

Cláudia Sofia Coutinho de Oliveira

Controlo Estatístico - Indústria Cerâmica -

Mestrado em Química
Departamento de Química
FCTUC

Setembro 2012



UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Cláudia Sofia Coutinho de Oliveira

CONTROLO ESTATÍSTICO

- Industria Cerâmica -

**Dissertação apresentada para provas de Mestrado em Química, Área de
especialização em Controle de Qualidade e Ambiente**

Jorge Luís Gabriel Ferreira da Silva Costa Pereira

Marta Sofia Custódio Batista

Setembro 2012

Universidade de Coimbra

Agradecimentos

Esta dissertação não teria sido possível sem o apoio incondicional de algumas pessoas às quais quero deixar um agradecimento formal.

Deste modo agradeço todos os conhecimentos que me foram transmitidos relativamente a este setor industrial, nas pessoas da Eng.^a Marta Batista e Dr.^a Ana Avelino.

Não posso deixar de referir todo o ambiente que os meus colegas de trabalho têm proporcionado para facilitar a minha adaptação, bem como a colaboração de muitos dos operadores, nomeadamente os das linhas de produção aqui estudadas.

De seguida, gostaria de agradecer ao Departamento de Química pela estrutura de suporte a esta dissertação, bem como todos os conhecimentos que nos foram sendo transmitidos pelos professores e a forma como nos prepararam para integrar o "mundo profissional". Saliento aqui o Professor que mais me apoiou nesta fase, Doutor Jorge Costa Pereira.

Às PB's e a todos os colegas que me fazem recordar Coimbra com um grande sorriso ou com uma lágrima de saudade.

Por fim, agradeço aos meus pais e irmãos pela força que me transmitiram para chegar ao fim deste percurso, que marca muito o meu crescimento como pessoa e profissional.

Ao Luís agradeço a forma como me forçou a seguir o caminho certo quando a minha vontade era fugir às minhas obrigações.

<i>Objetivo</i>	vi
<i>Resumo</i>	vii
<i>Abstract</i>	viii
<i>Lista de acrónimos</i>	ix
<i>Lista de símbolos</i>	ix
1. Introdução	1
1.1 <i>Contextualização histórica</i>	1
1.2 <i>Revisão da literatura</i>	3
1.2.1 <i>Indústria Cerâmica</i>	3
1.2.2 <i>Cerâmica - Porcelana</i>	3
1.2.3 <i>Peças utilitárias e decorativas</i>	4
2. Fundamentação	6
2.1 <i>Processos</i>	6
2.1.1 <i>Pasta</i>	6
2.1.2 <i>Moldes e Formas</i>	14
2.1.3 <i>Conformação</i>	16
2.1.4 <i>Secagem</i>	17
2.1.5 <i>Vidragem</i>	19
2.1.6 <i>Cozedura</i>	20
2.1.7 <i>Escolha</i>	23
2.1.8 <i>Decoração</i>	23
2.1.9 <i>Mufla</i>	24
2.1.10 <i>Escolha</i>	25
2.1.11 <i>Embalagem</i>	25
2.2 <i>Acreditação</i>	26
2.3 <i>Certificação</i>	26
2.4 <i>Ferramentas da Qualidade</i>	28
2.4.1 <i>Kaizen</i>	30
2.4.2 <i>Ciclo PDCA</i>	30
2.4.3 <i>"Tempestade de ideias"</i>	31
2.4.4 <i>Diagrama de árvore ou fluxo de sistemas</i>	31
2.4.5 <i>Fluxograma</i>	32
2.4.6 <i>Diagrama de Causa e efeito</i>	33
2.4.7 <i>Histograma</i>	35

2.4.8 Controlo estatístico da Produção.....	35
2.4.9 Controlo dos Equipamentos de Medição e Monitorização	36
2.4.10 Cartas de Controlo	37
2.4.11 Análise de Pareto	38
2.4.12 Análise SWOT.....	38
3. Materiais e Métodos.....	41
3.1 Ensaios e Metodologias utilizadas no processo.....	41
3.2 Humidade.....	42
3.3 Resíduo ao peneiro	43
3.4 Densidade	43
3.5 Viscosidade	44
3.6 Resistência Mecânica.....	44
3.7 Índice pirolástico.....	45
3.8 Retração.....	45
3.10 Determinação de Chumbo e Cádmio	46
3.10.1 Espectroscopia de Absorção Atómica.....	46
3.11 Dureza da Pasta - Penetrómetro	48
3.12 Medição de espessuras - Paquímetro	48
3.13 Peso - Balança.....	48
3.14 Controlo da densidade dos vidros.....	49
3.15 Controlo dos perfis de temperatura dos fornos.....	49
4. Análise e discussão de resultados	50
4.1 Validação da certificação de equipamentos de medição e monitorização	50
4.2 Controlo da qualidade das matérias-primas	50
4.3 Controlo da dureza da pasta.....	50
4.4 Conformação - Controlo da qualidade.....	51
4.5 Análise de Paretos.....	53
4.6 Análise de defeitos das peças escolhidas.....	54
4.7 Análise SWOT.....	54
4.8 Análise Multivariada	59
5. Conclusões	74
Bibliografia.....	75
Anexos.....	76
A.1 - Definições	76
A.2 - Organigrama da Empresa	77
A.3 - Plano de calibração dos EMM's.....	78
A.4 - Plano de Monitorização, Inspeção e Ensaio.....	80

Objetivo

Com esta dissertação de mestrado, pretende-se reunir todas as variáveis que interferem no processo industrial da porcelana.

Pretende-se analisar quais os fatores com maior impacto na variabilidade da qualidade, para estes serem controlados.

Após esta análise, pretende-se tomar medidas sustentadas estatisticamente, com vista a obtenção de melhores resultados.

Melhorar as condições operacionais, reduzindo as quebras e os custos associados ao processo é um dos objetivos que se pretende atingir.

Aumentar a estabilidade das variáveis de qualidade (Peso, Dimensões, Brancura e Eliminação de defeitos), bem como identificar as áreas críticas do processo, que mais contribuem para a quantidade de peças rejeitadas, são metas a atingir.

Olhar para o processo do ponto de vista sustentável, afim de reduzir custos associados ao ambiente.

Resumo

Este trabalho de investigação consistiu no controlo estatístico e análise multivariada, aplicada à indústria da porcelana.

Todos os procedimentos relevantes envolvidos no processo são descritos, para posteriormente serem discutidos os resultados.

A indústria cerâmica de uma forma geral tem muitas variáveis. Este facto deve-se essencialmente à natureza das suas matérias-primas, que estando disponíveis na Natureza em diferentes locais e com origem distinta, apresentam características heterogéneas, tanto na sua constituição microscópica, como aspeto visual.

Sabe-se que nem todas as variáveis estão ao alcance do nosso controlo, como tal, procura-se estudar o seu comportamento, para encontrar formas de contornar esta limitação.

Esta dissertação assenta essencialmente na análise estatística, são abordadas por isso, diversas ferramentas usadas no controlo da produção, das quais destaco, as cartas de controlo, controlo estatístico da produção e análise de pareto,.

Abstract

This research consisted of statistical control and multivariate analysis applied to the porcelain industry.

All relevant procedures involved in the process are described, for the results to be discussed later on.

The ceramic industry in general has many variables. This is mainly due to the nature of their raw materials, which are available in Nature in different locations and with different origins, that present heterogeneous characteristics, both in its microscopic constitution and visual aspect.

It is known that not all variables are within reach of our control, because of that, we seek to study their behavior, to find ways to work around this limitation.

This work is essentially based on statistical analysis, we therefore use many tools used in production control, which we emphasize the control charts, statistical control of production and pareto analysis.

Lista de acrónimos

Sigla	Significado
CAE	Classificação Portuguesa das Atividades Económicas
CEP	Controlo estatístico da Produção
GSI	Gestão de Sistemas Integrados
INE	Instituto Nacional de Estatística
IPQ	Instituto Português da Qualidade
PDCA	Planear, Fazer, Controlar e Atuar
QFE	Fichas de Especificação da Qualidade
SPQ	Sistema Português de Qualidade
SWOT	Pontos fortes, pontos fracos, oportunidades e ameaças

Lista de símbolos

Símbolos	Significado
#	Número de componentes
λ	Valores próprios ou autovalores
H0	Hipótese nula
H1	Hipótese alternativa
R	Matriz correlação
Z	Matriz original
FL	Fatores latentes
SSx	Soma dos quadrados em x
SSy	Soma dos quadrados em y
JVx%	Variância justificada em x
JVy%	Variância justificada em y
SVx%	Variabilidade cumulativa justificada em x
SVy%	Variabilidade cumulativa justificada em y
Vx%	Variância residual em x
Vy%	Variância residual em y
TV	Teste t

1. Introdução

Neste capítulo, aborda-se algumas questões de contextualização relacionadas com este projeto. A origem da cerâmica e mais tarde da porcelana, são temas aqui descritos. Quando surgiu pela primeira vez a porcelana em Portugal e a sua ascensão até à produção industrial, são questões às quais se procurou responder nesta secção do trabalho.

1.1 Contextualização histórica

O termo "cerâmica" tem origem na Grécia, "Keramus", designação atribuída ao produto obtido com matéria prima inorgânica, não metálica, moldado a frio e endurecido pelo calor. A arte de moldar o produto tem a mesma designação.^[1]

As diferentes espécies de cerâmica, obtêm-se pela conjugação de diversas matérias primas, bem como a manipulação a que estas são sujeitas, por outras palavras - processo produtivo.^[2]

Tabela 1.1: Espécies de Cerâmica e suas características.

Tipo	Pasta	Porosidade	Revestimento
Terracota	Pasta corada	Porosa	Sem Revestimento
Faiança	Pasta corada	Porosa	Com Revestimento
Grés	Pasta corada	Compacta	Com ou Sem Revestimento
Louça de Barro	Pasta Branca	Porosa	Com ou Sem Revestimento
Porcelana	Pasta Branca	Compacta	Com ou Sem Revestimento

A pasta da Porcelana é obtida através de uma mistura de argilas refratárias, caulino, quartzo, e feldspato, que, cozendo a uma temperatura de 1420° C, se torna dura, translúcida, vitrificada e sonora ao toque. O veneziano Marco Polo, quando passou pela China entre 1271 e 1295, descreveu as peças feitas com pasta de porcelana, como objetos semelhantes ao nacarado de certas conchas *porcellas*, dando origem à palavra Porcelana. [2]

O segredo da pasta porcelânica, permaneceu guardado na China, durante centenas de anos. No século XVI a Europa avança com várias tentativas para obter esta pasta. É sobretudo em Itália que estas pesquisas se tornam mais ativas, chegando mesmo a fabricarem-se peças com características muito próximas da Porcelana, designando-se «porcelana dos Médicis¹», por ser sob a sua proteção.

Em várias regiões de Itália foram fabricadas peças cerâmicas, cujas, continham já o famoso caulino, mas este não estava nas proporções corretas. Só em 1708, o segredo é desvendado com o auxílio de um alquimista - Johann Frederic Böttger e de um físico - Walter von Tschirnhaus. Surge assim, a primeira fábrica de verdadeira porcelana dura, na Europa.

¹ Médicis - imponente família Italiana.

Em Portugal, a Porcelana surge por acaso, em 1773. Quando procuravam argilas refratárias para a construção de fornos de fundição no Arsenal do Exército, o tenente-coronel Bartolomeu da Costa encontrou vestígios de caulino em algumas amostras. A primeira peça feita foi uma placa retangular alusiva à descoberta do caulino; tem as armas reais, o ano da descoberta e a seguinte inscrição: «Descuberto pelo Then Coronel Bartholomeu da costa».

Antes, em 1722, Domingos Vandelli fez vários estudos laboratoriais e está descrito o elevado esforço para obter o caulino.

Em 1824, surge a primeira unidade fabril de porcelana, em Aveiro, pela mão de José Ferreira Pinto Basto. No entanto continuavam a faltar jazigos de Caulino que permitissem a industrialização. Em 1832, são localizados jazigos de Caulino em Val Rico. Assim se iniciou a industria da porcelana em Portugal.^[2]

Outras empresas no mesmo sector foram nascendo, seguindo as mesmas influências, no entanto, cada uma foi criando a sua marca.

Este trabalho foi efetuado com base nos dados da industria de Porcelana SPAL - Sociedade de Porcelanas de Alcobaça, S.A..



A empresa SPAL foi fundada em Junho de 1965, com o objetivo de produzir louça de mesa em porcelana, a ideia surgiu da união das três principais fábricas de cerâmica da região.

Figura 0.1.1: Logotipo da SPAL.

A fábrica iniciou a produção em 1968, impondo de imediato uma imagem de qualidade. No decorrer do tempo, aumentou a produção e deu início, de forma lenta mas firme, a outro dos seus (principais) objetivos - tornar-se uma grande empresa exportadora - sem nunca esquecer o mercado nacional.

Em 2000 foi inaugurada uma segunda unidade fabril, denominada XXI (designação atribuída pelo século em que nasceu).

Em Março de 2010, a fábrica foi adquirida pelo grupo Ângelo Mesquita, S.A., cujo já continha duas unidades fabris em Vila Nova de Famalicão, surgindo assim, mais uma oportunidade para a SPAL crescer.

Com a aquisição da Empresa pelo grupo Mesquita, surgiram novos investimentos, o aumento da produção continuou, sem nunca esquecer o valor da Qualidade da Porcelana criada pela marca. Os recursos Humanos no Controlo de Qualidade, foram reforçados para poder responder melhor às necessidades do mercado. A imagem gráfica foi renovada, dando origem a um novo logotipo, ver figura 1.1.

A SPAL é hoje uma empresa que ultrapassa em muito a realidade Nacional do mercado da porcelana, distinguindo-se pelo Design inovador e pela Qualidade da mesma.

A SPAL exporta hoje para mais de 20 países, incluindo entre outros, os Estados Unidos da América (o seu mercado de exportação com mais impacto), Inglaterra, Suécia, Alemanha, Itália, Canadá, França, Espanha, Bélgica, Áustria, Dinamarca, e alguns países africanos e sul-americanos. Até à pouco tempo, a SPAL era a única empresa Portuguesa a produzir para um grande grupo sueco, sendo este um dos principais clientes, cuja a exigência em termos de Qualidade é extrema. No entanto, este cliente transporta a porcelana Portuguesa para todo o Mundo, incluindo o Continente Asiático.

A SPAL emprega atualmente cerca de 400 trabalhadores, com os quais pode contar para manter o seu lema: "Queremos continuar a crescer com qualidade prestigiando sempre a história da marca SPAL".

A Empresa adquiriu a certificação ISO 9001, para formalizar aquela que já era a sua principal característica - Qualidade. A Certificação garante ao cliente que a Empresa se rege por uma Norma Europeia e que as suas linhas de orientação visam a focalização no cliente. Para permanecer no mercado e ultrapassar as várias dificuldades que surgem nas Empresas, é fundamental garantir a satisfação dos clientes e dar-lhes a confiança que a qualidade do produto oferece.

Paralelamente ao Controlo de Qualidade e por ser uma empresa em que este serviço está integrado na Gestão de Sistemas Integrados - GSI, são realizadas pela equipa: a gestão do ambiente, a responsabilidade em Higiene, Segurança e Saúde no Trabalho, bem como outras atividades relacionadas com os recursos humanos quando associadas à responsabilidade social.

1.2 Revisão da literatura

Nesta secção, pretende-se esclarecer numa perspetiva técnica, as principais características da pasta cerâmica na produção industrial, bem como da porcelana em particular.

1.2.1 Indústria Cerâmica

Todos os produtos fabricados a partir de qualquer argila e endurecidos pelo processo de cozedura, são designados corpos cerâmicos.

A pasta cerâmica surge da mistura de várias matérias-primas. Inicialmente os silicatos naturais (minerais de argila) eram a principal matéria prima, mais tarde foram sendo introduzidos numerosos óxidos puros (MgO , Al_2O_3 , ZrO_2 , etc.), carbonetos, buretos, nitretos, sulfuretos, etc.

As propriedades dos materiais cerâmicos (mecânicas, térmicas, elétricas, magnéticas, químicas), são influenciadas pela sua composição química, mineralógica, bem como as suas ligações químicas e o tipo de estrutura.^[3]

1.2.2 Cerâmica - Porcelana

A porcelana é na indústria cerâmica, a pasta nobre, pois as suas características exigem que sejam usadas matérias primas de elevada qualidade, mais caras. Para obter a cor da porcelana e a espessura fina das peças, é necessário usar matérias primas de elevada pureza.

Para iniciar a formulação da pasta cerâmica, é necessário definir quais as matérias-primas que constituem a sua composição, de acordo com as propriedades que desejamos ter no produto final, nomeadamente: grau de vitrificação, resistência mecânica, coeficiente de expansão térmica e condutibilidade calorífica.

É importante definir qual a temperatura final de cozedura, pois, em última instância é este parâmetro que define as propriedades finais da pasta.

A porcelana resulta da adição de grande percentagem de feldspato às argilas brancas:

O tipo de pasta mais comum na porcelana é a feldspática, sendo constituída geralmente por argilas, caulinos, quartzo e feldspato. Tem como características, um material cerâmico compacto, branco, mais ou menos

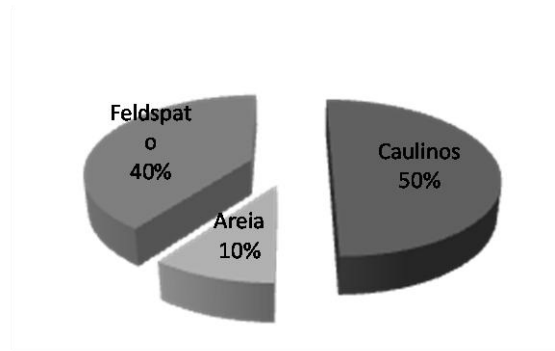


Figura 1.2: Principais constituintes da porcelana.

translúcido. é frequentemente revestida por vidro transparente. Os produtos cerâmicos em porcelana são normalmente usados para fins nobres, como artigos domésticos e decorativos, porcelana dentária, porcelana elétrica, etc.^[3]

1.2.3 Peças utilitárias e decorativas

As indústrias são identificadas com o CAE - Classificação Portuguesa de Atividades Económicas, de acordo com o que produzem. As indústrias cerâmicas, como já foi referido incluem vários tipos de material que conseqüentemente abrangem diversas áreas de negócio, entre os quais: cerâmica de revestimento, cerâmica para a construção, cerâmica utilitária, etc.

Assim, torna-se necessário subdividir as indústrias para na aplicação da legislação, esta ser adequada ao tipo de produto fabricado. Esta identificação permite ainda fazer vários estudos estatísticos a cargo do INE - Instituto Nacional de Estatística, os quais são essenciais para o desenvolvimento e consolidação do sistema estatístico nacional.^[4]

Desta forma a classificação da nossa indústria, de acordo com o CAE é C-2341.

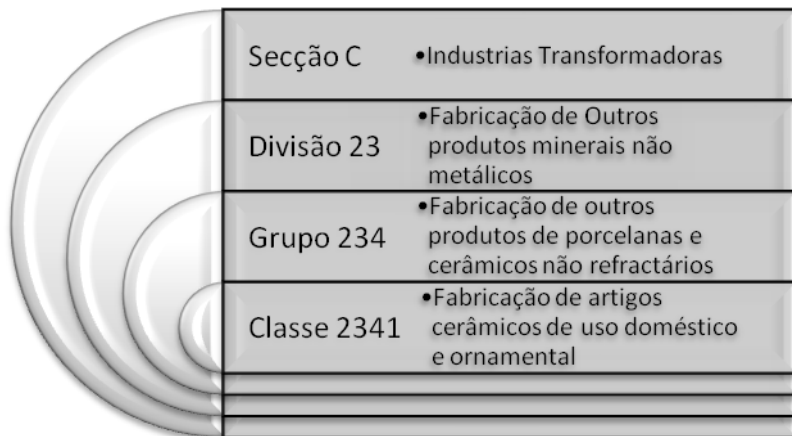


Figura 1.3: Esquema de classificação do CAE para o tipo de indústria aqui descrito.

2. Fundamentação

Neste capítulo, pretende-se explicar os conceitos técnicos deste trabalho, inicia-se com a explicação suficientemente pormenorizada do processo produtivo estudado neste trabalho e prossegue-se com a identificação das técnicas usadas no controlo estatístico.

2.1 Processos

Nesta secção, pretende-se dar a conhecer o processo produtivo na indústria da porcelana. Existem vários métodos de conformação, aqui será apenas referida a conformação por via plástica e húmida, uma vez que é este tipo de conformação onde se concentra o trabalho. A conformação das chávenas é feita por via plástica, isto é, a matéria-prima é misturada e antes de ser moldada apresenta uma consistência plástica, numa forma de "charuto". As asas das chávenas são conformadas a partir de pasta líquida, designada barbotina.



Figura 2.1.: Representação do processo produtivo em função das secções.

As propriedades dos produtos - físicas, químicas e microestruturais, são determinantes do tipo de utilização e dependem não só das matérias primas iniciais e das suas características, mas também, das operações de processamento e da profundidade das transformações por elas introduzidas, nas diferentes etapas do ciclo de produção.

2.1.1 Pasta

A preparação da Pasta consiste fundamentalmente na perfeita combinação de matérias primas plásticas, tais como caulino e argilas e matérias primas duras tais como areia e feldspato. A composição da pasta é fundamental para obter um produto final de qualidade. A translucidez e a brancura intensa da porcelana consegue-se com o doseamento e junção perfeitas destas matérias-primas, figura 2.2.

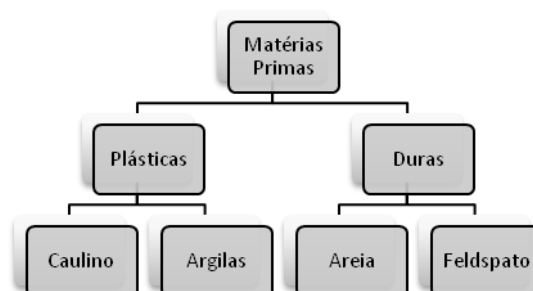


Figura 2.2: Matérias primas plásticas e duras.

2.1.1.1 Matérias-primas

A indústria cerâmica debate-se com diversos problemas, nomeadamente conseguir disponibilidade de matérias primas com qualidade e a preço favorável. Além disso, como as matérias primas são de origem natural, sofre grandes oscilações constituindo um problema na obtenção de um processo homogéneo, esta característica provoca diferentes comportamentos tecnológicos, o que origina, como se percebe, variações nas propriedades dos produtos semiacabados ou acabados.

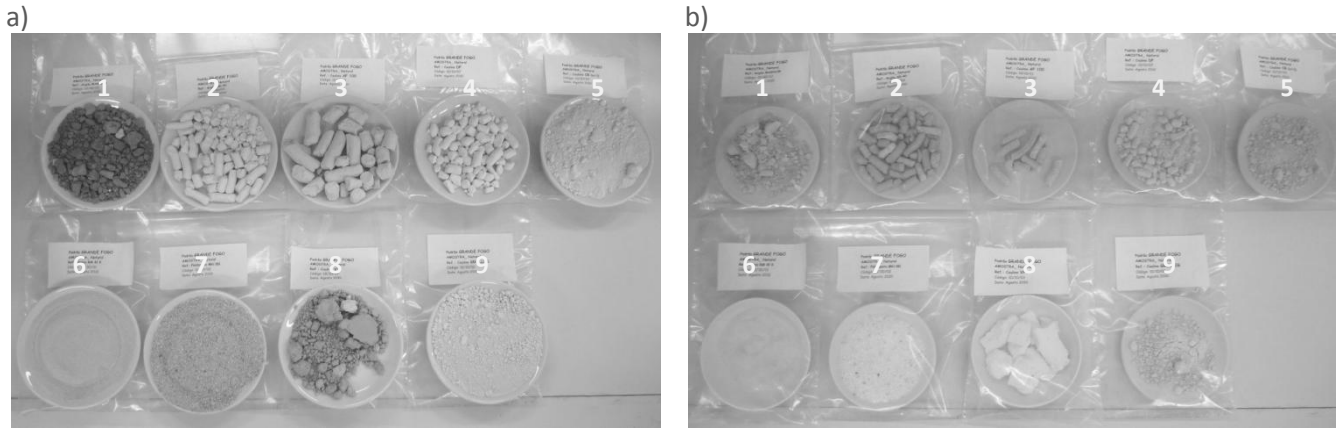
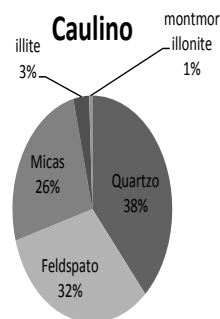


Figura 2.3: Amostras das matérias primas usadas na produção da pasta, a) no estado natural e b) após tratamento térmico; 1 - Argila Magnum; 2 - Argila AR-40; 3 - Caulino AP 100; 4 - Caulino DP; 5 - Caulino CB br/s; 6 - Areia RM 41 K; 7 - Feldspato MN 181; 8 - Caulino VP; 9 - Caulino Grolleg.

As matérias primas plásticas quando misturadas com água, caracterizam-se pela sua capacidade de sofrer deformação quando sujeita a uma pressão, sem alteração da sua constituição e quando a pressão é retirada mantém a forma adquirida.

As argilas resultam da meteorização de feldspatos (contidos maioritariamente em granitos e outros minerais alumino-silicatos).

O caulino é por excelência, o componente plástico das pastas de porcelana, este quando submetido ao processo de cozedura (à temperatura da porcelana 1420 °C) apresenta cor branca.



O Caulino enquanto matéria prima é constituído por outros componentes que se misturam durante a sua desagregação da rocha-mãe, ver figura 2.4.

À medida que se eleva a sua temperatura de cozedura, a caulinite e certos compostos provenientes diretamente da rocha-mãe podem formar vidro que vai cimentando a massa, conferindo dureza e solidez ao caulino cozido.^[3]

Figura 2.4: Constituição do Caulino, principal matéria prima da porcelana.

As Argilas ou Barros, normalmente são arrastados pelas águas e depositados longe do local de origem. Este transporte, provoca separação física por tamanhos, assim, os depósitos encontrados são constituídos essencialmente por argilas de grão mais fino. Por outro lado, incorpora outras substâncias ao longo do percurso, o que aumenta a heterogeneidade da sua constituição.

Esta variabilidade de constituição permite um sem número de proporções entre minerais argilosos e outros componentes possíveis (substâncias de origem animal, vegetal, conchas calcárias, ou siliciosas, gesso, e outros sais solúveis, pirite. etc.). Consequentemente, as qualidades são extremamente variáveis.

Relativamente aos caulinos, as argilas são mais plásticas, devido á sua constituição orgânica, bem como ao tamanho das partículas - mais finas, esta constituição permite ainda, aumentar a resistência mecânica da pasta em cru.

As argilas durante o processo de aquecimento, tanto secagem, como cozedura, retraem-se mais que os caulinos. De uma forma geral a contração aumenta na proporção inversa do tamanho das partículas. As argilas são geralmente mais escuras, por isso menos usadas na pasta da porcelana.

Tabela 2.1: Principais caraterísticas das argilas.

Argila	Características
Siliciosa	Grande percentagem de areia; Muito Refratária; Pouco plástica.
Calcária	Comporta-se como vitrificante a temperaturas altas (devido à reação entre CaO - óxido de cálcio com a Sílica);
Ferruginosa	Contém compostos ferruginosos, (FeO - óxidos de ferro) quando sujeitos à temperatura de cozedura e/ou atmosfera redutora no forno, provoca cor vermelho, acastanhado ou até mesmo negra.
Alcalina ou de Grés	Contém feldspatos alcalinos, que fundem a temperaturas baixas.
Nacional	São de grande qualidade, por vezes apresentam grande heterogeneidade.

