

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

GUSTAVO JOSÉ BERNARDES DOS SANTOS
OTÁVIO GOBBO JUNIOR

**DESENVOLVIMENTO DE UMA ÓRTESE AJUSTÁVEL PARA O
TRATAMENTO DA PLAGIOCEFALIA POSICIONAL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2016

GUSTAVO JOSÉ BERNARDES DOS SANTOS

OTÁVIO GOBBO JUNIOR

**DESENVOLVIMENTO DE UMA ÓRTESE AJUSTÁVEL PARA O
TRATAMENTO DA PLAGIOCEFALIA POSICIONAL**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. José Aguiomar Foggiatto

Co-orientador: Msc. Mauro Gemelli

CURITIBA

2016

TERMO DE APROVAÇÃO

Por meio deste termo, aprovamos a monografia do Projeto de Pesquisa DESENVOLVIMENTO DE UMA ÓRTESE AJUSTÁVEL PARA O TRATAMENTO DA PLAGIOCEFALIA POSICIONAL, realizado pelos alunos Otávio Gobbo Junior e Gustavo José Bernardes dos Santos, como requisito para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Prof. Dr. José Aguiomar Foggiatto
DAMEC - UTFPR
Orientador

Msc. Mauro Gemelli
DAMEC - UTFPR
Co-orientador

Prof. Ph.D. Neri Volpato
DAMEC - UTFPR
Avaliador

Prof^a. Maria das Graças Contin Garcia Pelisson
DAMEC - UTFPR
Avaliadora

Curitiba, 01 de Dezembro de 2016.

RESUMO

A plagiocefalia posicional é uma assimetria craniana causada pelo apoio repetitivo em determinada região da cabeça do bebê. Se iniciadas precocemente, as técnicas de reposicionamento já são suficientes para correção de casos mais leves e moderados. Entretanto, nos demais casos, pode ser necessária a utilização de uma órtese craniana (capacete), que poderá corrigir esta assimetria. No Brasil esta órtese é importada por uma clínica especializada e com custo considerado alto. O presente trabalho tem por objetivo o desenvolvimento de uma órtese ajustável e de baixo custo para a correção da plagiocefalia posicional. Para atingir tal objetivo, após uma busca na literatura sobre as ferramentas e metodologia de projetos, aplicou-se uma metodologia que começou pelo projeto informacional, passou pelo projeto conceitual, e finalizou com o detalhamento e fabricação do protótipo com uma impressora 3D.

Palavras-chave: Plagiocefalia posicional, órtese, desenvolvimento de produto, tecnologia assistiva, impressão 3D.

ABSTRACT

Positional plagiocephaly is related to continuously support on the same infants head's position for a constant period of time. If initiated early, reposition technics are enough to correct moderate and light skull deformation cases. Moreover, in advanced cases, it's necessary to use a skull orthosis, which could correct head's asymmetry. For Brazilian cases, this orthosis is imported by a specialized clinic with a high cost for Brazilian standards. This work has the main goal to develop an adjustable orthosis with lower cost to be used in positional plagiocephaly treatment. To achieve this goal, after research over project methodology and it's tools, was applied this methodology which had started with informational project, through conceptual project and finished with detail and manufacture of the prototype with a 3D printer.

Key Words: Positional Plagiocephaly, orthosis, product development, assistive technology, 3D printer.

SUMÁRIO

1. Introdução.....	8
2. Revisão bibliográfica.....	10
2.1. Plagiocefalia posicional.....	10
2.2. Metodologias para o desenvolvimento de produto.....	13
2.2.1. Método de Pahl <i>et al.</i> (2005).....	16
2.2.2. Método de Rozenfeld <i>et al.</i> (2006).....	16
2.2.3. Método de Back <i>et al.</i> (2008).....	19
2.2.4. Comparação entre os diferentes métodos.....	20
2.3. Ferramentas para o desenvolvimento de produto.....	21
2.3.1. <i>Benchmarking</i>	21
2.3.2. Desdobramento da Função Qualidade - QFD.....	22
2.3.3. Matriz morfológica.....	24
2.4. Manufatura Aditiva.....	25
2.5. Processo de Manufatura Aditiva por Extrusão de Material.....	27
2.6. Tecnologia assistiva.....	29
2.7. Considerações sobre a revisão bibliográfica.....	30
3. Metodologia.....	31
4. Desenvolvimento do projeto.....	33
4.1. Projeto Informacional.....	33
4.1.1. Levantamento das necessidades dos clientes.....	33
4.1.2. <i>Benchmarking</i>	34
4.1.3. Desdobramento da Função Qualidade - QFD.....	35
4.2. Projeto Conceitual.....	37
4.2.1. Matriz Morfológica.....	37
4.2.2. Seleção da Solução.....	38
4.3. Projeto detalhado.....	43
4.3.1. Evolução do conceito.....	44
4.3.2. Modelo final.....	51
4.4. Fabricação do protótipo.....	54
4.4.1. Impressão 3D dos componentes.....	54
4.4.2. Operações Manuais de Acabamento.....	56
4.4.3. Montagem do Conjunto.....	57

4.5. Validação do capacete.....	62
4.5.1. Massa do conjunto	62
4.5.2. Análise de custo	62
4.5.3. Avaliação do protótipo por um profissional	64
5. Conclusão.....	66
REFERÊNCIAS.....	68
APÊNDICE A – RESULTADO DA PESQUISA REALIZADA COM PAIS DE PACIENTES.....	70
APÊNDICE B - AVALIAÇÃO PRÉVIA DA ÓRTESE DESENVOLVIDA.....	73

1. Introdução

Hoje no Brasil uma enfermidade carente de tratamento devido a falta da produção de órteses nacionais é a plagiocefalia posicional. Ela é uma assimetria craniana causada por uma pressão mantida sobre a região póstero-lateral do crânio do bebê decorrente do posicionamento da cabeça em rotação sempre para um mesmo lado. Ela ocorre principalmente nos primeiros meses de vida, e em alguns casos, apenas a utilização de uma órtese craniana, também popularmente chamada de capacete, poderá reverter a assimetria (PINTO; MATARAZZO, 2014).

