



## **Percepção da prototipagem rápida no processo de desenvolvimento de novos produtos: dimensões do impacto em inovação e no valor agregado**

**Carlos Alberto Costa**

*Universidade de Caxias do Sul – UCS  
CCET - Núcleo de Projeto e Fabricação em Engenharia  
cacosta@ucs.br*

**Fábio Luiz Rossi**

*Universidade de Caxias do Sul – UCS  
CCET - Núcleo de Projeto e Fabricação em Engenharia  
fabioluizrossi@gmail.com*

**Enor José Tonolli Jr.**

*Universidade de Caxias do Sul – UCS  
CCET - Núcleo de Projeto e Fabricação em Engenharia  
tonolli@terra.com.br*

**Gabriel Sperandio Milan**

*Universidade de Caxias do Sul – UCS  
CCET - Núcleo de Projeto e Fabricação em Engenharia  
gabmilan@terra.com.br*

### **RESUMO**

A Prototipagem Rápida tem se tornado uma ferramenta importante na inovação de produtos, permitindo o uso de protótipos em muitas fases do processo de desenvolvimento de produto (PDP). Conhecer e beneficiar-se desta tecnologia torna-se crucial para competitividade das empresas num mercado cada vez mais exigente. O presente trabalho analisa as relações entre os benefícios da tecnologia de prototipagem rápida e o PDP usando a metodologia de estudo multi-caso em quatro empresas de diferentes segmentos industriais. O estudo foi conduzido tomando por base um protocolo de pesquisa baseado na revisão da literatura e um roteiro de entrevistas semi-estruturadas. Os resultados permitiram avaliar a influência da prototipagem rápida em três dimensões de impacto: nova tecnologia, inovação e valor agregado, onde sete proposições foram definidas. O presente trabalho agrega novas visões acerca da utilização desta tecnologia ampliando o conhecimento sobre o assunto, bem como confirmando as dimensões propostas.

Palavras-chave: Prototipagem Rápida, Desenvolvimento de Produtos, Valor Agregado.

### **ABSTRACT**

Rapid Prototyping has become an important tool in product innovation, enabling the use of prototypes in many stages of product development process (PDP). Understanding and taking benefits from this technology becomes crucial to business competitiveness in an increasingly demanding market. This paper analyzes the relationship between benefits of rapid prototyping technology and the PDP by a multi case methodology applied on four companies from different industrial activities. The study was conducted within a research protocol, built from literature review, and based on semi-structured interviews. The results indicated the influence of rapid prototyping in three dimensions: impact of this new technology, innovation and added value, where seven propositions were defined. This study adds new insights about the use of this technology expanding the knowledge on the subject, as well as confirming the proposed dimensions.

Keywords: Rapid prototyping, Product development, Added Value.

## 1 Introdução

O sucesso de um produto está normalmente ligado à habilidade das empresas em identificar as necessidades dos clientes e imediatamente desenvolver produtos de forma a atendê-las, a um custo e preço competitivos (FUKUDA, 2010). Para isso, a aplicação de metodologias, ferramentas computacionais e tecnologias durante o processo de desenvolvimento de produtos (PDP) pode ser considerado um diferencial competitivo entre as empresas (CLARK; FUJIMOTO, 1991).

Cada vez mais há maior relevância no uso de protótipos físicos e virtuais durante as fases do PDP, assegurando que o que vai ser produzido corresponde aos requisitos (do cliente e do fabricante), antes de serem despendidos gastos com ferramental. A prototipagem de produtos favorece a aplicação dos conceitos de engenharia simultânea, oportunizando melhoria na comunicação dos envolvidos e permitindo a detecção de erros e falhas nas fases iniciais de desenvolvimento do produto. Isso reduz riscos relacionados ao lançamento do produto, bem como resulta na maior qualidade do mesmo (GRIMM, 2004a).

Apesar do interesse crescente em simulações tridimensionais virtuais de produtos obtidas por computação gráfica a decisão de compra de um produto ainda depende fortemente de dimensões subjetivas. As propriedades técnicas são fatores-chave para uma decisão de compra, e podem ser avaliadas somente com exemplos físicos tridimensionais. Os modelos, mock-ups, protótipos, análises e representações de uso atuam como lembrete para observação e avaliação do cliente final. É uma maneira efetiva, pois permite ao usuário assimilar a informação projetual de forma rápida e expressar a sua compreensão prática e avaliação, junto com a equipe de projeto, sobre as restrições e possibilidades técnicas presentes no projeto (ONUH; YUSUF, 1999).

Devido à importância e à potencialidade, i.e. facilitar a otimização do produto, economia de tempo e custo do projeto, complexidade de geometrias possíveis, redução dos riscos da inovação, a Prototipagem Rápida pode ser considerada um novo marco na tecnologia de manufatura (HOPKINSON; HAGUE, 2006; CAMPBELL; BEER; PEI, 2011). Em decorrência disso, avaliar o impacto da Prototipagem Rápida no processo de desenvolvimento de produtos torna-se crucial para um melhor uso desta tecnologia em empresas, principalmente aquelas mais inovadoras.

O presente trabalho tem por propósito analisar a influência da tecnologia de Prototipagem Rápida no PDP, relacionando quais benefícios são percebidos pelas empresas e quais as dimensões do processo de desenvolvimento de produtos que apresentam-se diretamente

relacionadas. O trabalho foi desenvolvido aplicando a metodologia do estudo multicaso em empresas da região nordeste do RS, onde por meio de entrevistas semi-estruturadas buscaram-se respostas quanto ao impacto, limitações e aplicações do uso desta tecnologia. Foi avaliado também se as dimensões impactantes na Prototipagem Rápida são semelhantes ou distintas nas empresas analisadas. Para o estudo, foram definidas dimensões de análise para identificar como a Prototipagem Rápida influencia o PDP das empresas.

## 2 Prototipagem rápida e o processo de desenvolvimento de produtos

A globalização da economia criou em todos os setores industriais uma necessidade crescente de resposta rápida às solicitações do mercado. Este tipo de resposta traduz-se na redução drástica do tempo de colocação no mercado de novos produtos – time to market – sendo um fator crítico para a competitividade e agressividade comercial das empresas, determinando assim a sua capacidade de sobrevivência (PORTER, 1989; FUKUDA, 2010).

A produção de modelos, protótipos ou provas é um instrumento fundamental para o projetista avaliar o projeto, além de permitir que o cliente e os usuários o façam. Protótipos têm sido produzidos por meio de técnicas de modelação manual, maquetismo ou mesmo carpintaria de moldes e escultura (ULRICH; EPPINGER, 2004). Muito antes das tecnologias de PR surgiram as técnicas baseadas no desenho assistido por computador (CAD), que normalmente associadas à usinagem, e mais recentemente à usinagem de alta velocidade, permitiam e permitem obter excelentes protótipos, em termos de rigor dimensional, rugosidade e até de propriedades mecânicas (CECIL; KANCHANAPIBOON, 2007; BROOKS; AITCHISON, 2010). No entanto, estas tecnologias por exigirem grandes conhecimentos e experiência prática de longos anos, vinham até então, sendo usadas por poucas empresas, o que tem mudado ao longo dos últimos anos (CAMPBELL; BEER; PEI, 2011; JURRENS, 1999). Grimm (2004b) e Kordon e Hankel (2003) destacam diferentes tipos de protótipos, os quais devem ser testados, em laboratório e em campo, para se ter certeza que ele desempenha sua função de maneira segura e eficiente. A tecnologia de Prototipagem Rápida (PR) tornou-se uma importante ferramenta de apoio ao PDP propiciando menores ciclos de desenvolvimento e time to market, produtos com melhor qualidade e confiabilidade, e minimização de desperdícios (ONUH; YUSUF, 1999). Esse tipo de tecnologia permite a fabricação de peças diretamente do modelo 3D do sistema CAD com diferentes materiais e em um menor tempo, sem a necessidade de qualquer ferramenta. Por essa razão, ela exclui as restrições tradicionais de projeto, como

por exemplo, projeto para a manufatura, onde a peça deve ser projetada para processos de fabricação específicos, tais como fresamento, forjamento, moldagem, etc. (HOPKINSON; HAGUE, 2006).

Uma das aplicações de destaque desse tipo de tecnologia, que mais recentemente tem sido chamada de tecnologia de manufatura aditiva, é na fabricação de produtos one of a kind, i.e. produtos únicos e complexos, com ciclo de vida curto e em baixos volumes de produção (GRIMM, 2004a; CAMPBELL; BEER; PEI, 2011). De acordo com Hague *et al.* (2003) um dos maiores benefícios da PR é na produção de peças complexas sem os custos extra que normalmente estão associados aos processos tradicionais de manufatura, como por exemplo, nível de complexidade da peça (EVANS; CAMPBELL, 2003). No caso da tecnologia de PR os custos são determinados pelo tempo de máquina, volume e direção de construção das camadas. Uma descrição dos diferentes tipos de tecnologias PR podem ser encontrados em Grimm (2004a), Pham e Gault (1998), Dimitrov, Schreive, Beer (2006) e Volpato *et al.* (2007).

Clark e Fujimoto (1991) afirmam que a correta aplicação do PDP tem sido uma abordagem poderosa na competitividade das empresas, principalmente quando associada às expectativas e satisfação do cliente final. Na visão de Fukuda (2010) o PDP tem se tornado um dos mais importantes processos de negócio de uma empresa. Normalmente, as fases iniciais do PDP são focadas na definição das principais especificações do produto, onde são definidos materiais, tecnologias incorporadas e a forma de fabricação do produto. Clark e Fujimoto (1991) afirmam que aproximadamente 85% dos custos do produto são definidos dessas escolhas iniciais, onde as incertezas sobre o produto são maiores. Se o mercado é atraente e a empresa tem uma posição suficientemente forte em relação à concorrência, então um produto pode avançar para o estágio de desenvolvimento de produto, onde versões físicas do conceito, os protótipos deverão ser produzidos de maneira rápida e dentro do orçamento do projeto (HOOLEY; SAUNDERS; PIERCY, 2003). Portanto, o uso de tecnologias que possam antecipar questões relacionadas à fabricação do produto e percepção do cliente, entre outros, tem sido fundamentais para a diminuição dessas incertezas e consequentemente a redução do time to market (HAGUE; CAMPBELL; DICKENS, 2003). Algumas dessas tecnologias estão relacionadas com realidade virtual (CECIL; KANCHANAPIBOON, 2007), prototipagem rápida (ONUH; YUSUF, 1999) ou ambos (CHUA *et al.*, 1999; CHOI; SAMAVEDAM, 2001). Esse artigo está focado, especificamente, numa análise dos benefícios potenciais das tecnologias de PR para o PDP das empresas.

