1 evidencia a evolução das coordenadas colorimétricas com o aumento do pigmento negro na composição da amostra, bem como as diferenças na cor ocorridas depois do polimento de cada uma das amostras. Verifica-se então que o parâmetro L\* diminui com o aumento do teor de pigmento, uma vez que a cor fica mais escura enquanto que o a\* e b\* aumentam, conduzindo assim a um aumento das componentes vermelha e amarela.

Após o polimento, a medição da cor revela que o parâmetro L\* diminuiu, o que confirma o observado visualmente, ou seja, o polimento escurece a superfície da amostra. No que se refere ao parâmetro a\* este aumenta de forma equilibrada nas amostras polidas, no entanto regista-se uma diminuição para a amostra com 35% de pigmento na sua composição. Quanto ao b\* a evolução ao longo das diferentes percentagens tem um

decréscimo nos 10% de pigmento, seguido de um aumento, tomando valores cada vez mais maiores, o que conduz a uma diminuição da componente azul da cor. O polimento aumenta o valor deste parâmetro, tendo a curva um comportamento semelhante aquela que foi construída para as amostras antes do polimento, tendendo para uma sobreposição das curvas, uma vez que para a percentagem de 35% de pigmento os valores do parâmetro  $b^*$  são coincidentes.

Este pigmento permite um desenvolvimento da cor pouco significativo, uma vez que, visualmente, não se detectam variações significativas a partir da amostra com 15% de pigmento na matriz de alumina. Como forma de comparação, uma peça completamente negra teria um  $L^* a^* b^*$  de 0,0,0 respectivamente, o que permite concluir que as amostras produzidas são negras mas não completamente (acromáticas).





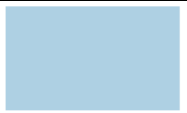
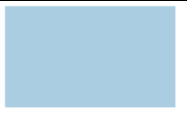






**Figura 3.1-** Representação esquemática dos parâmetros  $L^*$   $a^*$  e  $b^*$  para cada uma das amostras com o pigmento negro na matriz de alumina, antes e depois do polimento (dados em anexo).

### 3.2.2 Pigmento Azul-turquesa

As cores das amostras produzidas com percentagens entre os 10 e os 30% de pigmento azul-turquesa antes e depois do tratamento de polimento, bem como a densidade e a densidade relativa e ainda as percentagens de retracção linear de cada uma das amostras encontram-se evidenciadas na Tabela 3.3.



**Tabela 3.3-** Resultados obtidos da cor para as diferentes percentagens de pigmento azul-turquesa na matriz de alumina antes e depois do polimento, as respectivas densidades e densidades relativas e as percentagens de retracção linear.

Pigmento	%	Antes do polimento	Depois do polimento	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Densidade relativa (%)	Retracção Linear (%)
Azul-turquesa	10			2,52	63,41	3,52
	15			2,50	62,85	3,44
	20			2,56	64,36	3,64
	25			2,62	65,83	4,08
	30			2,62	65,75	4,76

Como se pode visualizar as cores das amostras obtidas com o pigmento azul-turquesa não são muito diferentes à medida que se aumenta a quantidade deste pigmento na composição das amostras assim como não são notadas significativas diferenças depois do polimento.

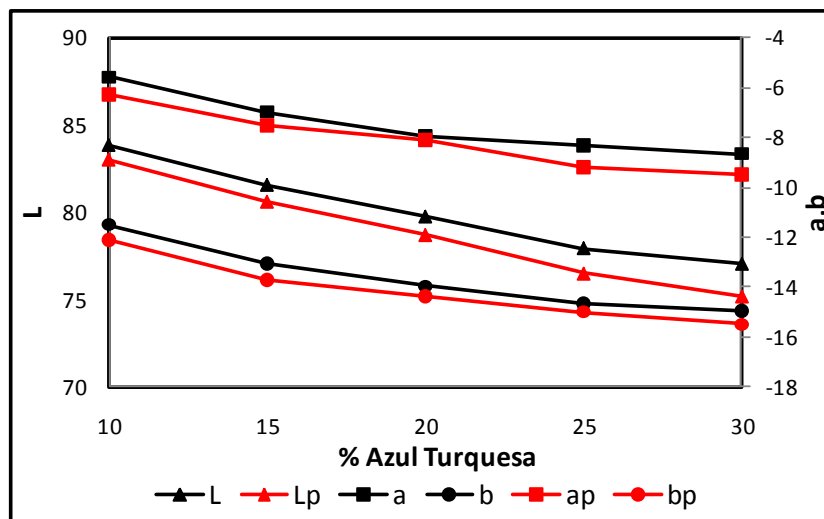
Depois de concluído todo o processo de produção das amostras procedeu-se à determinação da densidade de cada uma delas. Pela análise dos resultados verifica-se que as amostras densificam de forma equiparável, uma vez que não existem diferenças muito significativas entre elas, embora se note que a densidade da amostra aumentou ligeiramente com o teor de pigmento, sendo possível dizer-se que o aumento da quantidade de pigmento ajudou na densificação da amostra. Pode observar-se, também, que o aumento da densificação das amostras traduz-se num aumento da percentagem de retracção linear de cada uma das amostras estudadas.

Como se pode ver na Figura 3.2, todas as coordenadas colorimétricas diminuem o seu valor, de modo pouco significativo, com o aumento da quantidade de pigmento na composição das amostras. Ou seja, a diminuição do parâmetro L\* conduz a uma perda da

luminosidade da superfície e conseqüente escurecimento da cor. Quanto aos parâmetros  $a^*$  e  $b^*$  evidenciam uma maior contribuição das componentes verde e azul da cor, respectivamente, com o aumento do teor de pigmento. O resultado obtido referente ao parâmetro  $b^*$  era esperado já que quanto menor for o seu valor maior será a contribuição da componente azul.

O polimento das diferentes amostras não trouxe grandes alterações aos parâmetros de cor. No entanto, verifica-se uma pequena diminuição das coordenadas colorimétricas  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  após o polimento.

É possível dizer-se que este pigmento pouco desenvolve a cor, tal facto pode ser analisado pela visualização das cores obtidas, que em pouco se alteram à medida que se vai aumentando a quantidade de pigmento.









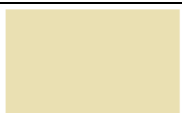

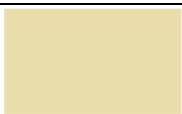

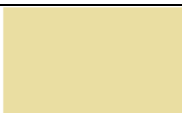





**Figura 3.2-** Representação esquemática dos parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  para cada uma das amostras com o pigmento azul-turquesa na matriz de alumina, antes e depois do polimento (dados em anexo).

### 3.2.3 Pigmento Amarelo

Na Tabela 3.4 encontram-se evidenciadas as densidades de todas as amostras produzidas assim como as densidades relativas e as percentagens de retracção linear, e ainda todas as cores conseguidas antes e depois do polimento para as diferentes percentagens do pigmento amarelo, que variaram entre os 20 e os 55%.

**Tabela 3.4-** Resultados obtidos da cor para as diferentes percentagens de pigmento amarelo na matriz de alumina antes e depois do polimento, as respectivas densidades e densidade relativa e as percentagens de retracção linear.

Pigmento	%	Antes do polimento	Depois do polimento	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Densidade relativa (%)	Retracção Linear (%)
Amarelo	20			2,49	62,53	2,80
	25			2,59	65,06	3,24
	30			2,62	65,89	3,84
	35			2,49	62,44	5,04
	40			2,69	67,66	3,24
	45			2,76	69,46	3,52
	50			2,82	70,91	4,28
	55			2,63	66,17	4,00

Há a salientar diferença nas cores obtidas à medida que se aumenta a quantidade de pigmento de amarelo na amostra, já que estas vão ficando mais amarelas e ainda o efeito que o polimento tem sobre a cor de cada uma das amostras, uma vez que após este tratamento as amostras tornaram-se mais amarelas, logo é de esperar variações dos parâmetros colorimétricos com o polimento.

Mais uma vez foi efectuado o estudo das densidades das amostras produzidas, verificando-se que existe uma tendência para o aumento da densidade com o aumento da

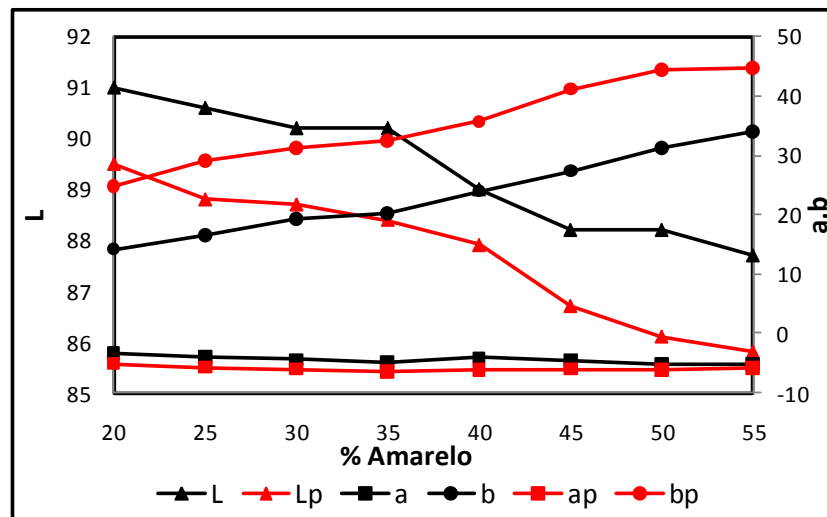
percentagem pigmento, tendo este, mais uma vez, uma acção fundente, que se traduz também nas variações existentes nas percentagens de retracção linear.

No que diz respeito ao brilho obtido após o polimento de cada uma destas amostras, novamente, não se consegue encontrar uma relação linear com a densidade da amostra, no entanto, é de notar que as amostras com maior percentagem de pigmento são mais brilhantes do que as que têm menor quantidade de pigmento na sua composição, no entanto não foi conseguido um brilho elevado na superfície das amostras, provavelmente, pela baixa densificação das amostras sinterizadas a 1200°C.

Tal como se pode verificar pela análise da Figura 3.3, o parâmetro  $L^*$  diminui de forma regular com a crescente a quantidade de pigmento na matriz, o que significa que à medida que a amostra se torna mais amarela perde luminosidade ficando cada vez mais escura. O polimento das amostras conduz a alterações neste parâmetro já que o faz diminuir, isto é o polimento permitiu a redução da luminosidade da amostra. De referir que o decréscimo deste parâmetro em função do teor de pigmento apresenta uma forma equiparada comparativamente com o das amostras não polidas.

Quanto ao parâmetro  $a^*$ , este não sofreu alterações com a adição de pigmento nas amostras, isto é, o pigmento amarelo não tem praticamente influência sobre esta coordenada. O mesmo se verificou para as amostras não polidas.

A evolução da coordenada colorimétrica  $b^*$  dá-se no sentido crescente à medida que se aumenta a quantidade de pigmento na amostra, isto é, a quantidade da componente amarela da cor vai aumentando. Este facto era esperado, uma vez que é esta coordenada que mede a escala do amarelo, logo quanto maior o valor de  $b^*$  maior será a quantidade desta componente de cor. Com o polimento ocorreram desvios nos valores deste parâmetro, uma vez que a curva das amostras polidas se encontra abaixo da curva das amostras não polidas, no entanto a evolução das duas curvas é semelhante.