As matérias primas não plásticas são adicionadas às pastas cerâmicas para as estabilizar, permite melhorar o processo de secagem, redução do encolhimento (contração), aumento de estabilidade durante a cozedura, facilita a moldagem da pasta.

A adição das matérias duras - areias e feldspatos, vai equilibrar o comportamento das matérias plásticas, facilita o fabrico de peças sem deformações e sem fendas devido à contração da secagem.

O Quartzo (SiO₂) regula o coeficiente de expansão térmica, é importante controlar o tamanho do grão e a pureza para permitir a transformação em cristobalite, **polimorfo** de sílica.

Nas pastas de porcelana, devem ser usadas as areias mais puras e moídas até dada granulometria rigorosamente controlada para obter maior homogeneidade.

Os feldspatos quando moídos finamente e introduzidas nas pastas favorecem a vitrificação a temperaturas mais baixas, permitem diminuir a porosidade da pasta.^[5]

A introdução de carbonatos permite a introdução de óxidos, no entanto pode criar problemas de descarbonização, sobretudo em ciclos de cozedura rápida.

A calcite influencia o coeficiente de dilatação das pastas e normalmente facilita a afinidade com o vidro.

Enumeradas as matérias primas que poderão ser usadas, bem como as suas principais características. Esta informação é importante, para avaliar quais delas podem influenciar o nosso produto final, bem como a ligação destas a eventuais defeitos e/ou problemas que possam surgir.

A composição da pasta cerâmica combina estas matérias primas: plásticas e não plásticas. O processo de preparação da pasta cerâmica consiste na combinação destas matérias nas proporções certas, de forma a obter as características desejadas.

Após a caracterização da composição da pasta, inicia-se a preparação da mesma.

Antes de proceder à pesagem, deve verificar-se a percentagem de humidade de cada matéria prima, se estas tiverem completamente secas, procede-se á pesagem nas quantidades correspondentes à composição percentual, caso contrário, é necessário ter em conta a humidade de cada componente e definir a quantidade tendo em conta a percentagem de humidade.

2.1.1.2 Moagem e Moinhos Cerâmicos

Como vimos anteriormente as qualidades da pasta cerâmica dependem diretamente da granulometria das matérias-primas. Aqui o processo de moagem é fundamental, para obtenção das espécies químicas, que combinadas, permitem as características desejadas. É necessário definir o processo de moagem e controlar a granulometria.

O processo de moagem consiste na diminuição do tamanho das partículas de um material sólido, tendo em vista o aumento da superfície livre para aumentar a velocidade de reação, permitir uma mistura mais homogênea e para obter um pó com as características ideais de utilização.

A produção da pasta cerâmica consiste na preparação dos vários componentes que a constituem.

A preparação pode ser feita por três métodos, que diferem entre si devido à sua finalidade, dos quais podemos distinguir:

- Preparação para conformação por via seca;
- Preparação para conformação em semi húmida ou plástica;
- Preparação para conformação por via húmida.

Neste trabalho o tipo de conformação abordado é plástica (semi húmida).

Há vários tipos de aparelhos de moagem, a escolha é feita consoante o tipo de granulometria desejada, a necessidade de obter maior homogeneização dos componentes, a eliminação de impurezas e/ou obtenção de um determinado estado físico (arranjo molecular).^[3]

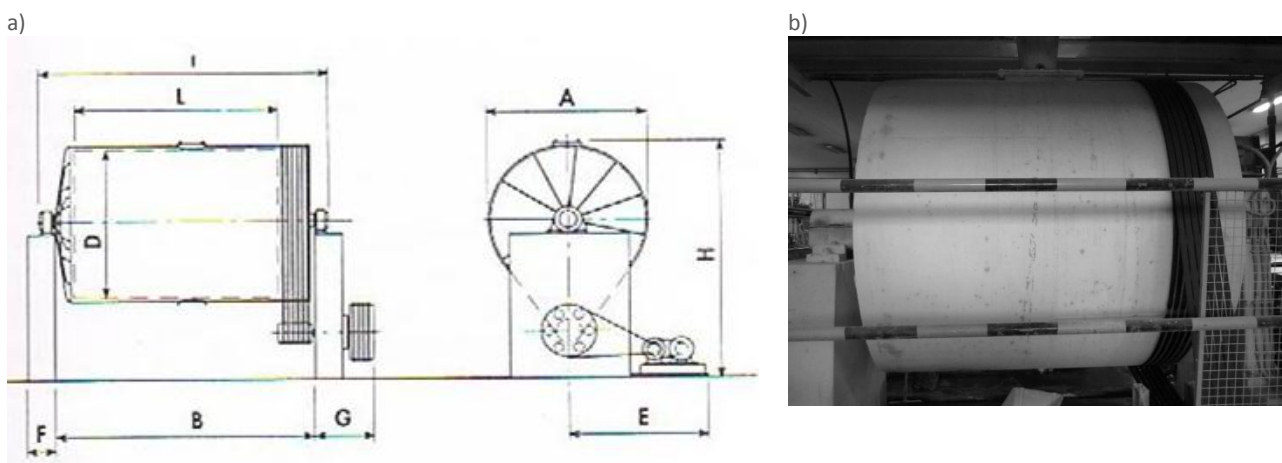


Figura 2.5: Moinhos de bolas, a) representação esquemática e b) fotografia.

Para a moagem fina, usamos moinhos de bolas figura --, cujo princípio de funcionamento é um reservatório com forma cilíndrica, oco, este gira em volta do seu eixo. No interior contém bolas ou seixos, estes agentes mecânicos movem-se à medida que o reservatório gira, mantendo uma rotação constante e desta forma moem a matéria prima. Estes equipamentos aparentemente simples, no entanto o seu funcionamento é bastante complexo, assim sendo é necessário estudar as suas variáveis e critérios de utilização.

As principais vantagens que pudemos obter com a utilização deste tipo de moinhos são:

- Possibilidade de utilização em seco ou em húmido;
- Pode funcionar como misturador ou dispersor;
- Tem uma relação de redução relevante;
- Pode ser protegido contra a abrasão, com um revestimento evitando a contaminação dos produtos moídos;
- Permite preparar grandes massas de produtos abrasivos (e sem vigilância).

A escolha do material moente é muito complexa, tem que ter em linha de conta o material a moer e as suas características, material muito leve é arrastado, por outro lado, se for muito pesado provoca grande desperdício energético.

Após as operações de moagem e diluição, procede-se à remoção de partículas e produtos nocivos à pasta. Esses produtos podem ser de vários tipos: materiais cuja moagem não foi completa, impurezas orgânicas (restos vegetais) e partículas de ferro metálico, relembro que as matérias primas usadas são de origem mineral, dispostas na natureza. Assim, procede-se à peneiração e desferrização, processo que permite a remoção das partículas indesejadas.

Segundo um estudo efetuado por M. Ribeiro e J. Abrantes, relativamente á moagem em Moinho de bolas. Estudo este, desenvolvido no sentido de encontrar uma relação entre a natureza da matéria-prima, da densidade da suspensão e da taxa de ocupação do moinho, durante a moagem.

Após este estudo, os autores concluíram que as condições iniciais da matéria-prima condicionam a evolução do grau de moagem. Quando a matéria prima é caracterizada por diferentes graus de dureza, esta determina a evolução da moagem. Já a granulometria só afeta a moagem quando a matéria prima tem graus de dureza semelhantes. Quando a suspensão é mais densa, o rendimento da moagem é melhor, assim, a moagem a baixa densidade não traz vantagens. Como a baixa densidade inclui mais quantidade de água, esta também não é vantajosa nos processos que se seguem, pois estes são essencialmente para remoção de água. Ou seja a alta densidade é mais vantajosa, por duas razões: aumento de rendimento e diminuição de tempo na remoção de água para prosseguir no processo.

Por definição, taxa de ocupação do moinho refere-se à quantidade de matéria prima a moer.

No estudo que se descreve, os autores concluíram que para maiores taxas de ocupação, obtém-se maior rendimento de moagem. Assim uma carga correspondente a 25% do volume útil pode ser um bom valor de referência, para a moagem deste tipo de matérias primas cerâmicas em moinhos de bolas.

No que concerne ao consumo energético da operação de moagem, taxas de ocupação de 20% parecem ser as adequadas para moinhos desta dimensão.

Assim a taxa de ocupação entre 20 e 25% será uma boa referência.^[6]

A desferrização, é fundamental na preparação da pasta porcelânica, uma vez que uma das suas principais características é a brancura. A existência de ferro metálico na pasta origina manchas de cor vermelho a preto, devido à fusão do ferro aquando da cozedura da pasta. A existência destas manchas desvalorizam o produto final, sendo este rejeitado. Esta etapa do processo, necessita apenas de um íman que colocado em contacto com a pasta, lhe retira as partículas metálicas (limalhas). Este íman colocado sob a forma de magnete é possível ser retirado para limpeza de manutenção.

2.1.1.3 Diluição

Os moinhos de bolas são usados para moer uma parte das matérias primas, as designadas por duras. As matérias plásticas (argilas e caulinos) são diluídas em água, para permitir uma mistura homogénea.

O diluidor mecânico usado neste processo, é constituído por um motor que aciona uma hélice, fixa na extremidade de um eixo, ver figura 2.6 a). O conjunto é fixo à tampa de um poço ou cuba. A hélice segue um movimento de rotação motorizado, que proporciona agitação a alta velocidade facilitando a diluição (esta é dificultada pela plasticidade das matérias usadas).

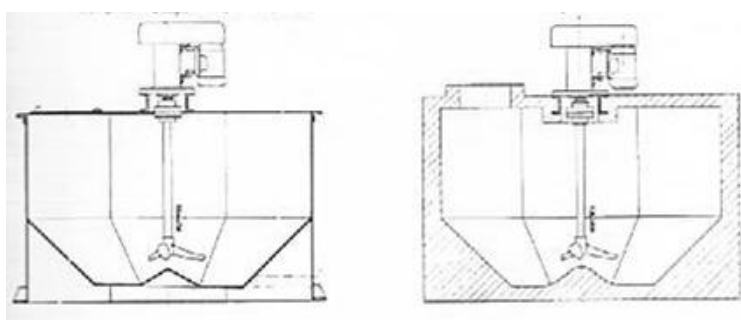
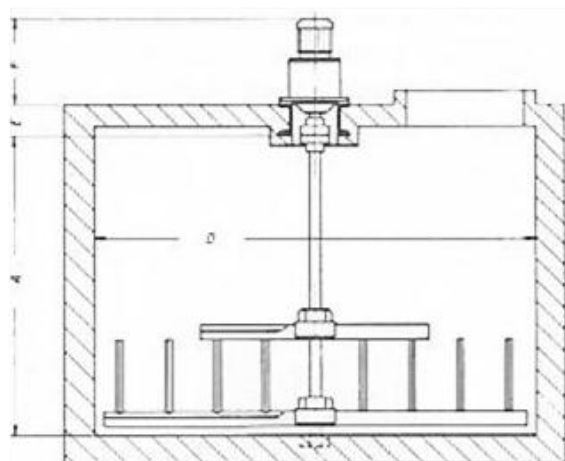


Figura 2.6: Representação esquemática de diluidores misturadores.

2.1.1.4 Mistura

Após a moagem dos materiais duros e diluição dos plásticos, procede-se à mistura de ambos. Esta mistura passa no peneiro e no magnete para eliminar as partículas contaminantes, seguindo-se o armazenamento com agitação lenta contínua, figura 2.7.

a)



b)



Figura 2.7: Depósito subterrâneo em betão para armazenamento, com agitação contínua da suspensão, a) representação esquemática, b) fotografia.

Nesta fase do processo, controla-se a densidade da pasta. Esta grandeza dá a relação entre a massa volúmica de uma substância e a massa volúmica da água pura - densidade relativa.

Não é conveniente adicionar demasiada água durante o processo, porque se a pasta tiver uma densidade demasiado baixa tem de ser corrigida com **atacagem**, o que significa introduzir resíduos da produção na pasta

para a tornar mais densa. Esta adição na pasta torna-a muito mais suscetível de contaminação, como estes resíduos provêm do excesso de pasta na conformação, podem ter outros resíduos que não aparas.

2.1.1.4 Desfloculação e Floculação

São vários os processos de preparação, que temos vindo a referir, para que o produto final obtenha as propriedades próprias para o fim a que se destina. Há sucessivos tratamentos para que a moldagem (ou conformação), quer seja por pasta plástica, em seco ou em barbotina (via líquida), seja possível e não provoque defeitos nas peças, desvalorizando-as. Estes tipos de preparação, necessitam de quantidades variáveis de água de acordo com os diferentes ciclos operativos, que permitem um pasta homogênea e refinada.

Designa-se por desfloculação, a dispersão das partículas sólidas em suspensão aquosa para formar barbotina.

Para a preparação e purificação das matérias primas, recorre-se a processos como a dispersão (desfloculação) e sedimentação (floculação). Existem desfloculantes e floculantes que permitem dirigir estes processos da forma que desejamos.

O fenómeno de desfloculação, no caso das matérias primas argilosas, explica-se com base no potencial zeta (cada partícula tem um gradiente de potencial, devido à existência do núcleo muito rico em eletrões e na periferia uma intensidade de protões adsorvidos menor).

A argila está em meio aquoso, portanto está ligada a moléculas de água, no entanto existem moléculas de água livres. Como a molécula de água é polar, existe uma deslocalização da carga sobre a micela, que promove a orientação das moléculas de água adjacentes. As partículas em suspensão no líquido estão em constante movimento, devido à desorientação das moléculas que estão no meio. Este movimento aproxima as partículas de argila que acabam por se ligar por ligações *Van der Waals*. Para distâncias muito pequenas, inferiores ao diâmetro das moléculas, estas ligações tornam-se relevantes, mantendo as partículas atraídas entre si. No entanto, existe em simultâneo as forças repulsivas causadas pelas cargas negativas existentes em todas as partículas. Temos em simultâneo forças atrativas e repulsivas entre as partículas, que correspondem à separação ou aproximação das mesmas, estes factos explicam o fenómeno de floculação e desfloculação.

Nas suspensões desfloculadas, as partículas em suspensão estão separadas, a viscosidade aparente é menor. A suspensão é fluida e estável com menor quantidade de água.

Relativamente a suspensões floculadas, estas apresentam maior coesão, o espaçamento entre as partículas é menor, existe maior afinidade entre as mesmas ocorrendo a presença de flocos (agregados de partículas), para obter a mesma fluidez será necessário maior quantidade de água.

A variação do potencial Z, altera o fenómeno da floculação. Assim, a adição de determinadas substâncias que promovam a variação do potencial Z, alteram o estado da suspensão.^[3,5]

As suspensões de argila em água, comportam-se de forma diferente do líquido.

A viscosidade define-se como a resistência que um líquido oferece ao movimento, provocado pela fricção interna entre camadas adjacentes. Um líquido, a temperatura constante mantém a viscosidade. No caso de uma suspensão, a viscosidade já não é constante porque é perturbada por movimentos mecânicos, além disso e neste caso, uma suspensão de argila, depende da sua densidade, quanto maior a densidade, maior a viscosidade.

Na industria cerâmica é habitual usar o termo fluidez, ou seja, o inverso da viscosidade. Falar numa suspensão fluida, significa, que esta tem facilidade em deslocar-se, equivale a uma suspensão pouco viscosa.

2.1.1.5 Filtro Prensa

Nesta fase da produção da pasta, as suspensões são bombeadas para os filtro prensa, onde se processa a eliminação da maior parte da água do processamento. Na figura 2.8 a), está representado o modo de funcionamento das camaras de filtração. O bolo de filtração, resulta da pressão a que é sujeita a suspensão. A água é descarregada para o exterior, através de um sistema de canais de escoamento. A operação termina quando não sair líquido pelos orifícios de descarga.^[5]

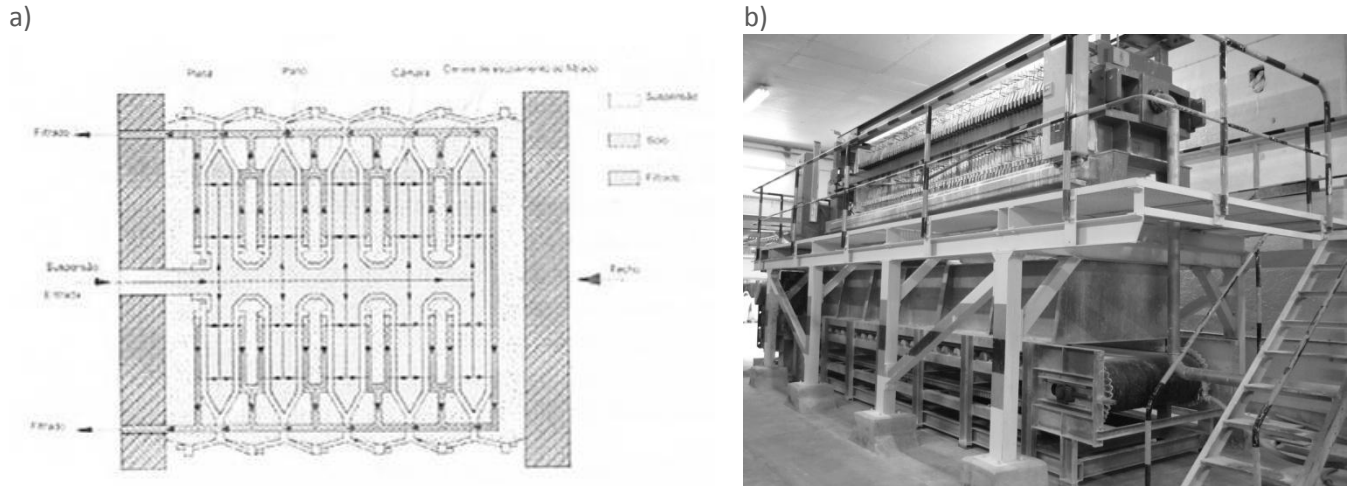


Figura 2.8: Filtro prensa, a) representação esquemática e b) fotografia.

2.1.1.6 Fieira

Após ser retirada a água em excesso no filtro prensa, as camaras de filtração afastam-se para o bolo filtrado ser extraído. O bolo de filtração cai sob ação da gravidade, na passadeira que o conduz até ao próximo estágio.

O bolo filtrado entra num sem-fim, onde é destroçado, para eliminar os efeitos das diferenças de humidade. Em seguida é extrudido sob vazio (figura 2.9), na forma de cilindros (charutos), com diâmetro e comprimento variáveis, de acordo com a dimensão das peças a que se destina produzir.

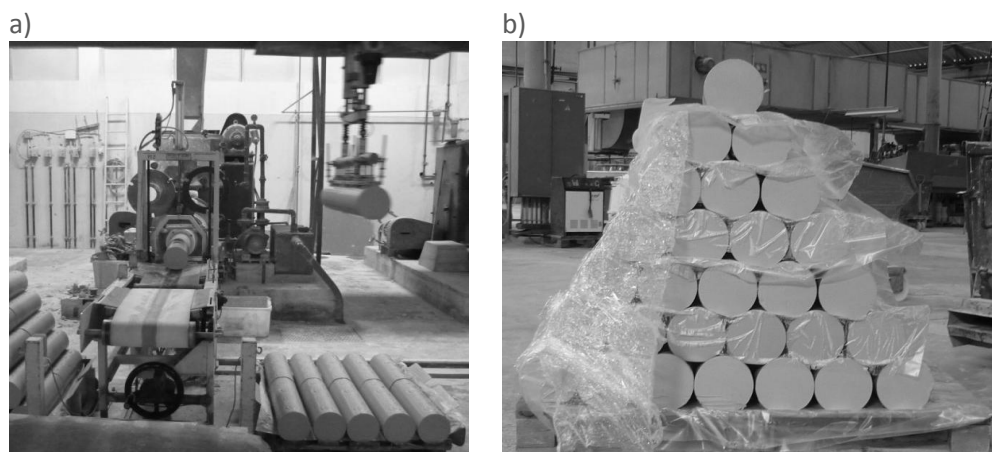


Figura 2.9: a) Extração da pasta através da fieira e formação das paletes de pasta; b) palete de pasta.

2.1.2 Moldes e Formas

Ao longo da história da cerâmica, foram sendo desenvolvidas novas técnicas e tecnologias para melhorar os processos, inicialmente as peças eram moldadas manualmente com a ajuda de um torno. Usando esta técnica, cada peça é única e demora mais tempo a ser conformada. Para tornar o processo mais eficiente e obter peças iguais, foi necessário introduzir algo que permitisse moldar todas as peças da mesma maneira, para estas adquirirem igual forma - surgem os moldes e as formas.

A matéria prima mais comum para a produção de formas e moldes é o sulfato de cálcio di-hidratado, designado vulgarmente por gesso.

Atualmente já existem outros materiais para fabricar os moldes, tais como as resinas acrílicas (no caso do enchimento sob pressão), no entanto a substância mais usada, continua a ser o "gesso".

Do ponto de vista químico, o gesso é um semi hidrato de sulfato de cálcio ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) que cristaliza no sistema monoclínico, tal como mostra a figura 2.10. Este aparece na natureza com uma estrutura lamelar, com as lamelas ligadas entre si por moléculas de água.

Sob diferentes condições de pressão, temperatura e humidade, o "gesso" pode ser decomposto nas formas hemi-hidrato α ou β , ver a representação da estrutura dos cristais na figura 2.10.

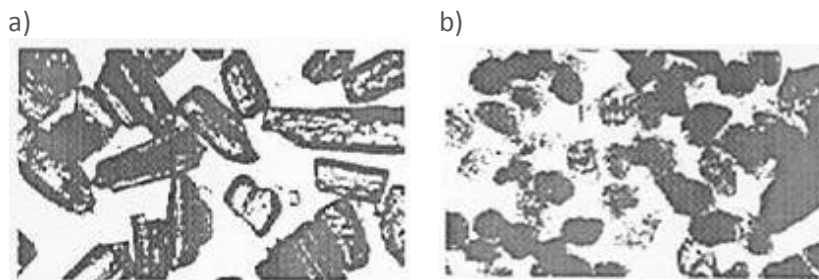


Figura 2.10: Morfologia das partículas de gesso a) α e b) β .

Após o tratamento térmico, os hemi-hidratos são moídos, aditivados e ensacados ou fornecidos a granel.

Os cristais da forma β apresentam uma estrutura escamosa e forma irregular, enquanto os da forma α , são densos, têm elevada cristalinidade e contorno perfeitamente definido.

O "gesso" é armazenado no estado sólido, quando é necessário produzir formas, este é misturado com água nas proporções adequadas para a consistência que se pretende. Esta mistura é feita nas proporções massa de gesso para massa de água.

A forma β , devido às suas características, necessita de mais quantidade de água para a mesma quantidade de massa da forma α .

massa de gesso/massa de água	
forma α	forma β
2,5 : 1	1,43 : 1

Figura 2.11: Proporção das massas de gesso por massa de água, nas formas de estrutura α e β .

Devido à proporção da mistura, a forma α gera um di-hidrato com maior resistência mecânica, maior dureza, maior expansão e menor porosidade do que a mistura obtida com a forma β .

Para se fabricar em série um determinado objeto, inicia-se com um modelo em gesso - modelo A, a partir deste é obtida uma forma - forma do modelo. A partir da forma do modelo, obtém-se o seu negativo, designado por madre. A partir da madre, obtêm-se as várias formas de trabalho.^[5]

O fabrico das madres, é uma fase crítica de todo o processo. Assim, é necessário fazer uma escolha correta dos materiais a usar. A matéria prima usada para a produção de madres deve ter pouca ou inexistente expansão, para permitir conservar as medidas desejadas na peça. A superfície da madre deve ser lisa e de grande durabilidade, esta é a ferramenta que serve para fazer todas as formas de um objeto, é fundamental que esta mantenha as suas características ao longo do tempo. As madres são a referência das suas formas e podem ser armazenadas durante longos períodos, por esta razão é essencial que estas apresentem estabilidade dimensional no armazenamento e durante a utilização. O manuseamento das madres deve ser fácil e sem deterioração.

Na produção das madres, usa-se vulgarmente uma resina epoxídica, ver figura 2.12, designada comercialmente por Araldite[®], é um plástico que endurece por ação de um catalisador.

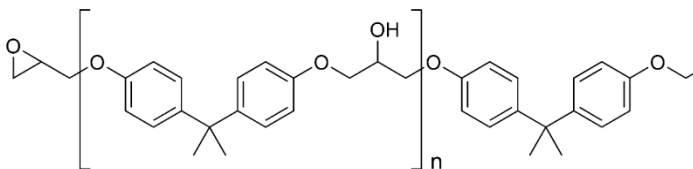


Figura 2.12: Estrutura molecular de um polímero epóxi.

Após a produção das formas, segue-se a etapa de hidratação, consiste na formação da rede cristalina. A secagem do gesso é a última fase do processo.

Quando se produzem as formas de trabalho, tal como no caso das madres, é necessário que a matéria prima da qual estas são produzidas, se mantenha inalterado. Desta forma, é necessário que as propriedades das matérias usadas e as condições em que decorre as diversas operações de processamento sejam controladas e não sofram alterações significativas ao longo do tempo.

Uma escolha inadequada de gesso para a produção de formas, pode provocar vários problemas nas peças. A formação de poros no gesso durante a produção das formas, provoca vários defeitos na superfície das peças, bem como a perda de detalhes (precisão). A expansão do gesso deve ser moderada e uniforme, porém, se tal não acontecer, dificulta a extração da forma da respetiva madre. Outra das razões pela qual é importante um controlo da qualidade do gesso, prende-se com a resistência deste, formas com pouca resistência levam a um desgaste mais rápido.

O armazenamento do gesso deve ser cuidado, este deve estar o menor tempo possível armazenado, para evitar perda de propriedades, tal como a viscosidade.

Para além do cuidado com a escolha e armazenamento do gesso, também é importante referir as condicionantes que surgem no processo da produção das formas. Durante o processamento, existem variáveis que interferem na produção das formas, nomeadamente: a água utilizada (poderá conter impurezas), a temperatura da água, a velocidade de agitação da mistura e o estado de limpeza das ferramentas necessárias.

Os defeitos associados à suspensão relacionam-se com valores da viscosidade e tixotropia incorretos. Estes refletem-se nos tempos de realização de cada uma das etapas de conformação e na qualidade final dos produtos conformados.

Os defeitos que podem estar relacionados com os moldes, surgem essencialmente pela conceção deficiente dos moldes, adoção de procedimentos incorretos durante o seu fabrico, ou por alteração da qualidade do gesso usado. Podem provocar a existência de zonas vazias no interior da peça; Peças demasiado húmidas e facilmente deformáveis, bem como formação de poros na superfície da peça ou próxima dela.

Apesar da degradação dos moldes ser responsável por muitos dos defeitos que surgem nas peças. O conhecimento dos mecanismos de degradação, permitem atuar de forma a aumentar a sua vida útil. Os moldes em gesso são uma solução económica e de utilização fácil.

2.1.3 Conformação

Na indústria da porcelana, usam-se vários métodos de conformação, como está esquematizado na figura --. A conformação plástica é usada nos equipamentos do tipo *Roller*, a conformação por enchimento usa pasta líquida (ou barbotina). A conformação por enchimento é uma conformação tradicional, no entanto há equipamentos que o fazem de uma forma automatizada. A prensagem isostática usa como matéria prima uma mistura sólida - pó, sobre a qual é aplicada uma força para adquirir determinada forma.

