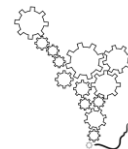




www.relainep.ufpr.br



APPLICATION OF DFM PRINCIPLES IN THE CERAMIC INDUSTRY: A CASE STUDY

APLICAÇÃO DE PRINCÍPIOS DO DFM NA INDÚSTRIA CERÂMICA: UM ESTUDO DE CASO

Tiago Zanatta¹✉, Osiris Canciglieri Junior²

¹Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil

²Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

✉ tiago.zanatta@posgrad.ufsc.br

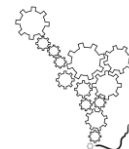
Recebido: 10 agosto 2018 / Aceito: 20 novembro 2018 / Publicado: 23 dezembro 2018

ABSTRACT. Design for Manufacture is a project philosophy widely used in many industries, but its application in ceramic tiles is still rare. Through a case study, this work aimed to employ some of the DFM guidelines in a large ceramic tile manufacturer in order to optimize its productivity. For this, the research methodology was divided in four stages: identification, where the difficulties presented by the manufacturing were investigated; optimization, where the best design concept was defined and actions were taken to reach it; checking, where the prototype that most closely approached the concept defined in the optimization stage was submitted to the manufacturing in order to evaluate if the limitations listed in the identification step were minimized; and validation, where the prototype was considered fit to enter definitively into production. In the end, the porcelain product family, identified as being the most problematic, had its structure redesigned and optimized to maximize the productivity of the industrial plant. The new structure has reduced the number of items used to manufacture it, reduced costs and increased productivity, as well as proving that the DFM can be applied to the ceramics.

Keywords: design for manufacture, productivity, product design, ceramic, optimization

RESUMO. O Design for Manufacture é uma filosofia de projeto bastante difundida em diversos ramos da indústria, mas sua aplicação em revestimentos cerâmicos ainda é rara. Por meio de um estudo de caso, este trabalho visou empregar algumas das diretrizes da filosofia de projeto DFM em uma grande fabricante de revestimentos cerâmicos, visando otimizar sua produtividade. Para tal, a metodologia de pesquisa foi dividida em quatro etapas: identificação, onde foram investigadas as dificuldades apresentadas pela manufatura; otimização, onde o conceito de melhor projeto foi definido e ações foram tomadas para que se pudesse atingi-lo; verificação, onde o protótipo que mais se aproximou do conceito definido na etapa de otimização foi submetido à manufatura a fim de avaliar se as limitações elencadas na etapa de identificação foram minimizadas; e validação, onde o protótipo foi considerado apto para entrar definitivamente em produção. Ao final, a família de produto porcelanato, identificada como sendo a mais problemática, teve sua estrutura reprojeta e otimizada para maximizar a produtividade da planta industrial. A nova estrutura diminuiu o número de itens utilizados para fabricá-la, reduziu custos e aumentou a produtividade, além de comprovar que o DFM pode ser aplicado à cerâmica.

Palavras-chave: design for manufacture, produtividade, projeto de produto, cerâmica, otimização

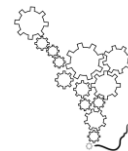


1 INTRODUÇÃO

O “Design for Manufacture”, ou simplesmente DFM, é uma filosofia de projeto que visa levar em consideração as limitações da planta de manufatura no desenvolvimento ou otimização de produtos, constituindo uma poderosa ferramenta na solução de problemas ocasionados pelas dificuldades de adequação do produto à linha de fabricação. Bastante usual em muitos ramos do segundo setor, o DFM, segundo Boothroyd et al. (2011), é comumente aplicado em conjunto com o “Design for Assembly”, ou DFA, cujo objetivo está em projetar os produtos levando-se em conta a facilitação da montagem. À aplicação combinada entre DFM e DFA, dá-se o nome de DFMA – “Design for Manufacture and Assembly”, onde o primeiro provê o suporte ao segundo (BOOTHROYD et al., 2011). Por esse motivo, o emprego destas filosofias de projeto é bastante comum entre os fabricantes de bens duráveis que utilizam a linha de montagem, como os setores de eletrodomésticos (KOVALCHUK, 2006) e metal-mecânico (KUO et al., 2001).

Tal qual a maior parte dos ramos da indústria, a fabricação de revestimentos cerâmicos também apresenta dificuldades para adequar muitos de seus produtos aos seus processos. Apesar dos problemas de adequação representarem um consagrado campo de aplicação do DFM, raras são as experiências documentadas em que se empregou a referida filosofia no setor de revestimentos cerâmicos. Isso ocorre, porque a “montagem” do produto cerâmico não acontece do modo clássico, unindo-se e encaixando-se partes até se formar o todo, mas misturando-se e fragmentando-se minerais. A inexistência de montagem impede o emprego do DFA e constitui um desafio à aplicação do DFM neste segmento de atividade, uma vez que a maior parte das experiências relatadas na literatura emprega ambas as filosofias combinadas.

Neste sentido, o sul do Estado de Santa Catarina mostra-se como um cenário propício para a avaliação acerca da aplicação do DFM no setor cerâmico, haja vista sua vocação para este ramo de atividade. Dentre as muitas fabricantes de revestimentos cerâmicos daquela região, uma apresentava sensíveis problemas de adequação entre seus produtos e sua manufatura. Esta organização contava com várias unidades industriais responsáveis pela produção de um portfólio variado de pisos, azulejos, porcelanatos e peças especiais. Almejando melhorar a logística de materiais, facilitar o escoamento da produção e reduzir custos, a empresa promoveu uma reestruturação interna, onde foi abandonada a produção de peças de menor dimensão em favor de outras de tamanho maior. Além disso, o portfólio de produtos foi redistribuído entre



suas unidades fabris. Para tal, a empresa não realizou investimentos em infraestrutura; todas as mudanças foram implementadas sem que as linhas de produção fossem adequadas à nova realidade. Finalizada a reestruturação, percebeu-se que uma de suas unidades passou a não atingir seus objetivos de produtividade.

Neste contexto, por meio de um estudo de caso, este trabalho objetivou empregar alguns dos princípios do DFM defendidos por Boothroyd et al. (2011), para otimizar a produção de uma família de produtos de uma grande indústria de revestimentos cerâmicos do extremo sul do Estado de Santa Catarina. Além disso, aspirou-se tornar usual a referida filosofia de projeto em um segmento da economia no qual ela é pouco explorada.