Para tanto, esse trabalho classificou os benefícios da PR em três grupos de dimensões, que foram baseadas

nas visões gerais da literatura sobre o assunto e sua inserção no processo de desenvolvimento de produtos (PORTER, 1989, 2004; HAYES *et al.*, 2008), a saber: o impacto da tecnologia, a inovação e o valor agregado.

O primeiro grupo de proposições acerca da influência da Prototipagem Rápida relaciona-se à dimensão do impacto da tecnologia no PDP. Para Porter (1989), qualquer tecnologia pode ter um impacto sobre a concorrência se ela afetar de uma maneira significativa a vantagem competitiva de uma empresa ou a estrutura industrial, seja pela estratégia do baixo custo, diferenciação ou custo e diferenciação. A transformação tecnológica é a base da curva de aprendizagem, podendo levar a outras vantagens de custo absoluto, como projetos de produtos a baixo custo. Desta ligação entre a transformação tecnológica e as vantagens competitivas é que a empresa deve concentrar sua atenção e partir para a seleção de tecnologias específicas na cadeia de valores. Muitas empresas têm dificuldades na escolha de investir numa nova tecnologia e aperfeiçoar uma já estabelecida. A escolha da tecnologia de PR mais adequada é relacionada a fatores como a quantidade de protótipos necessários, às dimensões do componente, da finalidade do protótipo e da qualidade de acabamento necessária (GRIMM, 2004). Os benefícios potenciais para a primeira dimensão estão relacionados às proposições de ganho de tempo no processo de desenvolvimento e a maior facilidade para a implementação da engenharia simultânea.

Na segunda dimensão, a inovação, observa-se que a complexidade e o dinamismo dos ambientes econômico, tecnológico, social e de regulamentação foram aumentando ao longo dos anos, com destaque para o aumento da diversidade de produtos, maior valorização do atendimento a prazos, maior pressão de custos, maior regulamentação socioambiental, aceleração da taxa de inovação tecnológica, clientes mais exigentes etc. Hooley; Saunders; Piercy (2003) afirma que uma empresa que deseja inovar com sucesso deve atender a três condições: ter proximidade com seus consumidores, comunicação e fluxo de informações entre as funções-chave e grupos de trabalho multifuncionais. Quanto mais a empresa inovar, maior a experiência obtida e melhor será a inovação. Para Cavalcanti (2003) o processo de inovação consiste no desenvolvimento de uma nova tecnologia, ou procura do desenvolvimento de um produto inédito ou milagroso, ou serviço diferenciado que apresenta ótimas perspectivas de aceitação no mercado. O processo de inovação não deve ser centrado no produto e sim em uma visão sistêmica de inovação, de acordo com a funcionalidade subjacente dos seus produtos, assim devem ser estimuladas hierarquias de imaginação, onde a criatividade e a inovação tenham papel essencial. Ao longo do tempo as organizações vêm sendo desafiadas por mudanças de paradigmas. Inicialmente o paradigma era produtividade, após a qualidade,

a informação e atualmente a inovação (TAKAHASHI; TAKAHASHI, 2007). Nesta dimensão, os benefícios potenciais estão relacionados às proposições do aumento da capacidade inovadora da empresa e a redução do custo da inovação.

A terceira e última dimensão é o valor agregado, que vai além do produto em si, ou seja, surgem da cadeia de valores de uma empresa (HOOPER; STEEPLE; WINTERS, 2001). A criação de um diferencial resulta num desempenho superior quando o valor percebido pelo cliente ultrapassar o custo da diferenciação. Deste modo, desde a aquisição de materiais e escolha de fornecedores até as atividades de desenvolvimento de tecnologia que resultam em projetos de produtos com desempenho singular são exemplos de processos que agregam valor ao produto. A escolha de determinados processos podem afetar formas de singularidade como aparência do produto, conformidade com as especificações e confiabilidade (PORTER, 1989, p. 113). Certas atividades, mesmo representando uma pequena percentagem do custo total podem ter grande impacto sobre a diferenciação de um produto frente à concorrência. Se a curva de aprendizagem em uma dada atividade for mais rápida a empresa obterá uma vantagem no custo da diferenciação. Deste modo, a empresa ao avaliar o custo da diferenciação, deverá compará-lo com o custo de ser igual aos concorrentes, pois representará uma vantagem competitiva apenas se o diferencial seja de valor para o cliente (ZHANG; VONDEREMBSE; CAO, 2009). Serão descritos três benefícios potenciais relacionados ao valor agregado pela Prototipagem Rápida: a relação custo/benefício mostrando os ganhos da PR como a redução no número de alterações do projeto, a maior confiabilidade e assertividade do produto e também o aumento da satisfação do cliente.

### 3 Impactos da PR no processo de desenvolvimento de produtos

#### 3.1 O impacto da tecnologia no PDP e a redução do *Time to Market*

A utilização da PR pode eventualmente provocar um aumento dos custos diretos de projeto, contudo a segurança induzida na equipe de projeto pode traduzir-se em ganhos significativos em termos do *time to market*, garantindo assim uma maior agressividade e consequente vantagem competitiva da empresa utilizadora (RUFFO; TUCK; HAGUE, 2007). Os aparentes incrementos no custo final do produto podem traduzir-se em grandes lucros globais. Contudo, quando o tempo é um fator crítico no desenvolvimento do produto, a versatilidade e a rapidez dessa tecnologia tornam-se sua principal vantagem comparativa. Paralelamente, a realização

rápida de protótipos pode constituir um suporte às ações de marketing e mesmo um precioso auxiliar à comercialização dos produtos. Em muitos casos a partir dos protótipos é que se realizam as pré-séries e mesmo as próprias peças definitivas (RADSTOK, 1999).

Apesar das deficiências econômicas e culturais apresentadas nas organizações nacionais para o desenvolvimento de novos produtos, ferramentas de projeto como a prototipagem rápida, podem auxiliar na avaliação e melhorias dos produtos, em sua fase de projeto, possibilitando, por exemplo, antecipar o teste funcional de várias alternativas conceituais de projeto (ATZENI *et al.*, 2010). As empresas tendem a utilizar protótipos rápidos nas fases finais do desenvolvimento. Sendo assim, um erro cometido no conceito do produto pode ser identificado apenas quando todo o projeto detalhado está pronto.

A prototipagem rápida tem uma participação importante no processo de desenvolvimento de produtos, ora como uma forma eficaz de comunicação e auxílio ao processo decisório, ora na antecipação de testes em soluções propostas para o produto. Autores afirmam que são muitos os relatos onde a adoção de técnicas de prototipagem rápida proporcionam reduções em torno 50% no tempo de lançamento de produtos (HOPKINSON; DICKENS, 2001). Assim, o ganho de tempo pode ser empregado tanto para otimização do produto, como para a redução do tempo de lançamento, cabendo à equipe de projeto o estabelecimento de uma alternativa a ser priorizada.

#### 3.2 O impacto da tecnologia no PDP e a engenharia simultânea

O processo de desenvolvimento de produtos cada vez mais segue uma abordagem simultânea, visando o compartilhamento de informações e a antecipação de problemas que possam estar associados ao lançamento de produtos. Desta forma um grande ganho dessa abordagem está na agilidade da comunicação entre as diferentes áreas interessadas ou envolvidas no desenvolvimento do produto, tais como marketing, vendas, *design*, engenharia, etc. Por conseguinte, as representações físicas dos produtos passam a ser fundamentais neste processo, permitindo responder a questões de projeto, funcionando como uma ferramenta de aprendizagem e apoio na tomada de decisões (ULRICH; EPPINGER, 2004).

Os protótipos servem para o compartilhamento de idéias, pois a representação física de um produto é muito mais fácil de ser entendida do que um desenho técnico ou uma descrição verbal. Promovem assim a integração entre os membros de uma organização multicultural e multifuncional no PDP (GUANGCHUN *et al.*, 2004). A integração dentro de uma empresa pode

fazer com que um número maior de atividades constitua fontes de diferenciação de um produto. Nesse contexto a tecnologia de PR quando utilizada como ferramenta de apoio a essa equipe multidisciplinar pode propiciar ganhos significativos, uma vez que os protótipos desempenham um papel-chave para o compartilhamento de idéias nessa equipe, servindo como linguagem comum às áreas e agilizando a tomada de decisões.

Algumas atividades podem ser realizadas mais rapidamente se um protótipo físico for inserido ao PDP (VOLPATO *et al.*, 2007; HOPKINSON; DICKENS, 2001; RADSTOK, 1999). Por exemplo, na etapa de projeto de um molde de injeção, o tempo é reduzido quando um protótipo físico da peça é fornecido à ferramentaria, ao invés de somente enviar-se o seu modelo geométrico do CAD. Na manufatura, os protótipos podem atuar como base para outros processos de fabricação, a exemplo de modelo mestre para fundição em cera perdida ou a vácuo, entre outros (INGOLE *et al.*, 2009). Podem também auxiliar na simulação e aprovação do processo de manufatura, possibilitando a verificação de ferramentas e dispositivos necessários e também no caso de terceirizações, facilitando o entendimento do produto em suas características (RADSTOK, 1999).

### **3.3 A inovação no PDP e o aumento da competitividade**

---

O PDP é um processo de negócio cada vez mais crítico, devido à internacionalização dos mercados, como aumento da diversidade de produtos e a redução do seu ciclo de vida. Sendo assim, novos produtos buscam atender segmentos específicos do mercado, incorporando tecnologias recentes e se adequando a padrões e restrições legais (GUANGCHUN *et al.*, 2004; HAGUE; MANSOUR; SALEH, 2003).

Hooley, Saunders e Piercy (2003) afirmam que uma empresa pode facilitar a geração de idéias inovadoras para produtos novos ao criar um ambiente que induz e facilita a criatividade. O surgimento de novas idéias sugere que certas condições devam ser satisfeitas dentro de uma organização, além de identificar indivíduos criativos dentro da empresa e encorajá-los a fazer uso do seu potencial, ela deve perguntar se existem barreiras para o pensamento criativo e, se houverem, como essas barreiras podem ser ultrapassadas.

### **3.4 A inovação no PDP e a redução de riscos**

---

Produtos que envolvem o uso de novas tecnologias e que possuem alto custo associado a uma falha de projeto representam campo importante para a prototipagem (GRIMM, 2004). Nas fases iniciais do PDP, a procura minuciosa dos problemas ajuda a reduzir os

riscos da inovação, pois o projeto é suficientemente flexível para assimilar alterações com o mínimo de dificuldades. A magnitude do risco aliada à inovação muda com o tipo de produto que está sendo desenvolvido (CHRISTENSEN, 2001). Segundo Baxter (1995), a auditoria do risco de produtos é realizada em duas fases, a primeira estima-se o custo da falha do produto, em termos do impacto sobre os negócios globais da empresa (quanto a empresa poderia ganhar se o produto não tivesse fracassado), quanto maior o risco maior deverá ser a capacidade do desenvolvimento de produto em identificar riscos de sua atividade antes de iniciar seus desenvolvimentos, e a segunda fase é estimar a capacidade de desenvolvimento do produto. As pessoas e os recursos devem ser alocados de acordo com o impacto previsto pela falha do desenvolvimento de produtos.