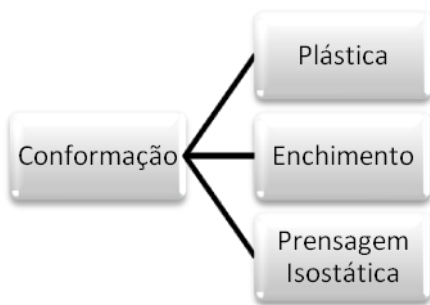
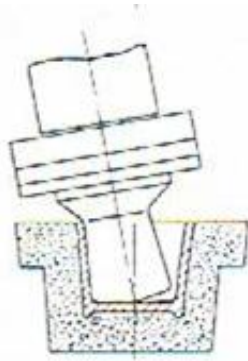


Figura 2.13: Vários tipos de conformação.

Neste trabalho apenas aborda-se a conformação plástica por *roller*, no entanto as peças em causa são específicas da linha de chávenas e na sua maioria, são constituídas por um corpo e uma asa, em que a asa é conformada por enchimento.

A conformação por *Roller* é o processo de conformação plástica mais usada na porcelana, para peças simétricas consegue ter um rendimento superior aos outros tipos de conformação. Este tipo de equipamentos poderá ter apenas uma cabeça, ou, como nas mais modernas linhas automáticas, várias cabeças. Neste caso, em específico, os equipamentos de conformação usados são de conformação interna, com duas cabeças.

a)



b)



Figura 2.14: Conformação plástica, por roller, a) representação esquemática da conformação interna, b) foto de uma linha de chávenas com duas cabeças de nylon.

Num movimento automático a cadeia vai circulando, quando chega á extrusora, esta deixa cair duas fatias de pasta, correspondentes a cada cabeça, por vezes, esta é calcada para permitir uma moldagem uniforme. A moldagem acontece quando a panela levanta a forma e em simultâneo a cabeça baixa, imprimindo um movimento de rotação na fatia da pasta e esta molda-se á forma que a envolve, no interior obtém o formato da cabeça com ou sem inclinação.

Devido às forças tangenciais a que a pasta está sujeita pela rotação da cabeça e em simultâneo da panela, a espessura da pasta vai diminuindo, o excesso de pasta é removido pela ação do cortador. Este ciclo repete-se.

A conformação por *roller* origina grande quantidade de aparas, a qual representa entre 30 a 80 % da quantidade de louça verde produzida.^[5]

Esta pasta residual está sujeita a alterações de humidade e textura e até pode incorporar gesso. Assim, esta pasta residual, designada aparas, pode ser introduzida no processo , desde que seja numa fase inicial para passar as fases de diluição, peneiração, separação magnética e filtro-prensagem, Afastando o risco de contaminação. Estas aparas quando usadas novamente no processo, designam-se **atacagem** e serve para regular a densidade da pasta "virgem", como já foi referido na secção relativa a produção de pastas.

A técnica de conformação por enchimento utiliza a pasta líquida para a conformação de peças de forma irregular. A pasta no estado líquido resulta da suspensão, em água, dos materiais moídos que constituem a pasta de porcelana. A peça permanece então no interior do molde, de onde é retirada após algum tempo de secagem, o que torna possível o cuidadoso manuseamento da mesma. Para além do enchimento, existem ainda as técnicas de contramoldagem e prensagem isostática.

Após conformação, todas as peças estão sujeitas à operação de acabamento. O acabamento permite tirar automaticamente e/ou manualmente, a **rebarba** das peças ou suavizar a superfície das peças.

2.1.4 Secagem

Do ponto de vista industrial, a secagem é uma das fases mais delicadas de todo o processo produtivo cerâmico, nesta fase associam-se as perdas de massa e a variação das dimensões do corpo cerâmico.

A ocorrência de gradientes térmicos e de humidade, durante o processo de eliminação da água, dá lugar ao aparecimento de tensões mecânicas, suscetíveis de gerar defeitos nos produtos - deformações e fissuras, que os inutilizam ou baixam os níveis de qualidade.

De grande importância são os fatores económicos, que, nesta fase são extremamente elevados, devido aos gastos energéticos.

Quando um sólido é submetido a uma operação de secagem térmica, ocorrem em simultâneo dois processos de transferência:

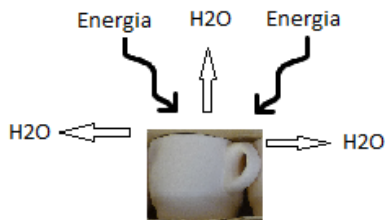


Figura 2.15: Esquema dos fenómenos ocorridos durante a operação de secagem (gradientes térmicos e de humidade).

A secagem é uma das operações da produção dos produtos cerâmicos que causa grande preocupação, devido ao consumo elevado de energia e ser responsável por defeitos que inutilizam os produtos.

Após a secagem no secador a uma temperatura entre 60 e 80 °C, em que a humidade é reduzida a 2%, os produtos podem ser submetidos a uma primeira operação de cozadura (chacotagem), servindo para consolidar a base.



Figura 2.16: Secagem de asas, a) formas horizontais, b) formas verticais.

Para que as peças possam ser vidradas devem ser chacotadas (cozidas no forno de chacote), a uma temperatura que ronda os 980° C. Este passo destina-se, não só a dar à peça uma pequena resistência mecânica, que permite a manipulação das mesmas sem perigo de quebra, mas também para assegurar a porosidade necessária à operação de vidragem. Esta cozadura pode ser omitida no processo produtivo de peças pequenas,

mais resistentes, desde que estas estejam bem secas, poupando espaço no forno, tempo e consecutivamente dinheiro.

As peças ficam com menos humidade e maior resistência mecânica. Este tipo de fabrico é denominado bicozedura, tal como esquematiza a figura 2.17.

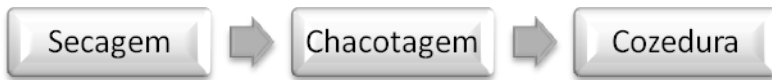


Figura 2.17: Representação do processo por bicozedura.

Quando as peças, depois de secas são cozidas de imediato, sem passar pelo o estágio de chacote, o processo denomina-se monocozedura, ver figura 2.18.



Figura 2.18: Representação do processo por monocozedura.

2.1.5 Vidragem

A vidragem, consiste em recobrir as peças com uma suspensão de vidro, opcionalmente colorido ou transparente. Após cozedura a alta temperatura, a camada de vidro confere á superfície das peças um brilho agradável e torna a superfície macia ao tato e de fácil limpeza, constituindo um suporte ideal para aplicação de tintas e metais nobres utilizados na sua decoração.

Como a principal característica da porcelana relativamente a outros materiais cerâmicos é a sua brancura, o vidro usado é normalmente transparente. Este confere-lhe ainda maior resistência química, resistência à abrasão e impermeabilidade.

No entanto, pode ser aplicada uma técnica diferente, que consiste em passar à segunda cozedura sem que a peça seja vidrada, dando origem a peças com um aspeto bem diferente, sem brilho, denominadas *biscuit*, esta técnica é usada principalmente em peças que necessitam de ser mais translúcidas, como os *t-light* - suportes de velas, estas peças não são vidradas e são cozidas a 1420 °C.

A aplicação dos vidros pode ser manual ou automatizada, em qualquer um dos casos o aspeto do vidro, é uma suspensão aquosa de sólidos ("leitosa"), com massa específica $\rho=[1,3 ; 1,4]$ Kg/L. É importante fazer um controlo reológico à suspensão, para garantir uma boa qualidade final do vidro, após a cozedura.

A formação da película de vidro não deve ser excessivamente rápida, para que não fiquem retidas grandes quantidade de ar, que geram imperfeições no vidro cozido, mas também, não deve ser excessivamente lenta para não ocorrer escorrimentos (acumulação de vidro nas partes horizontais e deficiência nas verticais). A película de vidro deve consolidar suficientemente e ser aderente à superfície recoberta, para que a peça possa ser manuseada de modo fácil, sem provocar defeitos superficiais.^[3,5]



Figura 2.19: Imagem da vidragem por cortina.

A zona da peça que contactam com as placas, a base da peça é limpa, fazendo passar as peças após o vidro por um tapete de veludo humedecido, a base fica desvidrada, caso contrário corria-se o risco da peça cola à placa onde vai ao forno.

A vidragem é realizada por imersão, mergulho, cortina, esguicho ou por pulverização.

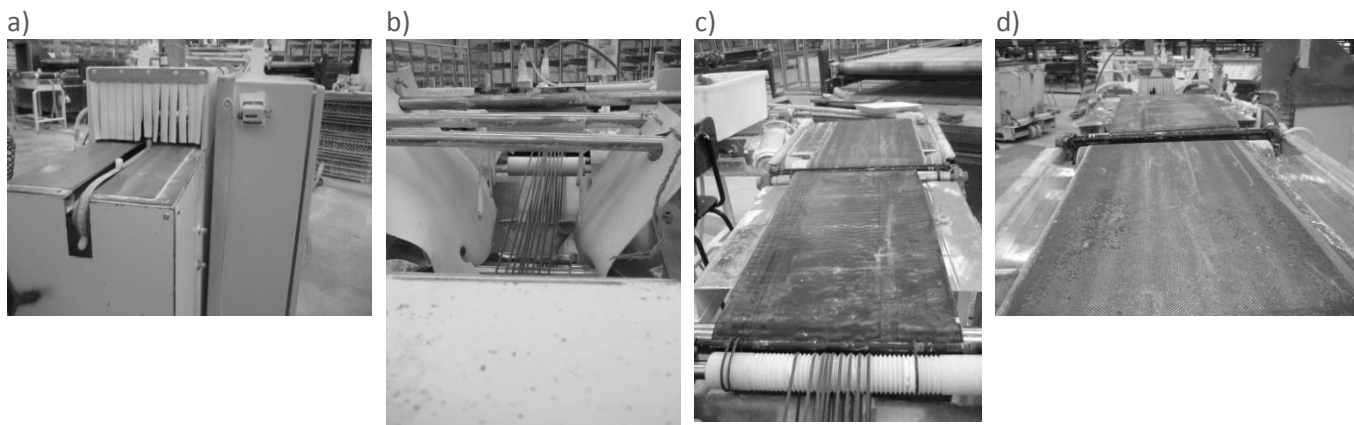


Figura 2.20: Imagens da linha de vidragem automática de chávenas, a) colocação das chávenas, b) vidragem pela técnica de cortina e esguicho, c) tapete de transporte e d) zona de limpeza do frete.



Antes do processo de vidrar, as peças são limpas para garantir uma boa e total aderência do vidro. A limpeza pode ser efetuada recorrendo a ar comprimido, esponjas humedecidas ou escovas.

Na figura 2.21 está uma unidade de despoeiramento, esta aspira o pó, à medida que são limpas as peças, para evitar problemas de saúde aos colaboradores.

Figura 2.21: Unidade de despoeiramento para limpar as peças antes da vidragem.

2.1.6 Cozedura

Esta fase do processo consiste em submeter as peças vidradas à cozedura de alta temperatura, 1420 °C e atmosfera redutora.

O tipo de forno usado na cozedura da porcelana, depende da dimensão da unidade produtora, podendo ser intermitente ou contínuo.

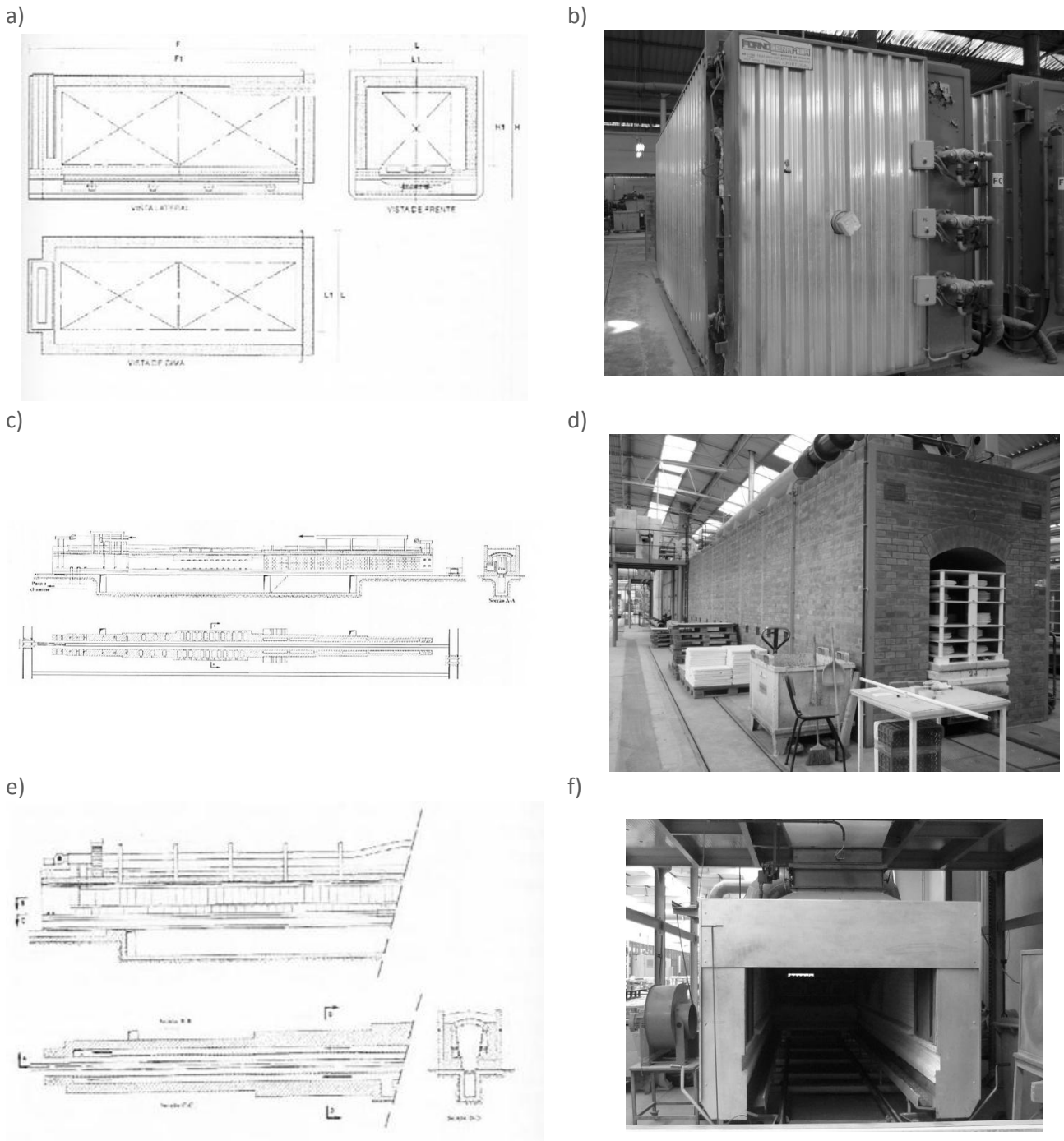


Figura 2.22: Fornos de alta temperatura, a) representação de um forno intermitente, b) fotografia de um forno intermitente, c) esquema de um forno contínuo; d) fotografia de um forno contínuo, e) esquema de um forno muflado e f) fotografia de um forno muflado.

Em qualquer um dos casos, o ciclo de cozedura está dividido em etapas, ver figura 2.23.



Figura 2.23: Etapas do ciclo de cozedura em grande fogo.

Devido à atmosfera redutora, poderá ocorrer a deposição de carbono sobre os produtos. Assim, é necessário assegurar a combustão do carbono, antes do início da vitrificação da pasta cerâmica. Para tal acontecer, a atmosfera do forno deverá ser fortemente oxidante, quando a temperatura está entre 900 e 1000 °C, antes da porosidade ser eliminada, devido à formação da fase líquida. Depois da eliminação do carbono, o período de cozedura a alta temperatura decorre em atmosfera redutora (ou ligeiramente oxidante), dependendo da cor desejada para o vidrado.^[5]

A atmosfera redutora promove a brancura da peça. Se a cozedura for em atmosfera oxidante, o ferro (Fe^{2+} e Fe^{3+}) presente nas matérias primas é oxidado para ferro trivalente (Fe^{3+}), as peças cerâmicas adquirem uma coloração rosada.

Para garantir que todo o ferro é convertido para Fe^{2+} , é necessário uma concentração de substâncias redutoras na atmosfera (2-3% em volume de $\text{CO} + \text{H}^2$). Uma atmosfera demasiado redutora também provoca alteração da cor da pasta, tornando-se acinzentada, devido à formação de ferro metálico.

O feldspato potássico reage, primeiro, com a sílica, resultante da decomposição da caulinite, e, depois, com o quartzo, a temperaturas mais elevadas.

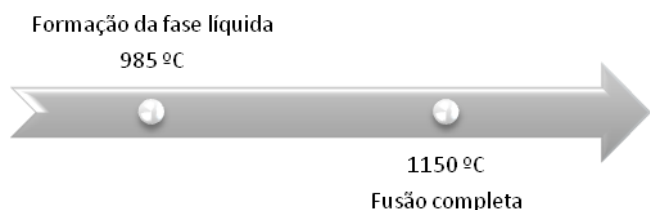


Figura 2.24: Representação da fusão do Feldspato potássico.

Tal como a figura 2.24 indica, a fase líquida inicia-se aos 985 °C e dá-se por completa a fusão do feldspato potássico, aos 1150 °C.

Estas reações originam as seguintes fases primárias: uma fase líquida (fusão do feldspato - mulinite primária) e quartzo (não reagido).

As reações entre estas fases, ocorrem à medida que prossegue a cozedura. A fase líquida inicial, com a composição **eutética**, vai dissolvendo cada vez mais sílica e alumina, à medida que a temperatura de cozedura aumenta.

A primeira sílica a ser dissolvida é a que resulta dos minerais argilosos e prossegue, depois, com a dissolução do quartzo.

A dissolução do quartzo é muito importante na cozedura da porcelana.

O aumento da temperatura provoca uma diminuição da viscosidade da fase líquida, esta diminuição é contrariada pela incorporação da sílica, que resulta da dissolução do quartzo, que por sua vez, provoca o aumento da viscosidade do líquido e contraria a tendência à deformação plástica.

Os iões alcalinos da fase líquida penetram os agregados de mulite primária, alterando a composição do líquido, este ao precipitar, cristaliza na forma de agulhas - mulite secundária.

O aumento da temperatura provoca nova dissolução da mulite secundária, em consequência do enriquecimento do líquido em sílica, devido à dissolução do quartzo. Para reequilibrar, a composição do líquido (perturbada pela dissolução da mulite secundária), é necessário alumina.

Nos fornos túnel, a mobília de enforna - placas e prumos, são de carbonato de silício ou carbonato de silício recristalizado.

A carga do produto vidrado por unidade de volume útil, é inferior à usada na chacoagem.

Após a cozedura as placas refratárias usadas como base para as peças serem cozidas em alto fogo, são limpas de resíduos de engobe (roçagem), por meio de abrasivos e, são depois armazenadas, até utilização posterior.

Só após passagem pelos fornos de "grande fogo", se obtém porcelana com as características que a definem, translucidez, brancura, vitrificação total e porosidade zero.

No caso aqui em estudo usou-se dois tipos de fornos, figura 2.22 d) um forno túnel feito em tijolo refratário com 41 m - forno contínuo e 2.22 f) um forno mais moderno forrado com uma estrutura metálica - mufla.

2.1.7 Escolha

Após a cozedura, as peças brancas vidradas, são separadas por categorias - escolha do branco, de acordo com os defeitos que apresentam e segundo a decoração prevista.

Todas as peças passam por uma fase de inspeção, sendo selecionadas somente as que detêm características por atributos de acordo com elevados padrões internos de qualidade.

2.1.8 Decoração

No período de tempo que medeia o processo de escolha e decoração, há sempre deposição de poeiras, por isso, antes da aplicação das decorações é necessário limpar ou lavar as peças, de modo a garantir total aderência das decorações e evitar o surgimento de defeitos superficiais, durante a cozedura.

A decoração dos objetos em porcelana, por bicozedura, pode ser de um dos seguintes tipos:

- *under glaze*;
- *in glaze*;
- *on glaze*.

No primeiro caso, a decoração é aplicada diretamente sobre a peça chacoalhada, que depois é vidrada e o conjunto é sujeito à cozedura de alto fogo - 1420 °C.

A decoração *in glaze*, consiste na aplicação de decoração sobre as peças vidradas, cujas já sofreram a cozedura de alto fogo. A temperatura de cozedura para *in glaze* é de 1240 °C.

Neste tipo de decoração, as cores da decoração penetram na espessura do vidrado, até alguns microns de profundidade, contribuindo para a estabilidade química das decorações, quando as mesmas são sujeitas à ação dos detergentes das máquinas de lavar.

A decoração *on glaze* é semelhante à *in glaze* no modo de proceder, varia a temperatura de cozedura, não existindo qualquer reação profunda, entre a decoração e o vidrado de recobrimento. Devido à baixa temperatura usada - 800 °C, este tipo de decoração é menos resistente.

A aplicação da decoração, pode ser de vários modos: a pincel; por carimbo; por pistolagem; por serigrafia direta; por serigrafia indireta e por decalque.

A decoração por decalque é o processo de decoração mais usado na porcelana. No fabrico do decalque, a decoração é aplicada serigraficamente sobre um papel especial, recoberto com um filme de cola.

A cada cor da decoração corresponde uma serigrafia e, depois de serigrafadas as cores, o motivo decorativo é recoberto com uma gelatina. O conjunto papel, motivo e laca, é recoberto com papel "seda", para evitar que as árias folhas de decalques quando empilhadas, colem entre si.

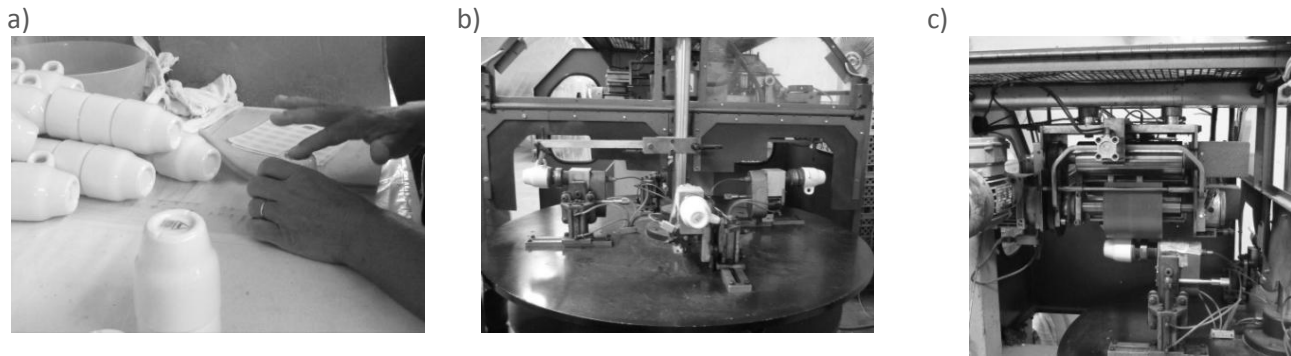


Figura 2.25: a) Aplicação de "backstamp", pela técnica de decalque aplicado manualmente; b) Introdução das chávenas de cromar automaticamente; c) Impressão do decalque na chávena através de rolo.

Para aplicar o decalque, inicia-se a remoção do papel "seda" e individualizam-se os motivos (a mesma folha de decalque pode conter motivos usados em diferentes peças), posteriormente os decoradores, humedecem o conjunto - papel, motivo e respetiva laca em água morna, facilitando a remoção do motivo, do papel (a laca serve de suporte ao motivo. Este é aplicado na peça, tendo o cuidado de ficar bem posicionado e sem bolhas, usando o auxílio de uma borracha. esta operação é bastante delicada e morosa.

As técnicas de decoração vulgarmente utilizadas são a cromagem e a pintura à mão. É frequente a combinação das duas técnicas na execução de decorações. A cromagem traduz-se na aplicação de decalcomanias nas superfícies a decorar. Estas transportam os desenhos impressos com as tintas cerâmicas para as peças, que após cozedura, dão origem às múltiplas decorações.



Figura 2.26: Mufla usada na cozedura de peças decoradas.

2.1.9 Mufla

Após a decoração das peças, estas são submetidas a nova passagem ao forno - mufla, ver a figura 2.26. As decorações aplicadas, podem ser cozidas a temperaturas de "grande fogo" ou a temperaturas que rondam os 1240° C, denominadas decorações *inglaze* (IN), onde as cores ficam perfeita e totalmente integradas no vidro e, por isso mesmo, inalteráveis com o uso. Em oposição, existem as decorações *onglaze* (ON), que são cozidas a temperaturas inferiores que rondam os 800° C, permitindo uma paleta de cores mais rica.

2.1.10 Escolha

Todas as peças decoradas, ou simplesmente com marca (*Backstamp*) como são sujeitas a nova cozedura e já foi referido que as operações em forno são responsáveis por vários defeitos, estas são sujeitas a nova fase de inspeção. Sendo selecionadas as que detêm características que cumpram os padrões definidos internamente e asseguram a satisfação e expectativas dos clientes.

2.1.11 Embalagem

A embalagem é a última fase do processo produtivo. Existem vários tipos de embalagem consoante as decorações, as composições, ou as exigências dos diferentes mercados.

Esta fase do processo tem sido alvo de algumas reclamações por parte dos clientes, sobretudo do mercado externo.

As peças em louça têm uma resistência limitada, devem ser bem acondicionadas, usando-se plástico bolha, diversos tipos de papel e caixas reforçadas. No entanto, devido às longas viagens e diversos processos de transferência de carga, a louça chega ao cliente em mau estado.

Atualmente, sempre que se avança com desenvolvimento de novos produtos, as embalagens são alvo de vários testes de resistência á queda. Estes testes consistem em deixar cair as caixas com a louça acondicionada tal como segue para o cliente, de diversas alturas e nas diversas faces ou vértices.

As embalagens ou modo de acondicionamento são melhorados, se alguma peça quebrar durante os testes.

2.2 Acreditação

A acreditação, termo proveniente do Latim "credere" que significa: crer adicionando o sufixo "action" que significa ação ou ato.



Figura 2.27: Representação da origem da palavra acreditação.

Desta forma surge a palavra - Acreditação, que representa o reconhecimento formal, de uma entidade ou laboratório. A acreditação de uma organização, indica que esta está de acordo com os requisitos previamente definidos e demonstra capacidade para realizar as suas atividades com confiança, rigor e fiabilidade exigidas.

Em Portugal a entidade responsável por este sistema é uma organização não governamental - ONG, é o Instituto Português de Acreditação (IPAC), desde 31 de Maio de 2004 deliberado pelo Decreto-Lei n.º 125/2004.^[7]

A competência técnica de uma organização depende de inúmeros fatores, incluindo o pessoal qualificado, com treino e experiência nas atividades que pretende realizar; equipamentos aptos para uso devidamente calibrados e em bom estado de utilização conforme a política de rastreabilidade; bem como o uso de métodos validados.

2.3 Certificação

A Certificação de uma empresa, qualquer que seja a sua dimensão ou sector de atividade, consiste no reconhecimento formal por um organismo de certificação - entidade externa independente (designa-se por 3ª parte) e preferencialmente acreditada no âmbito do Sistema Português da Qualidade (SPQ), após a realização de uma auditoria, em que essa organização dispõe de um sistema de gestão implementado que cumpre as Normas aplicáveis, dando lugar à emissão de um certificado. A implementação de um sistema de gestão e a sua posterior certificação, é uma mais valia para a empresa, ou seja, reconhecimento e satisfação dos clientes e outras partes interessadas, melhoria da imagem, acesso a novos mercados, redução de custos de funcionamento através da melhoria do desempenho operacional e uma nova cultura com a sensibilização e motivação dos colaboradores, orientada para a melhoria contínua e para a satisfação dos clientes e outras partes interessadas.^[8]

A SPAL adquiriu a certificação ISO 9001, em 1998.

A ISO 9000 - Descreve os fundamentos de sistemas de gestão da qualidade e especifica a terminologia que lhes é aplicável.