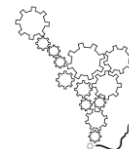
2 MÉTODO

2.1 EMBASAMENTO BIBLIOGRÁFICO

2.1.1 Design for manufacture

Para Canciglieri et al. (2009), o “Design for Manufacture” (DFM) é a prática de projetar produtos tendo sempre em vista como estes poderão ser mais bem manufaturados pelo processo produtivo. De acordo com Kovalchuk (2006), o DFM ajuda a elaborar projetos de produtos com base nas especificações do consumidor e nas limitações da manufatura. Para Bariani et al. (2004), o DFM elenca ao projetista algumas regras de boas práticas de desenvolvimento, indicando como redesenhar um produto para melhorar o seu projeto de manufatura. Sua diretriz básica, ainda de acordo com Bariani et al. (2004), é facilitar a manufatura de um determinado produto por meio da eliminação e/ou integração de componentes. Baxter (2011) reforça essa diretriz afirmando que o projeto de novos produtos deve evitar desenhos de maior complexidade visual, pois além de serem de difícil fabricação, estes podem desagradar aos consumidores. De um modo mais abrangente, Boothroyd et al. (2011) defendem que o DFM deve ser empregado como: (a) base para o projeto de produto, visando simplificar sua estrutura; (b) ferramenta de benchmarking para reconhecimento dos produtos da concorrência, bem como para identificar dificuldades apresentadas pelo processo de manufatura; e (c) ferramenta para auxiliar o controle e a minimização dos custos.

De fato, há várias benesses no emprego do DFM. Dentre estas, Boothroyd et al. (2011) destacam: (a) redução no custo de fabricação, já que a simplificação dos projetos diminui o



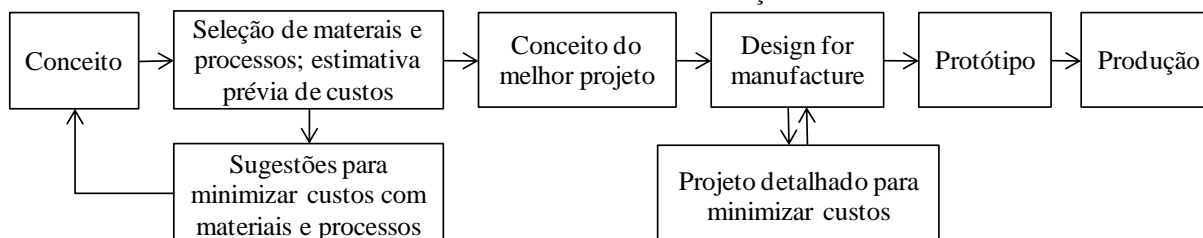
número de peças que compõe o produto; (b) redução no tempo para lançamento do produto no mercado; (c) melhoria da qualidade; (d) produtos mais simples e confiáveis que são menos dispendiosos para serem fabricados; (e) economia na gestão de estoques e redução no número de fornecedores; (f) maior flexibilidade de mercado e de entrega, dado que as famílias de produtos são concebidas para serem fabricadas nas mesmas linhas de produção e com peças comuns; e (g) maior diálogo entre as diversas áreas da organização, de modo a encorajar o trabalho em equipe. Szejka et al. (2017) acrescentam ainda que o projeto de produto acelera a expansão de mercado das organizações ao passo que atende as demandas de seus clientes.

Além de todas estas vantagens, Edwards (2004) ainda alerta que a aquisição de novas máquinas é demasiadamente onerosa e, portanto, é economicamente mais vantajoso realizar mudanças no produto para viabilizar sua produção que investir em maquinário. Neste sentido, o DFM pode ajudar a tratar problemas causados pela dificuldade de manufatura, aumentando a produtividade sem a necessidade de grandes investimentos na planta industrial.

Bariani et al. (2004) comentam que não há um roteiro rígido e pré-definido para se trabalhar com o DFM. Edwards (2004) propõe que até mesmo modificações de projeto e principalmente de materiais de constituição podem ser enquadradas nos projetos de produto. Em geral, explicam Bariani et al. (2004), o projetista precisa recorrer ao método de tentativa-e-erro para realizar o reprojeto de um produto, de sorte que o número de tentativas varia de acordo com a complexidade do problema e com a criatividade do projetista. Apesar da argumentação de Bariani et al. (2004), alguns autores desenvolveram metodologias para se aplicar o DFM na prática. É o caso de Boothroyd et al. (2011) e de Swift e Brown (2003).

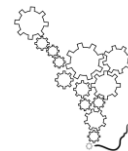
Para Boothroyd et al. (2011), o roteiro para aplicação do DFM pode ser resumido na ilustração a seguir:

FIGURA 1 – ROTEIRO PARA APLICAÇÃO DO DFM



FONTE: ADAPTADO DE BOOTHROYD et al. (2011)

Já Swift e Brown (2003) definem dois roteiros para aplicação das técnicas de DFM: um aplicado a “estudo de produto” e outro “projeto para introdução de produtos remodelados”. O



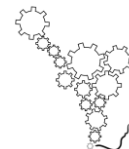
“estudo de produto” visa alcançar reduções de custo e melhorar a qualidade de um determinado produto já existente, por meio dos trabalhos de um time de projeto devidamente treinado; já o “projeto para introdução de produtos remodelados” se aplica a produtos já lançados no mercado, mas que se mantêm pouco competitivos devido a algumas fraquezas em seus projetos (SWIFT; BROW, 2003). Neste sentido, Edwards (2004) reforça as idéias de Swift e Brown (2003). O autor defende que o projeto de produto é planejado visando a substituição de componentes de um produto (como o “estudo de produto”) ou então é motivado devido ao fracasso deste (tal como o método do “projeto para introdução de produtos remodelados”) (EDWARDS, 2004).

2.1.2 Revestimentos cerâmicos

Segundo a Associação Nacional de Fabricantes de Cerâmica para Revestimento (2017), a indústria cerâmica pode ser considerada como o ramo da manufatura responsável pela produção de artefatos a partir da argila, material que se torna extremamente moldável quando umedecido. Shreve e Brink Jr (1997) mencionam que esta é uma atividade ancestral, a qual, de tão extensa, é subdividida pela Associação Nacional de Fabricantes de Cerâmica para Revestimento (2017) nos seguintes setores: (a) cerâmica vermelha; (b) cerâmica branca; (c) materiais refratários; (d) isolantes térmicos; (e) fritas e corantes; (f) abrasivos; (g) vidro, cimento e cal; (h) cerâmica de alta tecnologia; e (i) pavimentos e revestimentos cerâmicos.

Em se tratando de pavimentos e revestimentos cerâmicos, Modesto e Menegalli (2003) os definem como placas cerâmicas constituídas por uma base de natureza argilosa que pode ou não ser recoberta por uma camada de material vítreo. De acordo com a Associação Nacional de Fabricantes de Cerâmica para Revestimento (2017), o Brasil ocupa lugar de destaque neste setor, sendo o segundo maior produtor, o segundo maior consumidor e o quinto maior exportador do planeta no ano de 2015.

A metodologia de fabricação de placas cerâmicas, por sua vez, é relativamente simples. “O ciclo de produção se inicia com a preparação da massa cerâmica e prossegue com a conformação (prensagem), secagem, preparação e aplicação de esmaltes e queima” (OLIVEIRA; HOTZA, 2011, p. 39). Bristot (1996) elenca ainda um sexto setor, posterior à queima: o setor de classificação e embalagem. Motta et al. (2001) explicam que o processo de manufatura pode apresentar pequenas variações de etapas e de variáveis dependendo do tipo de produto a ser fabricado, porém, seu escopo é praticamente o mesmo para qualquer que seja a tipologia em produção. O grande diferencial entre as tipologias de produto de revestimento



cerâmico está na preparação de massa, uma série de operações realizadas com vistas a obter uma mistura de matérias-primas em forma de pó homogêneo (MODESTO; MENEGALLI, 2003). Segundo Modesto e Menegalli (2003), é nesta etapa em que as diferentes matérias-primas que compõe o produto são misturadas, dando-lhe as principais características técnicas. A preparação de massa é, portanto, a etapa em que ocorre a “montagem” propriamente dita do produto cerâmico, de sorte que as demais operações apenas consolidam o que foi nela realizado.