Os gerentes das empresas devem entender o valor de serem rápidos em inovação, o custo do desenvolvimento, porém, pode ser reduzido se ao invés de produtos novos (inovação radical) optarem pela realização da inovação como incremental, isso também reduz o risco da inovação. De outro lado as empresas devem certificar-se de que têm capacidades para acelerar o processo de desenvolvimento de produtos novos, para assim não desperdiçarem oportunidades por não financiarem programas de inovação mais radicais (longo prazo) em vista da rapidez (HOOLEY; SAUDERS; PIERCY, 2003).

### **3.5 O valor agregado no PDP e a relação custo/benefício**

---

Os custos das avaliações nas fases iniciais do desenvolvimento de novos produtos terão retorno na forma de grandes economias, pois o custo de alterações de projeto é maior quando em estágios mais adiantados. Clark e Fujimoto (1991) afirmam que aproximadamente 85% dos custos finais de um produto são definidos em razão de escolhas feitas durante as fases iniciais do seu desenvolvimento, i.e. fase de projeto preliminar, onde as incertezas com relação ao produto são altas, embora os custos nessa fase representem apenas 5% do total.

O tempo economizado não elaborando protótipos geralmente resulta em prejuízo da qualidade do produto e mais tempo para o seu desenvolvimento. Também há o aumento na confiabilidade das informações que servirão de dados de entradas para as etapas seguintes do PDP (GUANGCHUN *et al.*, 2004; INGOLE *et al.*, 2009). Sob este ponto de vista, é muito mais vantajoso que a identificação dos problemas seja nas fases iniciais do desenvolvimento, como na concepção do produto, por exemplo. Além do aspecto de custo, os produtos serão lançados ao mercado com incremento de qualidade e muito mais cedo. Hopkinson e Dickens (2001)

apresentam um modelo para identificação dos parâmetros de custos em processos de adição de materiais.

À medida que o produto se desenvolve há mais informações e os riscos tendem a diminuir, surge a necessidade de respostas a questões mais específicas, neste estágio pode-se aumentar a sofisticação dos protótipos (BAXTER, 1995). As mudanças em fases posteriores, como na fase de processo e produção, podem implicar em refazer matrizes e ferramentas de elevados custos (INGOLE *et al.*, 2009). Uma boa parte dos potenciais utilizadores dos processos de PR, ou têm relutância em usá-los, ou simplesmente desconhecem a sua existência e/ou suas potencialidades. De fato existe uma diferença substancial entre o verdadeiro custo da tecnologia de PR, a sua implementação e a sua operação (GRIMM, 2004).

### **3.6 O valor agregado no PDP na confiabilidade do produto**

Para Baxter (1995) a chave do sucesso do desenvolvimento do produto consiste em investir mais tempo e talento nas fases iniciais, quando custam pouco. Os projetos que começam com uma boa especificação, discutida e acordada pela equipe envolvida e pela direção tem três vezes mais chances de sucesso do que aqueles em que o acompanhamento das fases iniciais é mal feito ou possui informações vagas. Uma das melhores formas de se detectar pequenos problemas de projetos nos componentes de um produto é ter representações físicas dos mesmos, verificações antes da fase de investimentos em ferramental e outros que, ao serem posteriormente identificadas, resultariam em modificações dispendiosas.

### **3.7 O valor agregado no PDP na satisfação do cliente**

Qualquer produto só possui valor quando o mesmo trouxer alguma forma de satisfação segundo a percepção do cliente final (HOOPER; STEEPLE; WINTERS, 2001; MORGAN; LIKER, 2006). A construção de modelos tridimensionais para realizar pesquisas de mercado permite as empresas uma melhor avaliação da real situação de retorno do investimento a ser realizado no produto. Somente no caso de se obter uma resposta positiva, os recursos financeiros para os recursos de fabricação, e.g. ferramentais, serão alocados. O produto pode estar sendo veiculado em pesquisas e, conseqüentemente, trazendo retornos na forma de encomendas, contratos, etc., antes mesmo de sua fabricação final.

Em testes de usabilidade de estudo ergonômicos que utilizam protótipos, são avaliadas as capacidades que um produto tem de responder às exigências de uso para o qual foi projetado e conseqüentemente, avaliados e/ou modificados (GRIMM, 2004). Os protótipos tem a

função de facilitar o processo de escolha da concepção mais adequada e na avaliação do projeto quanto aos requisitos de forma, estética e ergonomia. Ainda estão incluídas, nesta categoria, as primeiras avaliações quanto ao funcionamento do sistema técnico ou de um componente individual do sistema. As mudanças provenientes deste tipo de teste são facilmente incorporadas ao projeto com incremento insignificante de custo. Sendo assim, a realização de testes durante o processo de projeto contribui para que o produto chegue ao mercado com um desempenho esperado, reduzindo a probabilidade de retrabalhos e prejuízo da imagem da empresa perante seus clientes (ONUH; YUSUF, 1999).

## **4 Metodologia para condução dos estudos de caso**

Estudos na área de desenvolvimento de produto bem como na área de prototipagem rápida não são assuntos recentes. Existe ampla literatura com relatos, pesquisas e propostas de modelo de desenvolvimento de produto onde se inserem as tecnologias de prototipagem. Em geral, as pesquisas realizadas no campo de desenvolvimento de produto têm adotado, com frequência, uma abordagem positivista, utilizando métodos comparativos de estudo de caso (BENBASAT, GOLDSTEIN; MEAD, 1987). Neste contexto, este capítulo destaca o método de pesquisa aplicado na realização desse trabalho, visando alcançar os objetivos previamente estabelecidos. Para tanto, a abordagem de estudos de caso múltiplos foi adotada devido às características fundamentais desta pesquisa como: o estudo do ambiente natural como fonte de dados, a descrição das situações e o conhecimento do pesquisador, aliados à revisão da fundamentação teórica das principais dimensões que fundamentam o modelo de pesquisa (YIN, 2005).

Devido ao caráter desta pesquisa, focada em Desenvolvimento de Produto e Prototipagem Rápida, foi adotada uma visão interpretativa e construtiva (REICH; BENBASAT, 1996). O método de pesquisa utilizado foi qualitativo (estudos de caso), devido à complexidade do ambiente e ao assunto pesquisado. Com isto, buscou-se a interpretação da realidade sob diferentes ângulos, permitindo uma abordagem mais genérica de todo o contexto estudado (KRIPPENDORFF, 1980). O uso de métodos e técnicas qualitativas são amplamente justificáveis em pesquisas desenvolvidas em contexto real onde a prática antecede a teoria (HOPPEN, 1997). Esta foi a realidade deste estudo de natureza exploratória, que teve como principal finalidade compreender o impacto, in loco, da adoção de tecnologia de PR nas empresas a partir de ocorrências práticas.

Para esta pesquisa foram realizados quatro estudos de caso em diferentes segmentos industriais com o objetivo de verificar-se a influência da PR no processo de

desenvolvimento de produtos. Além das dimensões em análise propostas no item 3, espera-se verificar se a inserção da tecnologia de PR possui características semelhantes para segmentos diferentes.

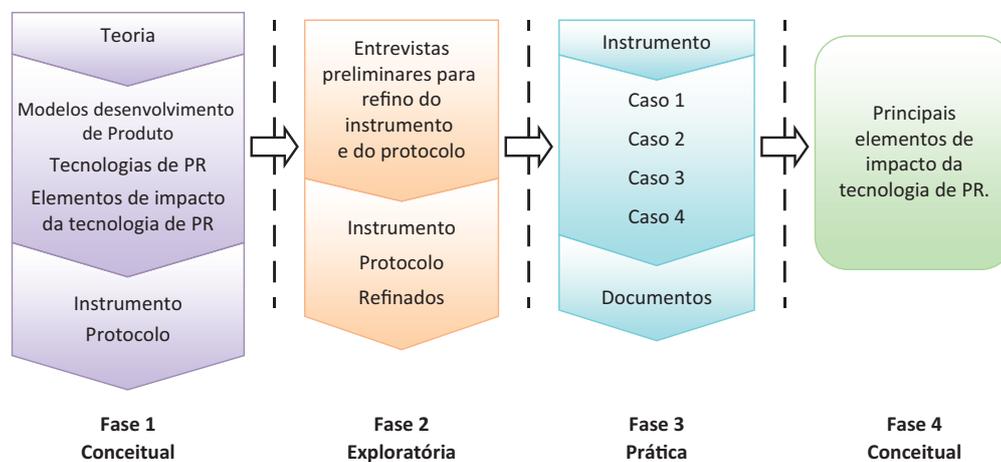
#### 4.1 Desenho de pesquisa

O desenho de pesquisa demonstra os passos e seqüências lógicas que devem ser realizados do início ao fim da pesquisa, os métodos utilizados, as unidades de análise, os critérios de interpretação e o tipo de estudo longitudinal ou de corte transversal (YIN, 2005). O estudo do tipo longitudinal é mais propício para pesquisas que envolvam processos dinâmicos (HOPPEN, 1997). Esta

característica é marcante nesta pesquisa uma vez que procurou-se analisar o impacto da PR como um processo dinâmico e contínuo no processo de desenvolvimento de produto.

O desenho de pesquisa proposto na Figura 1, reflete o caráter interpretativo e construtivo deste estudo, uma vez que serão utilizados, ao longo do processo, os métodos de EC (Estudo de Caso) em várias organizações, compondo um fluxo contínuo de aprendizado durante todo o processo da pesquisa, através do estudo e retratação de uma determinada realidade, confrontando conceitos com a prática (BRYMAN, 1988). Observa-se que o desenho desta pesquisa encontra-se dividido em 4 etapas.

Figura 1 – Desenho da pesquisa



Fonte: Elaborado pelos autores

A etapa 1 se constitui da revisão teórica sobre o foco da pesquisa desenvolvimento de produto e prototipagem rápida, buscando conhecer e identificar os elementos-chave e suas possíveis relações. Ao final desta etapa obteve-se um instrumento e um protocolo de pesquisa. A etapa 2 fez o refinamento do protocolo para aplicá-los aos estudos de caso definitivos. Para validar o instrumento, contou-se com três especialistas que atuam nas áreas pesquisadas. Com o instrumento validado e consolidado, partiu-se para a realização dos estudos de caso. O protocolo permitiu conhecer como o PDP está estruturado nas empresas e como está inserida a tecnologia de PR no contexto do PDP de cada empresa.