Especifica os requisitos de um sistema de gestão da qualidade a utilizar sempre que uma organização tem necessidade de demonstrar a sua capacidade para fornecer produtos/serviços que satisfaçam tanto os requisitos dos seus clientes como dos regulamentos aplicáveis e tenha em vista o aumento da satisfação de clientes.

As organizações dependem dos seus clientes, é necessário por isso compreender as suas necessidades, atuais e futuras, satisfazer os seus requisitos e exceder as suas expectativas.

Os líderes estabelecem os objetivos e a orientação da organização. O líder deve promover um ambiente interno que permita o pleno envolvimento das pessoas para se atingir os objetivos definidos. Sendo os colaboradores, a essência de uma organização, o envolvimento destes, permite que as suas aptidões sejam utilizadas em benefício da organização.

As atividades e os recursos associados devem ser geridos como um processo, para atingir o resultado desejado de forma eficiente.

Os processos interrelacionam-se num sistema, que deve ser gerido para que a organização atinja os seus objetivos.

Num Sistema de Gestão da qualidade, a melhoria contínua do desempenho global da organização deve ser encarado como um objetivo permanente.

A certificação considera que a tomada de decisão deve ser baseada em factos, a análise de dados fornece informações úteis para alcançar decisões certas.

A relação com os fornecedores é mutuamente benéfica, clientes e fornecedores são interdependentes, como tal, uma relação em que ambos procuram obter benefício, potência a aptidão de ambas as partes para criar valor.

A certificação permite à organização fornecedora de produto ou serviço, obter confiança dos clientes. Deste modo, procura nos seus fornecedores os requisitos necessários para completar o seu serviço, com o intuito de satisfazer o cliente

As partes envolvidas na cadeia comercial (ex.: fornecedores, clientes, entidades reguladoras), devem conhecer e compreender a terminologia usada na gestão da qualidade. Por outro lado, as entidades internas ou externas a uma organização, que avaliam ou auditam a conformidade do sistema de gestão da qualidade dessa organização, de acordo com os requisitos da norma ISO 9001 (ex.: auditores, entidades reguladoras, organismos de certificação), devem conhecer o processo produtivo específico da organização para avaliar eficazmente a conformidade desta.

Os clientes exigem produtos/serviços com características que satisfaçam as suas necessidades e expectativas - requisitos do cliente. Estes requisitos podem ser especificados contratualmente pelo cliente ou podem ser definidos pela própria organização, no entanto, o cliente é quem determina, no final, a aceitação do produto/serviço.^[9]

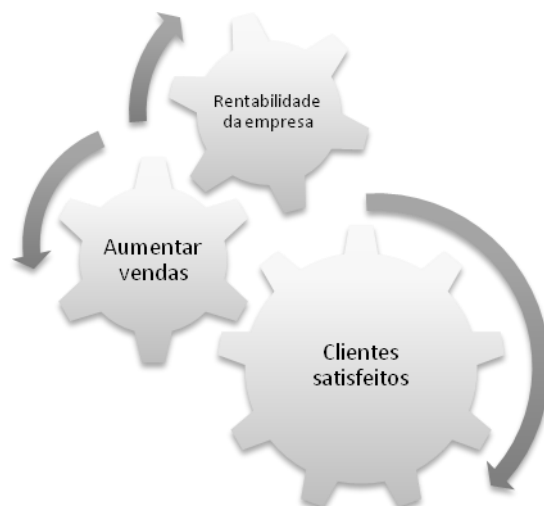


Figura 2.28: Representação do objetivo da empresa.

2.4 Ferramentas da Qualidade

A análise estatística de dados recolhidos no ambiente produtivo fornece a informação necessária para alcançar os pontos em que é necessário atuar.

Toda a Empresa é alvo de reclamações por parte do cliente, estas são fundamentais para melhorar o processo e ir de encontro às necessidades do mesmo. Desta forma, todas as reclamações/não conformidades que surgem são analisadas pelo departamento da qualidade, que está inserido na Gestão de Sistemas Integrados. A análise de causas e as medidas quer preventivas, quer imediatas, permitem a satisfação completa do cliente, bem como a melhoria do processo.



Figura 2.29: Representação dos focos de atuação do GSI.

A Gestão de Sistemas Integrados é constituída pela garantia da **Qualidade**, assegurando a certificação pela ISO 9001:2008, o **Ambiente**, na gestão de resíduos e garantia do cumprimento dos requisitos legais nesta área, o GSI assegura ainda o **Controlo estatístico da Produção**, bem como, o controlo das especificações do produto *in situ*, durante a produção. Além disso, está ainda a cargo da responsabilidade do GSI - a Segurança, Higiene e Saúde no Trabalho - **SHST**.

Atualmente, como em todos os sectores, a industria cerâmica, sofre com a conjuntura económica mundial.

Nos últimos tempos, no campo dos materiais tem-se verificado grandes desenvolvimentos. A necessidade de responder às exigências da evolução, leva á investigação para fortalecer características.

Os materiais cerâmicos possuem grande estabilidade, tanto mecânica, como química (estas interrelacionam-se) face a altas temperaturas. A grande limitação dos materiais cerâmicos é a sua baixa resistência ao choque. Com a ascensão de novos materiais, a cerâmica foi substituída por outros materiais que oferecem maior durabilidade. Esta situação contribui negativamente para o comércio cerâmico.

Com a era industrial, desenvolveu-se muito o comércio bem como a qualidade de vida das pessoas, mas em simultâneo prejudicou-se o ambiente. Esta preocupação surgiu mais tarde, a partir dos anos sessenta do século XX, com a emersão do moderno Ambientalismo (uma atitude a favor da conservação do ambiente).

É cada vez mais importante que a Tecnologia evolua no sentido de contribuir para o desenvolvimento sustentável.^[10]

A produção industrial deve procurar ter um Desenvolvimento sustentável, esta evolução permite maior produção, mas simultaneamente propiciar menos poluição, resíduos, etc., e consumir menos recursos naturais (energia e materiais).

Em função dos processos específicos de produção, as fábricas de produtos cerâmicos provocam a libertação de emissões atmosféricas, para o meio aquático e para os solos (resíduos). Por outro lado, o ambiente pode ser afetado por ruído e cheiros desagradáveis. O tipo e a quantidade de poluição atmosférica, resíduos e águas residuais dependem de distintos parâmetros, por exemplo, das matérias primas, auxiliares e combustíveis utilizados e dos métodos de produção.

No caso específico da industria cerâmica, as emissões atmosféricas resultantes das poeiras libertadas aquando do acabamento das peças; as descargas das águas residuais do processo para o meio aquático, são poluentes

controlados pelas entidades públicas Nacionais - IGAMAOT (Inspeção-Geral da Agricultura, Mar, Ambiente e Ordenamento do Território).

As perdas do processo/resíduos provenientes do fabrico de produtos cerâmicos (diversos tipos de lamas, cacos provenientes de moldagem/conformação, secagem, cozedura e material refratário; poeiras oriundas das unidades de despoeiramento; moldes de gesso usados; agentes de sorção usados; resíduos de embalagens), são controlados pelo Ministério do Ambiente.

Parte destes resíduos são reciclados e reutilizados na fábrica ou vendidos a outras fábricas que por sua vez os usam como matéria prima nos seus processos.

O consumo energético é outro assunto de grande preocupação no ponto de vista ambiental.

Os gastos energéticos ocupam uma fatia entre 10 a 18% do custo total nos processos de fabrico de porcelana. Estes valores são explicados pelas fases do processo que envolvem secagem dos materiais e cozedura a temperaturas bastante elevadas.

Neste contexto, surgiu em 2006, uma série de documentos adaptados a cada tipo de industria, com o intuito de definir as melhores técnicas disponíveis, para a prevenção e controlo integrados da poluição.

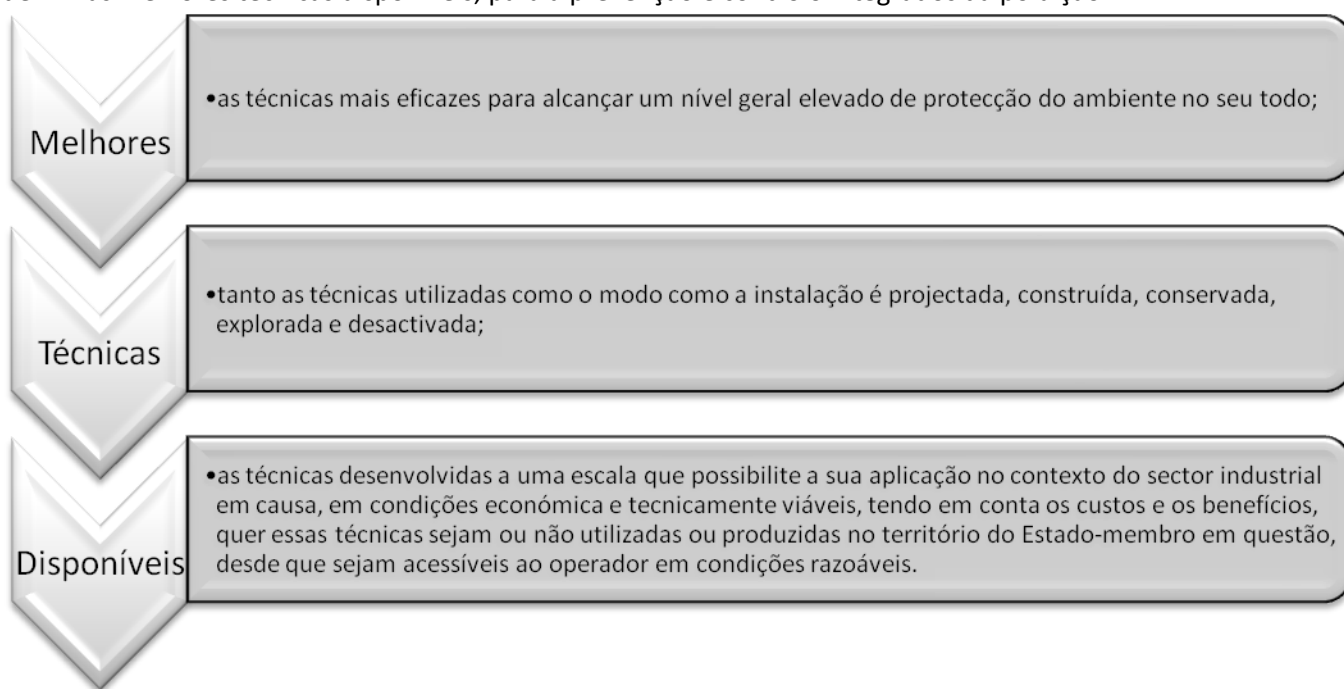


Figura 2.30: Definição da sigla MTD, sugerida pelo documento de referência para a Prevenção e Controlo Integrados da Poluição.

Estudos em 2004, revelam que Portugal produzia mais louça de mesa e utilitária que a Alemanha, Reino Unido, Luxemburgo e Países Baixos. Portugal é ainda hoje considerado um produtor de referência no sector da cerâmica.

2.4.1 Kaizen

Palavra de origem Japonesa, significa melhoria continua, gradual. Este conceito pode adaptar-se a quase tudo e deve ser visto como um processo diário.

Este princípio quando bem executado, traz além de maior produtividade, melhorias no ambiente de trabalho, elimina o trabalho pesado, promove a formação dos colaboradores no sentido de os tornar autónomos, usando conhecimento científico para solucionar contratempos. Permite identificar e eliminar desperdícios.

De uma forma geral promove um ambiente que respeita o ser humano e aumenta a produtividade.

A Filosofia do sistema Kaizen é

"Hoje melhor do que ontem, amanhã melhor do que hoje!"

Este sistema defende que é sempre possível fazer melhor, todos os dias deve ser implementada alguma melhoria, quer na estrutura da empresa ou no individuo.

Este método permite, num curto espaço de tempo obter resultados concretos quer sejam qualitativos quer quantitativos, bem como aumento dos lucros.

Esta técnica visa alcançar objetivos estabelecidos pela direção da empresa, apoiada pela sinergia de uma equipa unida.^[11]

2.4.2 Ciclo PDCA

Sempre que se aborda o tema "Qualidade", no sentido da certificação, somos levados ao ciclo PDCA (do Inglês: Plan, Do, Control, Act). Ao implementar sistemas da Qualidade é exigido seguir esta sigla como uma Lei. A Qualidade serve para também para orientar e neste sentido, qualquer organização deve planejar, sem um plano de trabalho, um planeamento adequado, não é possível fazer. Quando se coloca em prática o plano preparado anteriormente - Fazer, é necessário seguir o próximo passo - Controlar, avaliar se o que foi planeado está a ser cumprido, verificar se é necessário corrigir algum processo. O Processo tem sempre de ser controlado, mediante esta fase pode ser necessário agir - Atuar, para corrigir ou melhorar qualquer circunstância do processo.

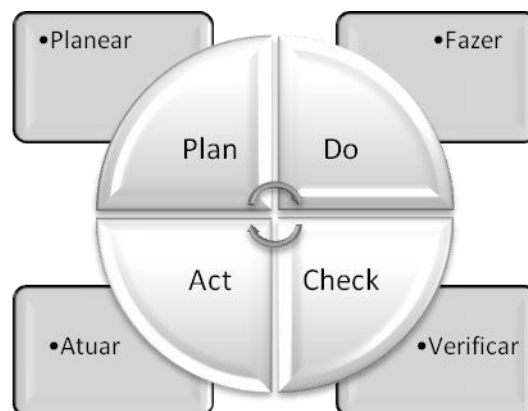


Figura 2.31: Ciclo PDCA (Plan, Do, Check and Act).

2.4.3 "Tempestade de ideias"

É uma conhecida técnica de geração de ideias, também conhecida por "brainstorming". Foi desenvolvida por Osbor, em 1938.

É uma técnica que funciona bem em grupo, envolve a participação de todos os intervenientes de forma espontânea, proporcionando um conjunto de ideias rapidamente, nem sempre organizadas.

Desta forma consegue-se focalizar a atenção de todos os elementos nos aspetos essenciais do problema, analisando-o de diferentes pontos de vista. Surgindo assim, soluções criativas e inovadoras para os problemas em causa. No fim obtém-se as melhores decisões propostas pelo grupo.



Figura 2.32: Representação da técnica de "brainstorming", as ideias surgem das várias direções.

Muitas vezes esta técnica auxilia quando as causas de um problema são difíceis de detetar. Este permite simultaneamente apresentar as respetivas soluções.

Nesta técnica valoriza-se sobretudo a quantidade de ideias geradas; não se deve comentar as ideias para não inibir os restantes participantes; todos os elementos são incitados a participar, independentemente do seu papel na organização; é necessário um elemento para registar as ideias apresentadas. Cumprindo estes requisitos esta técnica revela-se bastante eficiente.^[12]

Tabela 2.2: Vantagens e desvantagens da técnica de "brainstorming".

Vantagens	Desvantagens
Intervenção aleatória de todos os elementos (independentemente do estatuto na empresa);	Pode suscitar desvios aos objetivos;
Flexibilidade em termos de possibilidades de utilização;	Os resultados / soluções , podem não ser as mais favoráveis;
Fácil aplicação, não requer grandes conhecimentos para se obter resultados.	Processo empírico, sem comprovação científica.

2.4.4 Diagrama de árvore ou fluxo de sistemas

O diagrama de árvore é a designação atribuída ao diagrama de fluxo de sistemas pela sua estrutura semelhante à de uma árvore, tendo um "tronco" principal e várias ramificações.

Este diagrama é vulgarmente usado para representar hierarquias dentro de uma organização, identificar atividades e/ou esquematizar procedimentos ou processo.

Esta ferramenta de grande utilidade, permite definir ações para atingir objetivos, bem como determinar relações entre as necessidades e o percurso para encontrar formas de colmatar as mesmas.

Numa organização acreditada é necessário saber atuar em tempo útil, para isso é essencial conhecer muito bem o processo e saber o ponto fulcral. Esta ferramenta é indispensável para alcançar a melhor forma de agir. Fornece a relação entre objetos e metodologias.



Figura 2.33: Exemplo de um diagrama em árvore.

2.4.5 Fluxograma

É uma ferramenta avançada de análise de processos, pois esquematiza sequências de etapas de um ciclo de atividades. O fluxograma apresenta a sequência das atividades, bem como os materiais ou serviços que entram e saem do processo, todos os procedimentos e efetuar em cada etapa e os responsáveis pelos mesmos.

Na construção de um fluxograma usa-se uma simbologia específica, assim, cada etapa do processo, pessoas envolvidas, sectores, sequência das operações, circulação de dados e documentos envolvidos ficam de imediato identificados pela sua forma.

Habitualmente os símbolos utilizados são:

Tabela 2.3: Representação da simbologia usada e seu significado para a construção dos fluxogramas.

Forma	Significado
	Início e Fim do Processo
	Etapa do Processo
	Decisão / Pergunta
	Sentido / Sequência

Tabela 2.4: Vantagens e Desvantagens da utilização dos fluxogramas.

Vantagens	Desvantagens
Fácil compreensão;	Aplicabilidade efetiva se ilustrar bem o processo;
Identificação de oportunidades de melhoria e no desempenho de uma atividade, pois surge pelo desencadear das atividades dando uma visão do fluxo do processo;	Para completar o fluxograma, é necessário recorrer aos intervenientes, pelo que é difícil fazê-lo uma única pessoa.
Associado a documentos ou anexos acessíveis a qualquer elemento da entidade, sempre que surja qualquer tipo de dúvida.	

2.4.6 Diagrama de Causa e efeito

Também designado diagrama de Ishikawa, dignificando o seu inventor - o "Pai da Qualidade". Este usou-o pela primeira vez para sintetizar as opiniões dos engenheiros quando estes discutiam sobre os problemas da qualidade. Esta ferramenta permite visualizar todas as causas associadas a um problema e posteriormente analisar e identificar todas as soluções possíveis, com o intuito da melhoria continua. Este diagrama permite atuar de forma preventiva.

Este tipo de ferramenta permite organizar hierarquicamente os efeitos observados e as suas possíveis causas. Facilitando a análise de fatores subjacentes que possam estar presentes.

Inicialmente o modelo era conhecido como os quatro "M's", como mostra a figura 2.34 a), atualmente são sugeridos seis "M's", como se pode ver na figura 2.34 b)

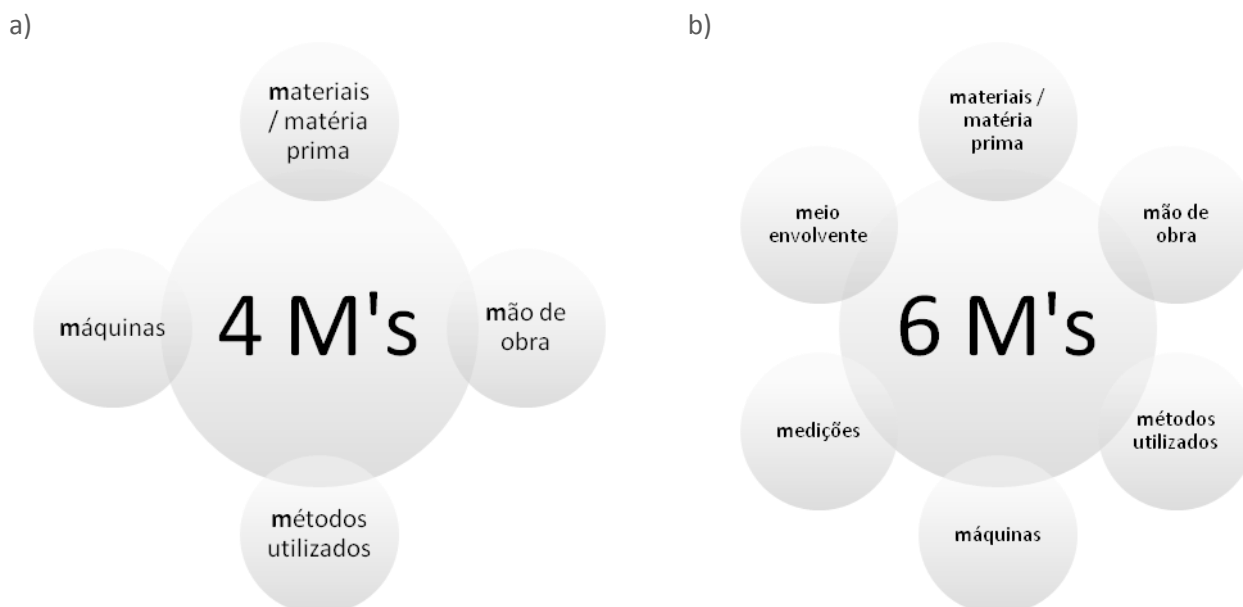


Figura 2.34: Focos considerados no diagrama de Ishikawa a) 4 M's e b) 6 M's.

Este diagrama, tal como ilustra a figura 2.35, é constituído por um eixo principal que representa a sequência dos procedimentos e no qual surge o problema a ser resolvido, ou o efeito desejado do processo - resultados (qualidade, custo e produtividade). Associado ao eixo principal/ central estão ligadas as contribuições primárias (categorias) que afetam diretamente o parâmetro em estudo; cada categoria transforma-se, também ela, num eixo principal onde estão ligadas as contribuições secundárias (causas): nalguns casos estas podem estar subdivididas em subcausas.

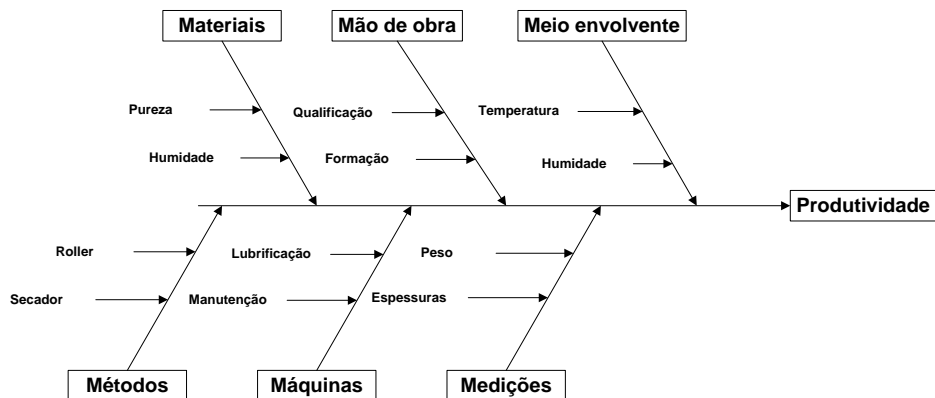


Figura 2.35: Exemplo de um diagrama de Ishikawa aplicada ao processo produtivo da cerâmica.

Este diagrama é um instrumento de análise para identificar os requisitos do sistema. Caracteriza-se por oferecer uma perceção de todos os fatores (causas) que afetam o sistema, exige um maior esforço para encontrar soluções que minimizem ou evitem os problemas associados e envolve todos os intervenientes do processo promovendo maior conhecimento por parte de cada um.^[13]

Tabela 2.5: Vantagens e desvantagens do diagrama de Ishikawa.

Vantagens	Desvantagens
Facilidade de elaboração de um plano de análise	Soluções limitadas a um tipo de problema, sempre que surge algo novo, é necessário um novo percurso
Deteção e resolução de problemas através da análise temporal de uma dada sequência de dados	Na análise de várias sequências ao mesmo tempo, revela-se confuso
Eficiente na análise individual de um sistema.	

2.4.7 Histograma

O histograma surgiu quando A. M. Guerry analisava os dados recolhidos na sequência de um crime.

Só mais tarde é que adquiriu esta designação pela mão de K. Pearson, quando este estudava as diferentes aplicações da matemática do ponto de vista pedagógico para evidenciar a fiabilidade dos factos.^[14]

Um histograma consiste num gráfico de barras, que representa um conjunto de dados recolhidos num determinado momento do processo.

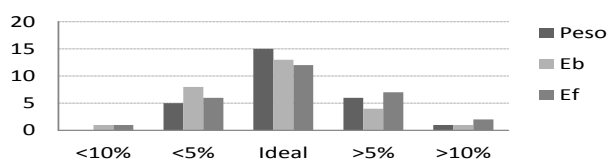


Figura 2.36 Exemplo de um histograma, ilustrando a frequência com que as peças estão fora dos limites de controlo, ou limites de especificação.

Este permite visualizar facilmente o comportamento de uma dada característica em estudo. O gráfico bidimensional é constituído por dois eixos cartesianos, onde as ordenadas representam as classes dos dados e sobre o eixo das abcissas, as variáveis em estudo (peso, humidade, custos associados, entre outros).

O gráfico apresenta a frequência com que variam e a forma de distribuição dos dados como um todo.

As aplicações mais frequentes deste tipo de ferramentas são a deteção de produto não conforme, a determinação da dispersão dos valores obtidos e a definição de ações corretivas.

2.4.8 Controlo estatístico da Produção

A melhoria dos processos passa pela aplicação de técnicas estatísticas para medir e analisar a variação dos processos.

Os sistemas de controlo da Qualidade incluem o Controlo Estatístico da Produção, Ferramentas de Diagnóstico; Planos de Amostragem e Outras Técnicas Estatísticas.

Nesta Empresa, usamos o Controlo Estatístico da Produção Semanal, que consiste no rearranjo dos dados da produção, sob a forma de gráficos de forma a obter uma informação detalhada, de fácil perceção aos colaboradores bem como aos cargos mais elevados.

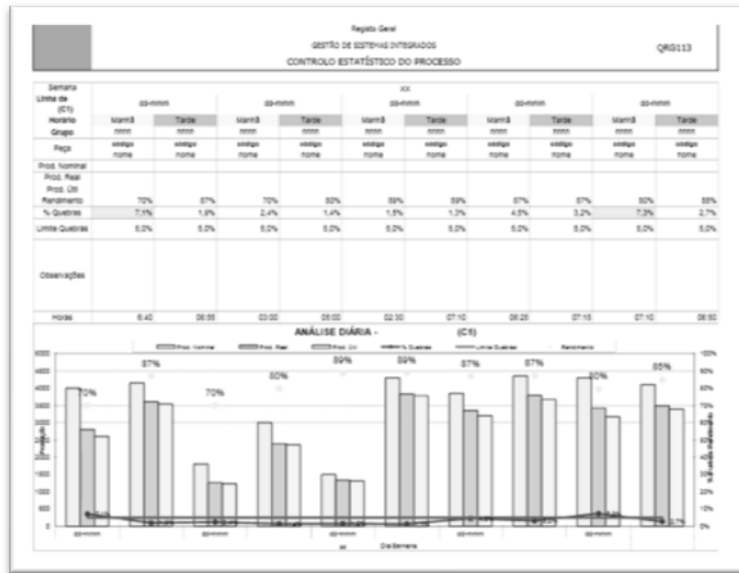


Figura 2.37: Exemplo de um CEP semanal.

Este gráfico permite uma visualização rápida, relativamente ao Rendimento de cada equipa de trabalho, se existe alguma relação entre o turno de trabalho e a produção. Sempre que o número de quebras ultrapassa o limite estipulado a célula fica fluorescente, para salientar a ocorrência de elevado número de quebras, assim todos os envolvidos ficam alerta. Este Gráfico permite ainda controlar a eficiência do processo através do rendimento dado pelos colaboradores. Os problemas que ocorram fora do normal, constem nas observações, problemas no equipamento ou outros inerentes aos constituintes do mesmo (substituição do cortador, formas desajustadas).

Noutras partes do processo existe outro tipo de CEP. Na olaria manual da produção de asas, existem quatro funções distintas, a tiragem, a separação, o corte e nalguns modelos é necessário retirar a rebarba das asas. Neste caso, o gráfico também é semanal, mas existe uma barra para cada colaborador, ou grupo. É especificada a identificação da peça, o objetivo a atingir, a quantidade da produção, o rendimento e o período de tempo em que o operador esteve a executar a função, pois os colaboradores costumam ter rotatividade de funções.