2.2 METODOLOGIA DA PESQUISA

Gil (2010) identifica dez principais tipos de pesquisa: pesquisa bibliográfica; pesquisa documental; pesquisa experimental; pesquisa ex-post facto; estudo de coorte; levantamento; estudo de campo; estudo de caso; pesquisa-ação; e pesquisa participante. Já Silva e Menezes (2005) categorizam os métodos de pesquisa de acordo com a forma de abordagem do problema, no qual as pesquisas se classificam em dois tipos: quantitativas e qualitativas.

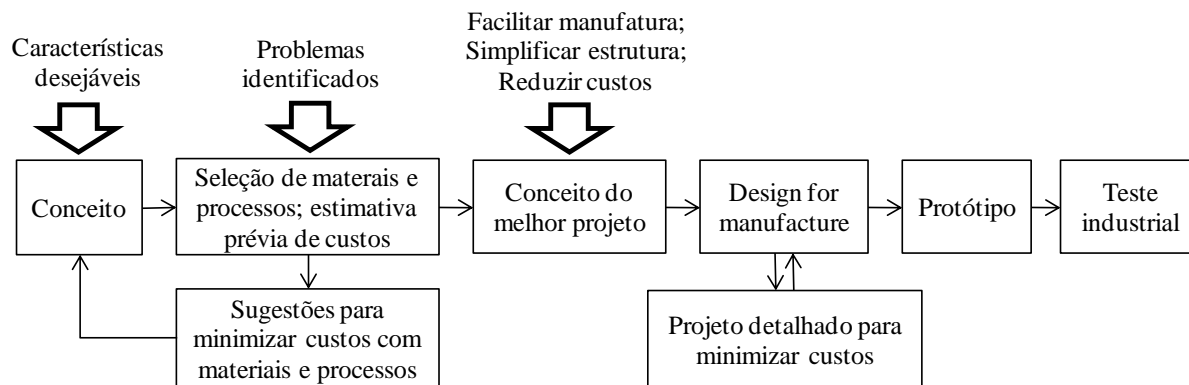
Dentre estes tipos de pesquisa, elegeu-se aplicar a pesquisa do tipo estudo de caso, de natureza qualitativa, com base nas justificativas de Yin (2015) e Corrêa e Corrêa (2004). Yin (2015) explica que o estudo de caso aplica-se a investigações empíricas acerca de um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real, principalmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos. Corrêa e Corrêa (2004), por conseguinte, relatam que os métodos qualitativos empregam elementos imensuráveis, como a intuição e o julgamento humano. Haja vista este contexto e tendo-se por base o trabalho de Curanishi (2004), resumiu-se a metodologia em quatro etapas principais: identificação, otimização, verificação e validação.

Na etapa de identificação, investigaram-se os motivos que dificultam a adequação dos produtos à linha de produção. Yin (2015) sugere que a investigação de problemas desta gama (estudo de caso qualitativo) se baseie em seis fontes de evidência: documentos, registros em arquivos, entrevistas, observação direta, observação participante e artefatos físicos. Destas, elegeu-se três: entrevistas não estruturadas com os envolvidos, observação direta do esquema de trabalho das linhas de manufatura e verificação de registros de produção em arquivos.

Uma vez levantados os dados, seguiu-se à etapa de otimização, onde a família de produto identificada como problemática seria reprojetaada levando-se em conta algumas das diretrizes do DFM defendidas por Boothroyd et al. (2011), em especial: (a) a facilitação da

manufatura; (b) a simplificação da estrutura dos produtos identificados como problemáticos; e (c) a redução de custos. A otimização seguiria os passos ilustrados a seguir:

FIGURA 2 – ROTEIRO PRÁTICO PARA APLICAÇÃO DO DFM



FONTE: ADAPTADO DE BOOTHROYD et al. (2011)

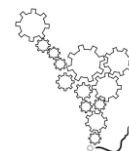
Ao final desta etapa, o protótipo mais próximo ao conceito do melhor projeto foi conduzido à fase de verificação. Nela, o referido protótipo foi submetido a um teste industrial, que consistiu em produzi-lo nas linhas de manufatura durante uma semana a fim de avaliar sua performance frente às limitações da maquinaria. Caso não mostrasse bons resultados, este seria reestudado e readequado, de modo cíclico, até que se mostrasse eficaz. Ao se encontrar a estrutura de produto capaz de potencializar a produtividade da manufatura, esta seria validada.

3 RESULTADOS

3.1 ETAPA DE IDENTIFICAÇÃO

As entrevistas não-estruturadas – realizadas com 15 pessoas das áreas administrativa, técnica e produtiva – apontaram a existência de gargalos no processo produtivo (porém, sem que houvesse consenso na indicação da área-problema) e de fissuras nos processos de comunicação (causado pela falta de diálogo entre os níveis operacionais e de supervisão).

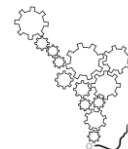
Na observação direta, cada um dos setores produtivos (preparação de massa, prensagem, secagem, decoração, queima e classificação/embalagem) foi visitado e avaliado. Dentre eles, evidenciou-se que o maior gargalo estava na preparação de massa, já que entre este setor e o subsequente havia um estoque intermediário que comumente estava abaixo do nível satisfatório.



A avaliação dos registros de produção comprovou que houve um aumento de 27,1% no volume de produção da unidade fabril no último biênio em relação ao mesmo período anterior à reestruturação da organização. Pôde-se observar também que desde então, a planta industrial em estudo produzia três grandes famílias de produto (tipologias). Nos registros da preparação de massa, provável setor-gargalo, verificou-se que a tipologia porcelanato demandava os maiores tempos de processamento. Somado a este fato, observou-se que esta gama de produtos apresentava um grande aumento de demanda pelo mercado nos últimos anos. Livramento et al. (2017) expõe que houve um aumento de 25% na produção brasileira de porcelanato entre 2012 a 2015, fato que, segundo Riella (2010), evidencia o interesse mercadológico nesta gama de produtos devido suas qualidades técnica e estética superiores. Desdobrando as atividades inerentes à preparação de massa, notou-se que todos os tipos de produto despendiam os mesmos tempos para serem fabricados, com exceção da atividade de moagem, a qual foi identificada como provável atividade-gargalo do processo. As suspeitas foram comprovadas após a realização do tratamento estatístico dos dados constantes nos registros de produção: a moagem do porcelanato demandava, em média, 7,5 horas, frente a 2,75 e 3,17 horas das demais tipologias. A análise dos registros da atomização, atividade posterior à moagem, mostrou ociosidade de 9,83%. Este fato ratifica a atividade de moagem da tipologia de produto porcelanato como sendo o gargalo do processo de manufatura.