Na etapa 3 realizou-se os estudos de caso. Buscou-se aqui observar *in loco* como ocorre o PDP e suas relações com a PR, onde foram observadas as características de cada fase do PDP em cada caso individualmente e, posteriormente, comparados entre si. Desta forma, procedeu-se a análise de documentos (normas, planos, procedimentos, etc.) e dos termos e das práticas empregadas no PDP de cada empresa associadas ao uso da PR visando uma melhor comparação e associação entre os

estudos de caso. Buscou-se conduzir os estudos de caso em paralelo para poder aumentar o nível de percepção das diversas etapas da pesquisa nas diversas empresas onde será realizado o estudo. Utilizou-se como critério realizar as entrevistas com os coordenadores, ou responsáveis, pelo PDP dentro de cada empresa, ou com aqueles responsáveis pela decisão de realizar, ou não, a prototipagem rápida de peças durante o PDP. Desta forma, as entrevistas sempre foram ancoradas em um único respondente, sendo que, eventualmente, outras pessoas eram convidadas, pelos entrevistados, a participar das entrevistas visando uma maior precisão e completude nas respostas para as questões levantadas. Para efeito desse trabalho foram caracterizados apenas os respondentes principais.

Na etapa 4 foram validados os dados obtidos nas empresas individualmente a partir do cruzamento dos dados documentais, das entrevistas e da análise dos especialistas. Para se obter a validação dos resultados foram realizados os seguintes passos: (i) buscando aumentar a compreensão das dimensões de pesquisa por parte dos entrevistados, foi analisado o PDP com base no modelo

de Rozenfeld *et al.* (2006) onde os principais conceitos e referências sobre as fases do PDP e a tecnologia de Prototipagem Rápida foram relacionados; (ii) para reduzir o viés de interpretação do pesquisador, os dados coletados das entrevistas e da análise de documentos, foi utilizada a técnica de análise de conteúdo, uma vez que as entrevistas foram gravadas e transcritas para análise; e (iii) buscando maior validade dos resultados encontrados, os principais elementos relacionados ao DNP e a tecnologia de Prototipagem Rápida foram retornados aos entrevistados chave, para sua confirmação tanto a existência dos elementos estudados como o impacto da tecnologia de Prototipagem Rápida.

#### 4.2 As empresas selecionadas e a unidade de análise

As empresas foram selecionadas por terem processos de desenvolvimento de produto estruturados, certificação ISO 9000, por terem um porte entre médio e grande e serem usuários da tecnologia de prototipagem rápida no PDP. A partir disso foram elencadas as empresas potenciais para o estudo multicaso a partir dos atuais clientes do Laboratório de Prototipagem Rápida da Universidade de Caxias do Sul. A escolha final das empresas baseou-se nos critérios relacionados anteriormente e na disponibilidade das empresas. Cabe ressaltar a dificuldade em se obter as empresas para estudo devido ao caráter estratégico e sigiloso do PDP. As quatro empresas que serviram para os estudos de caso (Cx) são as seguintes:

- C1 - empresa do ramo plástico de médio porte (Caxias do Sul - RS);
- C2 - empresa do ramo de componentes para refrigeração de grande porte (Caxias do Sul - RS);
- C3 - empresa de grande porte fabricante de equipamentos para hospitais (Pelotas - RS), e
- C4 - empresa de grande porte, ramo metalúrgico, especializada em utilidades domésticas em geral (Garibaldi - RS).

O protocolo desta pesquisa foi estruturado em dois blocos principais. O primeiro chamado de procedimentos iniciais apresenta o registro do dia e horário do agendamento da entrevista, o objetivo da pesquisa e o procedimento pelo qual foram coletados e analisados os dados da coleta. O segundo bloco contém as questões em si, porém subdividido em quatro seções: o perfil da empresa (Quadro 1), o perfil do entrevistado (Quadro 2), o modelo de PDP utilizado pela empresa, e a relação da prototipagem rápida com o processo de desenvolvimento de produtos. Com relação ao PDP das empresas foram realizadas questões abertas quanto ao processo em si, suas fases, ferramentas e tecnologias de apoio, setores e pessoal envolvidos, tempo médio de desenvolvimento de produtos, etc. Com relação a PR e sua relação com o PDP as perguntas foram abertas e fechadas (concorda/discorda). Entre as questões levantadas aqui estão tipos de tecnologias de PR utilizadas pela empresa, envolvimento do cliente, orçamentos e custos de PR, ganhos percebidos, tipos de decisões tomadas em função do protótipo, etc.

Quadro 1 – Resumo descritivo das empresas analisadas

Características das Empresas				
Item	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
Tempo de Mercado	18 anos	50 anos	33 anos	100 anos
Faturamento Anual (US)	Não divulgado	~ 50 milhões	~ 35 milhões	~ 170 milhões
Nº Colaboradores	150	1100	600	2000
Mercado de Atuação	Maior Interno / Menor Externo	Maior Interno / Menor Externo	Somente Interno	Interno e Externo

Fonte: Elaborado pelos autores

Quadro 2 – Resumo descritivo dos entrevistados

Características dos Entrevistados				
Característica	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
Cargo	Diretor	Engenheiro	Engenheiro	Projetista
Tempo de empresa	10 anos	7 anos	5 anos	26 anos
Escolaridade	Superior	Superior	Superior	Superior incompleto
Função	Diretor de Projeto e Desenvolvimento	Engenheiro de novos produtos	Engenheiro de novos produtos	Desenvolvimento de novos Produtos
Formação	Designer de Produto	Engenheiro de Materiais	Engenheiro Eletricista	Projetista

Fonte: Elaborado pelos autores

O procedimento para abordagem das empresas escolhidas para o estudo multicaso partiu do envio de um e-mail contendo uma carta de apresentação do pesquisador pela Universidade de Caxias do Sul, onde estavam descritos os objetivos, procedimentos e acordando a confidencialidade das informações repassadas para fins unicamente acadêmicos. Num segundo momento as empresas que interessaram colaborar com a pesquisa retornaram, definindo o agendamento com data, hora e o respondente que mais poderia contribuir com a pesquisa.

A unidade de análise utilizada neste trabalho é a tecnologia de prototipagem rápida. As empresas selecionadas são de porte médio ou grande, com um processo de desenvolvimento de produtos estruturado e com alguma certificação de qualidade que envolvesse o PDP. As empresas selecionadas pertencem a ramos industriais diferentes propositadamente. Isto foi feito com a intenção de se criar um contraste entre diferentes segmentos na busca de novas visões sobre o assunto em análise.

### 4.3 Coleta e análise dos dados

Duas fontes de dados foram utilizadas na pesquisa: uma fonte primária composta por dados de entrevistas e fontes secundárias compostas por documentos das empresas. O uso de diversas fontes de dados foi necessário para permitir uma melhor triangulação entre os dados. Para coleta dos dados primários foram realizadas entrevistas em profundidade. Os dados secundários (pesquisa documental) foram obtidos por meio da análise de documentos de engenharia, projetos em desenvolvimento, procedimentos de desenvolvimento de produto, e-mail trocados contendo assuntos pertinentes a pesquisa, relatórios de marketing e um conjunto de apresentações sobre metodologias de implementação de projetos. Estes dados foram mapeados a partir da análise de conteúdo das entrevistas e da contagem de palavras mais relevantes que emergiram das entrevistas conforme cada variável dos elementos de impacto da tecnologia de prototipagem rápida.

As entrevistas foram anotadas na íntegra, utilizando-se de estruturação das respostas, contendo as principais idéias relativas à cada questão. As anotações foram confrontadas, com os entrevistados no intuito de verificar se houve alguma perda de informação.

O critério de seleção dos entrevistados centrou-se nas dimensões do estudo. O fato de serem assuntos técnicos/estratégicos determinou a população alvo: diretores, gerentes e engenheiros envolvidos no desenvolvimento de produto. O nível de escolaridade de todos é 3o. grau ou superior. O tempo médio das entrevistas foi de duas horas com cada entrevistado.

## 5 Estudos de caso – resultados

Esta seção contém a descrição dos quatro estudos de caso realizados no intuito de estudar a influência da tecnologia de Prototipagem Rápida no processo de desenvolvimento de produto. As análises e os resultados foram obtidos a partir dos dados provenientes das transcrições das entrevistas realizadas com as pessoas indicadas por cada uma das organizações, dos questionamentos extras, documentos e materiais enviados por e-mail a partir das demandas por detalhes que não foram vistos durante as entrevistas e da visão de análise interpretativa gradual do pesquisador.

Para cada estudo de caso, seguindo a estrutura do Protocolo da Pesquisa, inicialmente foi descrito o perfil da empresa, após o perfil do entrevistado. Como se faz necessário o entendimento do fluxo de desenvolvimento de produtos, será detalhado a partir das respostas do bloco de questões que tratam do PDP, qual é a visão da empresa quanto à importância da prototipagem, em que fases do processo de desenvolvimento de produto ela é utilizada, quais são os processos de prototipagem que costuma utilizar, como e por quem são avaliados os protótipos, que dificuldades existem atualmente no PDP da empresa e quais soluções são utilizadas para diminuir o impacto negativo destas dificuldades.

### 5.1 Estudo de Caso 1 (C1)

Esta empresa pertence ao ramo de indústrias do setor plástico e tem como mercado de atuação o segmento de utilidades domésticas em geral, artigos para decoração para cozinha, quarto, banheiro, salas. A empresa do C1 iniciou suas atividades em 1993 produzindo artigos como solados para tênis, componentes para máquinas para diversas empresas da região. Após três anos iniciou a produção de artigos plásticos para uso doméstico. Há oito anos começou também a exportar e atualmente já está presente em diversos países das Américas e da Europa. Hoje dispõe de mais de 300 itens diferentes distribuídos por todo o território nacional por meio de representantes credenciados.

Dentre os produtos fabricados estão jarras, copos, peças para decoração, escorredores, lixeiras, etc. O público alvo de seus produtos são as Classes B e C, porém a empresa não vende seus produtos diretamente para o consumidor final e sim trabalha com redes de lojas e supermercados através de representantes. A empresa busca ser referência nacional no mercado de utilidades, pela inovação e design exclusivo. O mercado onde a empresa está inserida caracteriza-se por produtos com vida relativamente curta, concorrência intensa e desenvolvimentos em curto espaço de tempo.

A empresa do C1, por meio do Diretor, destaca a importância que tem o PDP para o negócio: “é uma questão de sobrevivência de uma empresa conseguir continuamente lançar produtos inovadores com design diferenciado da concorrência”. A empresa é de vanguarda, tendo como objetivo diferenciar-se dos produtos oferecidos pelo mercado, assim os lançamentos acontecem em duas feiras anuais, uma em março e outra em agosto, onde cerca de 8 a 10 produtos são apresentados como novidade em cada uma delas. A empresa tem como meta desenvolver e lançar a cada ano um produto com conceito totalmente inovador.