**Figura 3.3-** Representação esquemática dos parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  para cada uma das amostras com o pigmento amarelo na matriz de alumina, antes e depois do polimento (dados em anexo).

### 3.2.4 Pigmento Cinza

Foi efectuado o mesmo estudo para o pigmento cinza e as cores obtidas antes e depois do polimento assim como as densidades de cada uma das amostras bem como as densidades relativas e as percentagens de retracção linear encontram-se na Tabela 3.5. O estudo do pigmento cinza foi realizado para um intervalo de percentagens dos 10 aos 40%.















Como se pode verificar existem algumas diferenças nas cores obtidas com a crescente quantidade de pigmento na matriz, pois a cor obtida vai ficando cada vez mais escura. Quanto ao polimento também são notadas algumas diferenças, já que este processo conduz a um escurecimento ligeiro da cor.

Também foi feito um estudo das densidades das amostras e ao contrário do verificado para os outros pigmentos, a adição deste pigmento só promove um aumento da densificação para pequenos teores, decrescendo para os elevados teores. Este máximo na densificação em função do teor de pigmento, também foi observado na retracção linear. Como se desconhece a composição dos pigmentos, é difícil especular sobre eventuais razões para este comportamento.

Por análise visual de cada uma das amostras é novamente difícil estabelecer uma relação entre a densidade e o brilho obtido após o processo de polimento. Mais uma vez se constata a opacidade das amostras. Logo o processo de polimento nestas amostras apenas

contribuiu para conferir suavidade à superfície da amostra, tornando-as mais agradáveis ao tacto.

**Tabela 3.5-** Resultados obtidos da cor para as diferentes percentagens de pigmento cinza na matriz de alumina antes e depois do polimento, as respectivas densidades e densidade relativa e as percentagens de retracção linear.

<b>Pigmento</b>	<b>%</b>	<b>Antes do polimento</b>	<b>Depois do polimento</b>	<b>Densidade (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidade relativa (%)</b>	<b>Retracção Linear (%)</b>
<b>Cinza</b>	10			2,58	64,89	5,32
	15			2,64	66,22	6,08
	20			2,57	64,54	6,84
	25			2,51	63,17	6,92
	30			2,53	63,65	6,88
	35			2,35	59,12	5,40
	40			2,23	55,93	5,32

Através da análise da Figura 3.4 pode avaliar-se a influência do teor de pigmento nas amostras produzidas e do polimento sobre a coloração existente na superfície da amostra.

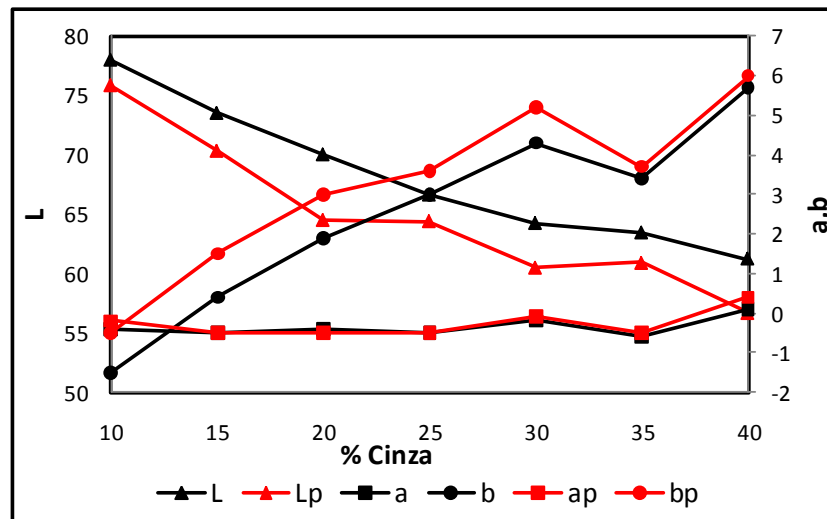
O parâmetro mais equilibrado é o a\*, que praticamente não sofre alterações com a adição de pigmento, nem com o polimento, mantendo um comportamento praticamente constante.

A evolução do parâmetro b\* é no sentido de um maior valor, isto é de uma maior contribuição da componente amarela da cor, à medida que se aumenta o teor de pigmento.

Quanto às variações ocorridas neste parâmetro para as amostras polidas, verifica-se um aumento equiparável ao das amostras não polidas.

Com o aumento da quantidade de pigmento cinza na composição, o parâmetro  $L^*$  diminui de forma praticamente linear, o que indica uma diminuição da luminosidade da amostra, logo a superfície das amostras vão sendo cada vez mais escuras. De salientar ainda que, com o polimento, este parâmetro também diminui comparativamente às amostras não polidas, ou seja o polimento ainda escurece mais a superfície da amostra e esse decréscimo ocorre de modo semelhante ao das amostras não polidas.

O estudo do pigmento cinza, também permitiu concluir que a cor se desenvolve pouco de uma amostra para a outra, notando-se ligeiras diferenças apenas para os teores menores de pigmento.



**Figura 3.4-** Representação esquemática dos parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  para cada uma das amostras com o pigmento cinza na matriz de alumina, antes e depois do polimento (dados em anexo).

### 3.2.5 Pigmento Vermelho





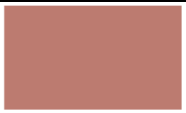







As cores obtidas com o estudo do pigmento vermelho para um intervalo de percentagens entre os 35 e os 65% antes e depois do polimento, assim como as densidades e densidades relativas e ainda as percentagens de retracção linear das amostras encontram-se na Tabela 3.6.

Denota-se então, que a superfície das amostras evidenciaram algumas diferenças com a crescente quantidade de pigmento na composição das amostras, ou seja estas tornam-se

cada vez mais vermelhas. Quanto ao polimento, também se verificam pequenas variações já que este processo conduziu a uma diminuição da luminosidade das amostras, tornando-as mais escuras.

Analisando os resultados verifica-se que a densidade das amostras vai diminuindo à medida que aumenta a quantidade de pigmento na sua composição, isto significa que as amostras vão ficando menos compactas, logo as percentagens de retracção linear vão sofrendo decréscimos, mesmo que pouco acentuados. Isto pode ser influenciado pelas características do próprio pigmento, nomeadamente a sua menor capacidade de fusão. Quanto ao brilho obtido após o polimento não é possível estabelecer-se uma relação com a densidade, uma vez que todas as amostras obtidas não apresentam brilho, sendo por isso completamente mate, pelo que não é relevante se a densidade aumenta ou diminui.

**Tabela 3.6-** Resultados obtidos da cor para as diferentes percentagens de pigmento vermelho na matriz de alumina antes e depois do polimento, as respectivas densidades e densidades relativas e as percentagens de retracção linear.

<b>Pigmento</b>	<b>%</b>	<b>Antes do polimento</b>	<b>Depois do polimento</b>	<b>Densidade (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidade relativa (%)</b>	<b>Retracção Linear (%)</b>
<b>Vermelho</b>	35			2,40	60,22	8,28
	40			2,22	55,83	5,92
	45			2,21	55,50	6,08
	50			2,08	52,16	5,84
	55			2,11	52,94	5,96
	60			1,97	49,47	5,36

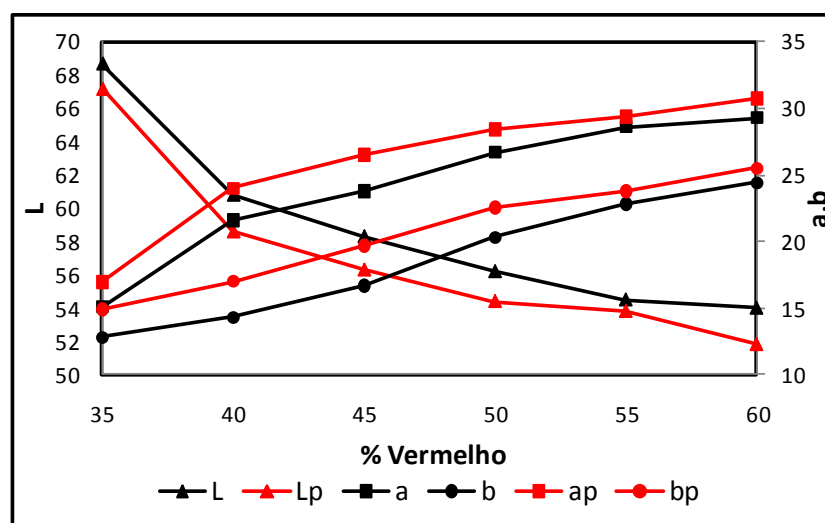


Através da análise da Figura 3.5 é possível concluir-se acerca da influência do aumento do teor de pigmento nas coordenadas colorimétricas e ainda o efeito do polimento nessas mesmas coordenadas.

Então, no que diz respeito ao parâmetro  $L^*$ , este diminui com o aumento do teor de pigmento na matriz, o que permite concluir que a amostra se vai tornando cada vez mais escura. Após o polimento das amostras, o parâmetro  $L^*$  diminui pouco significativamente já que a curva das amostras polidas se encontra ligeiramente abaixo da obtida para as amostra não polidas. De salientar ainda que as curvas das amostras não polidas e polidas apresentam um comportamento semelhante.

O parâmetro  $a^*$  mede a escala verde-vermelho, levando a que facilmente se conclua que, para este pigmento, o parâmetro  $a^*$  vá aumentando à medida que a percentagem de pigmento aumenta. O comportamento do parâmetro  $b^*$  é análogo ao anterior, uma vez que este também aumenta com o evoluir das percentagens de pigmento na amostra. Com o polimento, tanto o parâmetro  $a^*$  como o  $b^*$  aumentaram com o aumento do teor de pigmento, no entanto as diferenças promovidas pelo polimento foram diminuindo, até se atingir um ponto de saturação da própria matriz, não sendo também diferenças muito significativas.

Para o pigmento vermelho já se notam mais variações na cor de amostra para amostra, nomeadamente até aos 50% de pigmento na matriz de alumina, o que permitir concluir que este pigmento desenvolve melhor a cor do que os até aqui estudados.





















**Figura 3.5-** Representação esquemática dos parâmetros  $L^*$   $a^*$  e  $b^*$  para cada uma das amostras com o pigmento vermelho na matriz de alumina, antes e depois do polimento (dados em anexo).

### 3.2.6 Pigmento Laranja

Na Tabela 3.7 encontram-se todos as cores obtidas com o pigmento laranja numa escala de 10 a 50% de pigmento na composição e ainda a densidade e a densidade relativa de cada uma das amostras produzidas e por fim as percentagens de retracção linear, observando-se também a evolução da cor antes e depois do polimento.

**Tabela 3.7-** Resultados obtidos da cor para as diferentes percentagens de pigmento laranja na matriz de alumina antes e depois do polimento, as respectivas densidades e densidades relativas e as percentagens de retracção linear.