Uma vez identificado que o maior problema estava na operação de moagem da tipologia porcelanato, as investigações foram aprofundadas de modo a se conhecer quais eram os motivos que levavam a um elevado no tempo de moagem da referida família de produto. Esta investigação revelou-se de suma importância, pois uma vez identificada a causa, poder-se-ia levá-la em conta durante o reprojeto do produto, de modo a minimizar sua influência sob a manufatura. Sabendo que todos os equipamentos responsáveis pela atividade-gargalo (moinhos) eram iguais em dimensões e em métodos de operação, a investigação voltou-se ao material neles processado. Comparando-se, nos registros de produção, as matérias-primas utilizadas no porcelanato com aquelas empregadas nas demais tipologias de produto, percebeu-se que a primeira era rica em matérias-primas rochosas. Esta gama de material é demasiado dura, tendendo a apresentar dificuldade de ser moída. A substituição, total ou parcial, das matérias-primas rochosas por outras de mais fácil fragmentação tornou-se a chave para a minimização do tempo de moagem e para facilitação da manufatura.

Seguindo-se ainda mais a fundo na investigação, levantaram-se dados acerca dos argilominerais compõe a estrutura de produto do porcelanato, os quais são misturados e moídos



na etapa de preparação de massa. Tais dados foram obtidos nos registros de produção e condensados na Tabela 1, conforme segue:

TABELA 1 – CARACTERÍSTICAS FÍSICA DAS MATÉRIAS-PRIMAS DO PORCELANATO

MATÉRIA-PRIMA	NATUREZA	CUSTO EM RELAÇÃO AO ITEM MAIS CARO (%)	DIFICULDADE DE FRAGMENTAÇÃO
Item A	Rochosa	99,96	Altíssima
Item B	Argilosa	45,55	Baixa
Item C	Argilosa	25,79	Alta
Item D	Argilosa	47,05	Alta
Item E	Argilosa	18,10	Alta
Item F	Rochosa	100,00	Alta
Item G	Rochosa	45,46	Moderada
Item H	Rochosa	64,14	Moderada

FONTE: OS AUTORES (2018)

Conforme se expõe, a matéria-prima com a maior dificuldade de processamento pela operação de moagem é o item A, seguido pelos itens C, D, E e F. Além disso, esta etapa da pesquisa mostrou que é preciso especial atenção com as matérias-primas A e F, as quais apresentam custos consideravelmente mais altos em relação as demais.

Ao final da etapa de identificação, pode-se concluir que há possibilidade de ganhos produtivos se o DFM for aplicado no reprojeto da tipologia porcelanato. Para tal, deve-se levar em conta que a maior dificuldade da manufatura estava na operação de moagem do setor de preparação de massa e que tal dificuldade pode ser mensurada pelo indicador tempo de moagem. Seguindo as diretrizes defendidas por Boothroyd et al. (2011), percebe-se que a chave para a facilitação da manufatura, simplificação da estrutura e para a redução de custo está principalmente no item A – considerações valiosas que precisariam ser levadas em conta no decorrer da etapa de otimização.

3.2 ETAPA DE OTIMIZAÇÃO

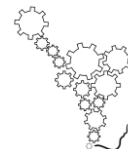
Assim que etapa de otimização foi iniciada, criou-se, dentro da organização, um grupo de trabalho, o qual foi genericamente denominado como comitê DFM. Este comitê tinha por função orientar o desenvolvimento do produto segundo as diretrizes defendidas por Boothroyd et al. (2011) e reduzir as fissuras de comunicação evidenciadas na etapa de identificação. O grupo – constituído por profissionais de diversas áreas como atendimento ao cliente, suprimentos, pesquisa e desenvolvimento, supervisão, coordenação e controle de qualidade – reunia-se periodicamente para discutir questões relacionadas ao reprojeto do porcelanato e para acompanhar a implementação prática das ações.



Guiando-se pela metodologia proposta na Figura 2 deste trabalho, o comitê DFM iniciou suas atividades com a definição do conceito do novo porcelanato, parte fundamental para o reprojeto do produto. Nele seriam elencadas todas as características desejáveis a serem atendidas pelo novo porcelanato. Agindo de modo prudente, o comitê deliberou que a definição do conceito deveria focar primeiramente sobre as exigências normativas, para posteriormente se abordar as exigências estéticas, técnicas e mercadológicas. Como exigência normativa, apurou-se que o novo produto deveria atender à norma NBR 13.818/1997, principal norma técnica para revestimentos cerâmicos, a qual preconiza que os porcelanatos devem apresentar absorção de água inferior a 0,5% em massa (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997). Já em um segundo momento, passou-se a tratar dos demais requisitos a serem atendidos pelo novo produto. Para tal, empregou-se como subsídio os registros das áreas de atendimento ao cliente e de produção. Ao final, definiu-se que, além da baixa absorção de água exigida por norma, o novo produto deveria apresentar alta resistência a choques e impactos, além de coloração preferencialmente branca ou cinza-claro.

As exigências elencadas foram repassadas aos profissionais de pesquisa e desenvolvimento participantes do comitê, os quais relataram que o atendimento a estas poderia ser realizado mediante majoração dos itens A e F na mistura de argilominerais que até então compunha o porcelanato. Estes materiais exibem coloração variando do branco ao amarelo-claro e apresentam características técnicas ideais para atender aos requisitos de resistência e absorção de água. A medida, segundo com os profissionais da área industrial, não demandaria alterações no processo de manufatura praticado até então; entretanto, tendo-se por base os dados levantados na etapa de identificação (Tabela 1), certamente haveria dificuldade de processamento do novo produto pelo setor de preparação de massa, haja vista a natureza rochosa dos itens a serem majorados. A inviabilidade do projeto, porém, ficou evidente quando foram efetuadas as estimativas prévias dos gastos financeiros. A ampliação dos percentuais das matérias-primas A e F impactaria no custo de produção, uma vez que estes são os dois insumos mais caros dentre aqueles que vinham sendo utilizados até então.