Atualmente, a grande maioria das órteses utilizadas no Brasil são nacionais, porém as órteses para a cabeça, utilizadas para o tratamento de plagiocefalia, são importadas o que geralmente torna ainda mais dispendiosos os tratamentos. É de suma importância, portanto, que tais equipamentos sejam disponibilizados com custos menores para que o acesso aos mesmos seja ampliado de forma significativa para atender populações de menor poder aquisitivo.

A órtese craniana para o tratamento da plagiocefalia posicional atualmente é encontrada no Brasil apenas por uma clínica representante de um fabricante americano. A confecção da órtese depende da digitalização da cabeça do paciente, envio para o fabricante no EUA, confecção da órtese específica para o caso, e envio do produto para o representante brasileiro realizar o tratamento na criança. Todo este processo eleva o custo do tratamento, comprometendo a recuperação de casos de plagiocefalia no país, pois pode impossibilitar financeiramente o tratamento para diversos pacientes. Logo, a elaboração de tal dispositivo no Brasil e sua popularização no mercado é uma oportunidade ainda não explorada por indústrias locais.

Com a elaboração de uma órtese nacional de baixo custo, não apenas pacientes de baixa renda, que são a maioria da população brasileira, como também instituições poderão disponibilizar um tratamento com custos menores de aquisição, confecção e manutenção, abrangendo uma parcela muito maior da população com este problema.

1.1. Objetivos

Este trabalho tem como objetivo geral projetar e fabricar uma órtese ajustável para a correção da plagiocefalia posicional com custos inferiores aos que são disponibilizados atualmente no mercado brasileiro.

Para atingir o objetivo geral do trabalho os seguintes objetivos específicos deverão ser cumpridos:

- Pesquisar sobre a plagiocefalia posicional e suas formas de tratamento;
- Utilizar a metodologia de Rozenfeld *et al.* (2006) para o desenvolvimento de um novo conceito de órtese para tratamento de plagiocefalia posicional;
- Selecionar uma solução e fabricá-la por manufatura aditiva;
- Avaliar a solução encontrada junto a um profissional de Fisioterapia.

2. Revisão bibliográfica

2.1. Plagiocefalia posicional

Crianças com até um ano de vida possuem crânios não completamente formados e estão sujeitos a deformações devido a sua fragilidade. Devido a este fator, ao ser submetido as mesmas posições de forma repetitiva, o crânio pode sofrer deformação ao ter um impedimento para o seu crescimento uniforme, algo importante ao desenvolvimento da cabeça da criança (SCHREEN; MATARAZZO, 2013).

A plagiocefalia posicional consiste basicamente em regiões cranianas assimétricas de origem deformacional ocorridas devido à forças externas. Tais deformações podem ser constatadas, a princípio, pelos responsáveis da criança que devem então procurar auxílio especializado, ou pelo próprio pediatra. Como medida de avaliação, são realizadas a inspeção visual, palpação e também medições externas no crânio do bebê, e se houver dúvida sobre a presença de fechamento de suturas (cranioestenose), realizam-se exames de tomografia ou ultrassonografia como diagnóstico diferencial. Atualmente, realiza-se ainda a digitalização do crânio do paciente (Figura 1) com o intuito de verificar e mapear de forma mais detalhada estas deformações (PINTO; MATARAZZO, 2014).

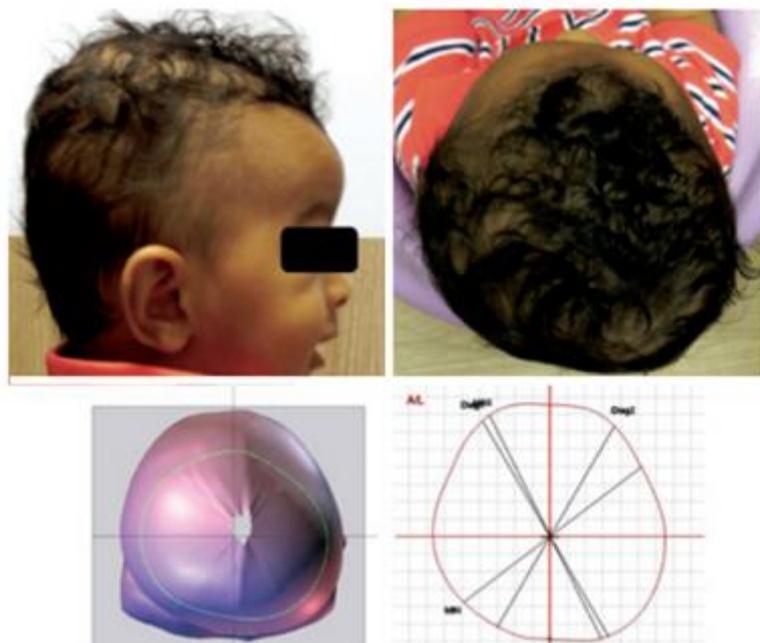


Figura 1 - Paciente e digitalização do seu crânio (SCHREEN; MATARAZZO, 2013).

O aumento da incidência da plagiocefalia posicional ficou evidente quando em 1992 nos Estados Unidos a Associação Americana de Pediatria criou uma campanha intitulada “*back to sleep*”, que tinha como intuito incentivar os pais a colocarem seus filhos para dormir de barriga para cima com o objetivo de evitar mortes por sufocamento na chamada Síndrome da Morte Súbita. Esta orientação foi seguida não só nos EUA, mas também em diversos países, a exemplo do Brasil. Porém, como efeito colateral de manter estas crianças na mesma posição em grande parte do tempo, esta campanha causou uma incidência maior da deformação craniana na parte posterior do crânio (PINTO; MATARAZZO, 2014).

De acordo com Freitas *et al.* (2010), existem casos em que a plagiocefalia posicional provoca deformações em outras regiões do crânio do paciente e conseqüentemente podem alterar o posicionamento das orelhas em casos mais extremos da doença. Há recomendações de intervenção cirúrgica em deformações cranianas mais severas, para solucionar a plagiocefalia.