2.4.9 Controlo dos Equipamentos de Medição e Monitorização

As especificações técnicas do produto são normalmente definidas pelo cliente, desta forma é necessário controlar qualitativamente e quantitativamente o produto. Na porcelana é essencial manter a espessura da beira, esta é uma das principais características que leva o cliente a preferir esta, relativamente a outras cerâmicas. A medição das espessuras faz-se normalmente com um paquímetro. Este, bem como todos os equipamentos de medição devem ser calibrados ou verificados, como o ponto 7.6 a) da norma ISO 9001:2008 exige.^[9]

Uma avaliação detalhada do estado de operacionalidade dos equipamentos de medição e monitorização (EMM) é imprescindível uma vez que afetam de forma muito significativa a qualidade dos resultados apresentados ao cliente.

A calibração é definida pelo VIM - Vocabulário Internacional de Metrologia, "sob condições especificadas, num primeiro passo, uma relação entre os valores e as incertezas de medição fornecidos por padrões e as indicações correspondentes com as incertezas associadas; num segundo passo, utiliza esta informação para estabelecer uma relação visando a obtenção dum resultado de medição a partir duma indicação".

A verificação é definida pelo mesmo documento, como "fornecimento de evidência objetiva de que um dado item satisfaz requisitos especificados".^[15]

Estas operações devem ter em conta a rastreabilidade das medições, formação e competência do técnico, utilização de equipamento com a exatidão desejada e instalações de armazenamento e de transporte adequadas.

Para garantir que os EMM estão operacionais, não basta o certificado de calibração do equipamento este, faz-se acompanhar de um documento interno que garante se o equipamento está ou não apto para a função a que se destina - relatório de confirmação.

2.4.10 Cartas de Controlo

Esta ferramenta da qualidade tem como objetivo, verificar se o processo está sob controlo ao longo do tempo. Consiste na análise de algumas variáveis do produto, tais como peso, medidas - espessura da beira e espessura do fundo e a conformação no geral.

As causas da variabilidade, podem ser normais - inerente ao processo, ou especiais - variáveis esporádicas e localizadas que têm de ser verificadas (mão-de-obra; manutenção; ambiente; matéria-prima e desgaste).

O processo diz-se sob controlo quando as causas especiais da variabilidade são eliminadas e apenas existem causas normais.

Numa carta de controlo consta a variabilidade normal, valor central de ajustamento e a continuidade da variabilidade.

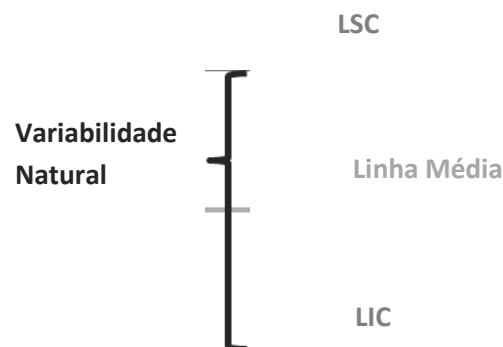


Figura 2.38: Elementos de uma carta de controlo - LSC Limite Superior de Controlo, LIC - Limite Inferior de Controlo.

Os limites de controlo são inferiores aos limites máximos da especificação do produto, para controlar o processo antes deste atingir valores não conformes. Pretende-se com este sistema antecipar e eliminar os erros.

As Cartas de Controlo têm como vantagens, a sua simplicidade, o que permite a utilização pelo operador. Este sabe se deve ou não intervir no processo. É possível prever o comportamento do processo se estiver dentro dos limites de controlo.

As cartas de controlo são uma boa ferramenta no processo de melhoria da qualidade, reduzem a variabilidade normal, permitem a utilização de uma linguagem comum (entre turnos, entre colaboradores, com fornecedores e clientes).

Permite ainda distinguir entre necessidade de ação imediata (pelo operador), ou uma ação planeada a médio prazo (com acordo e orientação da direção) - Programa de Melhoria.

Tabela 2.6: Respostas dadas pelas Cartas de controlo.

Duvidas	Respostas dadas pelas Cartas de Controlo
Quando tomar a ação corretiva?	Quando alguma variável está fora dos padrões.
Tipo de ação corretiva a tomar.	Os padrões nas cartas podem indicar as causas dos problemas e sugerir a ação corretiva adequada.
Quando deixar o processo decorrer por si?	A variação é parte do processo; Indica quando a variabilidade é normal e não são necessárias ações corretivas.
Capacidade do processo.	Permite estimar a capacidade do processo.
Melhoria da qualidade.	Ponto de partida e sugere a medida para programa de melhoria contínua. Fornece informação sobre que planos de melhoria devem ser realizados.

2.4.11 Análise de Pareto

Esta análise consiste no levantamento dos principais defeitos encontrados pelas escolhedoras, a quantidade em que estes aparecem. Após a recolha de dados, elabora-se uma tabela com a descrição do tipo de defeito e quantidade, ver figura---. Indica-se o n.º total de peças escolhidas, as quantidades de cada nível de qualidade: 1.ª qualidade, 2.ª qualidade, refugo, retrabalho/ retoque e quebras.

Cada defeito está associado aos níveis de qualidade: refugo, retoque e quebras. Traduz-se os valores em percentagem relativamente às peças escolhidas, para visualizar quais os problemas com maior expressão, tomam-se medidas pra reduzir os níveis de peças sem qualidade. As peças sem qualidade, são economicamente desfavoráveis, pois foi necessário todo o processo produtivo e não tem qualquer retorno económico. As peças pertencentes ao grupo do retoque, são peças que ainda podem ser corrigidas e serem qualificadas como primeiras, no entanto este trabalho necessita de recursos humanos, tempo e volta ao forno, o que se traduz em mais despesa, mesmo que estas peças cheguem ao mercado o preço pago não é rentável.

2.4.12 Análise SWOT

A análise SWOT foi criada em Harvard Business School nos anos sessenta e, embora tenha sido originalmente utilizada na avaliação empresarial, é aplicada atualmente nas mais diversas áreas.^[10]

A SWOT é uma ferramenta de gestão muito utilizada pelas empresas para o diagnóstico estratégico. O termo SWOT resulta das iniciais S (Strengths - pontos forte), W (Weaknesses - pontos fracos), O (Opportunities - Oportunidades) e T (Threats - ameaças).

Esta ferramenta divide-se em duas análises complementares entre si, a análise externa e a análise interna. Os pontos fortes indicam os aspetos positivos, e os fracos os negativos, relativamente aos objetivos a atingir; o seu conjunto corresponde à análise interna, já que os aspetos considerados são atributos do objeto. As oportunidades podem tornar mais forte o objeto em análise e as ameaças pôr em causa o seu sucesso; o seu conjunto corresponde à análise externa, já que resultam de fatores externos ao objeto. Após definidos os objetivos, identificam-se os pontos fortes e fracos, bem como as oportunidades e ameaças que se colocam ao cumprimento desses objetivos. Os resultados são apresentados em quadros, designados matrizes SWOT, constituídos por quatro subquadros, cada um dizendo respeito a uma das quatro características do SWOT.

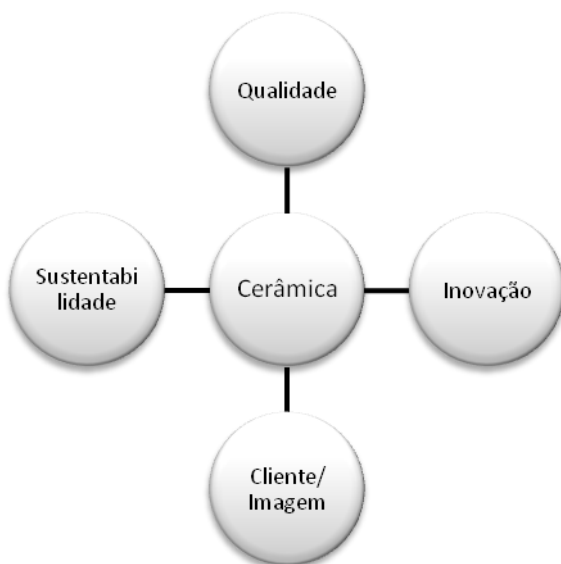
No contexto socioeconómico em que nos encontremos, a Qualidade permite á empresa reduzir custos, assegurar que os processos são cada vez mais eficientes, mais ecológicos, assegurando boas condições de trabalho para os colaboradores.

Para encontrar os pontos de fragilidade do processo, é necessário um estudo abrangente de todo o processo.

Apresenta-se uma metodologia, baseada na análise SWOT, para avaliar os processos industriais afim de aferir o processo de uma forma economicamente mais rentável a sua sustentabilidade. A ferramenta pretende analisar duas linhas de chávénas e o seu processo produtivo até á fase de chacota.

Esta análise permite identificar desde logo questões fundamentais (quais os critérios para a industria cerâmica ser adequada a uma produção sustentável e se estes critérios são viáveis, ou seja, proporcionam a mesma rentabilidade mantendo a qualidade), que permitem desenvolver técnicas para otimizar o processo produtivo a nível económico.

Esta técnica visa organizar um conjunto de critérios e uma metodologia para avaliar o cumprimento dos mesmos.



Neste sector industrial deve predominar elevados níveis de Qualidade, a qualidade transmite confiança aos clientes, é esta imagem que os clientes pretendem em primeiro lugar. A Inovação capta novos clientes, mas os produtos pré-existentes devem já marcar a Sociedade. É importante ter na mira da definição de mercado o tipo de clientes que se pretende captar, uma vez que existem variadas tendências. Estes são os pilares em que assenta o crescimento industrial, mas existe um fundamental - Para manter o equilíbrio Natural, a sustentabilidade, que permite não só benefícios económicos a curto prazo, como vantagens ecológicas e de divulgação no mercado - Marketing.

Figura 2.39: Aspetos envolvidos na produção da Cerâmica.

2.4.13 Análise Multivariada

Embora a estatística multivariada tenha surgido por volta de 1901, apenas nos dias de hoje se consegue desenvolver e aplicar esta técnica. Sem o auxílio dos programas informáticos, não seria possível executar tão rápido, e com tanta clareza os gráficos que permite estudos à correlação entre variáveis.

No decorrer do estudo, são usadas técnicas que permitem a análise de componentes principais PCA, ou análise de agrupamentos. Estas técnicas são baseadas em fundamentos de álgebra e geometria.

Quando analisamos o que nos rodeia, identificam-se acontecimentos, cujos envolvem um grande número de variáveis. O objetivo de qualquer ramo da ciência, é conhecer a realidade, e interpretar os acontecimentos e os fenómenos, baseando-se no conhecimento das variáveis intervenientes, consideradas importantes nesses acontecimentos.

Esta ferramenta estatística permite uma análise das variáveis de forma conjunta. A denominação "Análise Multivariada" corresponde a um grande número de métodos e técnicas que utilizam simultaneamente todas as variáveis na interpretação teórica do conjunto de dados obtidos.^[16]

3. Materiais e Métodos

Este capítulo, refere-se às metodologias usadas para recolher os dados que servem de suporte estatístico a este projeto.

Os dados usados na análise multivariada relativos às características das matérias primas, foram recolhidos das folhas de registo usadas pelo laboratório.

O laboratório é o departamento responsável pela avaliação da qualidade das matérias primas.

3.1 Ensaios e Metodologias utilizadas no processo

Cada matéria prima que chega à empresa é acompanhada de uma ficha técnica, no entanto, é necessário comprovar pelos nossos métodos se as características estão de acordo com a ficha técnica.

A verificação das características da matéria prima é feita pelo laboratório, seguindo um documento de orientação - Plano de Monitorização, Inspeção e Ensaio - QPL001/7 (Anexo A.4). Este documento especifica quais os ensaios a fazer para cada matéria prima, bem como os valores de aceitação e qual o procedimento a seguir para documentar o ensaio.



Figura 3.1: Esquema dos principais ensaios.

O laboratório efetua análises, às matérias primas, aos vários tipos de pasta usados, ao vidro e ao produto acabado.

Das análises às matérias primas, salienta-se a percentagem de humidade, a brancura, resíduo ao peneiro.

Durante a produção da pasta, verifica-se a densidade, viscosidade (no caso da pasta líquida - barbotina), percentagem de humidade.

A pasta plástica após sair da feira (pronta a ser moldada), é verificada quanto á resistência mecânica, índice pirolástico e retração.

Antes de iniciar o processo de vidragem, a densidade do vidro é verificada pelos colaboradores e ajustada de acordo com o tipo de peça a vidrar. No entanto para formular a suspensão, é necessário verificar se as características da matéria prima estão de acordo com o certificado do lote e só depois é verificada a densidade e viscosidade da suspensão.

3.2 Humidade

Este ensaio tem por finalidade determinar a humidade natural de matérias primas, recorrendo a uma balança de humidades (figura 3.2) com sensibilidade de 0,01g.



Para esta análise são recolhidas várias amostras do lote e misturadas entre si. A quantidade de amostra a ensaiar deverá ser aproximadamente de 500 g, que é guardada em saco de plástico evitando a variação na humidade.

Retira-se do saco uma amostra de peso superior a 10 g e coloca-se no prato da balança. Seleciona-se o programa desejado de acordo com a matéria prima, recorrendo à tabela 3.2.

Figura 3.2: Balança de humidades.

Esta seleção faz-se através do botão SELECT que define o programa e os botões σ e τ , que aumentam ou diminuem os parâmetros - tempo e temperatura.

Após termos introduzido o programa escolhido carrega-se em START e o ensaio inicia. O final do ensaio é reconhecido por um sinal sonoro, ou através do painel da balança.

Através do visor, a balança dá-nos diretamente a percentagem de humidade das matérias primas, podendo ainda fornecer a percentagem de sólidos da amostra, bem como o seu peso inicial.

Tabela 3.1: Parâmetros do programa em função da matéria prima a analisar.

Matéria prima	Tempo / min	Temperatura / °C
Argila, caulinos, pastas;	30	110
Areias;	10	110
Gesso	10	60

3.3 Resíduo ao peneiro

O ensaio do resíduo ao peneiro tem por objetivo determinar a percentagem de resíduo nas matérias primas argilosas e caulinos, através de um conjunto de peneiros, por via húmida, tal como mostra a figura 3.3.



O equipamento usado nesta análise é um *Analysette 3 Spartan pulverisette 0*, da FRITSCH. Este é constituído por dois peneiros, um de 140 e outro de 325 mesh.

Este ensaio consiste em pesar 300 g da matéria prima seca a analisar, dilui-se durante 15 minutos. A suspensão final passa pelo peneiro de 140 e depois pelo de 325. Durante o processo passa água corrente pela suspensão, o processo dá-se por terminado quando a água sai límpida. O resíduo retido no peneiro é colocado em pratos de porcelana e vai à estufa a 110 °C, durante 5 horas.

Depois de seco procede-se á pesagem e á calculada a percentagem de resíduo ao peneiro através da equação (1).

Figura 3.3: Equipamento de análise do resíduo ao peneiro.

$$\% \text{ resíduo} = \frac{\text{peso resíduo (\#140 ou \#325)}}{300\text{g}} \times 100 \quad (1)$$

3.4 Densidade

Este ensaio tem por objetivo a medição da densidade da suspensão de pasta, vidros ou matérias primas plásticas.

A análise consiste na introdução da suspensão no picnómetro de inox (figura 3.4), com a capacidade de 100 mL, como se pode ver na inscrição da tampa 100 cc, da figura 3.4 b).

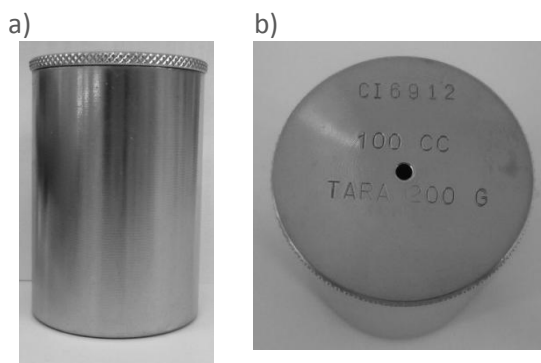


Figura 3.4: Picnómetro de inox, a) visão frontal, b) visão de topo.

O picnómetro é completamente cheio e pesa-se o conjunto numa balança de capacidade adequada e com sensibilidade de 0,01 g. À massa obtida subtrai-se a massa do picnómetro.

A densidade é calculada pela equação (2), usando a massa da suspensão (M) e o volume (V).

$$\text{densidade (g / L)} = \frac{M}{V} \times 1000 \quad (2)$$

3.5 Viscosidade

Este ensaio tem por objetivo a medição da viscosidade de uma suspensão. A amostra a ensaiar é constituída por uma suspensão de matéria prima plástica, vidro ou pasta.

A análise consiste em agitar a suspensão durante 30 segundos. Findo o período de agitação faz-se a medição da viscosidade em viscosímetro a uma velocidade de rotação de 50 rpm, a leitura é feita após 10 segundos.



O procedimento seguido na operação com o Viscosímetro SASSUOLO TV/30/A, é descrito a seguir.

Monta-se o viscosímetro no suporte. O suporte tem um nível acoplado como se pode ver na figura -- , que serve para verificar a correta posição do viscosímetro ao nível de bolha de ar do instrumento

Atarraxa-se o spindle à haste mais baixa, depois insere-se o mesmo e centra-se no material sob teste que o nível do fluido esteja na ranhura do spindle

Para medir a viscosidade, liga-se o viscosímetro e no final esta deve ser desligado. Proceder à limpeza do spindle.

Figura 3.5: Viscosímetro

Deve ser utilizado o spindle mais conveniente. Existe uma tabela que limita os valores de viscosidade dados por cada spindle. A escolha faz-se consoante o valor que aparece no ecrã.

O valor que aparece no ecrã é a viscosidade da suspensão em centipoises (cp).

3.6 Resistência Mecânica

Este ensaio tem por objetivo determinar a resistência mecânica à flexão em **provetes** crus (ver figura 3.6) e cozidos.

A amostra a ensaiar é constituída por 15 provetes cilíndricos com 15 cm de comprimento e 1 cm de diâmetro, aproximadamente, secos ou cozidos.

Coloca-se uma distância inter apoios de 10 cm, no tensómetro.

Introduz-se o provete perpendicularmente às barras de suporte do tensómetro (figura --). Lê-se na escala o valor da força aplicada no instante da rutura do provete.

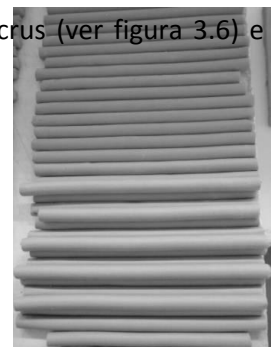


Figura 3.6: Provetes

Mede-se com um paquímetro o diâmetro do provete na zona da fratura.

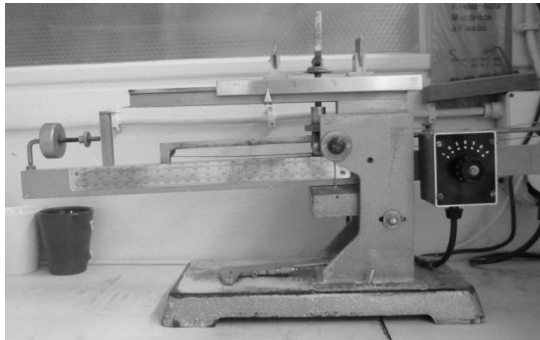


Figura 3.7: Tensômetro.

A resistência mecânica à flexão - M (Kgf/cm^2) é determinada em provetes cilíndricos pela equação (3).

$$M = \frac{8FL}{\pi d^3 \times 9,8} \quad (3)$$

onde F é a força aplicada no instante da rutura (kgf), L é a distância inter apoios (cm), d corresponde ao diâmetro do provete (cm).

3.7 Índice pirolástico

O índice pirolástico é um valor que quantifica a deformação de um corpo durante a cozedura, por influência da gravidade.



Figura 3.8: Forno de medição do índice pirolástico.

A amostra a ensaiar é constituída por provetes cilíndricos secos a $110\text{ }^\circ\text{C}$ com aproximadamente 12 cm de comprimento.

Apoiam-se os provetes horizontalmente no bloco de refratário em V com uma distância inter apoios de 10 cm , deixando 1 cm em cada extremidade e procede-se à sua cozedura.

Finda a cozedura, removem-se os provetes do forno e mede-se com um paquímetro a espessura do provete cozido.

Para se obter o índice de deformação pirolástica - IP (cm^{-1}), recorre-se á equação (4), em que s corresponde à flecha de deformação, inclinação no centro do provete após cozedura (cm), l é a distância inter apoios e d é o diâmetro do provete.

$$IP = \frac{sd^2}{l^4} \quad (4)$$

3.8 Retração

O estudo deste parâmetro é útil para determinar a retração da pasta durante os processos de secagem e cozedura.

No caso da matéria prima a analisar ser o caulino, após a secagem a 110 °C faz-se a diluição em água, colocando-se em placa de gesso depois da passagem ao peneiro de #140 Mesh e passagem com íman, até a obtenção de uma pasta com a humidade necessária para a extrusão, pasta “normal” (que não adira aos dedos).

Se a matéria prima a analisar for a argila, após secagem em estufa a 110 °C desagrega-se a argila com um almofariz e dilui-se, passando-se de seguida a #140 Mesh e passagem com íman, deitando-se em placa de gesso até obter uma pasta “normal” (que não adira aos dedos).

Preparadas as pastas, estas são retiradas dos moldes de gesso, são amassadas à mão e posteriormente são extrudidos provetes cilíndricos com aproximadamente 15 cm de comprimento onde lhes é inscrito marcas de 10 cm (l_0).

Após este procedimento são secos ao ar durante aproximadamente 6 horas, depois 15 horas a 60°C e finalmente 4 horas a 110°C.

Finda a secagem são colocadas em exsicador e cozidos no forno da produção.

No final da cozedura mede-se a distância entre as duas marcas.

A percentagem de retração é calculada nos processos de secagem - verde/seco (5), cozedura -seco/cozido (6) e total (7) :

Processo	Cálculo da percentagem de retenção
Verde → Seco	$\% \text{ ret} = \frac{l_0 - l_1}{l_0} \times 100$ (5)
Seco → Cozido	$\% \text{ ret} = \frac{l_1 - l_2}{l_1} \times 100$ (6)
Verde → Cozido	$\% \text{ ret} = \frac{l_0 - l_2}{l_0} \times 100$ (7)

Os dados usados no cálculo da percentagem de retenção, são: l_0 corresponde ao comprimento inicial de 10 cm, l_1 é o comprimento após secagem e l_2 é o comprimento após cozedura.

3.10 Determinação de Chumbo e Cádmio

Para responder aos requisitos legais impostos (Dir.84/500/CEE; Dir.2005/31/CEE; ASTM C-738 e ISO 6486), a empresa produtora de louça utilitária e decorativa, tem que garantir a ausência de chumbo e cádmio do produto vidrado. Estes ensaios são efetuados no laboratório recorrendo à técnica de Espectroscopia de Absorção Atómica por Chama. De acordo com as diretivas comunitárias, o limite de quantificação do chumbo e do Cádmio é 0.2 mg/L.

3.10.1 Espectroscopia de Absorção Atómica

A espectroscopia de absorção atômica por chama (FAAS - Flame Atomic Absorption Spectrometer), é uma técnica de execução rápida e fácil com uma sensibilidade extremamente alta (especialmente para elementos, tais como o chumbo (Pb), Cádmio (Cd), Cobre (Cu) e Crómio (Cr)).

A amostra é atomizada na chama, através da qual passa radiação com o comprimento de onda (λ) adequado a cada elemento a analisar (fonte de radiação - Lâmpada de cátodo oco). A quantidade de radiação absorvida é uma medida quantitativa da concentração do elemento a analisar.

A amostra é lançada na chama que atinge temperaturas que variam entre 2100 e 2300 °C.

Durante a combustão, os constituintes da amostra são reduzidos ao estado atômico. Um feixe de radiação é emitido por uma lâmpada cujo cátodo é feito do elemento a ser determinado. A radiação após atravessar a chama passa por um monocromador e atinge o detetor. Os átomos livres no estado fundamental absorvem a radiação a comprimentos de onda característicos de cada elemento. A redução de energia da radiação no comprimento de onda característico do analito é uma medida da quantidade desse elemento presente na amostra.

O equipamento usado para a análise de Chumbo e Cádmio, denomina-se SP9 Atomic Absorption Spectrophotometer, acoplado a um SP9 Computer - PYE UNICAM, está representado na figura 3.9.

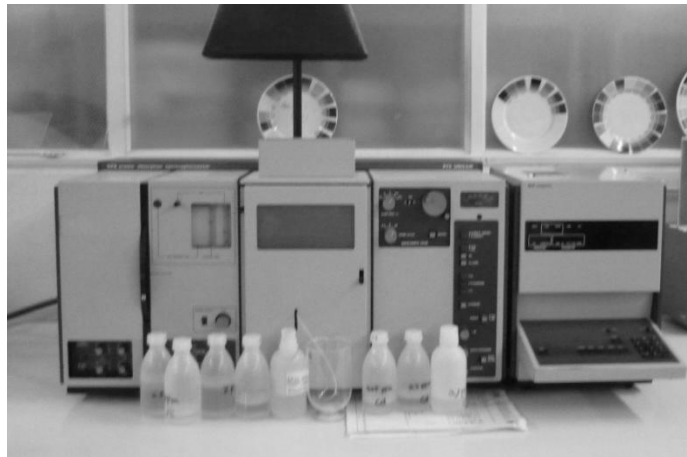


Figura 3.9: Espectrofotómetro de absorção atômica.

Para determinar a quantidade de chumbo e cádmio nas peças de porcelana, coloca-se ácido acético (simulando o vinagre utilizado para fins culinários) na superfície da peça que está em contato com os alimentos. As peças ficam expostas à reação do ácido durante 24 horas. Após esta exposição se a peça tiver na sua constituição algum dos elementos referidos, estes são transferidos para o ácido acético. O ácido acético é diluído em solução aquosa de forma a ser analisado no equipamento (a quantidade de ácido tem que estar dentro dos limites de deteção).

3.11 Dureza da Pasta - Penetrómetro

A Dureza da pasta é medida com o auxílio de um penetrómetro, representados na figura 3.10, equipamento que ao ser pressionado contra a pasta, indica-nos a dureza desta em bares (unidade de medida de pressão).

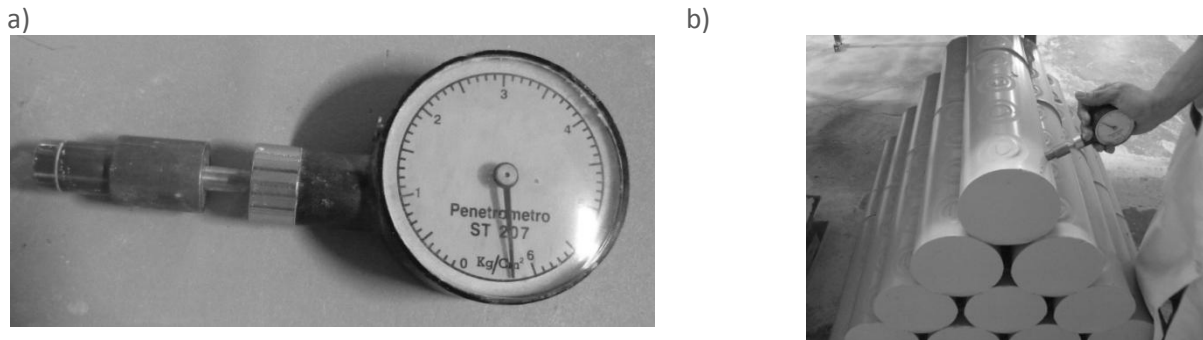


Figura 3.10: a) Penetrómetro ST207 (0 a 6 Kg/cm²); b) Método de medição da dureza da pasta.