Pigmento	%	Antes do polimento	Depois do polimento	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Densidade relativa (%)	Retracção Linear (%)
Laranja	10			2,53	63,67	5,16
	15			2,63	66,20	7,32
	20			2,79	70,21	8,44
	25			2,84	71,28	9,28
	30			2,89	72,67	10,28
	35			2,86	71,89	11,24
	40			2,68	67,41	7,20
	45			2,73	68,48	8,08
	50			2,78	69,82	9,76

É de notar que existe uma evolução crescente da cor com o aumento da quantidade de pigmento na matriz, isto é, maior quantidade de pigmento mais laranja é a amostra. Para este pigmento o efeito do polimento não é significativo, uma vez que a coloração da superfície da amostra praticamente não sofre alterações após este processo.

No estudo das densidades das amostras verificou-se um comportamento diferente do até aqui analisado, uma vez que existe uma evolução crescente da densidade da amostra até à amostra com 30% de pigmento atingindo aí um máximo de densificação. A partir deste teor de pigmento a densidade deixa de variar significativamente. A retracção linear apresenta também um máximo em função do teor de pigmento utilizado, apresentando um comportamento análogo ao pigmento cinza, descrito anteriormente. No que diz respeito ao brilho obtido após o tratamento de polimento, é de referenciar que as amostras apresentam um brilho reduzido.

Na Figura 3.6 pode observar-se a evolução dos parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  com o aumento da percentagem de pigmento na composição das amostras e ainda o efeito que o polimento acarreta para estes parâmetros.

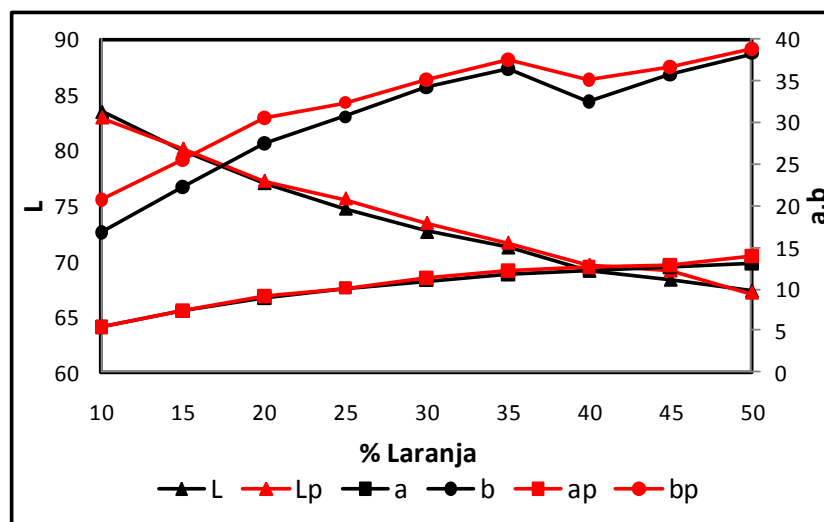
A evolução da quantidade de pigmento origina uma diminuição do parâmetro  $L^*$ , o que significa que a superfície da amostra vai ficando cada vez mais escura à medida que aumenta o teor de pigmento. Ocorre também um aumento dos parâmetros  $a^*$  e  $b^*$ , que conduzem a uma crescente quantidade da componente vermelha e amarela, respectivamente, na cor. O aumento destes parâmetros é consequência do facto da cor laranja ser composta por vermelho e amarelo. Esta evolução dos parâmetros com o teor de pigmento é praticamente linear.

Há apenas a salientar uma diminuição do parâmetro  $b^*$  para a amostra com 40% de pigmento na sua composição, contrariando a tendência crescente deste parâmetro. Tal ocorrência pode dever-se a uma saturação da matriz, facto que leva a que por mais que se aumente a quantidade de pigmento as variações da cor não são significativas, uma vez que a cor tende a atingir um equilíbrio. No entanto, estas conclusões podem ser influenciadas pelo facto de não haver conhecimento da composição do pigmento.

Quanto ao efeito do polimento, e como referido anteriormente, não tem muita influência para este pigmento, uma vez que as variações das curvas das amostras não

polidas e polidas são reduzidas, sendo o parâmetro  $b^*$  o que mais é influenciado, no entanto essa influência não é relevante.

Apesar do aumento dos parâmetros que conferem, em conjunto, a cor laranja, este pigmento, tal como se tem verificado para os restantes, não apresenta grandes variações na cor de amostra para amostra. No entanto, é possível observar ligeiras mudanças até à amostra com 30% de pigmento na matriz



**Figura 3.6-** Representação esquemática dos parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  para cada uma das amostras com o pigmento laranja na matriz de alumina, antes e depois do polimento (dados em anexo).

### 3.2.7 Pigmento Castanho

Na Tabela 3.8 estão todas as cores obtidas para as diferentes percentagens de castanho que variam entre os 5 e os 50% antes e depois do polimento, assim como as densidades e densidades relativas e as percentagens de retração linear de cada uma das amostras.

Uma vez mais é possível verificar a evolução da cor castanha com o aumento do teor de pigmento na composição das amostras, já que as amostras vão ficando mais castanhas.





















Quanto ao polimento são visíveis ligeiras alterações que ocorrem na superfície da amostra, uma vez que se detecta que estas ficaram mais escuras, isto é perderam luminosidade, após esse tratamento. Estas variações são mais visíveis para amostras com teor de pigmento relativamente baixo.

Foi também feito o estudo da densidade de cada uma das amostras e pode-se verificar inicialmente que a densidade aumenta até à amostra com 30% de pigmento o que pode

levar a concluir-se que para baixas percentagens de pigmento este actua bem como fundente conduzindo a uma melhor densificação da amostra. A partir deste momento existe um comportamento inverso ao até aqui verificado, o que induz que para quantidades significativas de pigmento a sua acção fundente seja reduzida levando a uma diminuição na densidade e conseqüente redução na compactação da amostra. No entanto essa redução da densidade é ligeira, já que a amostra com 50% de pigmento apresenta uma densidade bastante superior à verificada para a amostra com 5% de pigmento na sua composição. Estas variações na densificação das amostras conduzem também a diferenças nas percentagens de retracção linear, por isso, o aumento da densidade corresponde a um aumento da retracção linear.

Também para este pigmento foi efectuada uma análise visual de modo a verificar o brilho que as amostras possuem após o processo de polimento. E mais uma vez se constata que todas as amostras são mate e que o polimento não conferiu aumento de brilho na superfície do material.

**Tabela 3.8-** Resultados obtidos da cor para as diferentes percentagens de pigmento castanho na matriz de alumina antes e depois do polimento, as respectivas densidades e densidades relativas e percentagens de retracção linear.

<b>Pigmento</b>	<b>%</b>	<b>Antes do polimento</b>	<b>Depois do polimento</b>	<b>Densidade (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidade relativa (%)</b>	<b>Retracção Linear (%)</b>
<b>Castanho</b>	5			2,45	61,46	3,40
	10			2,46	61,80	4,28
	15			2,50	62,84	4,88
	20			2,58	64,82	5,76
	25			2,73	68,63	6,48
	30			2,83	71,04	7,24
	35			2,76	69,30	7,68
	40			2,90	72,80	7,08
	45			2,89	72,56	7,88
	50			2,87	71,99	8,92

Na Figura 3.7 pode-se analisar a variação no comportamento da cor com o aumento do teor de pigmento castanho na composição da amostra e ainda o efeito do polimento sobre as coordenadas colorimétricas que evidenciam a cor da amostra.

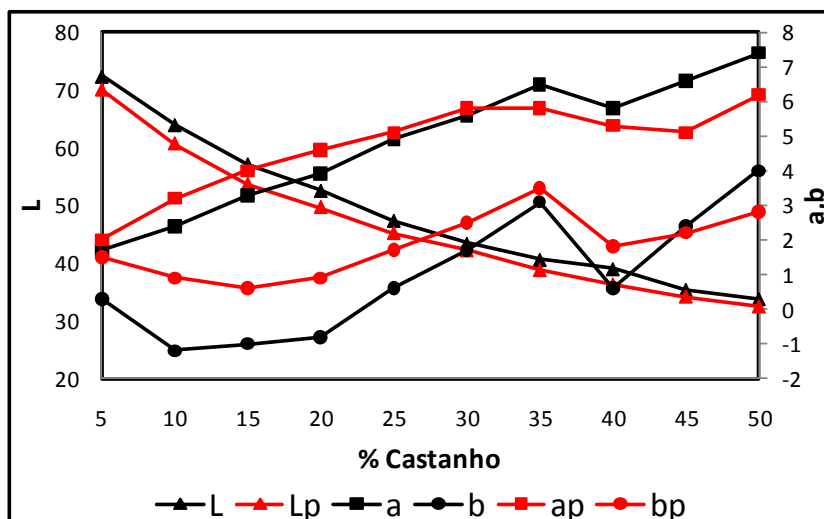
É então possível observar-se que o parâmetro  $L^*$  diminui de forma linear à medida que aumenta a quantidade de pigmento, originando uma diminuição da luminosidade e consequentemente a cor fica mais escura. O polimento não originou variações neste parâmetro uma vez que a curva das amostras polidas é praticamente coincidente com a curva das amostras polidas.

Para o parâmetro  $a^*$  o comportamento já é diferente, uma vez este aumenta com o teor de pigmento na composição da amostra, logo a quantidade da componente vermelha da cor vai aumentando. Este aumento é praticamente linear, sofrendo uma ligeira oscilação para a amostra de 40%, no entanto prevalece o carácter crescente do parâmetro  $a^*$ . O polimento confere ligeiras oscilações, pouco significativas, ao parâmetro  $a^*$ , sendo que este aumenta para teores de pigmento até 30%, diminuindo a partir dessa percentagem.

Na generalidade, o parâmetro  $b^*$  apresenta um comportamento crescente com o aumento do teor de pigmento pelo que a quantidade da componente amarela vai aumentando. Verifica-se um decréscimo na amostra com 40% de pigmento que pode dever-se a erros, pois a tendência da curva é a manter o comportamento crescente. O polimento provocou oscilações na curva das amostras polidas em comparação com a das amostras não polidas, sendo que essas variações vão diminuindo à medida que se aumenta a quantidade de pigmento na matriz.

O aumento do valor quer do parâmetro  $a^*$  quer do  $b^*$  quando o teor de pigmento aumenta significa uma maior contribuição da componente vermelha e amarela, respectivamente. Estes resultados eram previsíveis, uma vez que a cor castanha é composta por estas duas cores.

Novamente, não existem variações visuais significativas nas amostras à medida que se aumenta a quantidade de pigmento da matriz de alumina, apenas ligeiras mudanças para teores bastante baixos. É possível concluir-se que este pigmento desenvolve pouco a cor.



**Figura 3.7-** Representação esquemática dos parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  para cada uma das amostras com o pigmento castanho na matriz de alumina, antes e depois do polimento (dados em anexo).

### 3.2.8 Pigmento Azul

Todos os resultados obtidos quer na determinação das densidades e densidades relativas de cada uma das amostras produzidas assim como as cores antes e depois do tratamento de polimento para um intervalo de percentagens entre os 10 e os 55% de pigmento e ainda as percentagens de retracção linear encontram-se na Tabela 3.9.