Dados os fatos e seguindo-se o proposto na Figura 2, o próximo passo do comitê DFM seria coletar sugestões para minimizar os custos e tornar viável o projeto do novo produto. Estas sugestões seriam dirigidas pelas diretrizes do DFM (facilitar manufatura, simplificar a estrutura e reduzir custos) e contribuiriam para se alcançar o conceito do melhor projeto. O quadro a seguir resume as principais sugestões de otimização do conceito original frente às diretrizes orientadoras de Boothroyd et al. (2011):



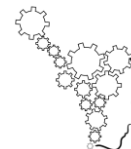
QUADRO 1 – SUGESTÕES PARA VIABILIZAR O CONCEITO DO PROJETO DE PRODUTO

DIRETRIZ DO DFM	PROBLEMA IDENTIFICADO NO CONCEITO	SUGESTÃO / OBJETIVO	OBSERVAÇÕES
Facilitar manufatura	Itens A, C, D, E e F apresentam dificuldades de fragmentação	Minimizar os itens A e F na composição do porcelanato em favor do item G, visando reduzir o tempo de processamento do produto em 20%	Os itens A e F são tecnicamente fundamentais. Minimizá-los em favor do item G – de menor qualidade técnica e de mais fácil fragmentação – pode ser viável, mas há risco de não se atender as exigências definidas no conceito
Simplificar a estrutura	Excesso de itens na composição do porcelanato	Eliminar, no mínimo, um item da estrutura do produto	O principal alvo está em eliminar o item A; se não for possível, buscar eliminar um dos itens de natureza argilosa, que são mais comuns na região de atuação da companhia e, por isso, são mais fáceis de serem substituídos por contratipos
Reduzir custos	Itens A e F apresentam os mais altos custos dentre os componentes da estrutura de produto	Minimizar o emprego dos itens mais caros (A e F) para reduzir os custos em, no mínimo, 10%; buscar contratipos mais baratos	Apesar de ser inferior tecnicamente, o item G pode substituir tanto A quanto F com custos muito inferiores. Visa-se ainda substituir um material argiloso, mais comuns na região de atuação da companhia, por um potencial contratipo (item I)

FONTE: OS AUTORES (2018)

Ao final desta etapa, chegou-se ao conceito do melhor projeto, o qual deveria ser utilizado pela equipe de pesquisa e desenvolvimento na concepção do novo porcelanato. O melhor projeto deveria manter a exigência original de baixa absorção de água, pois esta é uma imposição normativa. Além disso, permitiu-se que o novo produto apresentasse coloração mais acinzentada e uma menor resistência a choques e impactos do que aquela inicialmente estabelecida, desde que não ferisse as recomendações normativas, nem colocasse em risco a integridade dos clientes. Em contrapartida, o novo produto deveria eliminar ao menos um dos itens que o compõe, reduzir ao menos 10% dos custos praticados até então, e diminuir em 20% o tempo de moagem – indicador do gargalo existente no setor de preparação de massa da planta de manufatura.

Com o conceito em mãos, a área de pesquisa mineral foi incumbida de procurar e avaliar a viabilidade técnico-econômica de novas matérias-primas capazes de serem empregadas como eventuais contratipos aos itens a serem minimizados. O foco da pesquisa voltou-se aos materiais de natureza argilosa, os quais são abundantes nas proximidades da planta fabril. Outro motivo que levou a se investir em pesquisa de materiais argilosos está no seu percentual de composição da estrutura do produto, uma vez que cerca de 60% da estrutura do porcelanato é composta por materiais desta natureza. Mesmo abundante na região, 36,5% dos materiais argilosos que compunham a estrutura do porcelanato eram provenientes de lugares que estavam a mais de 200 km de distância (itens B e D). Portanto, encontrar bons contratipos argilosos nas



proximidades da manufatura significaria diminuir custos sem afetar significativamente a qualidade do produto. Neste contexto, a área de pesquisa mineral levantou vários argilominerais, mas apenas um – o qual foi denominado como “item I” – mostrou-se como potencial contratipo passível de ser empregado na indústria cerâmica. Muito parecido com o item B, este item apresentava considerável reserva na natureza, estava relativamente próximo da unidade industrial onde seria beneficiado (aproximadamente 25 km), apresentava boas características técnicas e sua jazida não estava localizada em área de preservação ambiental. Além disso, mostrava custo bastante competitivo, que representava apenas 26,59% do custo em relação ao item mais caro da estrutura. Identificado o provável contratipo, o próximo passo seria desenvolver o novo produto (protótipos), atividade a ser realizada pelo setor de pesquisa e desenvolvimento, sob orientação do comitê DFM.

De posse do conceito do melhor projeto, foram desenvolvidas cinco novas estruturas de produto (protótipos, nominados por F1, F2, F3, F4 e F5, respectivamente) para serem testadas em laboratório frente ao produto que atualmente vinha sendo manufaturado pela organização (o qual foi nominado por STD). Recordando-se que a cerâmica é obtida pela mistura dos argilominerais, o projeto dos protótipos consistiu em definir quais matérias-primas entrarão na composição do produto e em quais quantidades percentuais. Assim sendo, os materiais constantes de cada protótipo, bem como seu percentual na composição do produto, foram definidos com base nas características técnicas de cada matéria-prima, conforme descrito na bibliografia – em especial nos estudos de Oliveira e Hotza (2011). A Tabela 2 compara a composição da estrutura de produto-padrão frente à composição das novas estruturas propostas (protótipos):

TABELA 2 – PROTÓTIPOS DESENVOLVIDOS PARA O PORCELANATO

MATÉRIA-PRIMA	ESTRUTURAS					
	STD	F1	F2	F3	F4	F5
Item A	11,0	11,0	-	-	-	-
Item B	22,5	-	-	-	-	-
Item C	15,0	15,0	14,0	15,0	15,0	15,0
Item D	14,0	14,0	16,0	16,0	16,0	16,0
Item E	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	14,0
Item F	12,0	12,0	15,0	15,0	15,0	15,0
Item G	10,0	10,0	25,0	23,0	22,0	23,0
Item H	5,5	5,5	8,0	6,0	8,0	6,0
Item I	-	22,5	12,0	15,0	14,0	11,0

FONTE: OS AUTORES (2018)

Já os objetivos almejados com cada um dos protótipos estão descritos no Quadro 2:



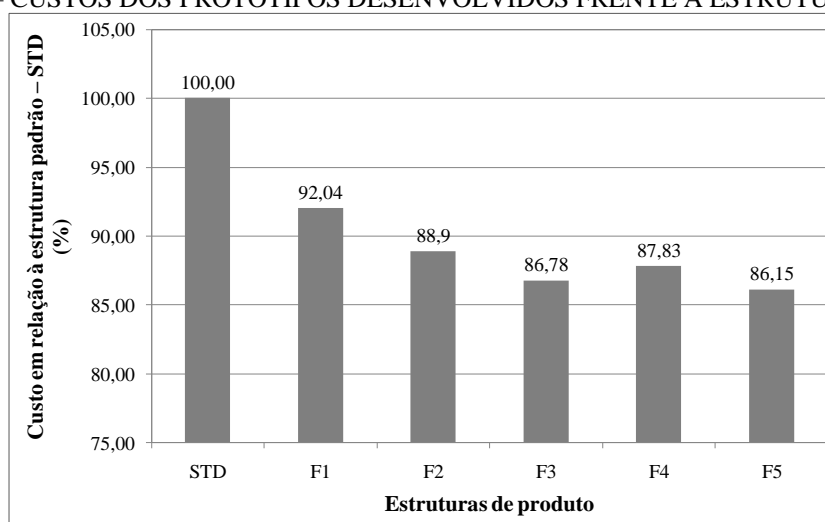
QUADRO 2 – OBJETIVOS DOS PROTÓTIPOS FRENTE À ESTRUTURA-PADRÃO

PROTÓTIPO	OBJETIVO	DIRETRIZ DO DFM RELACIONADA
F1	Substituir integralmente o item B pelo item I, visando avaliar o potencial do contratipo	Reduzir custos
F2	Diminuir o tempo de moagem, o número de itens empregados e baratear o produto	Facilitar manufatura, simplificar a estrutura, reduzir custos
F3	Idem a F2, além de diminuir o risco de deformação do produto final e melhorar a etapa de prensagem	Facilitar manufatura, simplificar a estrutura, reduzir custos
F4	Idem a F3, porém com um foco maior em evitar deformação do produto final	Facilitar manufatura, simplificar a estrutura, reduzir custos
F5	Idem a F4, com um foco ainda maior em evitar deformação do produto final	Facilitar manufatura, simplificar a estrutura, reduzir custos