Os tratamentos recomendados para a solução definitiva ou diminuição de seu efeito são avaliados caso a caso, e o tratamento é elaborado segundo as condições do paciente de acordo com a avaliação médica especializada. Em casos moderados, soluções relativamente simples tais como exercícios fisioterapêuticos e estímulo a mudança de decúbito de forma intensiva, especialmente ao dormir, são soluções que possuem efeitos satisfatórios para o restabelecimento da forma geométrica saudável da cabeça das crianças (FREITAS *et al.*, 2010).

Com a finalidade de evitar intervenções cirúrgicas e em casos em que o reposicionamento e tratamentos fisioterapêuticos não foram efetivos, existe a opção do uso de órteses externas para a correção do crânio. A finalidade das mesmas é restringir o contato da área achatada do crânio com forças externas (Figura 2), afim de que esta área se desenvolva naturalmente e seja equivalente a anatomia esperada do crânio (BIGGS, 2003).

Esta técnica utiliza uma órtese que atualmente é apenas comercializada no Brasil por representantes comerciais de empresas externas. Apenas a digitalização da cabeça do bebê é feita no Brasil. O projeto e a fabricação são realizados nos EUA, personalizada para cada paciente, resultando em um preço relativamente alto

para a maioria da população brasileira, além de não ser disponibilizado no sistema público de saúde. Durante o tratamento esta órtese precisa ser lixada internamente para compensar o crescimento da cabeça da criança.



Figura 2 - Esquema de delimitação de contato (BIGGS, 2003).

Segundo estudo já apresentado por ROLLINS *et al.* (2010), o crescimento do diâmetro da cabeça de bebês a partir de 5 meses é 0,4 cm durante 4 meses de crescimento, e de 0,51 cm em 6 meses de crescimento, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Variação do raio da cabeça de bebês em 4 e 6 meses de crescimento (ROLLINS *et al.*, 2010).

Variação do Raio em 4 meses de crescimento				Variação do Raio em 6 meses de crescimento			
Idade(meses)	Raio i (cm)	Raio f (cm)	Δ (cm)	Idade(meses)	Raio i (cm)	Raio f (cm)	Δ (cm)
5	6,8	7,2	0,4	5	6,8	7,3	0,5
6	6,9	7,2	0,3	6	6,9	7,3	0,4
7	7	7,3	0,3	7	7	7,4	0,4
8	7,1	7,3	0,2	8	7,1	7,4	0,3
9	7,2	7,4	0,2	9	7,2	7,4	0,3
10	7,2	7,4	0,2	10	7,2	7,5	0,3
11	7,3	7,4	0,2	11	7,3	7,5	0,2
12	7,3	7,5	0,1	12	7,3	7,5	0,2

Existem alternativas ao capacete produzido e comercializado por empresas estrangeiras, porém são soluções relativamente rústicas, com técnicas antigas de tratamento e que são extremamente inconvenientes ao paciente, sua família e a equipe médica de tratamento. Um exemplo era a órtese fabricada com gesso ou material similar (Figura 3), realizada pela AACD - Associação de Assistência à Criança Deficiente, porém tratava-se de um processo traumático para a criança e

que requeria muitos cuidados e tempo para sua confecção, além do peso relativamente elevado para uso diário, parâmetro importante no tratamento (FREITAS *et al.*, 2010).



Figura 3 - Confecção de molde para a órtese de correção de gesso (FREITAS *et al.*, 2010).

Uma outra desvantagem desta técnica é a dificuldade da inspeção do progresso do tratamento, pois é necessária a remoção do material da qual foi feita a órtese da cabeça do paciente. Caso for necessário um período maior de utilização, o mesmo deverá ser refeito na cabeça do paciente submetido ao procedimento, o que novamente trará os mesmos inconvenientes relatados acima (FREITAS *et al.*, 2010).

Logo, soluções com custos mais acessíveis são necessárias para a ampliação do número de pacientes para o tratamento da plagiocefalia. Para soluções confortáveis, práticas e com menores custos, a equipe médica e a família devem estar envolvidas visando principalmente o bem estar do paciente.

2.2. Metodologias para o desenvolvimento de produto

Para o desenvolvimento de um produto no momento certo e que atraia o interesse do mercado, é necessária uma metodologia de trabalho além do conhecimento técnico especializado. Faz-se uma distinção entre a ciência de projeto

e a metodologia de projeto (HUBKA; SCHREGENBERGER ¹, 1989 *apud* PAHL *et al.*, 2005, p.6).

Segundo Pahl *et al.* (2005), a ciência de projeto utiliza dos métodos científicos para se chegar a regras para o desenvolvimento. Já a metodologia de projeto estabelece procedimentos que indicam as condutas a serem observadas no desenvolvimento e no projeto de sistemas técnicos. Ainda para Pahl *et al.* (2005), a utilização de uma metodologia permite uma racionalização eficaz dos processos de projeto e produção.

Essa metodologia é chamada por Rozenfeld *et al.* (2006) de Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP). Para estes autores, o PDP está na interligação entre a empresa e o mercado, e atribui ao PDP a tarefa de identificação das necessidades do mercado e a busca de soluções.

Ainda Rozenfeld *et al.* (2006) citam de forma mais abrangente, como objetivos do PDP: a identificação das necessidades do mercado e dos clientes em todo o ciclo de vida do produto; a identificação das possibilidades que as novas tecnologias trazem; o desenvolvimento com qualidade de um produto que atenda o desejo do mercado; o desenvolvimento no momento certo e que o mesmo seja competitivo no mercado. Para estes autores, o PDP deve ainda considerar a manufaturabilidade do produto.

Back *et al.* (2008) entendem como desenvolvimento de produto, “todo o processo de transformação de informações necessárias para a identificação da demanda, a produção e o uso do produto”. O desenvolvimento integrado do produto ou engenharia simultânea, também é citado por Back *et al.* (2008) ao abranger o conceito de que todos os processos de transformação e geração de informações sejam realizados por uma equipe multidisciplinar, que pense simultaneamente.