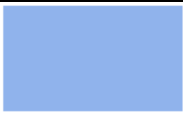
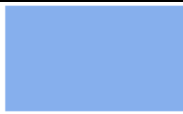
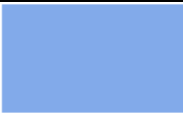









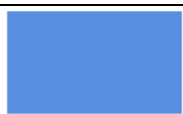



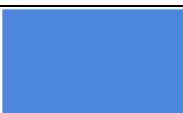
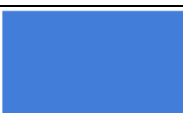
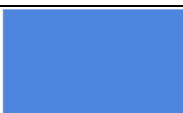

Como se pode verificar não existem diferenças significativas a olho nú nas cores à medida que se aumenta a quantidade de pigmento na composição das amostras. Pode também concluir-se que o polimento praticamente em nada altera a cor da superfície das amostras, no entanto, verifica-se alguma perda de luminosidade, como tem vindo a ser hábito em quase todos os pigmentos estudados.

Para o pigmento azul voltou a verificar-se que as densidades não têm uma relação linear com a evolução das percentagens de pigmento na sua composição, embora se note uma tendência para o aumento da densidade com o teor de pigmento. Isto pode dever-se à capacidade fundente do próprio pigmento que uma vez que está em diferentes quantidades, pode ser maior ou menor, ajudando ou não na densificação da amostra. A par do pigmento cinza e do vermelho, este é dos pigmentos onde as amostras apresentam menor densidade. Estas oscilações dos valores de densidade reflectem-se nos valores das percentagens de retracção linear que, no entanto, apresentam tendência para aumentar à medida que se progride na percentagem de pigmento na matriz de alumina.



No que se refere ao brilho obtido na superfície das amostras ele é praticamente inexistente, uma vez que todas as amostras são mate.

**Tabela 3.9-** Resultados obtidos da cor para as diferentes percentagens de pigmento azul na matriz de alumina antes e depois do polimento, as respectivas densidades e densidades relativas e as percentagens de retração linear.

<b>Pigmento</b>	<b>%</b>	<b>Antes do polimento</b>	<b>Depois do polimento</b>	<b>Densidade (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidade relativa (%)</b>	<b>Retração Linear (%)</b>
<b>Azul</b>	10			2,36	59,28	2,88
	15			2,35	59,09	2,88
	20			2,38	59,74	3,28
	25			2,48	62,41	3,20
	30			2,50	62,74	3,36
	35			2,52	63,38	3,56
	40			2,47	62,17	3,72
	45			2,55	64,09	3,64
	50			2,59	64,96	3,80
	55			2,53	63,53	3,96

Na análise ao pigmento azul e como mostra a Figura 3.8 é possível verificar-se que todos os parâmetros evoluem de forma praticamente linear com o aumento do teor de

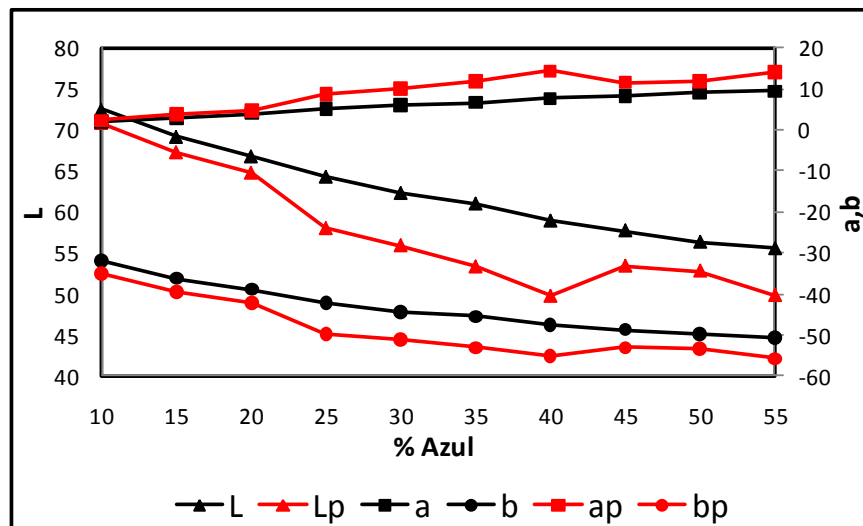
pigmento na matriz, sendo que o parâmetro  $L^*$  e  $b^*$  diminuem, enquanto que o  $a^*$  aumenta.

A diminuição do parâmetro  $b^*$  com o teor de pigmento era esperado já que é este que indica a influência da cor azul, logo quanto mais negativo é o valor deste parâmetro mais azul existe na cor. O polimento não acarretou diferenças significativas no parâmetro  $b^*$ , uma vez que a curva das amostras polidas e a curva das amostras não polidas estão muito próximas.

O parâmetro  $a^*$  tem um comportamento praticamente linear não sofrendo muita influência do aumento do teor de pigmento. Este facto também se verifica na curva das amostras polidas, uma vez que esta praticamente coincide com a curva das amostras não polidas, logo o polimento não originou diferenças relevantes.

Como tem vindo a ser hábito, o aumento do teor de pigmento nas amostras conduz a uma diminuição da luminosidade e ao conseqüente escurecimento das amostras, e este pigmento também não é excepção, apresentando um comportamento linear decrescente para o parâmetro  $L^*$ . Mais uma vez, o polimento permitiu a diminuição deste parâmetro, e originou variações significativas nas amostras com percentagens entre os 25 e 45%, mantendo-se bastante semelhante para os restantes teores.

Este é dos pigmentos utilizados onde se nota menos a evolução da cor de amostra para amostra, isto é, com a crescente quantidade de pigmento. De referir que para todos os pigmentos as percentagens estudadas são elevadas, pelo que é natural que, visualmente, não se notem muitas diferenças de cor.



**Figura 3.8-** Representação esquemática dos parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  para cada uma das amostras com o pigmento azul na matriz de alumina, antes e depois do polimento (dados em anexo).

### 3.3 Normalização do efeito dos pigmentos

Neste subcapítulo do trabalho será feita uma tentativa de normalização do efeito de cada pigmento estudado. Nas análises efectuadas nos capítulos anteriores, verificou-se que, para certos intervalos de teores de pigmento, existe uma relação linear entre a percentagem de pigmento e a magnitude das coordenadas colorimétricas (Tabela 3.10). É de ressaltar que, de pigmento para pigmento, este estudo foi realizado para intervalos diferentes de percentagens de pigmento, já que nem todos os pigmentos apresentam um comportamento linear para o mesmo intervalo de teor de pigmento.

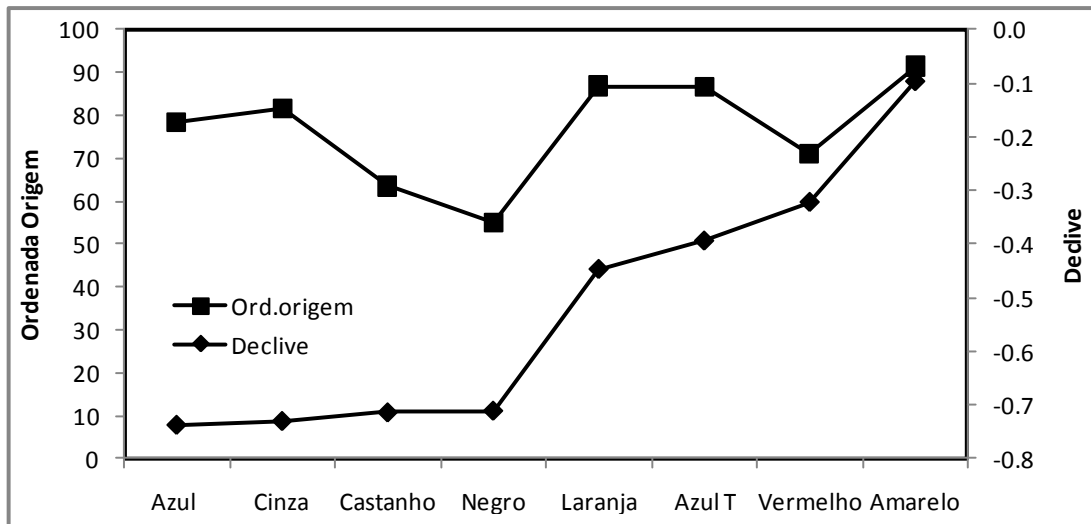
Este estudo pretende deduzir uma recta, ou seja determinar o declive e a ordenada na origem que represente da melhor forma uma zona linear da evolução da cor. Isto permite aos futuros utilizadores obter, por interpolação, cores que não foram estudadas ao longo deste trabalho, ou seja basta saber as coordenadas colorimétricas pretendidas que depois facilmente se chega à percentagem de pigmento a adicionar.

**Tabela 3.10-** Intervalos de aplicabilidade e resultados da normalização do efeito de cada pigmento.

A interpolação será a aplicação de  $y = m x + b$ , sendo  $y$  o valor da coordenada colorimétrica pretendido,  $m$  e  $b$ , respectivamente, o declive e a ordenada na origem determinadas experimentalmente.

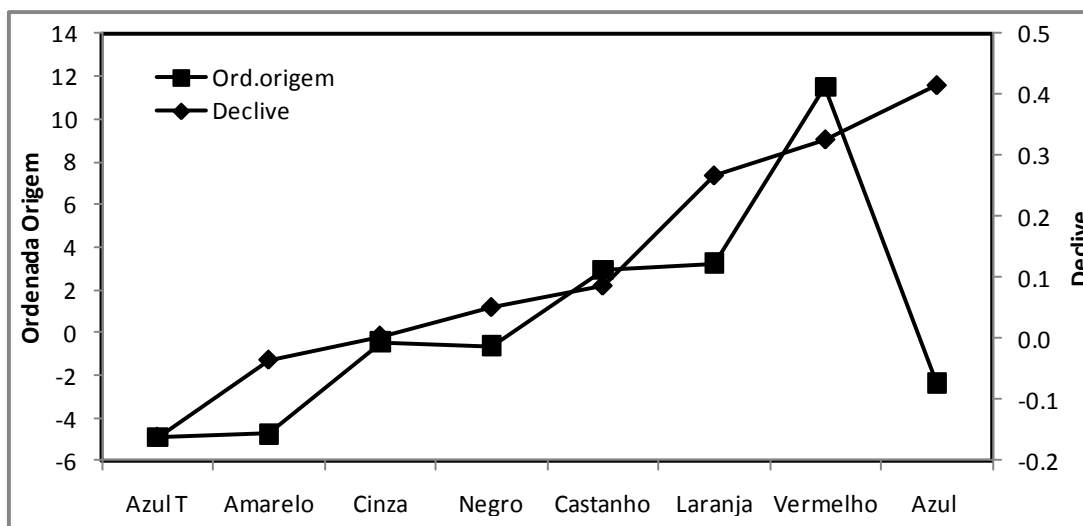
Pigmento	Intervalo de aplicabilidade (%)	L*		a*		b*	
		m	b	m	b	m	b
Negro	10-35%	-0,711	55,028	0,051	-0,628	0,010	-1,965
Azul-turquesa	10-30%	-0,394	86,680	-0,162	-4,880	-0,162	-10,900
Amarelo	20-45%	-0,097	91,490	-0,035	-4,749	0,587	13,342
Cinza	10-30%	-0,730	81,700	0,004	-0,440	0,270	-2,840
Vermelho	40-60%	-0,322	71,080	0,326	11,500	0,422	0,600
Laranja	10-35%	-0,447	86,854	0,267	3,246	0,656	15,573
Castanho	20-35%	-0,714	63,510	0,086	2,960	0,172	-2,580
Azul	10-40%	-0,737	78,286	0,415	-2,375	-0,689	-29,296

Na Figura 3.9 encontra-se a representação gráfica do declive e da ordenada na origem para todos os pigmentos estudados para os respectivos intervalos de aplicação. Como se pode verificar, os pigmentos estudados estão organizados segundo o aumento do declive, isto quer dizer que à medida que o declive se aproxima de zero a influência que o pigmento tem na coordenada colorimétrica L\* é praticamente inexistente. Este facto verifica-se para o pigmento amarelo, então é possível dizer-se que o aumento da quantidade de pigmento amarelo na composição da amostra não acarreta consequências para os valores de L\*. Em oposição a este, está o pigmento azul, já que tem, em valor absoluto, o maior declive e por isso, variações na quantidade deste pigmento conduzem a alterações da coordenada colorimétrica em estudo. Por este estudo, é possível dizer-se que as cores obtidas mais escuras são as que têm uma maior influência na variação do L\*, como foi sendo verificado ao longo do estudo feito anteriormente, este parâmetro diminui com o aumento destes pigmentos na composição da amostra. Pelo contrário, as cores mais claras têm menos influência na alteração do parâmetro L\*, uma vez que são cores com mais luminosidade.