FONTE: OS AUTORES (2018)

Por fim, os custos de cada protótipo em relação à estrutura-padrão (STD) são expressos a seguir, na Figura 3:

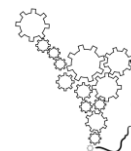
FIGURA 3 – CUSTOS DOS PROTÓTIPOS DESENVOLVIDOS FRENTE À ESTRUTURA-PADRÃO



FONTE: OS AUTORES (2018)

Conforme se pode observar, os protótipos foram propostos em uma gradação, de sorte que o protótipo F1 tinha o objetivo mais conservador, enquanto o F5 era o mais ousado. O propósito de tal medida seria construir o novo produto aos poucos, permitindo-se monitorar as vantagens e desvantagens de se adicionar certos itens frente a redução de outros, de forma a se encontrar o protótipo-ótimo minimizando-se os esforços.

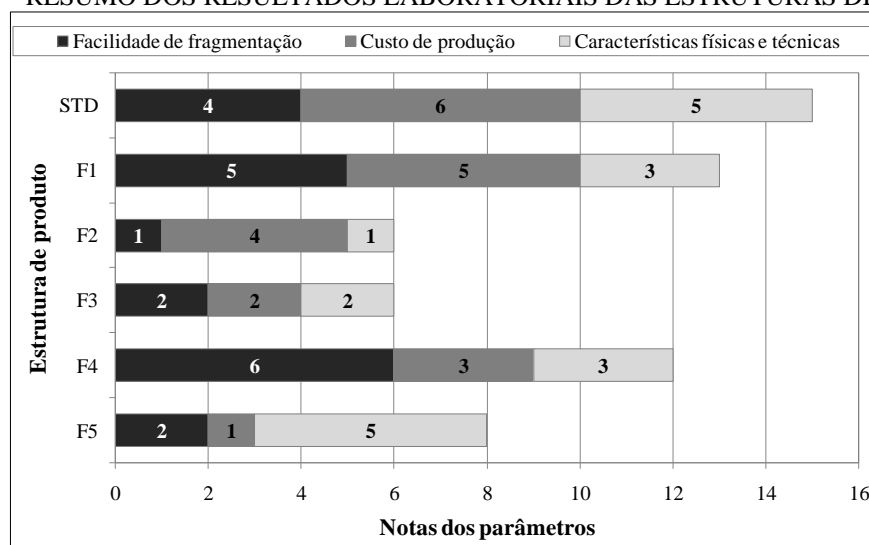
Quanto à estrutura dos protótipos e às diretrizes do DFM, percebe-se que dentre os itens A e F, considerados como prováveis dificultadores da manufatura, elegeu-se atacar o primeiro. A escolha se pauta pelo custo, que é praticamente o mesmo do item F, e por sua maior dificuldade de fragmentação. Com exceção de F1, houve a total remoção do item A de todos os protótipos em favor de um pequeno acréscimo do item F e de um considerável aumento na



participação do item G nas estruturas. O risco desta operação estaria na estabilidade de dimensões do produto final, já que o item G tende a ser mais instável do que o item A. Além disso, o item B, material de natureza argilosa com custos consideráveis, também foi atacado, sendo substituído em todos os protótipos pelo item I. Com estas ações, esperava-se atender aos requisitos inerentes ao conceito do melhor projeto.

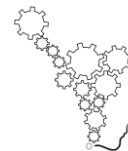
Definidos os protótipos, o próximo passo seria testá-los em laboratório a fim de selecionar o melhor dentre estes. Ao final das análises, com os resultados em mãos já tratados estatisticamente, elegeu-se a estrutura mais adequada aos objetivos pretendidos, levando-se em conta três fatores: (a) a facilidade de fragmentação dos protótipos, (b) o custo de produção e (c) as características físicas e técnicas (demais características definidas no conceito do melhor projeto). A Figura 4 sintetiza os resultados encontrados, elencando-os de 1 a 6, sendo 1 o melhor e 6 o pior resultado para cada parâmetro estudado:

FIGURA 4 – RESUMO DOS RESULTADOS LABORATORIAIS DAS ESTRUTURAS DE PRODUTO



FONTE: OS AUTORES (2018)

Comparando os resultados por meio da metodologia de priorização “técnica de grupo”, a qual é defendida por Brassard (2002), verifica-se que F2 e F3 mostraram-se como os melhores protótipos, apresentando o menor valor de somatório dentre todas as estruturas de produto desenvolvidas. Avaliando ambas, porém, julgou-se arriscado testar industrialmente F2, pois: (a) seu custo era o segundo maior dentre todos os protótipos; e (b) apresentou grande instabilidade de dimensões, algo que impede a venda do produto e que é reflexo do alto teor do item G em sua estrutura. Dados estes motivos, optou-se por investir em um teste industrial do protótipo F3, uma vez que este apresentou o segundo menor custo, obteve a segunda menor absorção de água, apresentou cor acinzentada, contribuiu no aumento da resistência do produto



final, foi capaz de eliminar um dos oito itens que compunha a estrutura original do porcelanato, e, principalmente, apresentou a segunda maior facilidade de fragmentação – características consideradas na definição do conceito do melhor projeto. Por estes motivos, F3 foi eleito como sendo o melhor dentre os protótipos desenvolvidos.

Ainda seguindo-se o roteiro proposto na Figura 2 deste trabalho, passou-se a detalhar o projeto eleito como sendo o melhor, visando-se otimizar as características técnicas e minimizar custos. Neste contexto, foi observado durante os testes laboratoriais que F3 também apresentava problemas de estabilidade dimensional, embora em melhor condição se comparado à maioria dos protótipos desenvolvidos. O comitê DFM identificou que esta condição é fruto da alta participação do item G na estrutura de produto. Para otimizar custos e melhorar seu desempenho técnico, o comitê DFM ponderou ser necessária a redução de 2% do item G em favor do item E na composição do protótipo F3, a qual doravante passou a ser denominado como protótipo F3/A. O item E, de natureza argilosa, foi considerado como o substituinte ideal para parte do item G, pois apresentava custo sensivelmente menor ao passo que proporcionava maior estabilidade de dimensões ao produto final. Tal medida resultou em uma redução de custo de 1,16%, em relação a F3, e de 17,07%, em relação a STD; porém, deveria ser administrada com cautela, já que o item E é ligeiramente mais difícil de fragmentar do que o item G. Finalizada esta etapa, procedeu-se à verificação e à validação através do teste em linha de manufatura.