No fluxo de atividades do PDP descreve que é a responsabilidade de iniciar um novo desenvolvimento parte da área comercial, de propostas das empresas de design contratadas, do comitê de desenvolvimento com propostas vindas de visitas em feiras e eventos e ouvindo solicitações dos clientes. A direção aprovando definirá se o projeto será desenvolvido por terceiros ou ficará na própria empresa. É elaborado um briefing do produto para orientar o desenvolvimento do produto e a primeira análise do custo do produto e dos investimentos necessários.

Nas reuniões semanais com as empresas de design, individualmente, são apresentados os projetos para a direção, sendo sugeridos melhorias ou ajustes conforme a avaliação crítica que é realizada. O projeto do produto nesta fase já pode ser descartado se a direção decidir que não convém efetuar ajustes ou melhorias para torná-lo viável. No final destas correções, podendo haver mais de uma versão para o produto ou não, é iniciada a fase de prototipagem, cabendo análise do gerente de desenvolvimento sobre o processo e requisitos do produto que precisam ser avaliados com um modelo 3D físico.

Em caso que a prototipagem não seja viável ou possível, o projeto pode seguir para a fase seguinte, porém normalmente o recurso de prototipar é utilizado. Após o protótipo estar pronto é apresentado ao comitê de desenvolvimento e/ou direção para avaliação, podem ser sugeridas melhorias ou ajustes. Nesta aprovação restará apenas uma versão do produto, que irá para a pesquisa de mercado e do retorno será avaliado se o produto será lançado efetivamente. Ainda nesta fase podem ser sugeridos ajustes e melhorias. Se for aprovado irá iniciar a fase de produção dos moldes (empresa terceirizada). Após é desenvolvida a parte gráfica para o lançamento (embalagem, manuais, materiais para vendas, etc.).

O tempo médio de desenvolvimento de um produto é de 3 meses, necessitando em média de mais 3 meses até o início da produção do primeiro lote, tempo necessário para produção em outra empresa dos moldes e para a compra dos materiais para a fabricação.

No relato do entrevistado foi ressaltado que a “fase de aprovação entre primeira proposta e início da prototipagem necessita de muito empenho, tanto da empresa quanto dos escritórios de design” sendo que este é o maior empecilho do desenvolvimento de um novo produto já que existe a “necessidade de ajustes na fase de aprovação do produto, antes da prototipagem”.

## 5.2 Estudo de Caso 2 (C2)

A empresa do C2 atua no segmento de controles eletromecânicos e eletrônicos, IOM (sistemas de automação) e controles para ferrovias (rail), possuindo em uma de suas divisões quatro plantas fabris instaladas no país, em Caxias do Sul são duas unidades, uma para controles eletromecânicos e outra para eletrônicos. Em Vacaria há uma unidade que produz tubulações e em Manaus outra de controles eletromecânicos. Para o estudo de caso a unidade que serviu de fonte de dados foi a de controles eletromecânicos, que possui maior tempo de atividades no país.

O foco da área de desenvolvimento de produtos da empresa do C2 está na criação de produtos “totalmente inovadores e projetos de produtos tradicionais agregando inovações”. O entrevistado ressalta que “como os produtos são vendidos em quantidades enormes a etapa de desenvolvimento é fundamental para a empresa, especialmente para garantia dos requisitos de projetos solicitados pelos clientes, atendimento do custo objetivo e testes”.

Atualmente a entrada de novos projetos tem duas vias: a primeira são os chamados projetos globais desenvolvidos com representantes de diversas unidades, e projetos solicitados pelos clientes, normalmente são produtos já existentes no mercado com algum requisito especial.

Na empresa do C2 possui um modelo de desenvolvimento de produtos chamado *Phased Development Product* (PDP). Neste modelo, a primeira fase consiste na criação do termo de abertura. Na segunda fase é realizado um planejamento inicial do desenvolvimento do produto, seguido pela terceira fase onde são realizados protótipos e testes e finalmente a quarta fase onde ocorre a validação do produto. O lançamento faz parte da quinta fase, onde ocorre o início da produção do produto e é feito um acompanhamento do produto no mercado, registradas as lições aprendidas com o projeto.

Foi relatado que “na maioria dos nossos produtos são feitas prototipagens, algumas vezes apenas visual e outras vezes funcional”. Normalmente as peças recebem um código de peça em desenvolvimento e são registradas através de fotos e/ou relatórios de testes, quando forem protótipos funcionais.

### 5.3 Estudo de Caso 3 (C3)

---

A empresa do C3 diferencia-se das demais por situa-se fora da região da serra gaúcha. A empresa do C3 atua no ramo médico-hospitalar, definindo como seu negócio o desenvolvimento, produção e comercialização de produtos e serviços de excelência e a custos acessíveis, para a melhoria da saúde do ser humano. Possui atualmente cerca de 600 funcionários trabalhando em sua planta fabril de Pelotas, que por sua vez produz 100% dos produtos para o mercado nacional.

Foi destacado pelo entrevistado da empresa do C3 que o perfil da empresa é melhorar os produtos existentes no mercado, não criando novos conceitos de equipamentos no segmento de atuação, baseados no plano estratégico, a engenharia propõe o desenvolvimento de novos produtos e aperfeiçoamento dos já existentes em sua linha de produtos.

O PDP seguindo as exigências da ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) é formalizado, com procedimentos bem definidos junto ao sistema de qualidade da empresa, que por sua vez busca “padronizar e otimizar o lançamento de novos produtos”, conforme afirma o entrevistado. Além da etapa de planejamento e controle de projetos o entrevistado participa do “desenvolvimento dos produtos determinado a contratação de empresas de prototipagem e acompanhando a fabricação dos componentes”, as suas atividades são reportadas ao gerente de novos produtos e este reporta ao diretor industrial da empresa.

As tecnologias que são utilizadas para o desenvolvimento dos produtos são microcontroladores (eletrônica embarcada) e softwares CAD 3D, além destas a empresa faz uso de ferramentas da qualidade como o FMEA e da árvore de falhas.

Nas etapas do PDP engenharia de novos produtos mantém constante relação com outros departamentos da empresa, por exemplo: produção, engenharia, qualidade, marketing e compras. Atualmente o desenvolvimento de um novo produto leva em média quatro anos desde o início até o lançamento no primeiro produto no mercado. Na visão do entrevistado o “atraso nos serviços terceirizados, demora em importações, alterações de escopo constantes” são os problemas que acontecem durante o PDP da empresa, todas estas situações são tratadas conforme o sistema da qualidade da empresa, que por sua vez encaminha aos responsáveis a necessidade de melhorarem o desempenho dos seus processos.

### 5.4 Estudo de Caso 4 (C4)

---

A empresa do C4 é destacada a de maior porte das demais citadas anteriormente, ela atua em diversos

segmentos, possuindo uma linha de produtos em torno de 17 mil itens. Atualmente está presente em mais de 120 países, através dos seus representantes e lojas exclusivas, toda esta pujança exigiu da empresa uma busca contínua na melhoria de seus padrões de qualidade, tanto nos produtos quanto nos serviços.

No decorrer da entrevista na empresa do C4 foi destacada a importância do departamento de engenharia para a organização, nas palavras “é o centro das informações da empresa, todos os setores dependem da engenharia”. O entrevistado destaca que todas as decisões de alteração de um produto dependem do seguimento de procedimentos que passam pela análise do departamento.

A empresa possui uma política de estar “à frente dos concorrentes, lançando produtos diferenciados”, porém na prática a empresa trabalha com estratégias diferentes de acordo com o mercado que atua. Desta forma, a direção participa ativamente do desenvolvimento de um novo produto, na avaliação do protótipo, aprovação do lote piloto e por fim na aprovação do produto que definirá o lançamento no mercado.

Foram apresentadas algumas dificuldades comuns que ocorrem durante o PDP, como a definição do “*design*” de um novo produto, onde surge o dilema de “tentar contentar a todos”, já que a proposta do produto é apresentada para diversos departamentos ao mesmo tempo e deverá possuir todos os argumentos de que vale a pena continuar o seu desenvolvimento.

## 6 Discussão e análise dos resultados

---

### 6.1 Análise do perfil das empresas e dos entrevistados

---

Cada uma das empresas foi escolhida a partir de uma classificação de requisitos e prioridades. As empresas C1 e C4 são produtoras de utilidades domésticas, onde o design do produto é muito mais relevante do que nas empresas dos C2 e C3. Esta característica permitiu analisar como a criação do produto vem sendo influenciada pela PR. As duas empresas têm pessoas que atuam como designer de produto, apesar de existir uma área que analisa a viabilidade de fabricação e comercialização do novo desenvolvimento.

Isso foi destacado na empresa do C1 como o maior empecilho do PDP, sendo exatamente este o ganho potencial da PR quando se trata de apresentar fisicamente o produto, seja ele mais complexo ou não. Neste sentido, tanto a empresa C1 como a empresa C4, apesar de serem criteriosas na decisão de usar a PR, ainda assim confirmam que o investimento trouxe o retorno que se esperava, facilitando a tomada de decisão e

permitindo desenvolver um produto que atendesse às necessidades do mercado.

Os produtos das empresas do C2 e C3 não têm um apelo visual e ergonômico como nas empresas citadas acima. Esta característica faz com que a PR se destaque por outros motivos ligados ao grau de complexidade das peças. Nesses casos o objetivo permite que o projetista compreenda melhor o uso dos protótipos “complexos” para o estudo do ferramental devido aos detalhes construtivos que envolvam a entrada de material para o preenchimento, a extração da peça dos moldes, etc. Nestas duas empresas há casos que o protótipo físico necessita ser funcional. Desta forma, foram destacadas então as limitações atualmente existentes nas matérias primas que as tecnologias de PR oferecem. Na empresa do C2 existem casos que as espessuras de parede quando o projeto exige que sejam feitos testes mecânicos, o modelo para a geração do arquivo STL necessita ser especial, ou seja, as espessuras e detalhes são reforçados ou eliminados, e após a confecção do protótipo é necessário um retrabalho ou desconsiderada alguma funcionalidade da peça, por exemplo, um encaixe de montagem.

O tempo de utilização da PR nas empresas do C1 e C2 gira em torno de sete anos, o que permitiu maior segurança aos entrevistados afirmarem ou rejeitarem cada proposição, a partir da percepção do que a PR tem oferecido de benefícios para a empresa. Porém nas empresas do C3 e C4, onde o tempo de uso da tecnologia não passa de três anos, existem desafios e paradigmas que precisam ser encarados, especialmente para fins de testes do produto, quando precisa ser certificado.

Os entrevistados têm um papel muito importante para o sucesso da utilização da PR nas empresas, bem como para difundir nas outras áreas e para a direção da empresa qual é o potencial desta tecnologia.