**Figura 3.9-** Representação gráfica do declive e da ordenada na origem da coordenada colorimétrica  $L^*$  para uma determinada gama de cada um dos pigmentos estudados.

Na Figura 3.10 é possível verificar-se o comportamento do declive e da ordenada na origem para a coordenada colorimétrica  $a^*$ , parâmetro este que evidencia a quantidade de verde-vermelho existente numa cor. Pode então concluir-se que o pigmento cinza tem influência praticamente nula uma vez que o declive é praticamente zero, logo os valores deste parâmetro sofrem pequenas oscilações como foi possível verificar anteriormente. Os pigmentos azul-turquesa e amarelo têm uma influência negativa, isto quer dizer que estas cores conduzem a uma maior quantidade de verde na cor, enquanto os pigmentos negro, castanho, laranja, vermelho e azul têm uma influência positiva neste parâmetro, isto é, estes pigmentos conduzem a um aumento da quantidade de vermelho na cor obtida, logo permitem um aumento desta coordenada à medida que se aumenta a percentagem de pigmentos na composição da amostra.

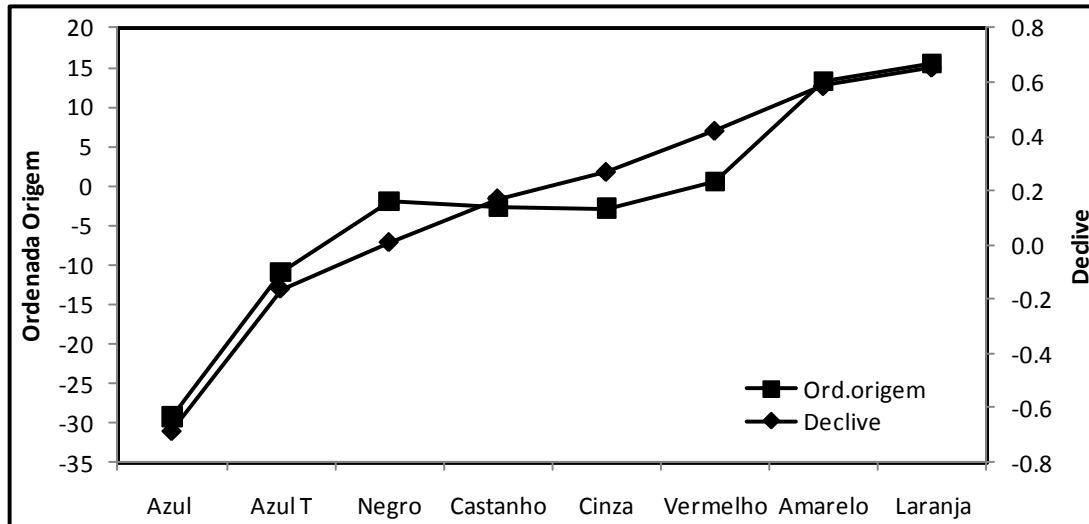


**Figura 3.10-** Representação gráfica do declive e da ordenada na origem da coordenada colorimétrica  $a^*$  para uma determinada gama de cada um dos pigmentos estudados.

Como se pode verificar pela Figura 3.11 é possível fazer um estudo acerca do comportamento da coordenada colorimétrica  $b^*$ . Esta coordenada evidencia a escala do azul-amarelo, então é de prever que os pigmentos azul e azul-turquesa tenham uma maior influência negativa neste parâmetro já que estes pigmentos possuem uma quantidade de  $b^*$  bastante negativa. Quanto ao pigmento negro, este não exerce influência praticamente nenhuma sobre a coordenada colorimétrica  $b^*$ , logo por mais que se aumente a quantidade deste pigmento na composição da amostra, as variações não são significativas. Quanto aos pigmentos castanho, cinza, vermelho, amarelo e laranja têm uma influência positiva nesta coordenada, logo quando a quantidade destes pigmentos aumentam na composição da amostra a coordenada colorimétrica  $b^*$  fica cada vez mais positiva, tendo por isso cada vez mais amarelo na cor.

No que se refere à ordenada na origem, ela mostra teoricamente a extrapolação para uma percentagem de pigmento nula, pelo que estes valores deveriam ser os da alumina já que não existe qualquer quantidade de pigmento na composição. As extrapolações por vezes podem induzir erros elevados e não têm qualquer significado físico, pelo que não serão objecto de interpretação neste trabalho, no entanto são absolutamente necessárias para efectuar interpolações dentro das gamas de linearidade entre o teor de pigmento e as coordenadas colorimétricas.

A interpolação de cores relativamente às obtidas neste trabalho, poderá ser efectuada através da aplicação da equação de uma recta genérica  $y = m x + b$ , tendo em consideração os dados apresentados na Tabela 3.10.



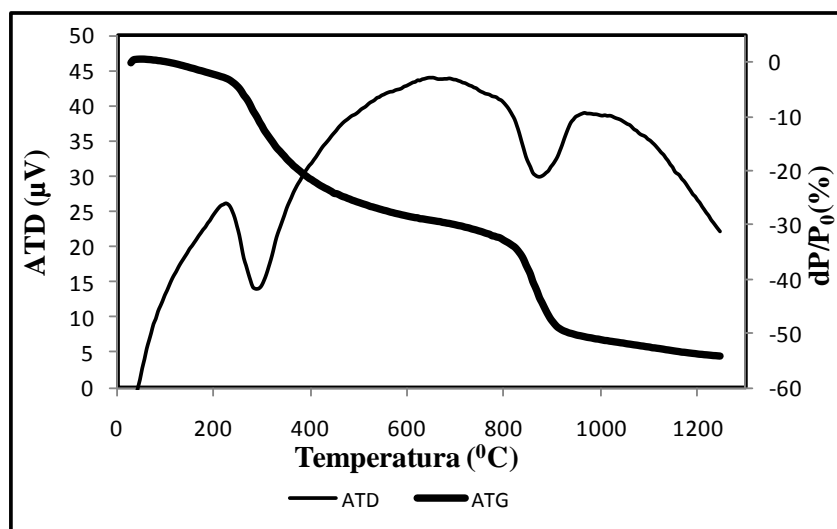
**Figura 3.11-** Representação gráfica do declive e da ordenada na origem da coordenada colorimétrica  $b^*$  para uma determinada gama de cada um dos pigmentos estudados.

### 3.4 Estudo das amostras produzidas com a alumina proveniente de lamas de anodização

O processo de anodização de alumínio baseia-se numa oxidação forçada com a finalidade de o proteger contra os agentes oxidantes externos e suprimir quaisquer irregularidades da superfície, que são consequência das etapas anteriores, permitindo assim que a superfície adquira elevada resistência à abrasão, corrosão, além de melhorar o aspecto visual. Este procedimento gera uma elevada quantidade de resíduo, a lama, que é constituída sobretudo por água e hidróxido de alumínio (cerca de 87%), mas também por sódio ou cálcio que são oriundos das soluções de neutralização, e sulfato de alumínio que habitualmente é usado como agente floculante. Este tipo de resíduo não é perigoso, mas requer avultados custos de transporte e disposição em aterro devido à quantidade produzida diariamente ser elevada e à dificuldade de redução de volume. Contudo, estes resíduos possuem elevada quantidade de alumina quando calcinados e com composição constante permitindo assim ter bastante interesse quando se fala em reciclagem, nomeadamente para incorporar em materiais à base de alumina [29].

Como já foi referido no Capítulo 2 do presente trabalho, a lama de anodização estudada provém de uma empresa que utiliza este processo para passivação de caixilhos de alumínio. Esta lama, após calcinação, é constituída essencialmente por alumina, que pode ser incorporada em produtos cerâmicos e, nomeadamente, na composição das amostras coloridas que se pretende estudar. Tal facto pode ser vantajoso, pois assim pode garantir-se uma nova utilização para este resíduo industrial e se os resultados se mostrarem coerentes com os que foram conseguidos com a alumina Alcoa CT3000, pode então usar-se este material e assim diminuir o custo da matéria-prima, uma vez que sendo um resíduo industrial terá um custo inferior à alumina com elevado grau de pureza.

No entanto, e para que fosse possível avaliar-se a lama, realizaram-se análises térmicas de modo a perceber que fenómenos é que ocorrem durante a sua cozedura e também perceber um pouco da sua composição. Na Figura 3.12 encontra-se o registo gráfico da análise termogravimétrica (ATG) e da análise térmica diferencial (ATD).



**Figura 3.12-** Análise térmica diferencial e análise termogravimétrica da lama de anodização.

Começando pela análise à curva termogravimétrica, facilmente se verifica que esta lama perde muito peso, cerca de 55% durante o processo de cozedura, pois uma característica principal deste tipo de lamas é serem bastante higroscópicas, isto é possuem elevada capacidade de absorver água, tendo por isso de a perder no tratamento térmico. É de salientar que a lama foi previamente seca numa estufa a 110°C durante 24h.

No que diz respeito à análise térmica diferencial, ela evidencia dois picos endotérmicos, o que significa que o material consome calor da reacção. O primeiro ocorre por volta dos 300-350°C o que pode significar que há decomposição de hidróxidos



existentes na composição da lama e o outro pico endotérmico entre os 850 e 900°C que pode ser consequência da decomposição de sulfatos, nomeadamente de alumínio, que normalmente são usados nestas indústrias como floculantes ou então resíduos que compõe a lama [30].

Parte da lama foi então calcinada de modo a garantir que estivesse sobre a forma de alumina para assim o grau de comparação com as amostras produzidas até ao momento ser equiparável.