3.12 Medição de espessuras - Paquímetro

O paquímetro (figura 3.11) é usado para controlar a espessura da beira (Eb) e do fundo (Ef) das peças em produção. O valor das espessuras deve estar de acordo com a medida especificada na ficha de especificação - QFE008, tendo uma tolerância de $\pm 10\%$ - valor limite. Os valores de controlo correspondem a uma tolerância de $\pm 5\%$, quando as medidas ultrapassam os valores de controlo (máximo ou mínimo) é necessário tomar medidas para evitar que sejam atingidos os valores limite. Quando os valores de controlo são ultrapassados, o operador responsável, deve afinar o equipamento de modo a que as medidas estejam o mais próximo das especificações.



Figura 3.11: Paquímetro digital, Mitutoyo.

3.13 Peso - Balança

Relativamente aos pesos das peças, também são alvo de um controlo semelhante ao das espessuras. Estes devem estar de acordo com os valores especificados na ficha da peça. Sempre que são ultrapassados os valores de controlo, a conformação deve ser corrigida, de modo a não afetar as medidas das espessuras e para evitar que os valores limite (superior à tolerância) sejam atingidos.



Figura 3.12: Balança METTLER TOLEDO PB1501-S.

Quando é feito o controlo quantitativo das peças, faz-se uma análise qualitativa, relativamente ao tipo de acabamento e a eventuais anomalias que sejam visíveis em cru. Esta análise não tem uma metodologia descrita, serve-se apenas do *Know how* do controlador e dos operadores. Os operadores estão durante um período de trabalho a operar com o mesmo equipamento, são eles quem tem maior facilidade em detetar anomalias.

Deste modo, é de extrema importância a relação entre operadores, responsáveis de produção e os controladores, para em conjunto procurarem as melhores soluções para eventuais problemas.

3.14 Controlo da densidade dos vidros

O controlo da densidade do vidro é feito sempre que se muda de peça, se inicia um novo carro de vidro ou entra um novo colaborador para o posto de vidragem. O procedimento é o mesmo usado para medir a densidade da pasta.

Para se verificar a densidade do vidro, tira-se a tara do picnómetro vazio e limpo, agita-se o vidro contido no carro e recolhe-se a amostra. Introduce-se o vidro no picnómetro, enchendo-o completamente, de forma que ao colocar a tampa, a quantidade de vidro em excesso seja expelida. Pesa-se o conjunto (picnómetro cheio com vidro), lê-se o peso do vidro (pois a balança está tareada) e regista-se o valor multiplicado por 10.

O valor obtido é comparado com os valores tabelados (PTE011), se a densidade do vidro for diferente do valor que consta na tabela, a densidade é reajustada de acordo com o procedimento sugerido na tabela 3.2.

Tabela 3.2: Procedimento para corrigir a densidade.

Ocorrência	Procedimento para acertar a densidade do vidro:
Peso>Máximo	Adicionar água ao vidro até chegar a valores compreendidos entre os limites Máximo e Mínimo.
Peso<Mínimo	Adicionar vidro de maior densidade até chegar a valores compreendidos entre os limites Máximo e Mínimo.

3.15 Controlo dos perfis de temperatura dos fornos

O controlo das temperaturas dos fornos, é feito pelos operadores da secção dos fornos. Este controlo é realizado de duas em duas vagonas que entram no forno e é registado no registo diário de inspeção do respetivo forno. Para fazer a leitura do valor da temperatura, comuta-se o interruptor para o termopar pretendido. O operador lê e regista a temperatura, verificando se esta está de acordo com a temperatura inscrita nos respetivos quadros, se se verificar afastamento serão tomadas as medidas adequadas para reajustar.

4. Análise e discussão de resultados

Neste capítulo pretende-se apresentar os resultados apurados após a aplicação das ferramentas da qualidade descritas e comentar os mesmos de acordo com o tipo de produção aqui apresentado.

4.1 Validação da certificação de equipamentos de medição e monitorização

Os equipamentos usados no controlo da produção, são anualmente calibrados/Verificados, para garantir que todos os equipamentos estão em igual circunstância e para dar fiabilidade aos valores quantificados.

No controlo da produção são verificados quantitativamente os parâmetros: Peso, Espessura da Beira e Espessura do Fundo, usando para tal uma balança semi analítica e um paquímetro. As balanças utilizadas são 2 mediante a zona da produção na área de produção A, para pesar as peças estudadas neste projeto, usa -se a balança com o código interno M03, na área de produção B, para pesar as peças estudadas neste projeto, usa-se a balança com o código M06. O Paquímetro, sendo um instrumento portátil e pessoal, é sempre o mesmo utilizado na medição das espessuras, é da marca Mitutoyo e está identificado internamente com o código C03.

Após a calibração efetuada por entidade externa, procede-se à verificação do relatório emitido, para verificar se o equipamento está apto a ser utilizado na gama de trabalho. Todo o equipamento aprovado é etiquetado a verde, quando não está apto a trabalhar numa determinada gama de valores, ou seja, quando o valor do erro da medição é superior a $0.33 \times \text{Valor da menor divisão}$, o equipamento é considerado condicionalmente Aprovado ou Não Aprovado, é etiquetado a Azul ou Vermelho, respetivamente.

Os equipamentos usados neste trabalho, ficaram aprovados em toda a gama de utilização na última calibração, não constituindo nenhuma ameaça para os resultados descritos.

4.2 Controlo da qualidade das matérias-primas

Todas as matérias primas são sujeitas a testes de qualidade na receção, efetuados pelo laboratório, os resultados obtidos são comparados com a ficha técnica que acompanha o lote. Seguindo o plano QPL001/7 - Plano de Monitorização, Inspeção e Ensaio (A.4).

É importante referir, que algumas matérias-primas são fornecidas com uma periodicidade bastante larga, nestes casos a matéria-prima fica muito tempo armazenada, estando sujeita a diferentes condições atmosféricas - temperatura e humidade. Assim, é necessário controlar regularmente o estado das mesmas para garantir que a pasta e o produto final, não vão sofrer alterações das suas características.

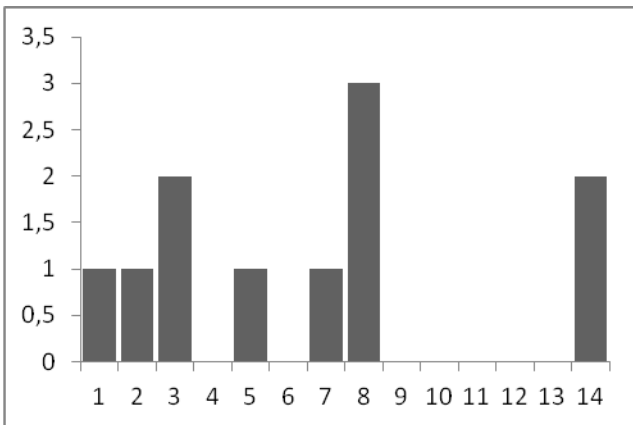
As características analisadas no controlo das matérias primas são estudadas na análise multivariada.

4.3 Controlo da dureza da pasta.

Cada carga de pasta, sai na forma de charutos com um diâmetro específico, definido pelo fim a que se destina, esta é colocada em paletes para facilitar o seu transporte até ao equipamento de conformação. Cada palete é

identificada com um papel que acompanha a pasta até entrar na linha de produção, este tem a Dureza média da pasta. Há variações ao longo da carga, a mesma carga não tem um valor único de dureza.

Paleta A



Paleta B

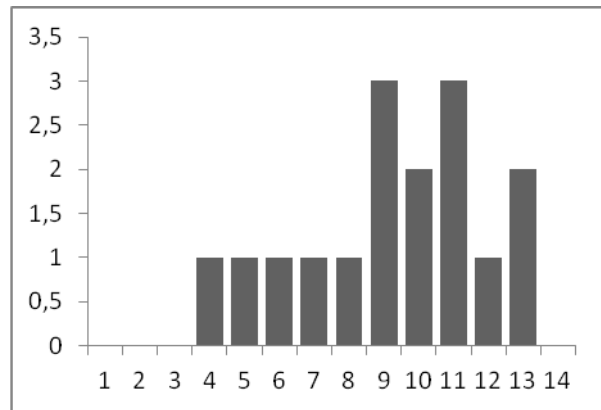


Figura 4.1: Histogramas da dureza da pasta na Paleta A e B.

Estes histogramas pretendem mostrar a tendência da dureza da pasta, como se pode verificar, esta não segue um padrão, o que leva a concluir que a dureza da pasta é um valor muito variável, este facto não favorece o controlo da produção.

Sabe-se que a pasta no filtro prensa ocupa diferentes posições e pode conter humidade variável, este facto contribui para a diferença da dureza da pasta. Mas posteriormente o bolo filtrado é "amassado" no sem fim para despistar esta heterogeneidade.

Por outro lado, a dureza da pasta varia ao longo do charuto, as extremidades secam mais rapidamente, aumentando a dureza nesta zona. Para reduzir a perda de humidade da pasta, esta é tapada com plásticos, como se pode ver na figura 4.1.

Estes valores de dureza foram medidos em zonas aleatórias dos charutos e em diferentes charutos de duas paletes, A e B.

4.4 Conformação - Controlo da qualidade

Durante a conformação os colaboradores responsáveis pelo equipamento estão sensibilizados para a importância de manter os níveis de qualidade exigidos pelo cliente. Desta forma eles controlam frequentemente as espessuras e peso da peça ao nível quantitativo, bem como o aspeto da peça - análise qualitativa. Quer numa, quer noutra situação, sempre que as peças estão fora dos padrões, eles afinam a conformação de modo a que esta fique em conformidade. Quando surge situações anormais chamam os responsáveis hierárquicos para tomar a melhor decisão. Este controlo de qualidade durante a conformação é acompanhado da inspeção periódica de um dos elementos do departamento da qualidade, este verifica as espessuras no fundo e na beira, bem como o peso da peça. Esta inspeção serve para controlar o processo e despistar eventuais erros não detetados pelo operador do equipamento.

Os dados recolhidos pelo colaborador e pelo elemento da qualidade são introduzidos numa base de dados, de forma a parametrizar as oscilações dos valores das especificações da peça. Ver tabela 4.1.

Tabela 4.1: Base de dados da inspeção á conformidade da produção.

DATA	PEÇA	-10%	-5%		5%	10%	PESO	OBSERVAÇÕES
		283	298	314	330	345	311	Ef(7,9)>LMS(6,6); Eb(6,4)<LMI(6,5)
		283	298	314	330	345	308	
		283	298	314	330	345	320	
		283	298	314	330	345	316	
		283	298	314	330	345	310	
		283	298	314	330	345	311	
		283	298	314	330	345	311	Ef(7,2)>LMS(6,0)
		283	298	314	330	345	310	
		283	298	314	330	345	310	
		283	298	314	330	345	307	
		283	298	314	330	345	311	
		283	298	314	330	345	307	
		283	298	314	330	345	314	
		283	298	314	330	345	313	

Esta tabela é preenchida manualmente sempre que o operador verifica as especificações técnicas da peça, de seguida é transcrita numa folha Excel, para analisar o comportamento da peça ao longo da produção. Este estudo permite identificar de imediato o peso da peça quando está no limite de controlo ou limite máximo, no entanto. Para visualizar o comportamento da peça ao longo da produção, faz-se o gráfico, que mostra a figura .

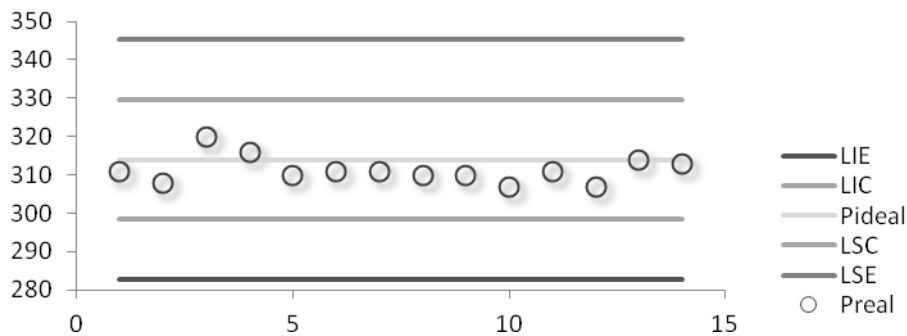


Figura 4.2: Representação da carta de controlo do peso de uma peça ao longo de 7 dias de produção.

Analisa-se a tendência da peça, se o peso em média estiver próximo de um dos limites de controlo e as restantes especificações estiverem corretas, é necessário definir novas especificações. Nalguns casos as fichas de especificação técnica são antigas, ou as peças não são feitas há muito tempo, é necessário atualizar a informação das fichas de especificação técnica, porque o processo produtivo também pode ter sido alterado. Mas, antes de mudar qualquer valor da especificação técnica, é necessário confirmar que não há outra variável responsável pelo processo. Para melhor esclarecer esta situação, segue-se o seguinte exemplo: uma peça cujo o peso é medido durante um período de tempo e este mantém-se sempre mais pesado que a especificação, verifica-se o comportamento das espessuras. Supondo que ambas apresentam espessuras superiores, significa que provavelmente o jogo de formas usada para esta produção já fez demasiados ciclos de produção e deverá ser substituído, pois as formas estão "desgastadas" aumentando as medidas da peça

Cada inspeção consiste na verificação da espessura da beira, do fundo e do peso. Quando um destes valores não está correto, é essencial corrigir a conformação de modo a que todos os valores estejam dentro dos limites de controlo.

Neste caso, já tínhamos verificado pela base de dados que os pesos estavam de acordo com o valor da especificação, no entanto, verifica-se que nas observações consta a seguinte informação:

$$E_f(7,9) > LMS(6,6); E_b(6,4) < LMI(6,5)$$

O que significa que a espessura do fundo (E_f) apresenta um valor superior ao limite máximo superior (LMS), ou seja á tolerância de 10%, por outro lado a espessura na beira está mais fina que o valor máximo inferior (LMI), ou seja está mais fina que a tolerância permitida de 10%.

4.5 Análise de Paretos

Usamos a análise de paretos para estudar quais os defeitos com maior incidência em determinadas peças. As peças que são alvo de reclamação são sujeitas a um controlo mais rigoroso na produção.

A análise consiste num registo semelhante ao que se segue:

Tabela 4.2: Registo dos defeitos encontrados na análise pareto.

Poros	Rachas	Falha de Vidro	Pedras	Cieiro	Vidro escorrido	Lascadas	Frete	Moça na beira	Defeito no corpo
IIII	II	II	II	I	I	I	III	II	I

Estes defeitos são classificados pelos parâmetros da qualidade em 2ª, Retrabalho, Refugo e Quebras, como indica a imagem.



Figura 4.3: classificação dos defeitos encontrados, segundo os níveis de qualidade.

São calculadas as percentagens relativas a cada qualidade e é feito um gráfico.

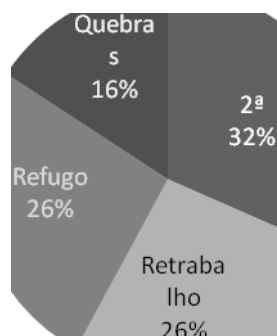


Figura 4.4: Gráfico com a representação dos defeitos encontrados numa amostra de 100 peças, em que 19 foram rejeitadas.

4.6 Análise de defeitos das peças escolhidas.

Após a deteção dos defeitos com maior expressão é necessário analisar a origem do defeito, levantando as questões através da técnica de brainstorming. É preciso identificar qual a fase do processo responsável pelos principais defeitos e atuar em conformidade.

Quando necessário tomam-se medidas de atuação imediatas e quando for possível medidas preventivas de modo a evitar qualquer problema semelhante.

4.7 Análise SWOT

A tabela 4.3 mostra os aspetos considerados nesta análise, para avaliar o cumprimento dos critérios a estabelecer na avaliação.

Este estudo permite uma avaliação qualitativa.

Tabela 4.3: Parâmetros usados na análise SWOT aplicada à porcelana.

Qualidade	Inovação	Cliente	Sustentabilidade
Equipamentos	Desenvolvimento	Imagem	Redução
Mão de obra	Atualidade	Confiança	Reutilização
Matérias-primas	Foco: mercado/cliente	Qualidade	Renovação
Resíduos (tratamento/eliminação)	Renovação	Atualidade	Degradação
Preservação dos recursos naturais(energia; água; outros)	Imagem	Foco: mercado/cliente	Resíduos (tratamento/eliminação)
Segurança (ambiente/saúde- RH/prevenção de acidentes			Preservação dos recursos naturais(energia; água; outros)
			Segurança (ambiente/saúde- RH/prevenção de acidentes

O objeto a analisar é o processo produtivo e o objetivo é rentabilizar de forma sustentável. É necessário definir os critérios a que devem obedecer o processo para cumprir o objetivo, estes formam as dimensões de análise relativamente à análise interna e externa.

A análise SWOT aplica-se a todo o processo produtivo, focando apenas as linhas de chávenas enquanto equipamentos de produção. E é acompanhado todo o processo até ao produto final que ocorre nestes equipamentos.

Para cada passo do processo produtivo são estudados os pontos fortes e fracos, oportunidades e ameaças na perspetiva QISC - Qualidade, Inovação, Sustentabilidade e Cliente.

Construção da matriz SWOT.

Tabela 4.3: Dimensões de análise SWOT.

Dimensões de análise	Ponto Forte	Ponto Fraco
Qualidade das matérias primas	1.A qualidade das peças depende da qualidade das matérias primas utilizadas. 2.A possibilidade de não permitir determinadas conformações. 3. Aumento do custo da produção.	Matérias primas com elevada qualidade permitem menos defeitos Maior resistência. Melhor qualidade, diminui a possibilidade de defeitos Produto mais barato. Possibilidade de surgir novas peças. Não traz problemas, afina-se a cabeça.
Produção de moldes e formas fora das especificações	4.Insatisfação do cliente 1.A qualidade das peças. 2.A possibilidade de não permitir determinadas conformações. 3. Aumento do custo da produção. 4.Insatisfação do cliente	Matéria primas com mais qualidade são mais caras Redução do lucro Maior quantidade de peças rejeitadas Maior quantidade de resíduos Elevados custos para a produção Não responde ás expectativas do cliente. Peças com deformações Perda de caraterísticas da peça.
Conformações problemáticas	1.A qualidade das peças. 2.A possibilidade de não permitir determinadas conformações. 3. Aumento do custo da produção. 4.Insatisfação do cliente	Não se regista aumento do custo O cliente não é prejudicado. Peças bem conformadas Processo produtivo mais simples Não se verifica aumento dos custos Valorização da peça Defeitos disfarçados pela decoração. Conformações exigentes são mais valorizadas Não afeta o custo da produção. Existência de lucros Não afeta a qualidade das peças Não provoca deformação na peça
Peças com defeitos	1.A qualidade das peças. 2.A possibilidade de não permitir determinadas conformações. 3. Aumento do custo da produção. 4.Insatisfação do cliente	Necessitam de maior acompanhamento Perda de pormenor Aumento de peças rejeitadas Conformações exigentes, possibilitam defeitos de forma Aumento das peças rejeitadas Despesa sem retorno Alteração da coloração das peças Alteração das condições ótimas de cozedura
Faltas de energia na cozedura das peças	1.A qualidade das peças. 2.A possibilidade de não permitir determinadas conformações. 3. Aumento do custo da produção.	Aumento de peças rejeitadas Baixo retorno económico Afeta a qualidade das peças Baixos lucros
Escolha deficiente	4.Insatisfação do cliente 1.A qualidade das peças. 2.A possibilidade de não permitir determinadas conformações. 3. Aumento do custo da produção.	Coloração diferente, inovação agrada ao cliente Captação de novos mercados Maior aproveitamento das peças Retorno do investimento Não provoca aumento dos custos Não afeta economicamente. Inovação de produto Não afeta a colocação de decalque
Decoração mal aplicada	4.Insatisfação do cliente 1.A qualidade das peças. 2.A possibilidade de não permitir determinadas conformações. 3. Aumento do custo da produção. 4.Insatisfação do cliente	Promove a reclamação Rejeição da peça e substituição Não se ajusta á peça, baixa a qualidade A conformação não se ajusta ao decalque Não aumenta o custo da produção Cliente satisfeito com o resultado Gastos acrescidos peças e decoração Reclamação do cliente

Esta análise permite cruzar conceitos envolvidos no processo produtivo que de outra forma, não seriam correlacionados. Analisa-se o processo através de dois pontos de vista diferentes.

Tabela 4.4: Identificação das Oportunidades e Ameaças.

Oportunidades	
Dimensões de análise	Implicações
Reutilização e reciclagem de materiais.	Redução dos custos associados a novos materiais e redução dos gastos da eliminação;
Redução ou Reutilização de água.	Não gasta recursos naturais, é economicamente favorável;
Possibilidade de baixar a intensidade de energia.	Redução do consumos dos recursos naturais e diminuição dos custos associados;
Possibilidade de rotação de postos de trabalho.	Diminuição de doenças associadas à ergonomia, maior conhecimento do processo.
Ameaças	
Dimensões de análise	Implicações
Produção de pequenas quantidades.	Aumento dos custos por peça, o início da produção acarreta elevados custos e envolvimento dos recursos humanos.
Inovação de formas.	Gastos associados a novos ensaios, desenvolvimentos, necessidade de novos investimentos.
Imposição externa de mais segurança.	Aquisição de novos equipamento, envolvimento de recursos humanos.
Imposição externa de mais formação.	Tempo despendido durante a formação e redução da eficiência produtiva, custos associados à formação.
Imposição externa para redução de custos na produção	Aquisição de equipamentos mais automatizados, acarreta aumento dos investimentos e diminuição de recursos humanos.

Abordadas as oportunidades e ameaças, aspetos a considerar nas dimensões de análise.

Define-se de seguida as áreas de intervenção e a designação dos processos envolvidos.

Tabela 4.6: Identificação das secções do processo.

Secção	Designação do processo
Modelação	Produção de formas e moldes
Pastas	Produção de pastas líquidas (lambagem), plásticas.
Olaria/Conformação	Conformação de peças em porcelana pelos vários equipamentos (automático) e/ou manualmente.
Secador	Secagem das peças em verde
Fornos de Chacota	Cozedura das peças brancas, originando peças em chacota
Vidragem	Vidrar as peças em chacota
Forno Grande Fogo	Cozedura das peças vidradas, originando a peça final
Escolha	Seleção das várias peças segundo padrões de qualidade.

Tabela 4.7: Resultados da análise SWOT

Modelação	
<p>Pontos fortes Obtenção de novas peças; Reutilização das formas e moldes Reciclagem da matéria prima</p> <p>Oportunidades Redução do consumo dos recursos naturais</p>	<p>Pontos Fracos Maior quantidade de peças rejeitadas Aumento de resíduos Elevados Custos de Produção</p> <p>Ameaças Aumento dos custos da produção por peça Gastos associados a novos desenvolvimentos</p>
Pastas	
<p>Pontos fortes Elevada qualidade das matérias primas contribui para o aumento da produtividade Reutilização da pasta</p> <p>Oportunidades Diminuir a variabilidade das características</p>	<p>Pontos Fracos Elevados custos das matérias primas</p> <p>Custos energéticos associados aos equipamentos</p> <p>Ameaças Deteção de contaminações tardia</p>
Olaria / Conformação	
<p>Pontos fortes Processo automatizado Facilidade de afinação Autonomia dos recursos humanos</p> <p>Oportunidades Prever o comportamento da peça nas secções posteriores Reutilização dos recursos naturais Redução do consumo energético Rotação dos postos de trabalho</p>	<p>Pontos Fracos Defeitos de forma Inicio de produção acarreta elevados custos.</p> <p>Ameaças Aumento do custo da produção Imposições externas de formação</p>
Secador	
<p>Pontos fortes Redução de defeitos em cozedura grande fogo Defeitos detetados antes de processos mais caros.</p> <p>Oportunidades Reutilização do calor provocado pelo funcionamento do equipamento</p>	<p>Pontos Fracos Consumo energético</p> <p>Ameaças Cada operação efetuada corre o risco de rejeição de peças.</p>
Fornos Chacota	
<p>Pontos fortes Fornecer resistência mecânica às peças Permite identificar defeitos antecipadamente</p> <p>Oportunidades Aproveitamento do calor, para climatizar as instalações no inverno</p>	<p>Pontos Fracos Consumos energéticos Condições de trabalho dos recursos humanos</p> <p>Ameaças Conformações irregulares e de grandes dimensões</p>
Vidragem	
<p>Pontos fortes Qualidade da superfície Autonomia dos colaboradores</p> <p>Oportunidades Rotação dos postos de trabalho</p>	<p>Pontos Fracos Trabalho manual Condições de trabalho dos recursos humanos</p> <p>Ameaças Forma das peças</p>
Grande Fogo	
<p>Pontos fortes Obtenção das características que definem o produto</p> <p>Oportunidades Aproveitamento do espaço disponível</p>	<p>Pontos Fracos Elevado consumo energético Necessidade de condições específicas de funcionamento</p> <p>Ameaças Cortes de energia</p>
Escolha	
<p>Pontos fortes Seleção dos produtos por níveis de qualidade Satisfação do cliente</p> <p>Oportunidades Utilizar peças rejeitadas para a decoração Rotação dos postos de trabalho</p>	<p>Pontos Fracos Definição clara dos critérios de escolha Cansaço dos colaboradores</p> <p>Ameaças Depende dos recursos humanos envolvidos</p>

4.8 Análise Multivariada

A análise multivariada tem como principal característica, o estudo de diversas variáveis, bem como a resposta que se obtém do processo. Este estudo permite relacionar os preditores (variáveis) com as respostas, obtendo as variáveis que mais influenciam a resposta do processo.

Neste estudo foram consideradas dois tipos de variáveis independentes, as matérias primas e as condições de trabalho. As respostas correspondem à qualidade obtida nas diferentes peças produzidas. Assim trabalhamos com dois subespaços, numa matriz de $m \times l$, em que $m=29$ e $l=25$ corresponde aos preditores e às respostas respetivamente.

Numa primeira fase fez-se um diagnóstico de interdependência para tentar identificar as relações mais relevantes entre estes dois tipos de variáveis. Deste modo, pretende-se identificar eventuais fatores relevantes e que permitam melhorar a qualidade e seu desempenho ao nível da produção.

Foi estimada a matriz de correlação múltipla ($R_{(M \times M)}$) através da operação matricial

$$R_{(M \times M)} = \frac{Z_{(M \times N)}^T \cdot Z_{(N \times M)}}{(N-1)} \quad (8)$$

onde $Z_{(N \times M)}$ representa a matriz original de dados normalizada por variável.

Esta matriz incorpora informação de dois tipos: correlações internas e correlações externas.

As correlações internas traduzem a interdependência dentro das variáveis do mesmo subespaço - neste caso em concreto, as variáveis com índices idênticos situadas entre 1 e m (1: m) correspondem aos preditores enquanto que as de $m+1$ a M ($m+1$: M) correspondem às respostas. Estas relações mais relevantes expressam em parte um excesso de informação redundante, este facto é devido ao tamanho do lote da matéria-prima, alguns tipos de matéria-prima são compradas em grandes quantidades (sobretudo quando esta é importada e vem em navios), a análise que é feita a esta matéria prima e os resultados obtidos são aqui descritos, como os lotes são muito grandes essa variável mantêm-se durante algumas produções.

As correlações entre espaços preditores-respostas é que expressam o efeito entre os dois conjuntos de variáveis.