Fica destacado na empresa do C1 que o entrevistado foi um diretor, que tão logo tomou conhecimento da PR partiu para testes mesmo sendo necessário encomendar peças em outros estados, já que não existiam outras opções para sua necessidade. A formação de designer de produto o coloca numa posição onde são perceptíveis as necessidades comerciais e de fabricação, ou seja, tendo o protótipo “na mão” não há maneira mais segura de afirmar que o produto precisa de modificações para adequar ao processo de fabricação ou para atender a um conceito de produto que siga uma linha dos produtos.

Nas empresas dos C2 e C3, os engenheiros que foram entrevistados reportam suas decisões para seus gerentes ou coordenadores, sendo a PR uma ferramenta que dá maior segurança para o projeto, seja por possibilitar a correção de erros seja pela agilidade de fabricação frente ao processo de usinagem. Caso o orçamento não

ultrapasse os recursos do projeto não há grandes restrições para utilizar a PR no PDP.

Já na empresa do C4, mesmo tendo o entrevistado buscado esta tecnologia para melhorar o tempo de fabricação dos protótipos, a aprovação de um orçamento para a fabricação de protótipos passará sempre pela direção. Percebe-se que o papel do seu coordenador não tem influência nesta decisão e que devido à empresa possuir um departamento que sempre absorveu a produção de protótipos, ainda levará algum tempo para que os benefícios da prototipagem rápida estejam claros para todos.

## 6.2 Análise da influência da PR em cada caso estudado

---

A partir das análises desenvolvidas baseadas nas entrevistas foi possível encontrar as convergências e divergências dos dados das empresas estudadas. Estas próximas seções pretendem apresentar as conclusões ou novas proposições e, além disso, mostrar quais foram os aspectos que precisam de aprofundamento ou que as evidências não foram suficientemente coerentes para que se chegasse à confirmação das proposições iniciais.

### 6.2.1 Análise da dimensão impacto na tecnologia no PDP

---

A primeira dimensão propõe duas afirmações, baseadas no referencial bibliográfico, que são: a PR reduz o *time-to-market* dos produtos, e a PR facilita a engenharia simultânea. As evidências em quase todas as empresas, a partir das entrevistas realizadas convergem para a confirmação desta proposição (Quadro 3). Em estudos foi percebido que mediante a análise de qual tecnologia seria usada para a prototipagem, a PR proporcionou a redução do tempo de desenvolvimento considerável, não apenas pela redução do tempo de prototipagem, já que o tempo médio relatado foi de uma semana a dez dias, mas pela redução no tempo que era despendido no retrabalho, seja do próprio projeto ou dos ferramentais (GRIMM, 2004). Com o grande salto tecnológico no final do último século, observa-se que o fator decisivo para estar em vantagem competitiva será cada vez mais a velocidade com que se passa do conceito virtual até o produto final (CLARK; FUJIMOTO, 2001).

Na análise da PR frente aos processos convencionais, quando a empresa não possui departamento interno para a fabricação de seus protótipos, não foi relatado que a PR tenha um tempo superior a outros processos. No entanto, na empresa do C1 o entrevistado afirma que alguns anos atrás o número de empresas que disponibilizavam serviços de PR era muito menor que atualmente. Isso fazia com que o tempo de transporte das peças contribuísse elevar bastante o prazo de entrega, essa dificuldade não existe mais.

O caso de maior destaque é a empresa do C3, provavelmente devido ao tempo de desenvolvimento e a complexidade diferenciarem das demais três empresas, o ganho proporcionado devido ao uso da PR foi também o mais impactante. O entrevistado afirma que se pode chegar a uma redução de 20 a 30% no tempo total, isso pode representar quase um ano no tempo médio de um projeto. O destaque desta redução está no fato de reduzir os retrabalhos em moldes, devido à possibilidade de ter protótipos mais perfeitos que os modelos usados até então, baseados na usinagem.

Quadro 3 – Influência da PR na Redução do *Time to Market* e Facilidade na Engenharia Simultânea

CASO	Redução do <i>time-to-market</i>	Facilita a Engenharia Simultânea
C1	verificar mais rápido; visualizar o produto antes; validar detalhes; lançar num tempo inferior; uma semana (lead time)	decisões tomadas nestas reuniões
C2	reduzindo o tempo nas fases iniciais; iniciar a produção antes; velocidade de entrega	outros departamentos além da Engenharia
C3	são lançadas mais produtos; redução de tempo na fabricação; produto é lançado mais rapidamente	maior facilidade para detectar melhorias; importantes para todos os setores; engenharia de confiabilidade utiliza para testes
C4	permitindo lançar um produto antes	direção da empresa juntamente com vendas internas e exportação

Fonte: Elaborado pelos autores

Os ganhos de tempo de desenvolvimento parecem ser maiores quanto mais cedo a empresa decide por prototipar, isso fica evidente na empresa do C2, que mesmo possuindo componentes relativamente pequenos, onde não tem relevância a questão visual do produto, a decisão de seguir como uma idéia dependente da aprovação do cliente a partir de uma maquete não-funcional. Se esta decisão for tomada rapidamente, a empresa toma as providências e atua com segurança quanto ao dimensional do produto que o cliente precisa. No C2 os produtos são sob medida, o que o diferencia das demais empresas.

Estas evidências corroboram com a teoria utilizada neste trabalho, deixando também pistas de como pode ser melhor explorado pelas empresas que possuam dúvidas quanto ao resultado no final do desenvolvimento de um novo produto. Porém, o tipo de produto e ramo de atuação da empresa entram na análise do tipo de tecnologia de PR a ser utilizada (DIMITROV; SCHREVE; BEER, 2006; EVANS; CAMPBELL, 2003). Não é possível afirmar qual das tecnologias oferece melhor resultado em todos os casos, bem como há um limite de disponibilidade de toda a gama de tecnologias de PR no país.

A segunda proposição descreve que a PR facilita a engenharia simultânea. Na análise das entrevistas apareceu o relato que nas quatro empresas a tomada de decisões

em algum momento passa pela análise de uma equipe multidisciplinar que abrange todos os interessados no PDP. Devido também ao fato da escolha das empresas ter partido da premissa que seria necessário a mesma dispor de um PDP estruturado ficou pré-configurado que as decisões ao longo desse processo precisavam de aval formalizado. Coube então ao pesquisador validar quais eram esses interessados e qual é o diferencial que a PR apresenta frente aos protótipos convencionais.

De fato as reuniões onde os protótipos são apresentados envolvem um grande número de departamentos. Com relação a esta evidência há o relato da empresa do C1, que contrata duas empresas como parceiras de desenvolvimento, onde semanalmente existem reuniões onde são apresentados e validados ajustes nos modelos, em muitos casos protótipos físicos. Além disso, empresas que são contratadas confecção de moldes, fornecimento de embalagens, representantes, consumidores e distribuidores podem participar do desenvolvimento dos produtos. Ao analisar o protótipo, a equipe de desenvolvimento está munida de informações para dar seguimento ao projeto, bem como o planejamento das atividades paralelas podem ser iniciadas, como por exemplo, a produção de uma embalagem, um catálogo com o novo produto, o estudo de testes de certificação de um produto, a compra de matéria prima, a contratação de serviços de usinagem de moldes, etc.

Porém o destaque está na empresa do C3, onde o protótipo rápido para algumas peças passou a ser possível somente com a utilização da PR. Desta forma, testes do protótipo puderam acontecer com o produto inteiro, garantindo maior confiabilidade no produto e corrigindo falhas com mais rapidez, o que permitiu ganhos de escala até o lançamento do produto no mercado. Desta afirmação, observa-se que a PR consegue aproximar os departamentos de uma empresa e seus parceiros (fornecedores e representantes) em vista de tomarem decisões corretas no tempo certo. Essas decisões disparam etapas do desenvolvimento que permitem a cada um atuar paralelamente, em algumas fases do projeto, reduzindo os vieses de informações entre os departamentos e permitindo o lançamento de um produto num tempo menor.

### 6.2.2 Análise da dimensão inovação no PDP

A partir das evidências das empresas notou-se em três das quatro estudadas que a PR não é uma ferramenta que está no planejamento inicial do projeto, ou seja, depende de uma série de fatores que pode desencadear ou não na escolha da decisão pelo uso desta tecnologia (Quadro 4). A criação dos produtos nestas empresas não considera o meio que pode ser utilizado para visualizar o produto nas fases posteriores, porém no decorrer dos projetos concluídos foi percebido que novas soluções

estão sendo possíveis a partir do uso da PR, como por exemplo, sistemas de encaixes e detalhes mais complexos.

No caso da empresa do C3, que define no início do projeto um valor monetário para investimentos em PR, os resultados estão surpreendendo em termos de redução do tempo de desenvolvimento e na melhoria da qualidade dos projetos. O destaque na proposição inovação do produto, comparado com os demais casos, aponta para o C3, pois se não fosse o uso da PR algumas soluções e funcionalidades não seriam possíveis, como o entrevistado afirma, em certos tipos de peças não havia meios de prototipar, exceto produzindo moldes piloto e injetando as peças para testar.

Nas empresas dos C1, C2 e C4 foi afirmado que a concepção de uma idéia permanecerá sob responsabilidade de designer e da equipe de desenvolvimento. No entanto, é a partir da materialização dessas idéias que é possível avaliar se o produto é viável de ser fabricado e comercializado, em resumo, depende de quanto o modelo virtual se aproxima a idéia, pois torná-lo real não é mais uma restrição. Quanto mais soluções são encontradas na fase de prototipagem menor é o risco de o produto ter alterações nos estágios posteriores, e, além disso, menores serão os retrabalhos e a possibilidade de ocorrerem erros nos ferramentais.

O fato de algumas empresas usarem o protótipo para validar o conceito com as áreas comerciais também corrobora com a proposição acerca da redução do risco da inovação dos produtos. Na visão das empresas ficou claro que a perfeição dos protótipos pode criar um impacto nos clientes como se o próprio produto estivesse sendo apresentado. Nas empresas dos C1, C2 e C4 o uso dos protótipos vem permitindo melhorar o conceito do produto, conforme o relato nas entrevistas. A função do protótipo nesses casos não é o teste funcional, justificado também pelas restrições dos materiais atualmente disponíveis, mas de validação do conceito, ou seja, melhorar e/ou adequar uma idéia à necessidade comercial e de fabricação de um novo produto. O caso C3 não teve este destaque nas evidências que foram coletadas, pois, a função prioritária do protótipo é melhorar o projeto de algumas peças para que o molde seja confeccionado corretamente, evitando que após a produção das primeiras peças exista a necessidade de mudar o molde devido a erros nas fases anteriores.

Fica claro também que os processos que as empresas sempre utilizaram para criarem seus protótipos irão continuar sendo alternativas para muitas situações, especialmente para peças de menor grau de complexidade ou onde a precisão e acabamento não tenham tanto impacto na tomada da decisão. Na empresa do C1 foi reforçado que usar a PR é a última validação antes da aprovação do produto, podendo obviamente surgir

novos ajustes e novos protótipos, porém, neste estágio o projeto já teve outras avaliações críticas, seja através de maquetes ou mesmo a análise do modelo virtual.