Para desenvolver um produto com eficiência e eficácia, é necessário saber o que fazer, para quem fazer, quando fazer, com que fazer e como fazer. A esta organização (conhecimentos, métodos e ferramentas utilizados para o desenvolvimento) chamar-se-á metodologia de projeto, ou metodologia de desenvolvimento de produtos (BACK *et al.*, 2008).

¹ HUBKA, V.; SCHREGENBERGER, J. W. Eine Ordnung Konstruktionswissenschaftlicher Aussagen. VDI-Z 131, 1989, p. 33-36.

Downey² (1969, *apud* BACK *et al.*, 2008, p.15) apresenta o efeito das diferentes fases do ciclo de vida sobre o custo do produto, visto na Figura 4. Entende-se aqui o conceito de ciclo de vida como sendo todas as fases da vida do produto desde o seu planejamento até o seu descarte, e não as fases do produto no mercado, também denominado de ciclo de vida na literatura mais voltada ao *marketing*. Observa-se que segundo este autor, as fases iniciais de planejamento e projeto, impacta drasticamente no custo do produto.

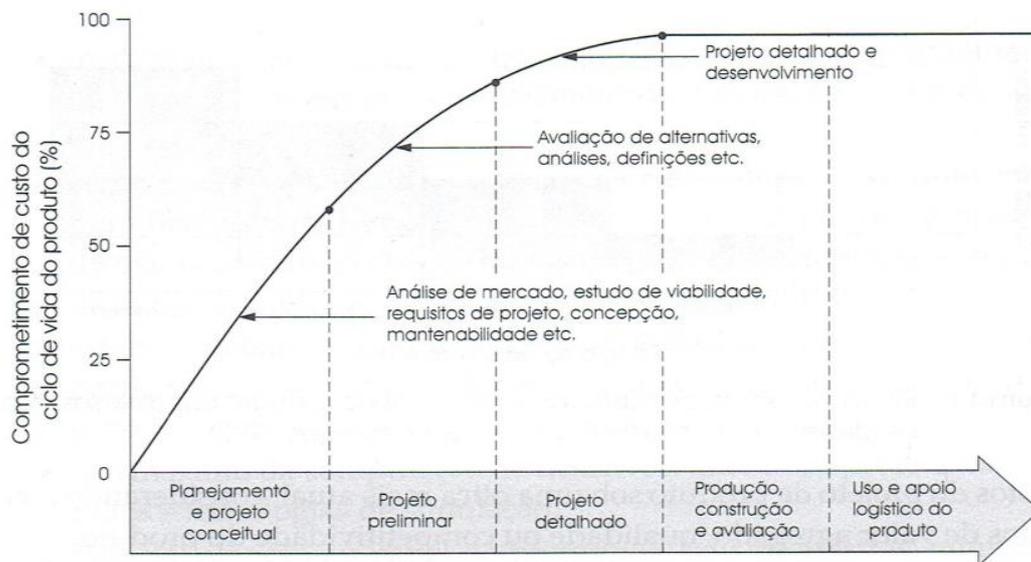


Figura 4 - Efeito das fases do ciclo de vida sobre o custo do produto (DOWNEY², 1969 *apud* BACK, 2008, p.15).

Dado parecido é citado por Rozenfeld *et al.* (2006). Segundo os autores, 85% do custo final do produto são dependentes de decisões técnicas, e essas decisões devem ser tomadas no início, ainda quando as incertezas são muito grandes. Por isso, para Rozenfeld *et al.*(2006), “o segredo, então, é gerenciar as incertezas”.

O segredo de um bom desenvolvimento de produtos é, assim, garantir que as incertezas sejam minimizadas por meio da qualidade das informações, e que, a cada momento de decisão, exista um controle constante dos requisitos a serem atendidos e uma vigilância das possíveis mudanças de mercado (ROZENFELD *et al.*, 2006).

² DOWNEY, W. G. *Development of cost estimating. Report of the Steering Group for Ministry of Aviation*. England, HMSO, 1986.

O modelo de organização desses métodos ou processos é sugerida por diversos autores. Nos tópicos seguintes serão apresentados os métodos de três dentre os principais autores sobre o assunto na literatura, e na sequência uma comparação entre os três métodos ajudará a compreender as diferenças entre os mesmos.

2.2.1. Método de Pahl *et al.* (2005)

Para Pahl *et al.* (2005), o processo de desenvolvimento de projeto pode ser desdobrado nas seguintes fases: planejar e esclarecer a tarefa, conceber, projetar e detalhar.

Na fase de planejamento e esclarecimento da tarefa, são buscados os detalhes das necessidades que o produto deverá carregar. O resultado desta fase é uma lista de requisitos, que norteará as fases seguintes.

Na fase de concepção, conforme os autores descrevem, identificam-se os principais problemas e buscam-se as soluções, de modo que suas combinações levam a uma definição preliminar. Algumas ferramentas que podem ser utilizadas nessa fase são a representação em blocos da estrutura da função (um diagrama com os circuitos ou um fluxograma), e/ou uma matriz morfológica. Muitas vezes um modelo ou protótipo já pode ser apresentado nesta etapa, de modo a auxiliar as definições.

A fase seguinte é a do projeto preliminar, ou anteprojeto, onde parte-se das ideias qualitativas da fase de concepção, e chega-se a uma definição básica e quantitativa da solução. A conclusão dessa fase se dá com uma avaliação técnica e econômica. Na última fase, de detalhamento, são concluídas as definições de geometria, dimensão, material, acabamento e possibilidade de produção.

2.2.2. Método de Rozenfeld *et al.* (2006)

O modelo apresentado por Rozenfeld *et al.* (2006) divide o processo de desenvolvimento de produto em três macro fases: pré-desenvolvimento, desenvolvimento e pós-desenvolvimento.

Para a fase de pré-desenvolvimento os autores atribuem a concepção, a geração de ideias, o levantamento das restrições, e a realização do planejamento estratégico do produto e do projeto respeitando a estratégia da corporação. Ou seja, o resultado desta fase será um escopo do produto.

Para Rozenfeld *et al.* (2006), os objetivos do pré-desenvolvimento são “garantir a melhor decisão sobre o portfólio de produtos e projetos” e definir claramente o objetivo final de cada projeto, evitando que aconteça um “desvio de rota” no papel de cada produto.