Na Tabela 3.11 encontram-se registadas as densidades obtidas na amostra composta exclusivamente com alumina Alcoa CT3000 e da amostra com alumina proveniente da lama de anodização. E como se pode verificar existe uma diferença significativa nos valores das densidades obtidos sendo que a amostra de alumina Alcoa CT3000 apresenta uma densidade superior à obtida para a amostra de alumina proveniente da lama de anodização, quando sujeitas a um tratamento térmico de 1200°C. Esta diferença pode residir no facto da alumina da Alcoa CT3000 ser um pó otimizado para promover a sua sinterabilidade (forma, tamanho médio e distribuição de tamanhos de grão, etc.), enquanto que a alumina proveniente da lama de anodização apenas foi sujeita a uma moagem, cujos efeitos não terão ultrapassado a simples quebra de eventuais agregados presentes.

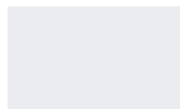
Estes resultados obtidos permitem verificar que para uma temperatura de cozedura de 1200°C a densidade é baixa comparativamente com a densidade de referência da alumina cozida a 1500°C. Estas diferenças nas densidades podem estar na origem do baixo brilho que se verificou em todas as amostras produzidas. Esta perda de brilho, consequência da diminuição da temperatura de cozedura, teve de efectuar-se, de modo a conseguir-se uma paleta de cores mais diversificada.

**Tabela 3.11-** Resultados obtidos na determinação da densidade e densidade relativa das amostras compostas exclusivamente por alumina Alcoa CT3000 e por alumina proveniente da lama de anodização.

<b>Pigmento</b>	<b>Densidade (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidade Relativa (%)</b>
<b>Alumina Alcoa CT3000 a 1200°C</b>	2,43	61,04
<b>Alumina (lama) a 1200°C</b>	1,56	39,16
<b>Alumina Alcoa CT3000 a 1500°C</b>	3,90	97,92

Já na Tabela 3.12 é possível verificar as diferenças obtidas nas coordenadas colorimétricas para as amostras compostas exclusivamente por alumina Alcoa CT3000 e por alumina proveniente da lama de anodização. No que diz respeito à cor obtida nas diferentes amostras, ela não diferiu muito, apenas o parâmetro  $b^*$  teve maior diferença numérica. Como se pode verificar o parâmetro  $L^*$  tem valor superior a 90 o que significa que a cor é quase branca, uma vez que pelo que foi referido no Capítulo 1 a cor branca corresponde a um  $L^* a^* b^*$  de 100, 0, 0. Quanto ao parâmetro  $a^*$  os seus valores são perto de 0 e pouco variam de uma amostra para a outra. Já os valores do parâmetro  $b^*$  apresentam mais diferenças e ainda se encontram um pouco distantes de 0, querendo isto dizer que ainda têm alguma influência da cor azul. No entanto, a cor destas duas aluminas não varia significativamente.

**Tabela 3.12-** Resultados obtidos da medição da cor das amostras compostas exclusivamente por alumina Alcoa CT3000 e por alumina proveniente da lama de anodização.

<b>Material</b>	<b>L*</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>	<b>Cor</b>
<b>Alumina Alcoa CT3000</b>	93,4	0,2	-1,6	
<b>Alumina (lama)</b>	92,6	0,1	-3,0	

Sendo o objectivo da introdução desta lama de anodização neste trabalho, o estudo da influência que uma alumina com alguns resíduos na sua composição tem sobre a cor obtida e, assim, verificar se é possível atingir as mesmas cores ou pelo menos bastante semelhantes com os dois tipos de alumina em análise.

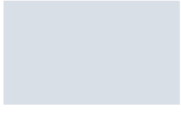

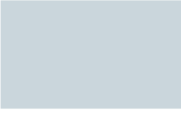











### **3.4.1 Pigmento Azul-turquesa**

Como constatado anteriormente, no ponto 3.2.2 do presente capítulo, o pigmento azul-turquesa é o que apresenta comportamento mais monótono, relativamente ao teor de pigmento utilizado e as coordenadas colorimétricas não apresentam alterações significativas antes e depois do polimento. Estas particularidades, que não se verificaram nos outros pigmentos, conduziram à escolha deste pigmento azul-turquesa para se fazer o estudo com a alumina proveniente da lama de anodização.

Na Tabela 3.13 encontram-se todas as cores obtidas antes e depois do polimento para as diferentes percentagens do pigmento que variam entre os 10 e os 45% e ainda as densidades, densidades relativas e as percentagens de retracção linear de cada uma das amostras produzidas. Nota-se uma evolução crescente da cor com o aumento do teor de pigmento na matriz. No que se refere às diferenças das cores, antes e depois do polimento, essas são pouco significativas, uma vez que as cores praticamente não sofrem alterações depois desse tratamento. No entanto, é sempre notada uma ligeira diminuição da luminosidade da amostra.

De uma maneira geral a densidade e a retracção linear das amostras compostas pela alumina proveniente da lama de anodização e pelo pigmento azul-turquesa vão aumentando à medida que se aumenta a percentagem de pigmento na matriz. Este comportamento aparenta ter algumas flutuações ao longo do intervalo de teores de pigmento em estudo, o que poderá estar relacionado com possíveis variações de composição do resíduo utilizado. Relativamente ao brilho obtido após o polimento, este em nada difere das amostras produzidas com alumina Alcoa CT3000, uma vez que as amostras continuam a ser mate.

**Tabela 3.13-** Resultados obtidos da cor para as diferentes percentagens de pigmento azul-turquesa na matriz de alumina proveniente da lama de anodização antes e depois do polimento, as respectivas densidades e densidades relativas e as percentagens de retracção linear.

Pigmento	%	Antes do polimento	Depois do polimento	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Densidade relativa (%)	Retracção Linear (%)
Azul-turquesa	10			2,10	52,70	7,00
	20			2,31	58,11	7,96
	25			2,44	61,41	8,12
	30			2,38	59,75	7,16
	35			2,51	63,17	6,92
	40			2,65	66,49	6,72
	45			2,54	63,90	7,56

Na Figura 3.13 encontram-se então registados todos os resultados obtidos durante o estudo das amostras produzidas com a alumina proveniente da lama de anodização com os diferentes teores do pigmento azul-turquesa. Está também disponível a medição da cor, usando as respectivas coordenadas colorimétricas L\* a\* e b\* e consequentemente a cor obtida em cada uma das amostras. Verifica-se também o comportamento semelhante da superfície das amostras coradas com pigmento azul-turquesa antes e após o tratamento de polimento.

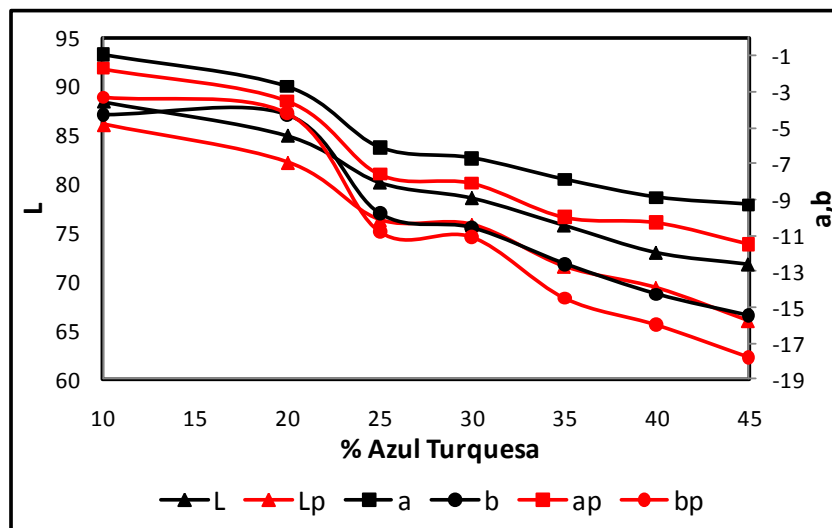
Também para este pigmento, o parâmetro L\* diminui à medida que é crescente a quantidade de azul-turquesa na composição da amostra, tornando consequentemente a superfície desta cada vez mais escura. Com o polimento, verifica-se que para o parâmetro L\* os valores obtidos são bastante semelhantes apesar da curva do polimento se encontrar

ligeiramente abaixo da outra, no entanto apresenta na mesma um decréscimo ao longo das amostras pelo que confere menos luz à superfície desta.

No caso da coordenada colorimétrica  $b^*$  é de prever que o seu valor diminua sempre com o aumento da quantidade de pigmento na matriz, uma vez que é este que mede a escala do azul-amarelo, facto que se verificou. Nota-se um decréscimo significativo deste parâmetro na amostra com 25% de pigmento na matriz, apesar do mesmo comportamento se verificar em todos os parâmetros, no entanto não é tão significativo. Este pode dever-se à presença de uma maior quantidade de pigmento na composição, que eventualmente pode conduzir a uma reacção com os resíduos que possam existir na composição da lama. O polimento em nada veio alterar o seu comportamento uma vez que as curvas das amostras polidas e não polidas são praticamente coincidentes.

No caso do parâmetro  $a^*$  este também diminui com o aumento do teor de pigmento, logo existe uma crescente influência da componente verde na cor obtida. Depois do polimento, esta coordenada tem um comportamento análogo ao verificado para o parâmetro  $L^*$ , uma vez que a curva das amostras polidas se encontra abaixo da conseguida para as amostras não polidas, sendo as diferenças mais significativas do que no parâmetro anterior.

Esta diminuição dos parâmetros  $L^*$   $a^*$  e  $b^*$  com o teor de pigmento, foi também observado com a utilização da alumina Alcoa CT3000.





**Figura 3.13-** Representação esquemática dos parâmetros  $L^*$   $a^*$  e  $b^*$  para cada uma das amostras de alumina proveniente da lama de anodização com o pigmento azul-turquesa, antes e depois do polimento.

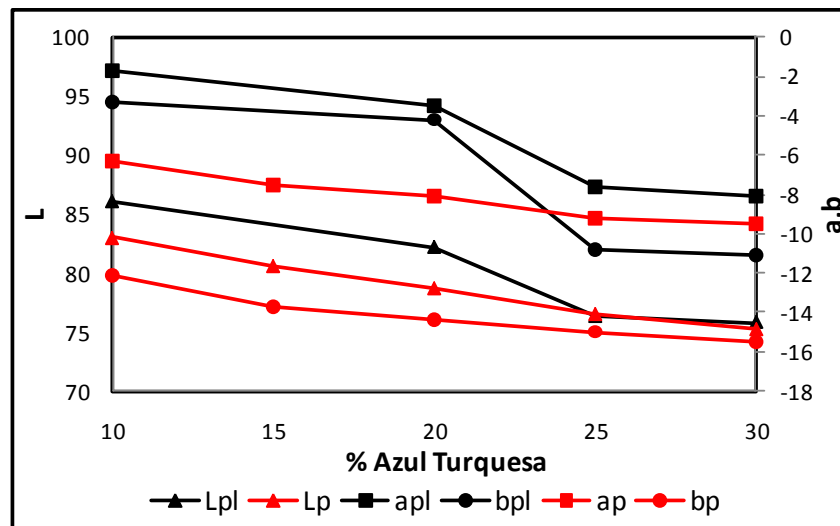
Pela Tabela 3.14 e a Figura 3.14 é possível comparar-se as amostras obtidas com a alumina Alcoa CT3000 e a alumina proveniente da lama de anodização coradas com o pigmento azul-turquesa, sendo a coloração idêntica nas duas amostras, apesar da primeira ser ligeiramente mais escura.