Quadro 4 – Influência da PR na Inovação de Produtos e Redução de Riscos de Inovação

CASOS	Facilita inovações em produtos	Reduz o risco da inovação
C1	verificações de mecanismos	perceber melhor; manusear um modelo; confiança de que o produto irá vender bem
C2	ergonomia e usabilidade	planejar o processo; primeira fase de desenvolvimento; auxilia no início do projeto; avaliar o dimensional, manusear a peça e montar
C3	criadas algumas funcionalidades mecânicas de maior complexidade	detectar erros de conceituais; com certeza
C4	ser mais flexível	sentir e tocar o produto; prever defeitos onde possam ter problema no uso

Fonte: Elaborado pelos autores

### 6.2.3 Análise da dimensão valor agregado no PDP

A representação física de uma peça ou montagem através da PR também está relacionada ao valor agregado. As proposições descreveram que existe uma relação custo/benefício favorável à PR, além do aumento da confiabilidade do projeto e do aumento da satisfação do cliente. A análise em conjunto dos casos permitiu entender o modo que as empresas avaliam o custo/benefício da PR, que critérios são usados para escolher por esta tecnologia e quais têm maior relevância. De modo geral estes critérios foram comuns em todas as empresas (Quadro 5).

Durante o PDP há um momento onde uma pergunta se faz crucial: a PR pode nos auxiliar neste produto? Este momento é que iniciam as análises dos recursos disponíveis na empresa, o tempo que levaria usando máquinas e matérias primas disponíveis, se o grau de complexidade é compatível com a experiência e o ferramental existente, e, em paralelo é orçado a compra do protótipo rápido, em certas empresas ainda semi-pronto. A escolha de determinados processos podem afetar formas de singularidade como aparência do produto, conformidade com as especificações e confiabilidade (PORTER, 1989, p. 113).

Em todos os casos ainda ficou claro que o custo da prototipagem rápida reduziu nos últimos anos, mas ainda não chegou num nível em que qualquer tipo de peça seja viável utilizar desta tecnologia. Num dos relatos, a partir do C2, os melhores ganhos foram quando as peças eram muito complexas e pequenas. Já na empresa do C3, a maior restrição está nos testes específicos que os protótipos precisam ser submetidos, por se tratarem de equipamentos hospitalares. A escolha pela usinagem em

ABS é uma precaução “pois não sabemos o resultado do teste de ESD em peças prototipadas em impressão 3D”.

Na empresa do C3 foram ainda relatados excelentes ganhos de tempo no desenvolvimento. Este fato pode estar relacionado ao alto investimento em PR que a empresa vem fazendo, que se for comparado com os investimentos das empresas do C1 e C2, o valor investido é dez vezes maior ao longo de um ano e cinco vezes maior que o investido pela empresa do C4.

O resultado do uso da prototipagem rápida após a seleção dos produtos que deveriam usar esta tecnologia foi satisfatório especialmente nas empresas dos casos C2 e C3, as únicas restrições foram a impossibilidade de produzir em mais de um cor e que as propriedades mecânicas do material usado não oferece condições para alguns testes.

A segunda proposição apresentada nesta dimensão afirma ganhos na confiabilidade do projeto se a PR for utilizada no DNP e a partir dos relatos dos entrevistados houve algumas convergências nas empresas dos casos C1, C2 e C4 no sentido de corroborar a proposição. O desempenho de um novo produto pode ser mensurado em relação ao processo interno pela qualidade do produto final e pelo *time-to-market*, a velocidade do processo pode ser especialmente interessante, ou seja, a redução do tempo proveniente do aprendizado a partir dos acertos e dos erros durante todo o PNP (BOEHE *et al.*, 2009).

Quadro 5 – Influência da PR na Relação Custo/Benefícios, Confiabilidade e Satisfação do Cliente

CASO	Relação custo/benefício	Confiabilidade	Satisfação do cliente
C1	melhores resultados; de outras maneiras não seria possível	validar detalhes mais complexos, detalhes pequenos e delicados; manipulá-lo	cliente estratégicos podem contribuir na co-criação; entender; virtualmente seria mais difícil; apelo visual
C2	não necessitar desenvolver matrizes; um processo mais barato em certos casos	complexidade da peça; validar se o projeto atende; erros são percebidos e corrigidos; detalhes que não foram lembrados	validação do escopo conceitual; não são aceitas por diversos clientes
C3	dois produtos a mais ao ano; problemas de projeto e processo são detectados mais rapidamente; reduzir os custos de alterações	reduzir o número de alterações; redução de retrabalhos	análise do design pelo cliente e testes funcionais; (a direção) fica mais tranquila na fase de liberar os altos investimentos
C4	compensa	a peça fica mais real, precisa, conforme o projeto; é possível pegar falhas de projeto antes de produzir o ferramental	área comercial opina; coleta de sugestões dos representantes e de alguns clientes

Fonte: Elaborado pelos autores

Mesmo no caso da maioria das empresas onde o protótipo rápido não é tido como funcional, por não oferecer as propriedades mecânicas desejadas, são possíveis algumas simulações que contribuam decisivamente na qualidade do projeto nas fases que posteriores. Na empresa do C2 chamou a atenção o relato feito de que “*prevendo que o protótipo rápido não consiga garantir as propriedades mecânicas do material real*” o modelo virtual pode ser modificado a fim de melhorar o desempenho do protótipo durante algum teste. Foi citado como exemplo, o aumento da espessura de uma peça, ou omissão de alguns furos, buscando garantir a funcionalidade ou se aproximar do resultado desejado.

Nas empresas dos C1 e C2 que utilizam moldes para injeção, foi consenso a redução de retrabalhos e o ganho de tempo na elaboração dos ferramentais, incluindo o tempo de projeto. Além de o protótipo permitir a análise mais criteriosa, especialmente em certos tipos de peças mais complexas que não haveria outra maneira de prototipar, e considerando que uma análise do modelo virtual deixa margem para interpretações conforme o grau de conhecimento em injeção de peças, torna-se este o melhor exemplo de ganho de qualidade no projeto ao ser optado pelo uso da PR.

Mais uma vez o fato do modelo 3D virtual e o físico apresentarem a mesma identidade, faz com que a PR supere as “improvisações” que muitas vezes são necessárias, frente aos recursos disponíveis para a produção dos protótipos convencionais. É muito difícil que um detalhe impossibilite um protótipo ser produzido pela PR. Logicamente, isso depende da escolha da tecnologia que beneficie o tipo de produto e do processo de conversão do arquivo 3D para o equipamento.

Também é destacado que a qualidade oferecida pela tecnologia de PR permite uma melhor apresentação do protótipo ao cliente, nos casos que a empresa julga necessária esta exposição. Não obstante, a utilização dos protótipos rápidos em feiras e convenções com representantes já vem sendo comum há algum tempo, e quase sempre passando despercebido, já que quem analisa o protótipo trata-o como se fosse um produto final.

As restrições da matéria prima de algumas tecnologias de PR são rejeitadas por alguns clientes, como os da empresa do C2, que exigem protótipos funcionais para validarem o produto. Os casos C1, C3 e C4 demonstraram por meio das entrevistas que a PR tem resultado em ganhos para a empresa também porque permitem que o cliente (interno e externo) compreenda melhor o produto, e quando até contribua com o desenvolvimento.

Os clientes internos são influenciados pela qualidade de um protótipo rápido, como já descrito na proposição acerca da engenharia simultânea, para quem não

tem domínio da leitura de desenhos seja 2D ou 3D. Tal tipo de protótipo rápido traz segurança e clareza sobre que tipo de produto está sendo desenvolvido afinal. Em contrapartida as críticas são mais construtivas quando se está enxergando o protótipo e não uma maquete, o produto torna-se um desenvolvimento da empresa como um todo e não de um departamento isolado.

Os parceiros, como fornecedores e terceiros necessitam muitas vezes entender tanto quando a empresa dos detalhes de um novo produto, por exemplo, na confecção de um molde. O grau de complexidade de uma peça aumenta a margem de erro no projeto, porém a PR tem sido útil ao traduzir num modelo físico todos os detalhes do modelo virtual, facilitando o entendimento sobre os pontos críticos da peça.

O Quadro 6 apresenta um resumo com as dimensões de análise, proposições e os principais resultados encontrados. É apresentada uma comparação geral dos dados apresentados anteriormente, onde as dimensões e suas proposições são assinaladas (X) em cada um dos casos onde foram mais percebidas. Nesse caso observa-se que as proposições Time-to-Market, Redução de Risco da Inovação, Aumento da Confiabilidade e o aumento da Satisfação do Cliente foram as que mais se destacaram nos quatro casos estudados. Fica também evidenciado que a empresa C3 foi quem manifestou a percepção de maiores ganhos com a aplicação da PR no seu processo de desenvolvimento de produtos. Empresas como a C1 e C4, que lidam com produtos percebidos diretamente pelo cliente final, deram maior ênfase a aspectos relacionados com a redução do risco de inovação, aumento da confiabilidade do produto e logicamente a satisfação do cliente final. Fica também evidenciado que a empresa C3 foi quem manifestou a percepção de maiores ganhos com a aplicação da PR no seu processo de desenvolvimento de produtos.

Quadro 6 – Quadro resumo dos casos estudados

Dimensões	Proposições	Resultados			
		C1	C2	C3	C4
Impacto da tecnologia de PR	Redução do <i>time-to-market</i>	X	X	X	
	Facilita a Engenharia Simultânea			X	
Inovação dos produtos	Facilita inovações em produtos			X	
	Reduz o risco da inovação	X	X		X
Valor agregado ao PDP	Rel. custo/benefício favorável		X	X	
	Aumenta confiabilidade	X	X		X
	Aumenta satisfação do cliente	X		X	X

Fonte: Elaborado pelos autores

## 7 Conclusões

Este trabalho apresentou, dentro de uma abordagem de estudo de caso múltiplos, uma a percepção sobre a influência que a tecnologia de PR exerce no PDP das

empresas. Três dimensões decompostas em sete proposições foram definidas para o desenvolvimento do estudo, que foi realizado em quatro empresas que utilizam a tecnologia de PR como forma de apoio aos seus PDP. O trabalho foi realizado utilizando-se a metodologia de estudo de caso múltiplo a partir de entrevistas abertas individuais em profundidade, com uma abordagem semi-estruturada, mediante a aplicação de um Roteiro Básico de questões.