Em síntese, podemos dizer que, quanto mais turbulento o ambiente (no sentido de ser competitivo e com mudanças mais bruscas), mais inovador o produto, menor o tempo de vida do produto no mercado e maior a complexidade em quantidade de peças e processos de fabricação específicos, mais importante se torna o pré-desenvolvimento (ROZENFELD *et al.*, 2006).

Já a fase de desenvolvimento é dividida em projeto informacional, projeto conceitual, projeto detalhado, preparação da produção e lançamento do produto, conforme mostrado na Figura 5.



Figura 5 - Fases do desenvolvimento do projeto (Adaptado de Rozenfeld *et al.* 2006).

A fase de projeto informacional trata da aquisição e transformação de informações. As atividades durante essa fase segundo o autor são: revisar e atualizar o escopo do produto; detalhar o ciclo de vida do produto; identificar os requisitos dos clientes; definir os requisitos do produto; definir especificações-meta do produto; monitorar a viabilidade econômico-financeira; avaliar e aprovar a fase; documentar as tomadas de decisões e registrar o aprendizado.

Algumas ferramentas podem ser utilizadas na fase do projeto informacional, como o *Benchmarking* e a Casa da Qualidade, também como conhecida como QFD (*Quality Function Deployment* – Desdobramento da função qualidade). Ambas as ferramentas serão apresentadas em tópicos seguintes.

Para a fase do projeto conceitual, são atribuídas atividades como a busca, criação, representação e seleção de soluções. Para a busca de informações,

podem-se observar produtos de concorrentes, livros, artigos, pesquisa de patentes, e realização de *Benchmarking*, ferramenta apresentada mais adiante. A fase de criação será baseada nas necessidades do produto e dependente da criatividade. A representação nesta fase será por meio de croquis ou desenhos computacionais. E a seleção também se apoiará nas necessidades e requisitos do produto. Poderão também ser utilizados métodos de apoio, dentre eles *Brainstorming* e a Matriz morfológica, apresentada mais adiante.

Rozenfeld *et al.* (2006) apresentam que o projeto detalhado “tem como objetivo desenvolver e finalizar todas as especificações do produto, para então serem encaminhados à manufatura e às outras fases do desenvolvimento”.

A fase de preparação da produção do produto visa garantir que a empresa e seus fornecedores consigam atender a demanda de produção definida no escopo do projeto, de acordo com um nível de qualidade prevista e atendendo aos requisitos dos clientes.

Enquanto a fase de preparação da produção visa a cadeia de suplementos interna, a fase de lançamento visa as atividades da cadeia de suprimentos externa, como venda, distribuição, atendimento ao cliente, assistência técnica, marketing, etc. Na Figura 6 é apresentada uma visão geral da organização dos processos de desenvolvimento de produtos segundo Rozenfeld *et al.*(2006).

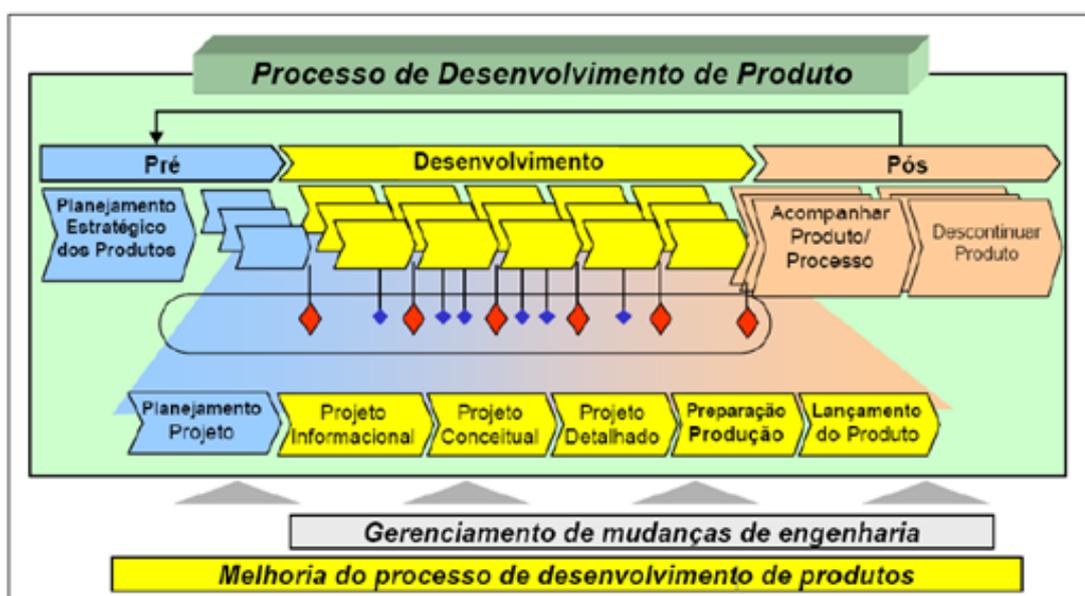


Figura 6 - Visão geral dos processos de desenvolvimento de produto. Adaptado de Rozenfeld *et al.* (2006).

No pós-desenvolvimento as fases são de acompanhamento e descontinuidade do produto. A fase de acompanhamento do produto e processo visa identificar necessidades ou oportunidades de melhorias no produto durante a produção ou desempenho no mercado. A última fase “Descontinuar produto” em outras palavras é a retirada do produto do mercado, e todas as atividades envolvidas, como recebimento do produto de volta, finalização da produção, das vendas e suporte ao cliente.

2.2.3. Método de Back *et al.* (2008)

O Processo de Desenvolvimento Integrado de Produtos – PRODIP, conforme denominam Back *et al.* (2008), é dividido em oito fases. Os autores fazem uma divisão em macrofases nas quais abrangem uma ou mais fases, conforme apresentado na Figura 7.