Para mais facilmente se identificarem interdependências relevantes foi utilizado um teste t. Como hipótese inicial assumiu-se que a correlação é muito significativa ($H_0: |r|=1$) e como hipótese alternativa que esta não é muito significativa ($H_1: |r|<1$).

$$\begin{cases} H_0: |r|=1 \Leftrightarrow \text{Correlação é muito significativa.} \\ H_1: |r|<1 \Leftrightarrow \text{Correlação pouco significativa.} \end{cases}$$

O respetivo valor de teste é dado por:

$$TV = \frac{|r_{ij} - 1| \cdot \sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r_{ij}^2}} \quad (9)$$

Onde r_{ij} representa a correlação entre as i variáveis dos preditores com as j respostas.

As normas ISO estipulam critérios estatísticos para a aceitabilidade de hipóteses através de testes estatísticos: regra geral impõe-se inicialmente um grau de confiança de 95% ($\alpha=0.05$) para o teste e, em caso de dúvida o teste é estendido até ao grau de confiança de 99% ($\alpha=0.01$) no sentido de se poder ser mais conclusivo. Por consequência, o intervalo situado entre os 95% e 99% de confiança α situado entre 0.05 e 0.01) corresponde a uma região onde existe demasiada incerteza estatística para tomar decisões podendo, numa situação limite, utilizar-se o valor de 97% ($\alpha=0.03$) servir de critério de "desempate".

Conhecendo-se o número de graus de liberdade ($ndf=(N-2)=48$) pode-se estimar o valor de prova para determinado valor de correlação: valores de correlação superiores a 0.844 apresentam probabilidade superior a 5% (1 hipótese em 20, $\alpha=0.05$) de serem significativas; valores abaixo de 0.736 muito dificilmente podem ser considerados significativos (probabilidade de ocorrência inferior a 1 hipótese em 100, $\alpha=0.01$) o valor de correlação que corresponde a $\alpha=0.03$ é $|r|=0.812$.

Antes de iniciar a análise das relações entre subespaços vamos inspecionar o que se passa dentro de cada um deles em termos de replicação de informação.

Sendo que o número de variáveis a considerar em cada bloco de informação apresenta uma grande dimensão de elementos, a análise de correlações significativas corresponde a um trabalho exaustivo. Para facilitar este processo, procedeu-se a uma "filtragem" digital dos valores através de um ciclo condicional. Deste modo, a pesquisa de valores significativos de correlação torna-se mais fácil.

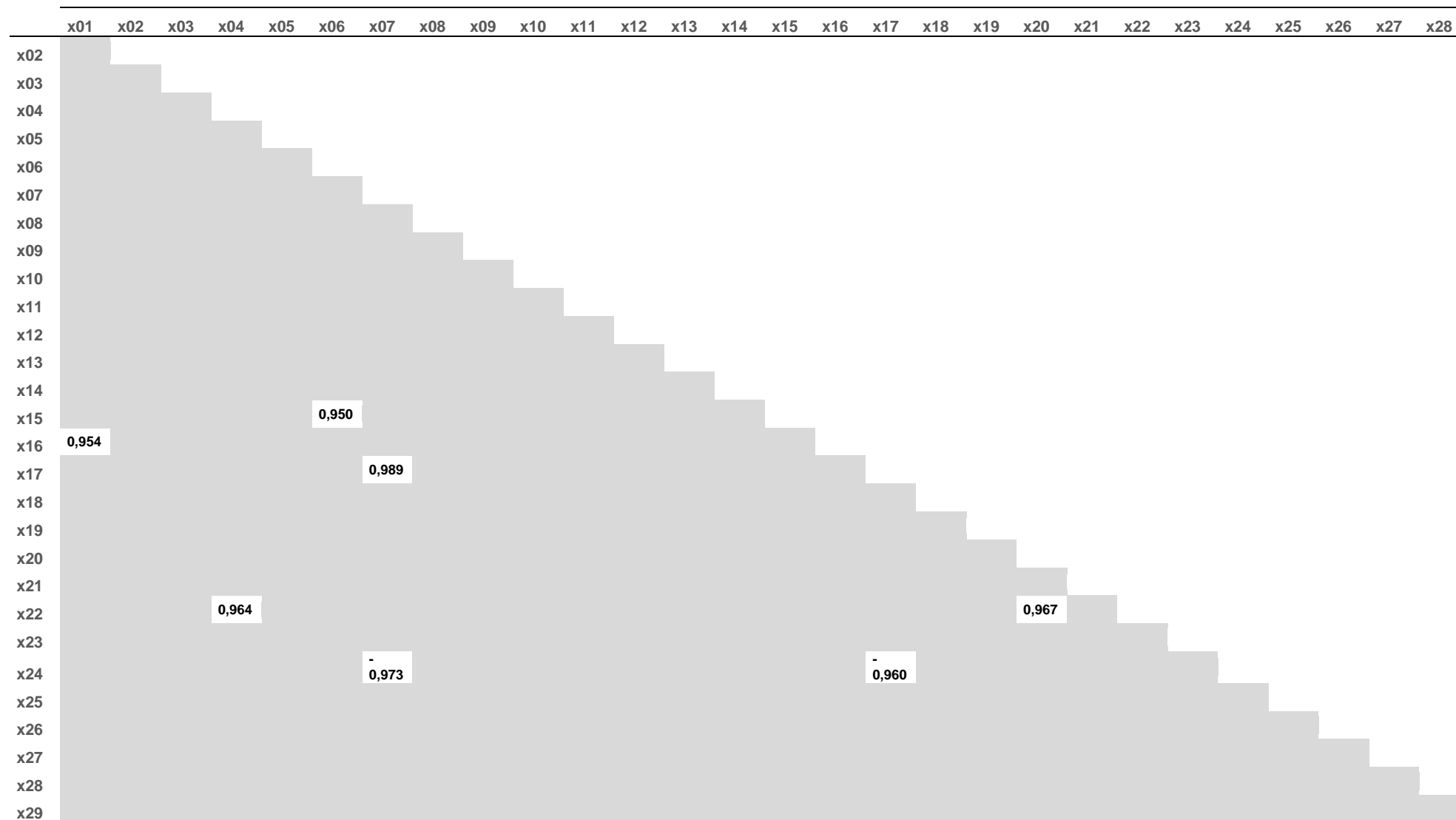
Relativamente à análise dos preditores, é uma matriz quadrada de dimensão $m \times m$ (29x29). sendo a correlação interna uma matriz simétrica com diagonal principal unitária, a atenção deve ser colocada na parte triangular inferior, ver tabela 4.8 .

Tabela 4.8: Matriz diagonal inferior que relaciona os preditores.

	x01	x02	x03	x04	x05	x06	x07	x08	x09	x10	x11	x12	x13	x14	x15	x16	x17	x18	x19	x20	x21	x22	x23	x24	x25	x26	x27	x28	x29
x01	1,000																												
x02	0,937	1,000																											
x03	-0,149	-0,280	1,000																										
x04	0,010	0,056	0,480	1,000																									
x05	-0,443	-0,391	0,124	0,768	1,000																								
x06	0,114	0,319	0,231	0,857	0,551	1,000																							
x07	0,882	0,820	-0,519	-0,110	-0,276	-0,045	1,000																						
x08	-0,140	-0,291	0,729	-0,243	-0,500	-0,355	-0,485	1,000																					
x09	0,443	0,642	-0,057	0,698	0,359	0,915	0,345	-0,544	1,000																				
x10	0,439	0,563	-0,396	0,570	0,502	0,657	0,591	-0,866	0,840	1,000																			
x11	0,019	0,194	0,400	0,031	-0,393	0,361	-0,381	0,512	0,241	-0,306	1,000																		
x12	-0,586	-0,722	0,715	0,551	0,653	0,136	-0,638	0,302	-0,207	-0,224	-0,178	1,000																	
x13	-0,624	-0,347	0,139	0,417	0,496	0,621	-0,688	-0,124	0,355	0,081	0,483	0,262	1,000																
x14	-0,229	0,048	0,296	0,476	0,224	0,772	-0,484	0,040	0,577	0,127	0,783	0,062	0,873	1,000															
x15	0,226	0,331	0,387	0,948	0,580	0,950	0,044	-0,273	0,869	0,657	0,222	0,281	0,412	0,594	1,000														
x16	0,954	0,920	0,080	0,243	-0,327	0,347	0,732	-0,053	0,594	0,459	0,203	-0,432	-0,435	0,012	0,463	1,000													
x17	0,874	0,857	-0,540	-0,019	-0,199	0,088	0,989	-0,570	0,472	0,691	-0,333	-0,652	-0,573	-0,365	0,152	0,747	1,000												
x18	-0,569	-0,379	0,358	-0,038	-0,100	0,195	-0,813	0,484	-0,080	-0,516	0,808	0,142	0,754	0,763	0,001	-0,407	-0,769	1,000											
x19	0,736	0,644	0,467	0,591	0,007	0,506	0,455	0,081	0,591	0,414	0,162	0,048	-0,291	0,101	0,699	0,878	0,473	-0,343	1,000										
x20	-0,174	-0,013	0,431	0,922	0,715	0,937	-0,330	-0,208	0,725	0,472	0,305	0,457	0,721	0,765	0,914	0,089	-0,210	0,307	0,387	1,000									
x21	-0,722	-0,572	-0,107	0,459	0,877	0,393	-0,488	-0,502	0,177	0,303	-0,266	0,488	0,714	0,334	0,287	-0,652	-0,404	0,195	-0,433	0,566	1,000								
x22	-0,106	-0,027	0,608	0,964	0,686	0,874	-0,313	-0,057	0,648	0,392	0,264	0,582	0,568	0,652	0,926	0,168	-0,218	0,222	0,531	0,967	0,443	1,000							
x23	-0,434	-0,263	-0,160	0,646	0,925	0,619	-0,219	-0,693	0,488	0,613	-0,281	0,362	0,651	0,375	0,538	-0,344	-0,109	0,008	-0,152	0,701	0,934	0,579	1,000						
x24	-0,950	-0,858	0,312	-0,017	0,276	-0,040	-0,973	0,351	-0,399	-0,566	0,287	0,535	0,704	0,425	-0,175	-0,850	-0,960	0,789	-0,641	0,230	0,570	0,169	0,278	1,000					
x25	-0,540	-0,493	0,592	-0,138	-0,241	-0,068	-0,839	0,794	-0,369	-0,786	0,729	0,313	0,474	0,507	-0,159	-0,394	-0,853	0,908	-0,260	0,109	-0,031	0,123	-0,273	0,768	1,000				
x26	-0,383	-0,127	0,299	0,170	-0,007	0,485	-0,650	0,280	0,260	-0,216	0,874	0,027	0,840	0,930	0,275	-0,182	-0,565	0,941	-0,141	0,518	0,227	0,404	0,152	0,613	0,748	1,000			
x27	-0,785	-0,585	0,070	-0,207	0,013	0,002	-0,836	0,273	-0,259	-0,509	0,526	0,129	0,763	0,581	-0,234	-0,709	-0,799	0,911	-0,690	0,146	0,420	0,011	0,167	0,899	0,779	0,795	1,000		
x28	-0,840	-0,868	0,191	0,157	0,593	-0,099	-0,675	0,029	-0,386	-0,257	-0,300	0,709	0,397	0,002	-0,106	-0,808	-0,680	0,230	-0,518	0,193	0,705	0,186	0,486	0,717	0,264	0,066	0,440	1,000	
x29	0,156	0,154	0,141	0,038	-0,139	0,078	0,036	0,145	0,087	-0,032	0,198	-0,055	-0,030	0,100	0,094	0,197	0,036	0,066	0,191	0,043	-0,188	0,069	-0,152	-0,083	0,089	0,095	-0,043	-0,258	1,000

Da tabela anterior, retiram-se todos os valores que não são considerados significativos e ficamos com a seguinte tabela:

Tabela 4.9: Correlações mais significativas encontradas dentro do subespaço dos preditores.



Nesta tabela pudemos encontrar várias interdependências significativas entre as variáveis do processo.

Para simplificar a análise do processo (reduzir a dimensionalidade do sistema), pudemos descartar algumas variáveis, se existirem dependências muito relevantes.

As correlações mais significativas ($p[Ho] \geq 0.250$ encontradas são:

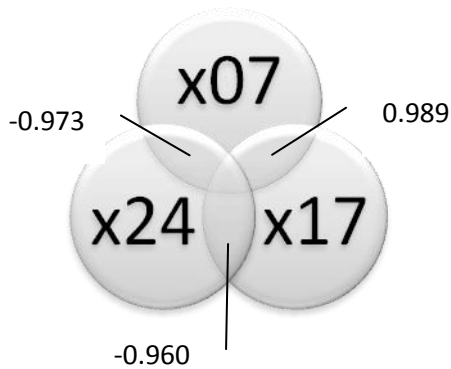


Figura 4.5: Representação das variáveis correlacionadas e valor da correlação entre cada duas.

O que significa que a correlação encontrada mais forte é entre as variáveis x07 e x17.

Surgem correlações significativas entre as variáveis x04, x20 e x22

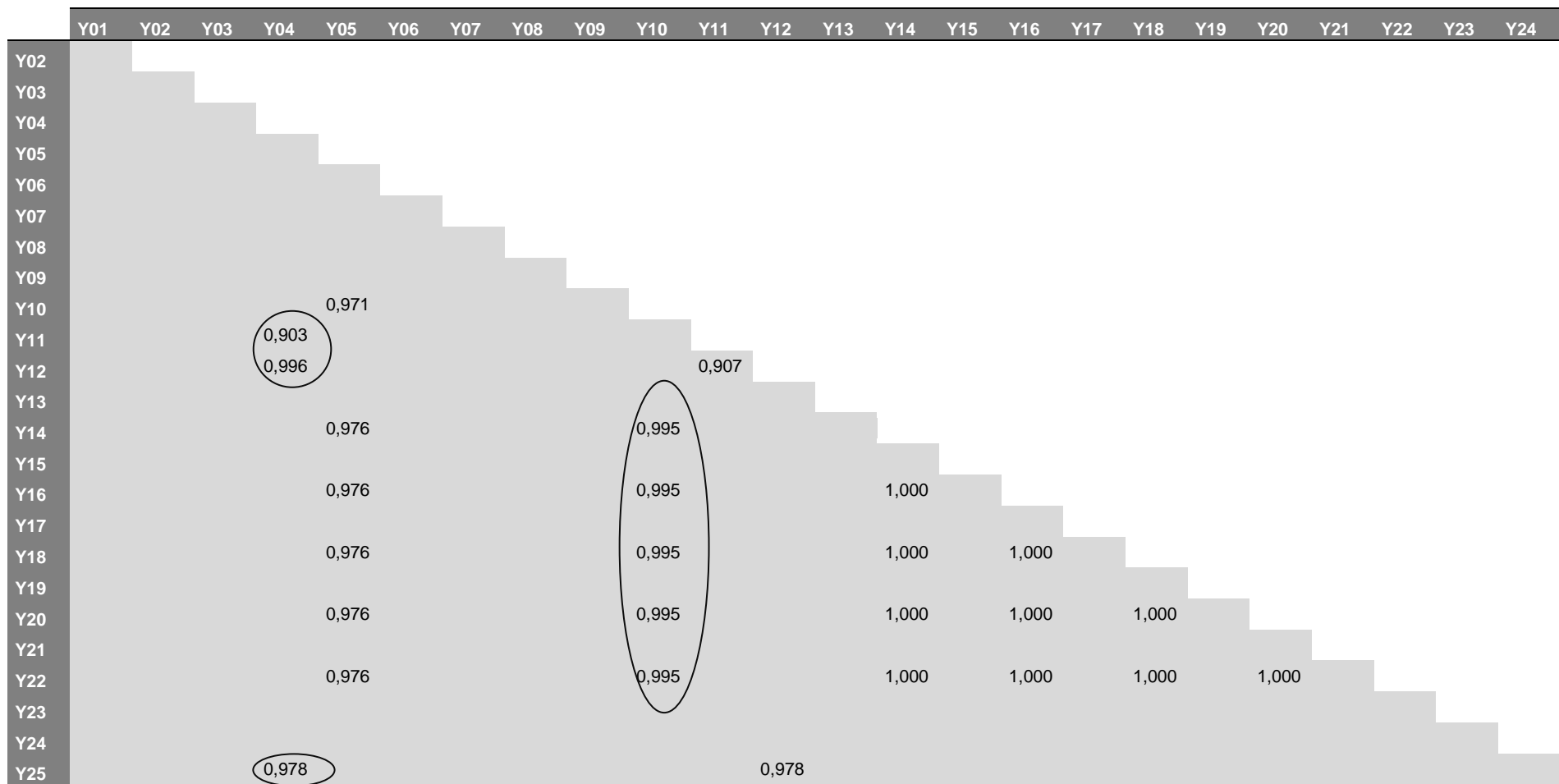


Figura 4.6: Representação das correlações entre as variáveis a) x04 e x22 e b) x20 e x22.

Relações entre as variáveis x01-x16 e x06-x15, demonstraram ser significativas, na medida em que apresentam correlações de 0.954 e 0.950, respetivamente.

Relativamente às respostas, apresentam uma interdependência mais significativa, ver a tabela reduzida, apenas contém as correlações mais significativas.

Tabela 4.10: Correlações mais significativas dentro do subespaço das respostas ($\alpha \geq 0.05$).



Identificam-se diversas respostas que serão redundantes, a interdependência destas deve-se essencialmente ao facto de serem peças problemáticas que tiveram sempre a mesma expressão em termos de resultados ao longo da produção, estes resultados eventualmente estarão relacionados com outras variáveis da produção

Depois de analisadas as correlações internas nos subespaços dos preditores e das respostas, analisamos quais as correlações encontradas entre os preditores e as respostas.

Na tabela 10, pudemos verificar quais as principais correlações que surgiram da análise da matriz.

Tabela 4.11: Análise da correlação entre subespaços dos preditores (x01-x29) com respostas (y01-y25). Correlações mais relevantes correspondendo a $|r| \geq 0.50$ ($\alpha = 0.000$).

	Y01	Y02	Y03	Y04	Y05	Y06	Y07	Y08	Y09	Y10	Y11	Y12	Y13	Y14	Y15	Y16	Y17	Y18	Y19	Y20	Y21	Y22	Y23	Y24	Y25		
x01																											
x02																											
x03																											
x04						-0,576	0,710																				
x05							0,638	0,564																			
x06							0,554																				
x07																											
x08																											
x09																											
x10																											
x11																											
x12							0,514		0,548																0,560		
x13																											
x14																											
x15						-0,502	0,621																				
x16																											
x17																											
x18																											
x19																											
x20						-0,514	0,654																				
x21									0,510																		
x22						-0,585	0,685																		0,509		
x23							0,530	0,513																			
x24																											
x25																											
x26																											
x27																											
x28																											
x29																											

Desta análise salientam-se relações pouco expressivas, mas que devemos evidenciar. Estão sobretudo relacionadas com as respostas y06, y07, y08, y09 e y24, do lado dos preditores salientam-se x04, x05, x06, x12, x15, x20, x21, x22, x23.

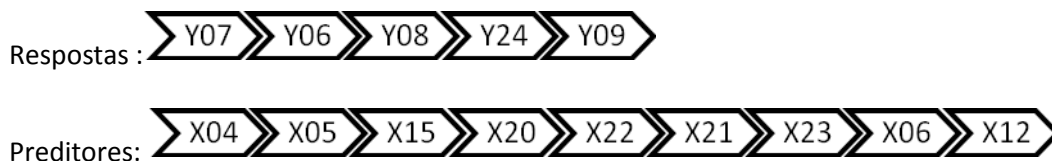


Figura 4.7: Os valores das respostas e dos preditores estão ordenados pela importância das suas relações.

As correlações encontradas neste caso, têm pouca expressão, são muito pouco significativas podendo indicar que:

1. as variáveis deste processo podem não ter influenciado significativamente o resultado do mesmo, ou seja, as respostas;
2. a interdependência multivariada encontra-se dependente da polifuncionalidade de variáveis (efeito múltiplo) não sendo o efeito final obtido por relação direta.

Admitindo que a segunda hipótese é a responsável pelo resultado observado, vamos explorar esta relação multivariada.

As correlações encontradas sugerem que as respostas sejam as mais relevantes na análise PLS deste sistema.

Com a análise de componentes principais - PCA pretende-se determinar as variáveis de maior influência na formação de cada componente, que serão usadas noutros estudos, como controle de qualidade, estudos ambientais, sociais, entre outros.

O desenvolvimento desta técnica foi conduzida, pela necessidade de se analisar conjuntos de dados com muitas variáveis correlacionadas. As variáveis usadas na análise multivariada devem ser correlacionáveis e não nulas.

A PCA, transforma um conjunto original de variáveis noutro conjunto - componentes principais (PC), sem perda significativa de variáveis.

As novas variáveis, possuem, independência estatística e são não correlacionadas. Para a determinação das PC, é necessário calcular a matriz de correlação denominada R, encontrar os autovalores e, por fim, escrever as combinações lineares, as novas variáveis.

Na análise efetuada para encontrar as correlações mais significativas, verificou-se essencialmente correlações internas, sobretudo no subespaço das respostas do sistema, evidenciando que poderá haver uma redundância de informação pouco relevante, veiculada através de diferentes variáveis.

Nesta etapa vamos analisar a redundância da informação, bem como a representação da informação contida no sistema.

Inicia-se o pré-tratamento da matriz de dados, normalizando a matriz com base na média e desvio padrão de cada variável, respetivamente posicional e dispersão.

Analisando o subespaço dos preditores em termos de PCA ($X_{(50 \times 29)}$), obtém-se a informação descrita na tabela 4.12, que permite avaliar o número de componentes principais desta matriz.

Tabela 4.12: Análise do número de componentes principais do subespaço dos preditores ($m=29$).

#	λ	Vx%	SVx%
1	11.0642	38.2	38.2
2	8.6017	29.7	67.8
3	5.2237	18.0	85.8
4	3.0563	10.5	96.4
5	0.9147	3.2	99.5
6	0.1394	0.5	100.0
7	0.0000	0.0	100.0
8	0.0000	0.0	100.0
9	0.0000	0.0	100.0
10	0.0000	0.0	100.0

Em que # corresponde ao número de componentes, λ são os valores próprios, Vx% a variabilidade justificada e SVx% a variabilidade cumulativa justificada.

Pela análise da tabela verifica-se que há quatro componentes com contribuição significativa, já que possuem valores próprios acima do valor médio ($\lambda \geq 1$). Contudo, apenas com três destas componentes já se consegue obter uma descrição de 85,8% da informação contida neste subespaço, sendo esta considerada suficiente para caracterizar os respetivos objetos.

Da análise da tabela, verifica-se ainda que com $p=6$ consegue-se descrever o subespaço o que sugere que toda a informação pertinente deste espaço pode ser expressa através da combinação de cerca de 6 variáveis - as restantes variáveis são redundantes (não acrescentam informação). Esta constatação pode ser importante para tentar simplificar a análise do sistema em causa.

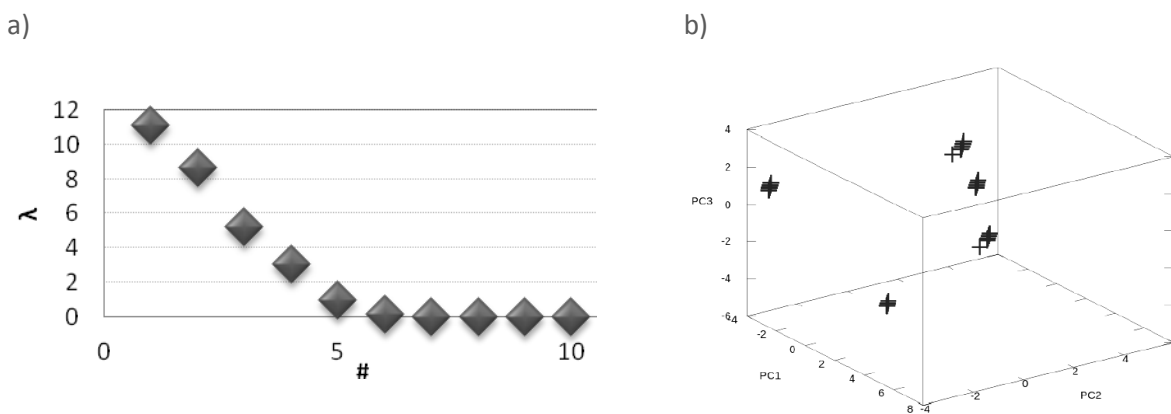


Figura 4.8: Análise PCA do subespaço dos preditores, $X_{(50 \times 29)}$, a) representação dos valores próprios (Scree plot) e b) (data scores plot) sobre as três primeiras componentes ($p=3$).

Através da representação dos valores próprios em função do índice de fator, figura 4.8 a), consegue-se facilmente verificar a relevância das quatro primeiras componentes sobre as restantes. Com esta informação conclui-se que de facto a dimensionalidade deste subespaço pode ser reduzida a 4 dimensões ($p=4$) sendo esta capaz de reproduzir 96.4% da informação pertinente.

Na figura 4.8 b), estão representados os objetos - produções. Verificam-se 5 núcleos o que traduz 5 condições de fabrico distintas, pois, cada réplica de fabrico encontra-se muito próxima das respetivas réplicas.

Neste estudo foram usados dados de fabrico de duas máquinas, que produzem o mesmo tipo de peças, cada máquina é constituída por duas cabeças, o que permite conformar em simultâneos duas peças diferentes ou pode estar a fazer a mesma peça, estas são conformadas em simultâneo e circulam na linha intercaladas. Os dados aqui estudados são relativos às duas máquinas, ou seja quatro cabeças. Cada máquina tem um modo semelhante de funcionamento, diferem no modo de acabamento, numa das máquinas ver as figuras 4.9, isto pode explicar dois tipos de fabrico diferentes, no entanto outras variáveis aqui estudadas, podem explicar os outros 3 tipos de fabrico diferentes, as duas máquinas de produção usam a mesma pasta, produzida na fábrica, no entanto esta pode ter algumas diferenças, tal como já foi dito a homogeneidade das características da pasta depende das características das matérias primas e das condições da produção, estas podem ser mais ou menos controladas, mas devido á natureza da matéria prima as características de heterogeneidade podem dispersar ao longo dos charutos.

a)



b)



Figura 4.9: Acabamento automático das linhas de chávemas, a) unidade a; b) unidade b

Analisando agora o subespaço das respostas ($Y_{(50 \times 50)}$) quanto ao PCA.

Tabela 4.13: Análise do número de componentes principais do subespaço das respostas ($m=25$).

#	Λ	$V_x\%$	$SV_x\%$
1	8,7026	34,8	34,8
2	4,5885	18,4	53,2
3	3,0945	12,4	65,5
4	1,5551	6,2	71,8
5	1,3191	5,3	77,0
6	1,2268	4,9	81,9
7	1,0147	4,1	86,0
8	0,9241	3,7	89,7
9	0,6582	2,6	92,3
10	0,6141	2,5	94,8

Tendo em conta os valores de λ , existem sete componentes principais que apresentam valores próprios acima da média. No entanto, as primeiras seis componentes principais, já permitem descrever os objetos já que estas permitem justificar 81.9% da informação contida no subespaço das respostas.