O estudo evidenciou que o ramo de mercado da empresa possui influência na percepção dos benefícios da tecnologia de PR para cada empresa. Por isso, as empresas participantes dessa pesquisa foram buscadas considerando as percepções de produtos conforme seus ramos de negócio e mercado visando minimizar visões específicas de um determinado setor. Duas das empresas selecionadas produzem bens de utilidades domésticas, ou seja, produtos percebidos por sua forma diretamente pelo consumidor final. As outras duas empresas desenvolvem produtos com características mais funcionais e técnicas, onde a percepção não é pela forma final do mesmo, mas pela sua funcionalidade e confiabilidade. Pode-se identificar que os aspectos de valor atribuídos a um protótipo poderão ser diferentes para cada cenário. Contudo, a pesquisa mostrou que as dimensões e proposições definidas foram válidas e comuns a todas as empresas estudadas, motivando a sua abrangência para outros setores de negócios.

Desta forma, com relação às dimensões selecionadas para o estudo, pode-se perceber que as mesmas se confirmaram com o estudo realizado. Com relação à dimensão impacto da tecnologia de PR, destacou-se a proposição de “redução do *time-to-market*”. Com relação à dimensão de inovação em produtos, essa ficou destacada pela proposição de redução de risco de inovação, mais do que a inovação em si. Por último, para a dimensão de Valor Agregado ao PDP, o destaque ficou evidenciado pelas proposições de Aumento de confiabilidade e aumento da satisfação dos clientes, o que, de certa forma, se alinha com a proposição de redução de risco de inovação. Pode-se concluir que tais dimensões e proposições podem ser mais bem exploradas e expandidas num futuro de pesquisa com um número maior de empresas brasileiras.

O método do estudo multicaso, por sua natureza, não permite afirmar que as análises apresentadas serão as mesmas em outro conjunto de casos. Contudo, permitiu que novas percepções e que confirmações emergissem a partir do método empregado as quais poderão orientar futuros trabalhos. Para aprofundar este estudo, buscando a validade externa dos resultados, sugere-se um método quantitativo a partir de uma *survey*, que poderá oferecer dados estatísticos com margens de erros calculadas, determinando o grau de influência sob o enfoque tecnológico, inovador e do valor agregado ao PDP,

entre outras que este trabalho pode apontar. Isto se torna interessante dada a assertividade e efetividade verificada no desenvolvimento de produto nas empresas durante os estudos de caso. Nesse contexto, trabalhos futuros devem ser feitos no sentido de criar uma associação entre as características da empresa e quais os benefícios que a mesma pode esperar com a aplicação da tecnologia de PR em relação ao seu PDP.

## Referências

- ATZENI, E.; IULIANO, L.; MINETOLA, P.; SALMI, A. Redesign and cost estimation of rapid manufactured plastic parts. *Rapid Prototyping Journal*, v. 16, n. 5, p. 308-317, 2010.
- BAXTER, M. *Product design: a practical guide to systematic methods of new product development*. Chapman & Hall, 1995.
- BENBASAT, I.; GOLDSTEIN, D.; MEAD, M. The Case Research Strategy in Studies of Information Systems. *MIS Quarterly*, v. 11, n. 3, p. 369-386, September 1987.
- BOEHE, D. M.; MILAN, G. S.; DE TONI, D. Desempenho do processo de desenvolvimento de novos produtos: o peso relativo de fatores organizacionais, mercadológicos e operacionais. *Revista Administração*, São Paulo, v. 44, n. 3, p. 250-264, jul./ago./set. 2009.
- BROOKS, H.; AITCHISON, D. A review of state-of-the-art large-sized foam cutting rapid prototyping and manufacturing technologies. *Rapid Prototyping Journal*, v. 16, n. 5, p. 318-327, 2010.
- BRYMAN, A. *Quality and Quantity in Social Research*. London, Boston: Unwin Hyman Publications, 1988.
- CAMPBELL, R. I.; BEER, D. J. de; PEI, E. Additive manufacturing in South Africa: building on the foundations. *Rapid Prototyping Journal*, v. 17, n. 2, p.156-162. 2011.
- CAVALCANTI, M. (Org.). *Gestão Estratégica de Negócios, Evolução, Cenários, Diagnóstico e Ação*. Ed. Cengage Learning, 2003.
- CECIL, J.; KANCHANAPIBOON, A. Virtual engineering approaches in product and process design. *Int J Adv Manuf Techno*, v. 31, p.846-856, 2007.
- CHOI, S.H.; SAMAVEDAM, S. Visualization of rapid prototyping. *Rapid Prototyping Journal*, v. 7, n. 2, p. 9-114, 2001.
- CHRISTENSEN, C. M. *O Dilema da Inovação: Quando Novas Tecnologias Levam as Empresas ao Fracasso*. São Paulo: Makron Books, 2001.
- CHUA, C. K.; TEH, S. H.; GAY, R. K. L. Rapid Prototyping Versus Virtual Prototyping in Product Design and Manufacturing. *Int. J. of Adv. Manufacturing Technology*, v. 15, p. 597-603, 1999.
- CLARK, K. B.; FUJIMOTO, T. *Product Development Performance: strategy, organization, and management in the world auto industry*. Boston: Harvard Business Scholl Press, 1991.
- DIMITROV, D.; SCHREVE, K.; BEER, N. de. Advances in three dimensional printing – state of the art and future perspectives. *Rapid Prototyping Journal*, v. 12, n. 3, p. 136-147, 2006.
- EVANS, M. A.; CAMPBELL, R. I. A comparative evaluation of industrial design models produced using rapid prototyping and workshop-based fabrication techniques. *Rapid Prototyping Journal*, v. 9, n. 5, p. 344-351, 2003.
- FUKUDA, S. Product and Service Development with Customers. In: *New World Situation: New Directions in Concurrent Engineering*. POKOJSKI, J.; FUKUDA, S.; SALWÍNSKI, J. (Eds). London: Springer-Verlag, 2010.
- GRIMM, T. Rapid Prototyping, Tooling and Manufacturing. In: GENG, H. (Ed.). *Manufacturing Engineering Handbook*. McGraw-Hill, 2004a.
- GRIMM, T. *User's guide to rapid prototyping*, 1. ed., Dearborn: Society of Manufacturing Engineers, 2004b.
- GUANGCHUN, W.; HUIPING, L.; YANJIN, G.; GUOQUN, Z. A rapid design and manufacturing system for product development applications. *Rapid Prototyping Journal*, v. 10, n. 3, p. 200-206, 2004.
- HAGUE, R.; CAMPBELL, I.; DICKENS, P. Implications on design of rapid manufacturing. Proceedings of the I MECH E Part C. *Journal of Mechanical Engineering Science*, v. 217, n. 1, p. 25-30, 2003a.
- HAGUE, R.; MANSOUR, S.; SALEH, N. Design opportunities with rapid manufacturing. *Assembly Automation*, v. 23, n. 4, p. 346-356, 2003.
- HAYES, R.; PISANO, G.; UPTON, D.; WHEELWRIGHT, S. *Produção, Estratégia e Tecnologia: Em Busca da Vantagem Competitiva*. Porto Alegre: Bookman, 2008.

- HOOLEY, G.; SAUNDERS, J.; PIERCY, N. F. *Marketing Strategy and Competitive Positioning, Third Edition*. Financial Times/Prentice Hall, 2003.
- HOOPER, M. J.; STEEPLE, D.; WINTERS, C. N. Costing customer value: an approach for the agile enterprise. *International Journal of Operations & Production Management*, v. 21, n. 5/6, p. 630-644, 2001.
- HOPKINSON, N.; DICKENS, P. Rapid prototyping for direct manufacture. *Rapid Prototyping Journal*, v. 7, n. 4, p. 197-202, 2001.
- HOPKINSON, N.; HAGUE, R. J. M.; DICKENS, P. M. *Rapid Manufacturing: An Industrial Revolution for the Digital Age*, first ed. Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 2006.
- HOPPEN, N. Avaliação de artigos de pesquisa em sistemas de informação: proposta de um guia. *Anais do XXI Congresso da ANPAD*. Rio de Janeiro, 1997.
- INGOLE, D. S.; KUTHE, A. M.; THAKARE, S. B.; TALANKAR, A. S. Rapid prototyping – a technology transfer approach for development of rapid tooling. *Rapid Prototyping Journal*, v. 15, n. 4, p. 280-290, 2009.
- JURRENS, K. K. Standards for the rapid prototyping industry. *Rapid Prototyping Journal*, v. 5, n. 4, p. 169-178, 1999.
- KORDON, F.; HENKEL, J. An overview of Rapid Prototyping today. *Design Automation for Embedded Systems*, v. 8, p. 275-282, 2003.
- KRIPPENDORFF, K. *Content Analysis: an introduction to its methodology*. London: Sage Pub, 1987. 535p.
- MORGAN, J. M.; LIKER, J. K. *The Toyota Product Development System: Integrating People, Process And Technology*. Productivity Press, 2006.
- ONUH, S. O.; YUSUF, Y. Y. Rapid prototyping technology: applications and benefits for rapid product development. *J. of Intelligent Manufacturing*, v. 10, p. 301-311, 1999.
- PHAM, D. T.; GAULT, R. S. A comparison of rapid prototyping technologies. *International Journal of Machine Tool & Manufacturing*, v. 38, p. 1257-1287, 1998.
- PORTER, M. E. *Estratégia Competitiva: Técnicas para Análise de Indústrias e da Concorrência*. 16. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2004.
- PORTER, M. E. *Vantagem Competitiva – Criando e Sustentando um Desempenho Superior*. 13. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1989.
- RADSTOK, E. Rapid tooling. *Rapid Prototyping Journal*, v. 5, n. 4, p. 164-169, 1999.
- REICH, B. H.; BENBASAT, I. Measuring the Linkage Between Business and Information Technology Objectives. *MIS Quarterly*, mar. 1996, p. 55-81.
- RUFFO, M.; TUCK, C.; HAGUE, R. Make or buy analysis for rapid manufacturing. *Rapid Prototyping Journal*, v. 13, n. 1, p. 23-29, 2007.
- TAKAHASHI, S.; TAKAHASHI, V. P. *Gestão de Inovação de Produtos – Estratégia, Processo, Organização e Conhecimento*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- ULRICH, T. K.; EPPINGER, D. S. *Product Design and Development*. New York: McGraw Hill, 2004.
- VOLPATO, N.; AHRENS, C. H.; FERREIRA, C. V.; PETRUSH, G.; CARVALHO, J.; SANTOS, J. R. L.; SILVA, J. V. L. *Prototipagem rápida: tecnologias e aplicações*. São Paulo: Edgard Blücher, 2007.
- YIN, R. *Estudo de Caso – Planejamento e Métodos*. Porto Alegre: Editora Bookman, 2005. 212p.
- ZHANG, Q.; VONDEREMBSE, M. A.; CAO, M. Product concept and prototype flexibility in manufacturing: Implications for customer satisfaction. *European Journal of Operational Research*, v. 194, p. 143-154, 2009.

**Recebido em: 02/06/2011.**

**Aceito em: 08/04/2013.**