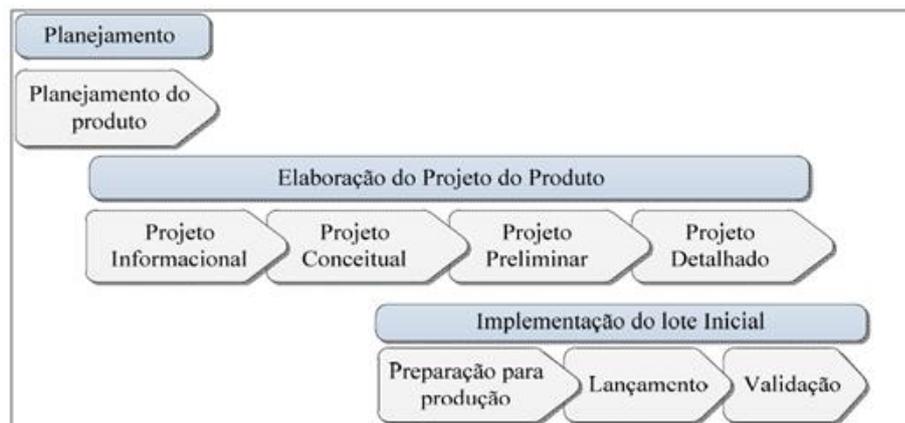


Figura 7 - Visão geral do processo de desenvolvimento integrado de produtos. Adaptado de Back *et al.* (2008).

Na primeira fase, Planejamento do produto, se baseando na estratégia de negócios da empresa, é desenvolvido o plano estratégico do produto, o planejamento de *marketing* é iniciado e aprovado, e cria-se o termo de abertura do projeto ou carta de projeto, que formaliza a existência do projeto na organização.

A próxima fase, Projeto Informacional, busca definir os fatores que influenciam no projeto do produto. Primeiro se identifica os requisitos dos usuários para então se definir os requisitos de projeto. O planejamento de *marketing* continua paralelamente a esta fase, assim como na próxima fase, de Projeto conceitual, onde se define a função global a ser executada e suas subfunções. No projeto conceitual

também se estuda as estruturas funcionais alternativas e se escolhe a mais adequada.

Na fase de Projeto preliminar é estabelecido o leiaute do projeto final e determina-se a viabilidade técnica e econômica do produto. Inicia-se também o plano de fabricação e de teste do protótipo. A fase seguinte, Projeto detalhado, inicia com a aprovação do protótipo e segue com a finalização das especificações dos componentes, detalhamento do plano de manufatura, e preparação da solicitação de investimento.

A próxima fase, de Preparação para a produção, compreende o início da implementação do lote inicial, onde tipicamente incluem as atividades de elaboração da documentação de montagem, liberação para construção do ferramental, compra, recebimento, instalação, testes, preparação das máquinas e dispositivos, desenvolvimento do plano de produção e da programação do lote piloto.

Ainda na macrofase de implementação do lote inicial, a fase de Lançamento do produto é quando se produz o primeiro lote com um acompanhamento para verificação de não conformidades, o que será determinante para a aprovação do lote piloto e liberação da última fase.

Na última fase ocorre a validação do produto com os usuários e auditoria, e a validação do projeto junto ao cliente direto. É quando o projeto é encerrado. Ocorre ainda atividades relacionadas a comercialização, como avaliação da satisfação dos usuários, monitoramento da performance do produto, informações sobre segurança e ocorrência de acidentes, dentre outros. Por fim, planeja-se o alcance das metas de melhoria contínua, como redução do custo e aumento do desempenho.

2.2.4. Comparação entre os diferentes métodos

No Quadro 1 é apresentada uma comparação entre as propostas de metodologia para o desenvolvimento de produtos, conforme sugeridas pelos três autores referenciados neste trabalho.

Observa-se que Pahl *et al.* (2005) abordam apenas as atividades relativas ao desenvolvimento do projeto propriamente dito, embora algumas atividades apresentadas por Rozenfeld *et al.* (2006) e Back *et al.* (2008) no planejamento do projeto também estão incluídas na abordagem de Pahl *et al.* (2005) dentro da fase de definição da tarefa. Entretanto, nota-se uma diferença conceitual entre Pahl *et al.*

(2005) e demais autores quando se referem as fases relativas às etapas de produção e acompanhamento do produto no mercado, ambas não consideradas por Pahl *et al.* (2005).

Pahl <i>et al.</i> (2005)	Rozenfeld <i>et al.</i> (2006)	Back <i>et al.</i> (2008)
	Planejamento do projeto	Planejamento do projeto
Definição da tarefa	Projeto informacional	Projeto informacional
Projeto conceitual	Projeto conceitual	Projeto conceitual
Projeto preliminar		Projeto preliminar
Projeto detalhado	Projeto detalhado	Projeto detalhado
	Preparação da produção	Preparação da produção
	Lançamento do produto	Lançamento
	Acompanhamento do produto	Validação
	Descontinuidade do produto	

Quadro 1 - Comparação entre metodologias de diferentes autores.

2.3. Ferramentas para o desenvolvimento de produto

2.3.1. Benchmarking

Basicamente o *benchmarking* ou levantamento do estado da arte, consiste na avaliação da disponibilidade da tecnologia mais recente disponível. Assim, pode-se efetuar a comparação sobre itens que estão para ser desenvolvidos pela equipe e suas possibilidades de melhora em relação ao que é ofertado contemporaneamente pela concorrência e suas particularidades. Com isso, pode-se encontrar lacunas para melhorias em produtos e serviços. Inovações frente a concorrência, assim

como simplificações que podem ser diferenciais importantes a conquista de um mercado com competidores estabelecidos, podem ser aplicadas ao desenvolvimento da nova solução (ROZENFELD *et al.*, 2006).

Os itens que podem ser listados pelo *benchmarking* variam de acordo com o critério de seleção da equipe de projeto, que deve analisar o maior número de informações disponíveis para comparação. Os itens que podem ser investigados pela equipe podem englobar diversos aspectos do produto ofertado pela concorrência e não apenas técnicos e construtivos, e sim também subjetivos, tais como a satisfação dos clientes, pós-vendas, relação custo benefício, durabilidade, confiança, facilidade de uso e conforto. Estas informações podem ser tabeladas de maneira a esclarecer para a equipe as características atuais e assim, elaborar soluções e alternativas que superem os parâmetros correntes (ROZENFELD *et al.*, 2006).