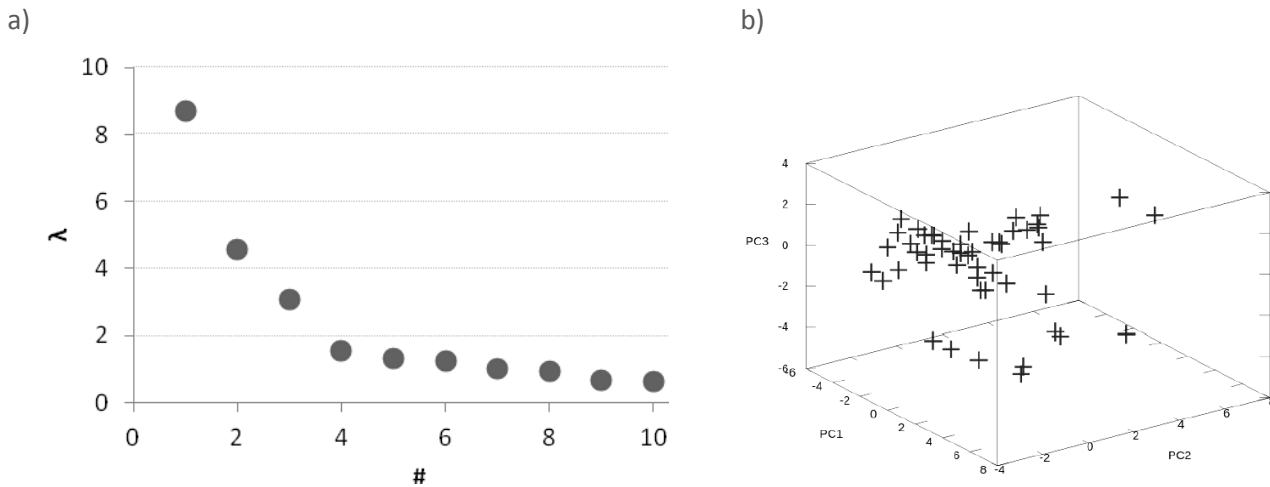


Figura 4.9: Análise PCA do subespaço das respostas, $Y(50 \times 50)$, a) representação dos valores próprios (scree plot) e b) dos objetos (data scores plot) sobre as três primeiras componentes ($p=3$).

Analisando o scree plot, verifica-se que as três primeiras componentes destacam-se da contribuição basal revelando a sua relevância extrema. Contudo, convém ter ciente que com estas três primeiras componentes ($p=3$) só é possível representar 2/3 da informação (65.5%) contida neste subespaço

Embora a representação dos objetos a 3D seja limitada (65.5% da informação total contida neste subespaço), permite visualizar que os resultados - resposta do sistema, estão relativamente dispersos de forma aleatória, não sendo evidenciadas grandes diferenças.

Isto sugere que estes fabricos, embora sobre condições distintas (informação obtida anteriormente), permitem manter os padrões da qualidade.

Passando agora à análise PCA sobre os sistema global ($D_{(50 \times 54)}$), a dimensionalidade do sistema aumenta drasticamente, passando a ser um hiperespaço com $M=54$.

Na tabela 4.14 , encontra-se sistematizada o diagnóstico deste sistema.

Tabela 4.14: Análise do número de componentes principais do sistema em análise ($M=54$).

#	λ	Vx%	SVx%
1	13,8286	25,6	25,6
2	10,2512	19,0	44,6
3	7,1344	13,2	57,8
4	5,4070	10,0	67,8
5	4,5621	8,4	76,3
6	3,4419	6,4	82,6
7	1,5844	2,9	85,6
8	1,3157	2,4	88,0
9	1,2471	2,3	90,3
10	1,1545	2,1	92,5

Neste caso, existem dez valores próprios acima da média ($\lambda > 1$). No entanto, com apenas seis componentes principais já é possível reproduzir 82.6% da informação contida neste sistema.

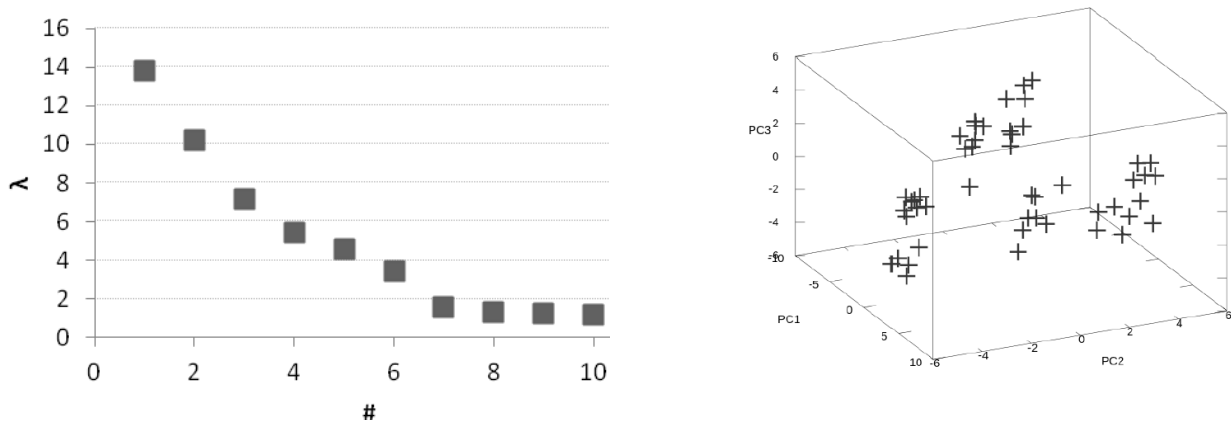


Figura 4.10: Análise PCA do conjunto de dados, $D_{(50 \times 54)}$, representação dos valores próprios (scree plot) e dos objectos (data scores plot) sobre as três primeiras componentes ($p=3$).

Observando o gráfico do scree plot, verifica-se que de facto as seis primeiras componentes são relevantes ($p=6$).

Para visualizar os objetos, recorreremos ao scores plot, a visualização a três dimensões leva a uma perda significativa de informação (com $p=3$ apenas se consegue reproduzir cerca de 57.8% da informação original).

Vejamos agora o que a modelação implícita através do método de modelação por mínimos quadrados parciais (Partial Least Squares, PLS) consegue encontrar para a relação entre os subespaços X e Y.

Tabela 4.15: Resultados da modelação PLS na descrição da informação contida nos subespaços dos preditores (X) e das respostas (Y).

#	Preditores				Respostas				Param.
	Ssx	Vx%	JVx%	CJVx%	Ssy	Vy%	JVy%	CJVy%	
0	1421,000	100,0	-	0,0	1225,000	100,0	-	-	-
1	954,231	67,2	32,8	32,8	1089,094	88,9	11,1	11,1	11,6579
2	485,476	34,2	33,0	65,8	1050,222	85,7	3,2	14,3	6,2348
3	235,729	16,6	17,6	83,4	1029,341	84,0	1,7	16,0	4,5696
4	57,3871	4,0	12,6	96,0	1004,830	82,0	2,0	18,0	4,9509
5	6,9967	0,5	3,5	99,5	942,075	76,9	5,1	23,1	7,9218
6	0,0000	0,0	0,5	100,0	926,434	75,6	1,3	24,4	3,9548

Ssx, Ssy - soma quadrados em X e Y; Vx%, Vy% - variância residual em X e Y (em percentagem); JVx%, JVy% - variância justificada pelo fator (percentagem); CJVx%, CJVy% - variância justificada cumulativa (percentagem); Param. - valor do parâmetro.

Os resultados mostram que com seis fatores latentes ($f=6$) remove-se toda a informação contida no subespaço dos preditores ($Vx\% = 0.0$) sendo esta informação utilizada para descrever apenas cerca de 1/4 ($CJVy\% = 24.4$) da informação contida no subespaço das respostas - este facto diz-nos que 3/4 da informação contida nas respostas não pode ser descrita com base numa dependência linear relativa aos preditores escolhidos. Esta constatação não é de modo algum inesperada atendendo ao que foi anteriormente visto no estudo da interdependência multivariada onde se tinha chegado a que as relações que surgem entre X e Y envolvem principalmente as variáveis y_{07} , y_{06} , y_{08} , y_{24} e y_{09} , por ordem decrescente de importância (curiosamente são 5 variáveis em 25), representando cerca de 20% dessa informação).

Se se considerar o valor mais alto da variância cumulativa justificada no subespaço das respostas ($CJVy\%=24.4$) como o limite máximo para descrever o sistema ($=100\%$), vejamos agora, fator a fator, a sua capacidade de representação:

- o primeiro fator latente (FL1) utiliza cerca de $1/3$ ($JVx\%=32.8$) da informação contida em X para descrever cerca de 45.5% da informação possível de descrever em Y ($JVy\%=11.1$) apresentando deste modo uma eficiência de 1.39 (>1) - sendo o único fator que consegue descrever a resposta com um índice de eficiência superior à unidade;
- o segundo fator latente (FL2) requer também cerca de $1/3$ ($JVx\%=33.0$) da informação contida em X para descrever cerca de 13.0% da resposta ($JVy\%=3.2$) apresentando deste modo uma eficiência baixa, de ordem de 0.39. Considerando estes dois fatores latentes ($f=2$) a informação total descrita é de 58.5%;
- o terceiro fator latente (FL3) apresenta dificuldades acrescidas na descrição da resposta - utiliza cerca de 16.6% da informação em X para descrever o equivalente a 7.0% ($JVy\%=1.7$) da resposta em Y, apresentando também uma baixa eficiência (0.40). Considerando estes três fatores latentes ($f=3$), a informação descrita passa a ser 65.5% da total que se consegue modelar.

Com estes resultados verificamos que a possibilidade de descrever a resposta através de fatores latentes sucessivos (de ordem superior), não é viável, já que a informação contida no subespaço dos preditores vai se esgotando.

Com base no que foi analisado, pudemos considerar que o primeiro fator latente ($f=1$) é o mais relevante. Este serve para orientar a restante análise da resposta multivariada.

A vantagem de usar o algoritmo PLS na análise da resposta multivariada de sistemas, é o facto de permitir encontrar a relação multidimensional entre variáveis dos dois subespaços que se pretende relacionar. Esta relação é conseguida através dos respetivos fatores latentes (sistema de coordenadas independentes). Este impacto pode ser avaliado através das respetivas contribuições (loads em X e em Y).

Tabela 5.16: Análise da contribuição mais significativa das variáveis através dos respectivos fatores latentes.

Xloads	FL1	FL2	FL3	FL4	FL5	Yloads	FL1	FL2	FL3	FL4	FL5
x01		0,261				Y01		-0,358			
x02		0,271				Y02	0,203				
x03				0,456		Y03	0,201				
x04	0,263					Y04					-0,438
x05	0,278		-0,191			Y05		0,316	0,205		
x06	0,226	0,200				Y06	-0,304	-0,211		-0,426	
x07	-0,198	0,234				Y07	0,394	0,297	-0,250		
x08				0,430		Y08	0,286		-0,393	-0,233	
x09		0,271				Y09	0,281		-0,303	0,409	
x10		0,265		-0,255		Y10		0,244	0,229		
x11			0,421			Y11			0,222		-0,350
x12	0,235			0,237		Y12					-0,428
x13	0,251		0,225			Y13					-0,203
x14	0,200		0,343			Y14		0,234	0,213		
x15	0,219	0,231				Y15	0,221				-0,225
x16		0,282				Y16		0,234	0,214		
x17		0,255				Y17			-0,346	-0,304	
x18			0,338			Y18		0,233	0,215		
x19		0,268		0,289		Y19	0,285				
x20	0,290					Y20		0,233	0,215		
x21	0,257			-0,274		Y21		-0,238		0,232	
x22	0,281					Y22		0,233	0,215		
x23	0,256			-0,290		Y23		0,338		0,217	
x24		-0,261				Y24	0,309		-0,245	0,418	
x25		-0,207	0,260	0,226		Y25					-0,434
x26			0,382								
x27		-0,235	0,245								
x28	0,189	-0,198									
x29					0,951						

Observando em detalhe o impacto das variáveis sobre o primeiro fator latente (FL1), verifica-se que sobre o subespaço dos preditores as variáveis mais representadas são, por ordem decrescente de impacto: x20 [0.290], x22 [0.281], x05[0.278], x04[0.263], x21[0.257], x23[0.256], x13[0.251], x12[0.235], x06[0.226], x15[0.219], x14[0.200], x28[0.189], x07[-0.198].

Estas variáveis estão por sua vez associadas, através do FL1, às respostas, por ordem decrescente de impacto, Y07[0.394], Y24[0.309], Y06[-0.304], Y08[0.286], Y19[0.285], Y09[0.281], Y15[0.221], Y02[0.203] e Y03[0.201].

De salientar que, através da análise de correlação já se tinha evidenciado a relação entre as respostas y07, y06, y08, y24 e y09 com os preditores x04, x05, x15, x20, x22, x21, x23, x06 e x12, relativamente concordante com o que foi encontrado através do PLS.

5. Conclusões

Ao longo do trabalho são referidas diversas ferramentas da qualidade, tal como o ciclo PDCA, "Brainstorming", diagrama de Ishikawa, diagrama causa-efeito, fluxograma, estas técnicas permitem visualizar os vários procedimentos como um todo, permitem detetar os pontos críticos, gerir e controlar o sistema da qualidade.

O sucesso e os defeitos da conformação dependem sobretudo das suspensões, moldes e procedimentos.

A análise multivariada não revelou resultados conclusivos, no entanto, permitiu identificar variáveis que deverão ser investigadas numa próxima análise.

Dos resultados encontrados no sub espaço dos preditores destacam-se a influência do resíduo ao peneiro, módulo de rutura, as várias temperaturas do forno, a percentagem de contração verde/seco e a taxa de formação de parede, estas variáveis estão relacionadas.

Relativamente às respostas, a correlação revelou informação redundante, os resultados do sistema contribuem para o retrabalho, para peças de segunda qualidade, refugo e quebras no que diz respeito ao resultado final, a zona crítica do processo é na escolha do branco em que as quebras são bastante expressivas, compreende-se esta situação exatamente por ser essa a zona em que os colaboradores estão treinados para encontrar os defeitos da peça.

Bibliografia

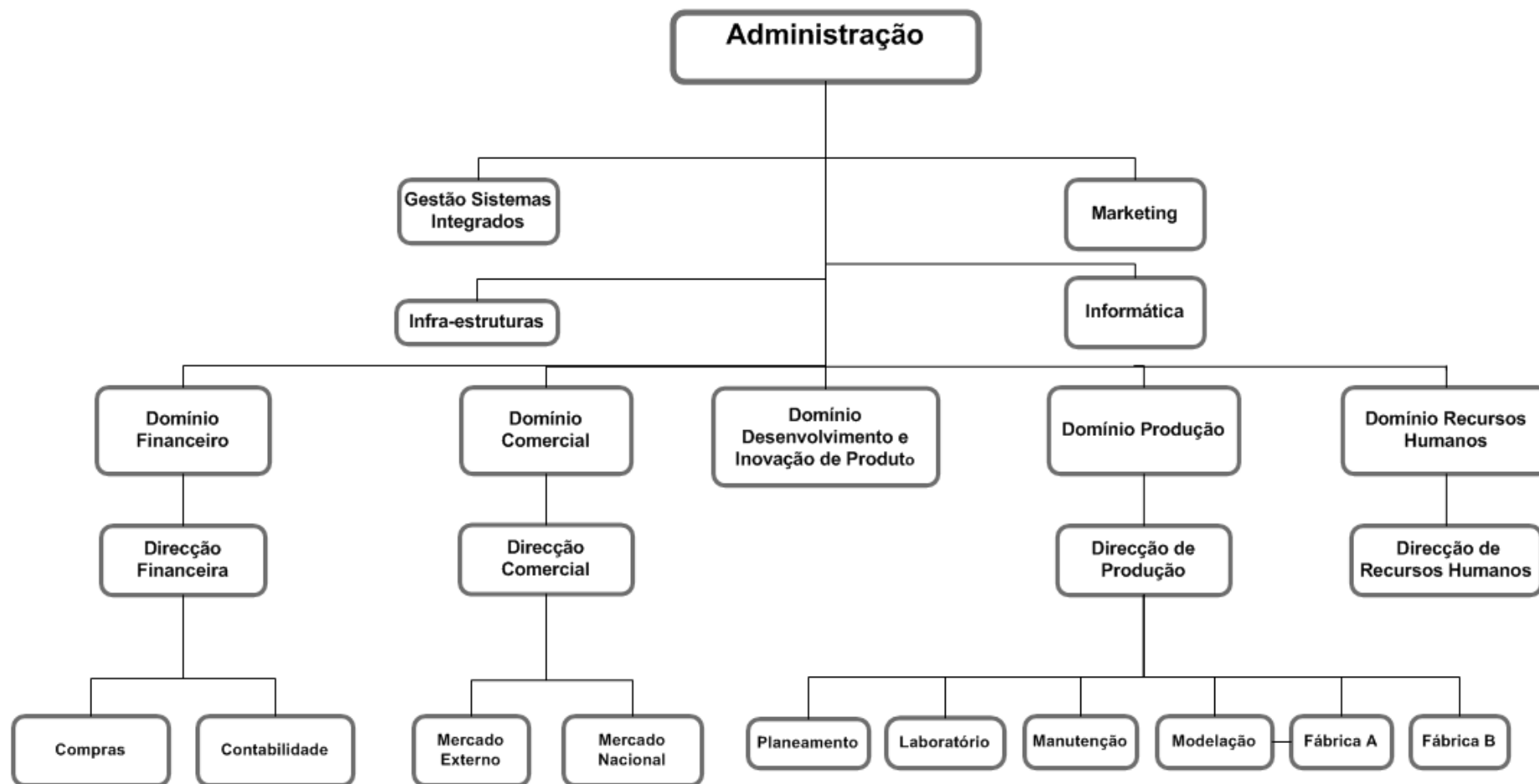
- [1] Powel, Harold - ***The Pottery Handbook of Clay, Glaze and colour***, Ed. Blandford Press, s.d.
- [2] Enciclopédia Luso-Brasileira de Cultura, Edição Século XXI, VERBO
- [3] Alberto Silva, **Manual de Tecnologia Cerâmica I**; CENCAL, Edição 1990.
- [4] **Classificação Portuguesa das Actividades Económicas**, Rev. 3, INE, 2007
- [5] António Tomás da Fonseca ,**Tecnologia do Processamento Cerâmico**, - Universidade aberta, 2000.
- [6] Manuel Joaquim P. M. Ribeiro e João Carlos Castro Abrantes, **Moagem em moinho de bolas: Estudo de algumas variáveis e otimização energética do Processo**, Escola Superior de Tecnologia e Gestão - Instituto Politécnico de Viana do Castelo, Portugal "Cerâmica Industrial", 6 (2) Março/Abril, 2001.
- [7] A.G. Cunha Dic. Etmol. Nova Fronteira NP EN ISO/IEC 17000 (2005) **Avaliação da conformidade, Vocabulário e princípios gerais ISO/IEC 17000:2004**, IPQ, Lisboa (2001).
- [8] www.ipq.pt
- [9] Norma ISO 9001:2008
- [10] E. Pedretti, J. Nazir, **Currents in STSE education: Mapping a complex field**, 40 years on, Sci. Educ. 95 (2011) 601-626. revista SPQ Jan/Mar 12.
- [11] pt.kaizen.com
- [12] J. Owe, **Making quality Sense: a guide to quality, tools and techniques, awards and the thinking behind them**", Learning and skills Development Agency, London, 2002.
- [13] Guia ISO n.º43 **Proficiency testing by Interlaboratorial Comparissions**, International Standard Organizatios, Geneva, Switzerland, 1996.
- [14] Quality Progress, Master this quality tools an do you do your job better.
- [15] **VIM - Vocabulário Internacional de Metrologia**, 1ª Ed. Luso-Brasileira, IPQ, Lisboa, 2012.
- [16] M. Neto, **Estatística Multivariada**, Revista de Filosofia e Ensino, 2004

Anexos

A.1 - Definições

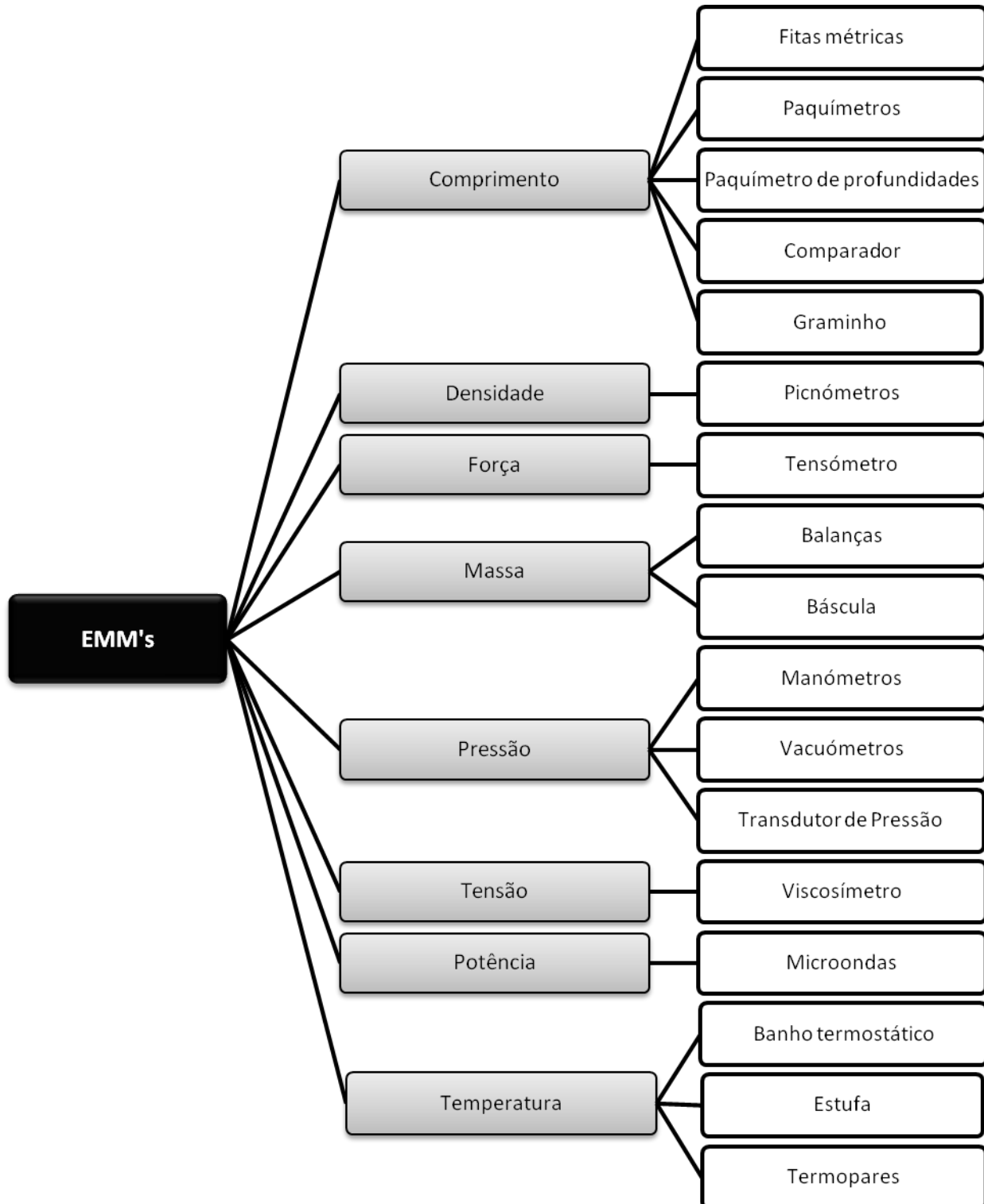
Atacagem	Aparas resultantes do corta da rebarba das peças, quando reintroduzida no processo de produção das pastas.
Chacota	Estádio da louça, após ir ao forno de chacota (1ª cozedura).
Eutética	Ponto de fusão da mistura inferior à dos seus constituintes.
Meteorização química	Tipo de meteorização que pode ocorrer com alteração da composição química dos minerais constituintes do corpo rochoso, podendo verificar-se a formação de minerais novos ou de neoformação. As ações químicas são provocadas sobretudo pela água, com diferentes substâncias dissolvidas ou em suspensão, e pelo ar húmido. Originam-se, assim, reações de dissolução, hidratação, oxidação, redução, hidrólise, etc. As ações químicas são menos intensas nas regiões de clima desértico e nas regiões que se mantêm geladas todo o ano.
Piroplástica	Mede a capacidade da peça resistir a altas temperaturas sem sofrer deformação.
Polimorfos	Substâncias com a mesma constituição química mas com estrutura/arranjo molecular diferente.
Provetes	São rolos feitos com pasta plástica, utilizados nos ensaios para avaliar o comportamento da pasta, quando sujeita a cozedura.
Rebarba	Quantidade de pasta que resultam do corte ou da junção dos moldes e deve ser removida.
Refratário	Materiais capazes de suportar altas temperaturas.
Retração	Termo atribuído à diminuição do volume da peça quando sujeita a processo de cozedura.
Rastreabilidade	de acordo com o VIM, consiste numa propriedade de um resultado da medição através do qual o resultado pode ser relacionado a uma referência por uma documentada cadeia de calibrações, cada uma contribuindo para a incerteza de medição.

A.2 - Organigrama da Empresa



A.3 - Plano de calibração dos EMM's


Na SPAL, temos vários tipos de equipamentos de medição e monitorização (EMM's), estes são classificados de acordo com a medição a que se destinam.



Exemplo de um plano de calibração e verificação dos EMM's.

SPAL PORCELANAS		Plano Geral GESTÃO DE SISTEMAS INTEGRADOS PLANO DE CALIBRAÇÃO / VERIFICAÇÃO DE EMM's												2012																
Identificação do Equipamento					Sigla	Entidade Responsável	Calendarização (Ano / Mês / Quinzena)																							
QRG0	X	Código do Equipamento	Designação	Características Alcance un. (menor divisão)			2012																							
							Jan		Fev		Mar		Abr		Maio		Jun		Jul		Ago		Set		Out		Nov		Dez	
MTP					1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
108		C24	Paquímetro	0-150 mm (0,02)	Laboratório	c																								
LEGENDA					OBSERVAÇÕES:												Revisão n.º 0		Elaborado		Aprovado									
Previsão de Realização de Actividade					1- Equipamento fora de serviço.												18-05-2012													
Realização de Actividade																														
Actividade Não Realizada / Cancelada																														
Actividade Adiada ou Antecipada																														
Nova actividade relativam/ inicialm/ previsto																														

A.4 - Plano de Monitorização, Inspeção e Ensaio.

	Plano GESTÃO DE SISTEMAS INTEGRADOS PLANO DE MONITORIZAÇÃO, INSPEÇÃO E ENSAIO	QPL001/7 1/2
-----------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------	---------------------

DOMÍNIO		AMBITO	LOCAL DE AMOSTRAGEM	PERIODICIDADE	RESPONSÁVEL	DESIGNAÇÃO DA MONITORIZAÇÃO, INSPEÇÃO E ENSAIO	DOC. DE MONITORIZAÇÃO	VALOR PI ADOTAÇÃO	DOC. DE REGISTO	REACÇÃO À NÃO CONFORMIDADE
Q	A									
X		Plano de Amostragem de recepção de matérias primas plásticas: + Argilas + Caulinos + Caulino AP10								
X		Plano de Amostragem de recepção de matérias primas Duras: + Areia + Faldapala								
X		Plano de Amostragem de recepção de Vidro (branco ou de cor)								
X		Plano de Amostragem em curso: Pasta NP Duras								
X		Plano de Amostragem periódico em curso: Pasta NP								
X		Plano de Amostragem periódico em curso: Pasta p/ Filtro Prensas								
X		Plano de Amostragem periódico em curso: Pasta Granulada								
X		Plano de Amostragem periódico em curso: Pasta Sotrudada								
X		Recepção de Pasta Atomizada								
X										
X										
X		Plano de Amostragem periódico em curso: Pasta								
X										
X		Plano de Amostragem periódico em curso: Vidro								
X		Plano de Amostragem periódico em curso: Escovas								

→ Procedimentos de Inspeção / Ensaio aplicáveis exclusivamente a DP21

Distribuição: LAB, GSI	Revisão n.º 7 07-10-2011	Elaborado MBatista	Aprovado FMachado
---------------------------	-----------------------------	-----------------------	----------------------

QPL001/7

Documental

Esta dissertação de mestrado foi impressa com margens curtas e no formato frente e verso propositadamente, pela proteção do ambiente.