A evolução dos parâmetros comprova isso mesmo, já que o parâmetro  $L^*$  é inferior para as amostras com alumina Alcoa CT3000, logo são mais escuras. O comportamento do parâmetro  $b^*$  também evidencia que estas amostras são mais azuis, já que esta coordenada é mais negativa do que nas amostras com a alumina proveniente da lama. No geral, as variações nos parâmetros são mais significativas para teores mais baixos de pigmento, pois para teores mais elevados as coordenadas colorimétricas tornam-se semelhantes.

As ligeiras diferenças na cor podem dever-se a uma maior formação de fase vítrea permitindo a dissolução do pigmento e consequente perda de cor. Logo, pode afirmar-se que a reutilização desta lama de anodização inibe o desenvolvimento da cor deste pigmento, sendo expectável um comportamento análogo com outros pigmentos.

**Tabela 3.14-** Amostras produzidas com alumina Alcoa CT3000 e a alumina proveniente da lama de anodização coradas com o pigmento azul-turquesa depois do polimento.

<b>Pigmento</b>	<b>Fracção ponderal (%)</b>	<b>Depois do polimento</b>
<b>Alumina Alcoa CT3000 + azul-turquesa</b>	30	
<b>Alumina (lama) + azul-turquesa</b>	30	



**Figura 3.14-** Representação esquemática dos parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  para cada teor de pigmento azul-turquesa na matriz de alumina proveniente da lama de anodização e na matriz de alumina Alcoa CT3000 depois do polimento.

Os resultados obtidos sugerem que esta alumina proveniente de um resíduo industrial é susceptível de utilização como matriz de pastas coradas, apesar de os resultados obtidos com a alumina Alcoa CT3000 serem melhores. No entanto, para a aplicação específica deste trabalho, poderá não se justificar a sua utilização, pois as peças de joalharia produzem-se em edições limitadas, o que se traduz num consumo de alumina também limitado. Acrescentando a este facto, o tipo de peças produzidas serem de alto valor acrescentado e por isso não se justificar a necessidade de utilização de uma alumina de baixo custo.





#### ***Capítulo 4. Conclusões e sugestão para trabalhos futuros***

Com o desenvolvimento deste trabalho é possível verificar-se que à medida que as temperaturas de cozedura do material forem aumentando o número de pigmentos para que se possa conferir cor ao material vai reduzindo. Tal facto pode dever-se a uma maior formação de fase vítrea durante a cozedura que permite a dissolução do pigmento e a consequente perda de cor no produto final ou até mesmo a volatilização do pigmento. Pelo que, para se obter um maior número de cores, é necessário recorrer a temperaturas de sinterização relativamente baixas, com consequente diminuição de densidade e brilho.

Verificou-se ainda que cada pigmento possui características próprias, nomeadamente a fusibilidade, por isso verificaram-se diferenças nas densidades das amostras, assim como nas percentagens de retracção linear. Este factor é bastante importante, porque em fase de projecto, nomeadamente de jóias, a questão dimensional é de grande importância.

Relativamente à cor obtida, a conclusão a retirar é que à medida que a quantidade de pigmento aumenta, a cor vai, evidentemente, evoluindo e paralelamente para tons mais escuros. No entanto conclui-se também que elevadas percentagens de pigmento na matriz conduzem a pontos de saturação, isto quer dizer que por mais que se aumente a quantidade de pigmento, as diferenças obtidas na cor não serão significativas.

Dentro de certos teores de pigmento, foi possível estabelecer uma relação linear entre a quantidade de pigmento e os parâmetros colorimétricos, o que poderá ser útil para a obtenção de cores, por interpolação das cores obtidas neste trabalho.

Quanto ao estudo realizado com a lama de anodização conclui-se que esta pode ser usada para a produção de alumina corada para aplicação na joalheria, no entanto a cor obtida não é tão forte como a que se consegue com a alumina Alcoa CT3000, pois as impurezas contidas na composição da lama podem levar a uma maior formação de fase vítrea levando a uma dissolução do pigmento perdendo este as suas características de coloração. Concluí-se também que a utilização deste resíduo industrial, não conduz a uma valorização do resíduo, uma vez que a joalheria se produz em pequenas quantidades e a eventual economia na matéria-prima não será significativa no preço final de um produto de elevado valor acrescentado, como é o caso da joalheria.

Como sugestões para trabalhos futuros podem estudar-se outros pigmentos que existem no mercado, uma vez que a paleta de cores construída é limitada. Pode também efectuar-se um estudo sobre a evolução da cor com misturas de pigmentos e assim aumentar a paleta de cores disponível para uso dos designers, assim como a optimização das temperaturas/ciclo de cozedura e o alargamento do estudo aos corantes, permitindo assim que as amostras possam ser sinterizadas a temperaturas mais elevadas, conduzindo a uma melhor densificação.

Todos os trabalhos depois de concluídos têm sempre lacunas e aspectos que poderiam ser melhorados. Neste caso, o desconhecimento da composição dos pigmentos tornou-se um factor limitativo na interpretação dos resultados obtidos, pelo que se considera que, em trabalhos futuros, seria desejável proceder-se a estudos de análise elementar e de análise mineralógica, de modo a conhecer-se a composição dos pigmentos e assim analisar de forma mais concreta e sustentada a acção destes na matriz de alumina.








**Bibliografia**

1. Bastos, C., Garcia, V. e Vale, A., “Ruby”, no âmbito da unidade curricular Projecto de Design em Empresas II, 2009
2. Melchiades F. G., Boshi A. O., “Cores e Tonalidades em Revestimentos cerâmicos”, *Cerâmica Industrial*, 4, pp. 11-18, 1999
3. [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/f1/EM\\_spectrum.svg/490px-EM\\_spectrum.svg.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/f1/EM_spectrum.svg/490px-EM_spectrum.svg.png) (Março 2010)
4. Xavier, C. S., “Pigmentos nanométricos, constituídos por ferritas, obtidos pelo método dos precursores poliméricos”, Dissertação em Química, Universidade Federal da Paraíba, 2006
5. Costa, M. G. C., “Valorização de Resíduos Industriais na Formação de Produtos e Pigmentos Cerâmicos: processamento e desenvolvimento de cor”, Departamento de Cerâmica e Vidro, Universidade de Aveiro, 2009
6. Codes, V. M., Metodologia para correcção de cores de imagens digitais de íris humanas, Pós-Graduação em Metrologia Científica e Industrial, Universidade Federal de Santa Catarina, 2003
7. Ohno Y., “CIE Fundamentals for color measurements”, IS&T NIP16 Conference, Vancouver, Ocy., pp. 16-20, 2000
8. [http://www.gusgsm.com/iluminantes\\_estandares\\_cie](http://www.gusgsm.com/iluminantes_estandares_cie) (Abril 2010)
9. Spinelli, A., “Síntese de Pigmento Cerâmico contendo Óxido de Ferro e Sílica Amorfa”, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, 2002
10. [http://www.esac.pt/noronha/A.S/07\\_08/Cor\\_alimentos.pdf](http://www.esac.pt/noronha/A.S/07_08/Cor_alimentos.pdf) (Abril 2010)
11. Milanez, K. W., “Incorporação de Resíduo de Galvanoplastia na Produção de Pigmentos Inorgânicos”, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, 2003
12. <http://coloriumlaboratorium.com/wp-content/uploads/2009/10/600px-Munsell-system.svg.png> (Abril 2010)
13. <http://kik-re.freehostia.com/bc/pics/16.jpg> (Abril 2010)
14. Societa Ceramica Italiana “Colore, pigmenti e colorazione in ceramica”, SALA, Modena, 2003
15. Bondioli, F., Manfredini, T. e Novaes de Oliveira, A. P., “Pigmentos Inorgânicos: Projecto, Produção e Aplicação Industrial”, *Cerâmica Industrial*, 3, pp. 13-17, 1998








16. <http://www.netceramics.com/Informa%C3%A7%C3%B5esT%C3%A9cnicas/HistoriadaCeramica/tabid/388/language/pt-BR/Default.aspx> (Setembro 2010)
17. Gomes, V., “Desenvolvimento e Caracterização de Pigmentos Cerâmicos baseados em alumina e mulita obtidos a partir da Anodização do Alumínio”, Programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, 2005
18. <http://www.jewelryartdesigns.com/jewelry-jad.asp?p=History> (Setembro 2010)
19. <http://www.webtrify.com/jewelry-impact-on-society/> (Setembro 2010)
20. Aparo, E., “A Cultura Cerâmica no Design da Joalheria Portuguesa” Dissertação em Design, Universidade de Aveiro, 2010
21. <http://www.jewellery-workshop.co.uk/buy/Zirconia-Ceramic-Carbon-Fibre-300.jpg> (Setembro 2010)
22. <http://www.ganoksin.com/exhibition/d/2555-2/ceramicdiamondsandwich.jpg> (Setembro 2010)
23. <http://www.overstock.com/guides/ceramic-jewelry-buying-guide> (Setembro 2010)
24. [http://portal.ipvc.pt/images/ipvc/ipvc/imagens/desfile\\_luxtiles\\_01.gif](http://portal.ipvc.pt/images/ipvc/ipvc/imagens/desfile_luxtiles_01.gif) (Setembro 2010)
25. [http://portal.ipvc.pt/images/ipvc/ipvc/imagens/desfile\\_luxtiles\\_02.gif](http://portal.ipvc.pt/images/ipvc/ipvc/imagens/desfile_luxtiles_02.gif) (Setembro 2010)
26. [http://2.bp.blogspot.com/\\_GfeMjhuhSKc/SnQeuA7\\_xWI/AAAAAAAAAkU/jzFmHXjC2u0/s400/LuxTiles.jpg](http://2.bp.blogspot.com/_GfeMjhuhSKc/SnQeuA7_xWI/AAAAAAAAAkU/jzFmHXjC2u0/s400/LuxTiles.jpg) (Setembro 2010)
27. [http://cookbooks.adobe.com/post\\_Useful\\_color\\_equations\\_\\_RGB\\_to\\_LAB\\_converter-14227.html](http://cookbooks.adobe.com/post_Useful_color_equations__RGB_to_LAB_converter-14227.html) (Dezembro 2010)
28. William D. Callister, Jr.; Science and Engineering An Introduction, NY, 1991
29. Rocha, T. B., “Estudo das Propriedades de Cerâmicas Refractárias Formuladas com Resíduos Industriais”, Universidade de Aveiro, Junho 2005
30. Perry, R. H., Green, D., “Perry’s Chemical Engineers’ Handbook”, 6a ed., McGraw-Hill, 1984

## Anexos

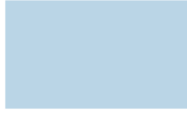

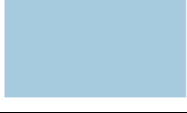

**Tabela A 1-** Resultados obtidos na medição de cor para cada percentagem de pigmento negro na matriz de alumina Alcoa CT3000 antes do polimento.