Por outro lado, ao se realizar uma análise de sistemas já consolidados para execução das funções, deve-se atentar ao fato de que tais soluções já consolidadas podem limitar as novas soluções a velhas práticas, algo que pode ser prejudicial a aplicações de inovação do projeto. Se faz útil para o início do desenvolvimento da solução, porém deve-se utilizá-lo como ponto de partida para soluções mais adequadas e que realmente sejam mais eficazes que as alternativas atualmente disponibilizadas ao mercado (PAHL *et al.*, 2007).

2.3.2. Desdobramento da Função Qualidade - QFD

O Desdobramento da Função Qualidade (*Quality Function Deployment* - QFD), também popularmente chamado de Casa da Qualidade, possui origem japonesa e foi introduzida como uma ferramenta para auxiliar na elaboração de projetos e no controle da qualidade. Sua finalidade é o auxílio para o desenvolvimento de produtos que atendam as necessidades do cliente com a qualidade desejada pelo mesmo (PAHL *et al.*, 2005). Na sequência, serão detalhadas as considerações e etapas para início da metodologia QFD.

A escolha do produto e seus objetivos é a chave para o desenvolvimento e aplicação do QFD. Nesta etapa, o produto deve ser definido de acordo com a perspectiva mercadológica vislumbrada pela equipe. Além de definir a ideia básica de sua concepção, devem ser definidas as funções chave que o mesmo deve

atingir, de maneira a aplicar soluções de projeto para elaborar a solução adequada aos clientes (PAHL *et al.*, 2005).

A definição da equipe de projeto é de extrema importância ao projeto, pois deve ser incluída ao mesmo de acordo com seus domínios ocupacionais, com o intuito de definir os objetivos do projeto e avaliações de mercado e particularidades técnicas necessárias para elaboração de soluções.

De forma a visualizar o possível produto da solução elaborada pela equipe, a elaboração do modelo conceitual é de fundamental importância. Sua finalidade, além de proporcionar uma melhor visão do produto, permite visualizar possíveis problemas construtivos, além de permitir uma melhor interação com possíveis clientes da solução (GUIMARÃES, 2003).

De forma a avaliar soluções e possíveis problemas de projeto, a utilização da pesquisa de mercado com os potenciais clientes é de fundamental importância para evitar possíveis problemas de rejeição, além de melhorar a probabilidade de realização de um projeto que realmente atenda o que o cliente deseja de forma explícita.

Com a finalidade de detalhamento e elaboração da matriz de projeto, a ferramenta com maior proveito para esta finalidade é a Casa da Qualidade. Os dados de projeto e suas correlações ficam evidentes no seu *layout*, facilitando assim a compreensão e aplicação dos dados de projeto necessários juntamente com as necessidades elencadas do mesmo (GUIMARÃES, 2003).

Na Figura 8, é apresentada a Casa da Qualidade. As características que o cliente necessita são evidenciadas pelo campo de requisitos dos clientes, e as mesmas acabam sendo interligadas pelos relacionamentos com as características que a equipe de projeto avalia como necessárias, juntamente com os dados técnicos que são base para a solução. Para a conclusão, ainda são incluídos dados de mercado que são importantes para a avaliação de previsões econômicas e de custos implícitos. Com todos os dados combinados, as melhores soluções e combinações são evidenciadas, facilitando assim a escolha da mesma pela equipe de projeto (GUIMARÃES, 2003).

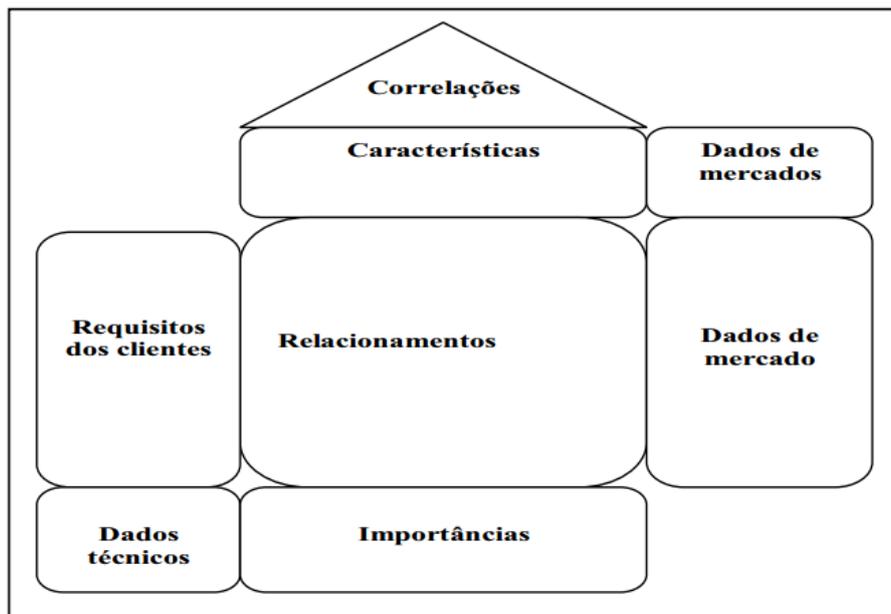


Figura 8 - Casa da qualidade (GUIMARÃES, 2003).

2.3.3. Matriz morfológica

Sua finalidade é listar possíveis soluções disponíveis com o intuito de resolver possíveis problemas e funções de projeto. Logo, diferentes soluções podem ser combinadas ou não para solucionar o problema. Uma vez encontradas as soluções e suas combinações, elas precisam ser combinadas para se chegar a solução da tarefa ou função global (PAHL *et al.*, 2005).

Sua elaboração básica consiste em listar as funções necessárias ao projeto elencadas pela equipe e ao lado, disponibilizar opções de soluções necessárias a serem escolhidas para atender as funções listadas e sua devida importância. Com esta técnica, é possível combinar diferentes soluções para a mesma função (PAHL *et al.*, 2005).