3.3 ETAPA DE VERIFICAÇÃO

A verificação foi realizada submetendo-se o protótipo F3/A a um teste industrial, o qual consistia em produzi-lo em linha de manufatura de modo ininterrupto durante sete dias, com o objetivo de comparar sua performance frente à estrutura que vinha sendo produzida até então (STD). Ao seu término, os resultados coletados foram tratados estatisticamente e avaliados sob os requisitos definidos no conceito de melhor projeto. Visando facilitar a análise, tais parâmetros foram divididos em duas classes: (a) aqueles inerentes às características físicas e técnicas do produto, e (b) aqueles diretamente relacionados às diretrizes do DFM. No primeiro grupo foram enquadrados os seguintes requisitos: absorção de água dentro dos limites normativos; coloração acinzentada ou mais clara; e resistência a choques e impactos suficiente para atender com segurança aos clientes e às recomendações normativas. Já no segundo grupo, foram avaliados: eliminação de, ao menos, um dos oito itens que compõe o produto; redução de, ao menos, 10% dos custos; e redução em 20% no tempo de moagem para aliviar a sobrecarga identificada no setor de preparação de massa.



Dado este contexto, a Tabela 3, apresentada na sequência, resume os resultados apurados para produto reprojeto (protótipo F3/A) frente ao padrão (estrutura STD) no que tange aos requisitos físicos e técnicos do conceito do melhor projeto:

TABELA 3 – DESEMPENHO DOS REQUISITOS FÍSICOS E TÉCNICOS

REQUISITOS	LIMITE DE CONTROLE	RESULTADO STD	RESULTADO F3/A
Absorção de água (%) – NBR 13.818/1997	<0,5	0,27	0,35
Resistência à flexão (N/mm ²)	>38,0	50,47	43,21
Coloração do produto	-	Acinzentada	Acinzentada

FONTE: OS AUTORES (2018)

Ao final da prova industrial, percebeu-se que a estrutura-padrão (STD) apresentou desempenho levemente superior quanto aos requisitos físicos e técnicos se comparada ao protótipo F3/A. Este desempenho superior pode ser traduzido na maior resistência e na menor absorção de água da estrutura STD. Em termos práticos, estes valores indicam que o novo projeto de produto possui uma capacidade menor de suportar choques e impactos.

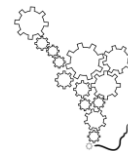
Quanto aos requisitos do conceito de melhor projeto diretamente relacionados às diretrizes do DFM, a Tabela 4 condensa os resultados verificados:

TABELA 4 – DESEMPENHO DOS REQUISITOS RELACIONADOS ÀS DIRETRIZES DO DFM

DIRETRIZ RELACIONADA	REQUISITOS	REDUÇÃO OBSERVADA
Facilitar manufatura	Reduzir 20% no tempo de moagem	26,67%
Simplificar estrutura	Eliminar 1 item dentre os 8 que compõem a estrutura	1 item
Reduzir custos	Reduzir 10% dos custos	17,07%

FONTE: O AUTOR (2018)

Conforme se pode observar, o teste industrial comprovou que a substituição da estrutura-padrão (STD) pelo protótipo F3/A, projetado com o auxílio das diretrizes do DFM, representaria uma redução de 26,67% no tempo de processamento da operação de moagem (operação-gargalo do setor de preparação de massa) e a diminuição em 17,07% dos custos praticados, superando com boa margem de folga os objetivos traçados durante a definição do conceito de melhor projeto. Além disso, também se pode atingir o objetivo de reduzir o número de itens que compõem a estrutura do porcelanato, os quais passaram de 8 para 7 itens. Projetando-se os ganhos em termos de volume de produção, a adoção do protótipo F3/A em substituição a estrutura STD promoveria um ganho mensal no volume de produção da ordem de 78 toneladas – o que equivale a um turno produtivo extra por dia. Nota-se que o produto projetado especialmente para minimizar as dificuldades da maquinaria reduziu ociosidade da



operação subsequente ao gargalo, passado de 9,83% para 3,87%. À luz destes requisitos, a substituição da estrutura-padrão (STD) pelo protótipo F3/A é largamente vantajosa.

Quando os resultados expostos nas Tabelas 3 e 4 são avaliados conjuntamente, conclui-se que o protótipo F3/A é interessante à organização. Tal fato se justifica primeiramente pelo seu razoável desempenho nos requisitos físicos e técnicos. Ainda que os resultados neste quesito tenham sido inferiores aos da estrutura-padrão (STD), todos os parâmetros mensurados atendem às exigências normativas, de segurança e mercadológicas, sem que se tenha observado deformações no produto final – principal receio relacionado à ampliação da participação do item G na estrutura do protótipo. A grande vantagem relacionada à F3/A, entretanto, encontra-se ao se avaliar os requisitos diretamente relacionados às diretrizes do DFM. Com reduções robustas nos custos de produção e no tempo de operação da atividade-gargalo, aliada à redução no número de itens que compõe a estrutura, o protótipo F3/A mostrou que é possível obter-se ganho na indústria cerâmica empregando-se as diretrizes do DFM defendidas por Boothroyd et al. (2011), ainda que este não seja o campo usual para emprego da filosofia.

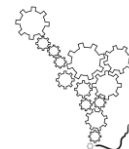
3.4 ETAPA DE VALIDAÇÃO

Dado os bons resultados observados nos testes industriais, procedeu-se a substituição em linha de manufatura da estrutura-padrão (STD) pelo protótipo F3/A. Após o início de sua produção sequenciada, o novo produto passou por três pequenas readequações ao longo de oito semanas, até que a configuração ideal fosse encontrada. Estas readequações, respectivamente denominadas como F3/B, F3/C e F3/D, visavam otimizar técnica e financeiramente o protótipo. Uma vez encontrada a melhor configuração, o comitê DFM validou-a como sendo a nova estrutura de produto do porcelanato.

4 DISCUSSÃO

A validação do protótipo, que doravante tornou-se a nova estrutura do porcelanato, demonstrou ser possível aplicar algumas das diretrizes do DFM no projeto de novos produtos para a indústria de revestimentos cerâmicos. De fato, as ideias propostas por Boothroyd et al. (2011) puderam ser aplicadas com sucesso, apesar da inexistência da montagem sequenciada.

Os benefícios alcançados adotando-se a prática de se projetar o produto levando-se em conta as limitações da manufatura foram muitos: quantitativos e qualitativos; direta ou indiretamente ligados ao conceito de melhor projeto. Evidentemente, merecem destaque neste

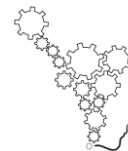


contexto as benesses relacionadas diretamente às diretrizes do DFM, a saber: a redução superior a 17% no custo de produção; a maior otimização de espaço e de estoque (já que dois itens foram substituídos por um único na estrutura do novo produto); e o aumento superior a 26% na produtividade do setor de preparação de massa. Além destas, outras vantagens puderam ser mensuradas, como: o aumento no índice de qualidade do produto final, passando de 85,8%, na estrutura STD, para 86,1%, após a mudança na estrutura; a diminuição em 57,1% nos reprojetos e mudanças de engenharia; e o aumento de quase 11% na produção total da unidade fabril, sem que houvesse grandes investimentos.