<b>Pigmento</b>	<b>%</b>	<b>L*</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>	<b>Antes do Polimento</b>
<b>Negro</b>	5	71,5	-0,7	-2,8	
	10	62,6	-0,6	-3,7	
	15	55,3	-0,5	-3,6	
	20	49,5	-0,2	-3,5	
	25	45,4	0,4	-3,0	
	30	41,2	0,9	-2,6	
	35	38,5	1,7	-1,5	






**Tabela A 2-** Resultados obtidos na medição de cor para cada percentagem de pigmento negro na matriz de alumina Alcoa CT3000 depois o polimento.

<b>Pigmento</b>	<b>%</b>	<b>L*</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>	<b>Depois do Polimento</b>
<b>Negro</b>	5	53,3	-0,1	0,0	
	10	48,5	0,0	-1,8	
	15	44,7	0,0	-1,8	
	20	40,7	0,4	-1,8	
	25	35,1	0,6	-1,8	
	30	34,1	0,9	-1,7	
	35	31,1	1,2	-1,5	

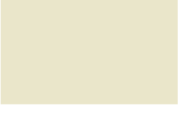


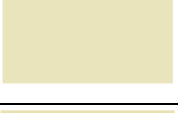




**Tabela A 3-** Resultados obtidos na medição de cor para cada percentagem de pigmento azul-turquesa na matriz de alumina Alcoa CT3000 antes do polimento.

Pigmento	%	L*	a*	b*	Antes do Polimento
Azul-turquesa	10	83,9	-5,6	-11,5	
	15	81,6	-7,0	-13,1	
	20	79,8	-8,0	-14,0	
	25	77,9	-8,3	-14,7	
	30	77,0	-8,7	-15,0	

**Tabela A 4-** Resultados obtidos na medição de cor para cada percentagem de pigmento azul-turquesa na matriz de alumina Alcoa CT3000 depois do polimento.





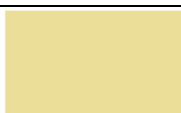



Pigmento	%	L*	a*	b*	Depois do Polimento
Azul-turquesa	10	83,0	-6,3	-12,1	
	15	80,6	-7,5	-13,7	
	20	78,7	-8,1	-14,4	
	25	76,5	-9,2	-15,0	
	30	75,2	-9,5	-15,5	

**Tabela A 5-** Resultados obtidos na medição de cor para cada percentagem de pigmento amarelo na matriz de alumina Alcoa CT3000 antes do polimento.








<b>Pigmento</b>	<b>%</b>	<b>L*</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>	<b>Antes do Polimento</b>
<b>Amarelo</b>	20	91,0	-3,4	14,2	
	25	90,6	-4,0	16,6	
	30	90,2	-4,4	19,2	
	35	90,2	-4,9	20,2	
	40	89,0	-4,1	24,0	
	45	88,2	-4,6	27,4	
	50	88,2	-5,1	31,2	
	55	87,7	-5,3	34,0	










**Tabela A 6-** Resultados obtidos na medição de cor para cada percentagem de pigmento amarelo na matriz de alumina Alcoa CT3000 depois do polimento.

<b>Pigmento</b>	<b>%</b>	<b>L*</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>	<b>Depois do Polimento</b>
<b>Amarelo</b>	20	89,5	-5,1	24,8	
	25	88,8	-5,9	29,2	
	30	88,7	-6,0	31,2	
	35	88,4	-6,5	32,5	
	40	87,9	-6,1	35,7	
	45	86,7	-6,0	41,2	
	50	86,1	-6,1	44,5	
	55	85,8	-5,8	44,7	







**Tabela A 7-** Resultados obtidos na medição de cor para cada percentagem de pigmento cinza na matriz de alumina Alcoa CT3000 antes do polimento.

<b>Pigmento</b>	<b>%</b>	<b>L*</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>	<b>Antes do Polimento</b>
<b>Cinza</b>	10	78,0	-0,4	-1,5	
	15	73,5	-0,5	0,4	
	20	70,0	-0,4	1,9	
	25	66,6	-0,5	3,0	
	30	64,2	-0,2	4,3	
	35	63,4	-0,6	3,4	
	40	61,2	0,1	5,7	






**Tabela A 8-** Resultados obtidos na medição de cor para cada percentagem de pigmento cinza na matriz de alumina Alcoa CT3000 depois do polimento.

<b>Pigmento</b>	<b>%</b>	<b>L*</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>	<b>Depois do Polimento</b>
<b>Cinza</b>	10	75,8	-0,2	-0,5	
	15	70,3	-0,5	1,5	
	20	64,5	-0,5	3,0	
	25	64,4	-0,5	3,6	
	30	60,5	-0,1	5,2	
	35	60,9	-0,5	3,7	
	40	56,7	0,4	6,0	










**Tabela A 9-** Resultados obtidos na medição de cor para cada percentagem de pigmento vermelho na matriz de alumina Alcoa CT3000 antes do polimento.

<b>Pigmento</b>	<b>%</b>	<b>L*</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>	<b>Antes do Polimento</b>
<b>Vermelho</b>	35	68,7	15,1	12,8	
	40	60,8	21,6	14,3	
	45	58,3	23,8	16,7	
	50	56,2	26,7	20,3	
	55	54,5	28,6	22,8	
	60	54,0	29,3	24,4	










**Tabela A 10-** Resultados obtidos na medição de cor para cada percentagem de pigmento vermelho na matriz de alumina Alcoa CT3000 depois do polimento.

<b>Pigmento</b>	<b>%</b>	<b>L*</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>	<b>Depois do Polimento</b>
<b>Vermelho</b>	35	67,2	16,9	14,9	
	40	58,6	24,0	17,0	
	45	56,3	26,5	19,7	
	50	54,4	28,4	22,5	
	55	53,8	29,4	23,8	
	60	51,8	30,7	25,5	











**Tabela A 11-** Resultados obtidos na medição de cor para cada percentagem de pigmento laranja na matriz de alumina Alcoa CT3000 antes do polimento.

<b>Pigmento</b>	<b>%</b>	<b>L*</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>	<b>Antes do Polimento</b>
<b>Laranja</b>	10	83,5	5,4	16,8	
	15	80,0	7,3	22,2	
	20	77,1	8,9	27,5	
	25	74,8	10,1	30,7	
	30	72,7	11,0	34,2	
	35	71,3	11,7	36,5	
	40	69,2	12,3	32,5	
	45	68,4	12,7	35,7	
	50	67,4	13,0	38,3	

**Tabela A 12-** Resultados obtidos na medição de cor para cada percentagem de pigmento laranja na matriz de alumina Alcoa CT3000 depois do polimento.











<b>Pigmento</b>	<b>%</b>	<b>L*</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>	<b>Depois do Polimento</b>
<b>Laranja</b>	10	82,9	5,4	20,7	
	15	80,1	7,4	25,6	
	20	77,2	9,1	30,6	
	25	75,6	10,1	32,4	
	30	73,4	11,3	35,1	
	35	71,6	12,2	37,6	
	40	69,6	12,6	35,1	
	45	69,1	12,8	36,7	
	50	67,1	13,9	38,9	

**Tabela A 13-** Resultados obtidos na medição de cor para cada percentagem de pigmento castanho na matriz de alumina Alcoa CT3000 antes do polimento.



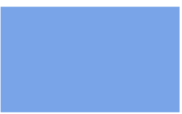






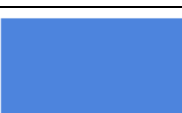
<b>Pigmento</b>	<b>%</b>	<b>L*</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>	<b>Antes do Polimento</b>
<b>Castanho</b>	5	72,4	1,7	0,3	
	10	64,0	2,4	-1,2	
	15	57,2	3,3	-1,0	
	20	52,6	3,9	-0,8	
	25	47,4	4,9	0,6	
	30	43,4	5,6	1,7	
	35	40,6	6,5	3,1	
	40	39,0	5,8	0,6	
	45	35,4	6,6	2,4	
	50	33,8	7,4	4,0	



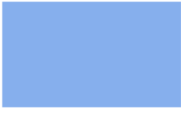









**Tabela A 14-** Resultados obtidos na medição de cor para cada percentagem de pigmento castanho na matriz de alumina Alcoa CT3000 depois do polimento.

Pigmento	%	L*	a*	b*	Depois do Polimento
<b>Castanho</b>	5	69,9	2,0	1,5	
	10	60,6	3,2	0,9	
	15	53,6	4,0	0,6	
	20	49,6	4,6	0,9	
	25	45,1	5,1	1,7	
	30	42,1	5,8	2,5	
	35	38,7	5,8	3,5	
	40	36,2	5,3	1,8	
	45	34,1	5,1	2,2	
	50	32,4	6,2	2,8	

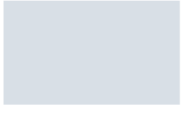






**Tabela A 15-** Resultados obtidos na medição de cor para cada percentagem de pigmento azul na matriz de alumina Alcoa CT3000 antes do polimento.

<b>Pigmento</b>	<b>%</b>	<b>L*</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>	<b>Antes do Polimento</b>
<b>Azul</b>	10	72,5	2,0	-32,0	
	15	69,2	3,0	-36,2	
	20	66,8	4,0	-38,9	
	25	64,3	5,2	-42,1	
	30	62,3	6,0	-44,3	
	35	61,0	6,7	-45,5	
	40	58,9	7,7	-47,6	
	45	57,7	8,3	-48,7	
	50	56,3	9,0	-49,9	
	55	55,5	9,5	-50,6	







**Tabela A 16-** Resultados obtidos na medição de cor para cada percentagem de pigmento azul na matriz de alumina Alcoa CT3000 depois do polimento.

<b>Pigmento</b>	<b>%</b>	<b>L*</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>	<b>Depois do Polimento</b>
<b>Azul</b>	10	70,9	2,3	-35,0	
	15	67,3	3,7	-39,4	
	20	64,8	4,7	-42,3	
	25	58,0	8,9	-49,7	
	30	55,9	10,1	-51,1	
	35	53,3	11,9	-53,1	
	40	49,7	14,4	-55,1	
	45	53,4	11,6	-53,1	
	50	52,8	11,9	-53,5	
	55	49,8	14,2	-55,8	

**Tabela A 17-** Resultados obtidos na medição de cor para cada percentagem de pigmento azul-turquesa na matriz de alumina proveniente da lama de anodização antes do polimento.

<b>Pigmento</b>	<b>%</b>	<b>L*</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>	<b>Antes do Polimento</b>
<b>Azul-turquesa</b>	10	88,4	-0,9	-4,3	
	20	84,9	-2,7	-4,3	
	25	80,1	-6,1	-9,8	
	30	78,5	-6,7	-10,6	
	35	75,7	-7,9	-12,6	
	40	72,9	-8,9	-14,3	
	45	71,7	-9,3	-15,5	

**Tabela A 18-** Resultados obtidos na medição de cor para cada percentagem de pigmento azul-turquesa na matriz de alumina proveniente da lama de anodização depois do polimento.

<b>Pigmento</b>	<b>%</b>	<b>L*</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>	<b>Depois do Polimento</b>
<b>Azul-turquesa</b>	10	86,1	-1,7	-3,3	
	20	82,2	-3,5	-4,2	
	25	76,3	-7,6	-10,8	
	30	75,8	-8,1	-11,1	
	35	71,5	-10,0	-14,5	
	40	69,3	-10,3	-16,0	
	45	65,9	-11,5	-17,8	