Apesar dos ganhos mensuráveis serem bastante robustos, faz-se necessário mencionar também as vantagens de cunho qualitativo proporcionadas por este trabalho. Ressalta-se aqui a melhoria experimentada pela comunicação interna entre as diversas áreas da organização. Antes tênue, a comunicação foi fortalecida, fazendo florescer o sentimento de cooperação. Projetistas passam a atuar com maior assertividade, a área de atendimento ao cliente ganhou mais subsídios para orientar os consumidores, e os colaboradores do chão de fábrica sentiram-se ouvidos e valorizados. A criação do comitê DFM, portanto, proporcionou não só ganhos materiais à organização, como também ganhos sociais ao seu público interno.

Outro ponto a ser ressaltado nesta pesquisa refere-se à etapa de investigação. Boa parte do sucesso quanto ao atingimento dos objetivos propostos se deve a esta etapa. Através dela, uma análise minuciosa permitiu encontrar com precisão os locais na linha de produção onde se escondiam as limitações da manufatura. Conhecendo-se os gargalos, ficou muito mais acessível ao comitê DFM atacar os problemas e estudar melhorias na estrutura do produto, despendendo-se menos tempo, dinheiro e energia.

Também é preciso destacar que a falta de intimidade da equipe, em especial dos integrantes do comitê DFM, com a temática não comprometeu o trabalho, mas dificultou sua aplicação. Um exemplo desta dificuldade se observou durante a etapa de validação, onde o receio e a insegurança muitas vezes superaram a vontade de se alcançar objetivos maiores. Isto refletiu no tempo de validação do novo produto, o qual despendeu as mesmas oito semanas que, em média, os produtos anteriores à adoção da referida filosofia costumavam demandar. Entretanto, ainda que pequenos entraves tenham sido identificados, os ganhos observados foram muito maiores – e tendem a ser majorados à medida que a equipe for se familiarizando com o tema.

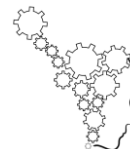


5 CONCLUSÃO

De fato, este estudo de caso foi bem-sucedido ao empregar alguns dos princípios do DFM defendidos por Boothroyd et al. (2011) para otimizar a produção de porcelanato, ficando comprovada sua aplicabilidade no ramo cerâmico. Este, porém, foi apenas um primeiro passo no sentido de se implementar plenamente a referida filosofia neste setor da indústria. É necessário avançar ainda mais, agregando outras diretrizes que não foram abordadas neste trabalho aos projetos de produto, como, por exemplo, a concepção de produtos modulares e a utilização de insumos comuns em diferentes famílias de produtos. Por isso, recomenda-se como sugestão para trabalhos futuros que a organização se aprofunde na aplicação do DFM e expanda seu emprego a outras tipologias de produto.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13818: Placas cerâmicas para revestimento – especificação e métodos de ensaios**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. 78 f.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTO. Setor, São Paulo, 2017. Disponível em: <www.anfacer.org.br/setor>. Acesso em: 5 jul. 2017.
- BARIANI, P. F. A.; BERTI, G. A.; LUCCHETTA, G. Combined DFMA and TRIZ Approach to the Simplification of Product Structure. **Journal of engineering manufacture: proceedings of the institution of mechanical engineers**, Bath, v. 218, n. 8, p. 1023-1027, ago. 2004.
- BAXTER, M. **Projeto de Produto: Guia prático para o design de novos produtos**. São Paulo: Blucher, 2011. 344 p.
- BOOTHROYD G.; DEWHURST, P.; KNIGHT, W. A. **Product design for manufacture and assembly**. Boca Raton: CRC Press, 2011. 712 p.
- BRASSARD, M. **Qualidade: ferramentas para uma melhoria contínua: the memory jogger**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002. 88 p.
- BRISTOT, V. M. **Máquinas e equipamentos para cerâmica**. Criciúma: Luana, 1996. 352 p.
- CANCIGLIERI JUNIOR, O.; KOVALCHUK, J. P. B.; BATOCCHIO, A. The white goods part designed based on DFM/DFA concepts in a concurrent engineering environment. **Brazilian journal of operations & production management**, Niterói, v. 6, n.2, p. 75-100, dez. 2009.
- CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de produção e operações: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica**. São Paulo: Atlas, 2004. 690 p.
- CURANISHI, D. **Abordagem de segurança alimentar para a seleção de AMT: tecnologia avançada de manufatura**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba.



- EDWARDS, K. L. Systematic retrofit design for manufacture: critical component substitution in machine design. **Journal of engineering manufacture: proceedings of the institution of mechanical engineers**, Bath, v. 218, n. 1, p. 129-133, jan. 2004.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2010. 200 p.
- KOVALCHUK, J. P. B. **Aplicação do DFA no desenvolvimento de componentes da linha branca: um estudo de caso**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba.
- KUO, T.; HUANG, S. H.; ZHANG, H. Design for manufacture and design for “x”: concepts, applications and perspectives. **Computer & industrial engineering**, Oxford, v. 41, n. 3, p. 241-260, dez. 2001.
- LIVRAMENTO, A.; NAZÁRIO, M. M.; DOMINGOS, R. A.; DE NONI JUNIOR, A. TASSI, R.; CARGNIN, M. Reformulação de massas para pavimentos cerâmicos fabricados pelo processo de monoqueima. **Cerâmica industrial**, São Carlos, v. 22, n. 5/6, p. 33-40, set/dez 2017.
- MODESTO, C. O.; MENEGALLI, G. B. F. **Processo de fabricação**. Cocal do Sul: CMG, 2003. 197p.
- MOTTA, J. F.; ZANARDO, A.; CABRAL JUNIOR, M. As matérias-primas cerâmicas: parte I. **Cerâmica industrial**, São Carlos, v. 6, n. 2, p. 28-39, mar/abr 2001.
- OLIVEIRA, A. P. N.; HOTZA, D. **Tecnologia de fabricação de revestimentos cerâmicos**. Florianópolis: UFSC, 2011. 120 p.
- RIELLA, H. G. **Cerâmica: dos minerais à porcelana**. São Paulo: TecArt, 2010. 157 p.
- SHREVE, R. N.; BRINK JR., J. A. **Indústrias de processos químicos**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1997. 717 p.
- SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. Florianópolis: UFSC, 2005. 138 p.
- SWIFT, K. G.; BROWN, N. J. Implementation strategies for design manufacture methodologies. **Journal of engineering manufacture: proceedings of the institution of mechanical engineers**, Bath, v. 217, n. 6, p. 827-833, jun. 2003.
- SZEJKA, A. L.; CANCEGLIERI JUNIOR, O.; PANETTO, H.; AUBRY, A.; LOURES, E. F. R. A semantic reconciliation view to support the interoperable information relationships in product design and manufacturing. **IFAC-PapersOnLine**, s.l., v.50, n.1, p. 15896-15903, jul 2017.
- YIN, R. K. **Estudo de Caso: Planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2015. 320 p.