Ainda de acordo com Pahl *et al.* (2005), estas soluções devem permitir a seleção e combinação de forma intuitiva, de maneira a considerar suas variações possíveis e seus efeitos na escolha e determinação do projeto, como a seleção de materiais, geometrias e métodos de fabricação de cada opção para a respectiva função listada. Estas listas de soluções podem ser criadas com a utilização de métodos como analogias e *brainstorming*, com o intuito de abranger a maior quantidade de opções possível que a equipe tenha disponível. Estas opções ainda devem levar em conta aspectos econômicos, haja vista a finalidade de realização e

execução do produto, de maneira a produzi-lo de forma economicamente viável e com preço competitivo.

Como efeito colateral aos métodos de combinação com inúmeras soluções, a dificuldade é aumentada caso se considere todas as combinações possíveis. Ainda segundo Pahl *et al.* (2005), devido ao grande número de soluções disponíveis, elaborar e aplicar soluções combináveis e viáveis torna-se uma tarefa árdua das equipes de projeto. Logo, sua limitação em um certo número de soluções a ser definida pela equipe se faz necessário.

Para facilitar a escolha das soluções listadas, as soluções podem ser elencadas na sequência estrutural das mesmas, de forma a analisar do essencial ao não essencial. Seu registro de características, como por exemplo, uma ilustração ou foto, incrementa a facilidade de avaliação da solução. Ainda como complemento, podem-se analisar subfunções dessas soluções de forma a catalogá-las em subfunções e avaliar sua funcionalidade combinada. Assim, pode-se descartar o uso de combinações inapropriadas a funcionalidade do produto (PAHL *et al.*, 2005).

2.4. Manufatura Aditiva

As tecnologias de manufatura aditiva de maneira geral apresentam diversas opções e sistemas, porém, segundo Volpato (2007), sempre possuem o princípio básico da confecção de camada após camada. Os processos basicamente são configurados de acordo com o estado físico da matéria-prima a ser adicionada e com a qualidade desejada do produto final.

Existem diversos processos e técnicas que utilizam a deposição de material para a formação de componentes. Os limitantes e critérios de escolha destes processos são geralmente o investimento inicial requerido, o tipo e os respectivos custos de matéria prima, qualidade final desejada e por fim, as dimensões das peças a serem feitas.

Processos que utilizam matéria prima em formato sólido, geralmente podem ser manipulados de 2 maneiras: Em caso de formatos lineares ou filamentos, estes são fundidos a determinada temperatura, determinada pelo processo e a capacidade da impressora, e são depositados sequencialmente sob camadas, processo este denominado por Extrusão de Material. Um exemplo são as máquinas da Empresa americana Stratasys Ltd. que registrou o processo com a denominação

Modelagem por Fusão e Deposição (*Fused Deposition Modeling* - FDM). Para materiais em formatos laminares, o processo de *Laminated Object Manufacturing* (LOM) efetua o recorde de cada camada, dando formato a peça na medida em que as camadas são sobrepostas.

Em processos que utilizam a matéria-prima líquida, o produto da manufatura é formado pela cura localizada da resina, que pode estar depositada em um reservatório, através de laser ultravioleta. Este tipo de manufatura ainda pode ser realizada por jateamento de resina líquida, com a posterior cura por luz ultravioleta.

Nos casos de matéria prima em pó, abre-se a possibilidade da utilização de vários tipos de compostos a serem manufaturados. Pode-se utilizar para este processo, o método a laser, como o *Selective Laser Sintering* (SLS) ou aglutinantes. Tais aglutinantes são aplicados pelo mesmo processo da impressão por jato de tinta. Ainda segundo Volpato (2007), este tipo de processo possui uma gama maior de materiais que podem ser utilizados para este tipo de processo, atendendo assim uma faixa maior de possíveis aplicações.

Em comum, segundo Volpato (2007), todos os processos acima descritos possuem vantagens práticas que por sua vez, diminuem custos, aumentam a versatilidade e aumentam a variedade geométrica das peças a serem manufaturadas. Os custos são diminuídos, se comparados aos processos de manufatura tradicional, pois não necessitam de ferramentais de fixação, e no processo por extrusão de material apenas o bico injetor interage com a matéria prima, e o produto é obtido em uma etapa de processo, necessitando apenas da remoção das estruturas de suporte, caso as mesmas sejam utilizadas.

O formato de arquivo mais utilizado na manufatura aditiva é o padrão stl. A extensão de arquivos stl (STereoLithography) se refere a um formato de arquivo criado pela 3D Systems com o objetivo de padronizar a comunicação entre diferentes softwares CAD/CAE/CAM. Particularmente, o formato se consolidou também como o mais utilizado dentro da manufatura aditiva. Os arquivos stl podem ser do tipo ASCII e binários, sendo o segundo, o tipo de arquivo mais compacto e comumente utilizado. Os arquivos stl representam um modelo 3D através de uma malha formada por triângulos conectados pelos vértices, com vetores normais

apontando para o lado de fora do objeto tridimensional, indicando qual é o lado externo (AHRENS *et al.* 2001).

2.5. Processo de Manufatura Aditiva por Extrusão de Material

O processo de manufatura aditiva é iniciado com a modelagem geométrica 3D do elemento a ser prototipado, de acordo com o projeto a ser realizado. Em seguida, o arquivo deve ser manipulado para o formato stl, na qual permite a interação da modelagem desejada com o programa da impressora. Este programa, por sua vez configura a trajetória do bico injetor, de forma a gerar uma forma estável da peça e do material de suporte, que é aplicado especialmente para os casos em que englobam geometrias suspensas. O material de suporte deve ser retirado após a impressão para o acabamento da peça.

O processo por extrusão de material consiste no aquecimento de um filamento termoplástico a determinada temperatura. Esta temperatura está diretamente ligada a matéria prima a ser utilizada. Na medida em que é aquecido, o composto é depositado em camadas subsequentes e direcionadas pelo bico extrusor nos eixos “X” e “Y” e, na maioria das vezes, a mesa suporte é movimentada em “Z”, para possibilitar o empilhamento das camadas. Esse processo é apresentado na Figura 9.

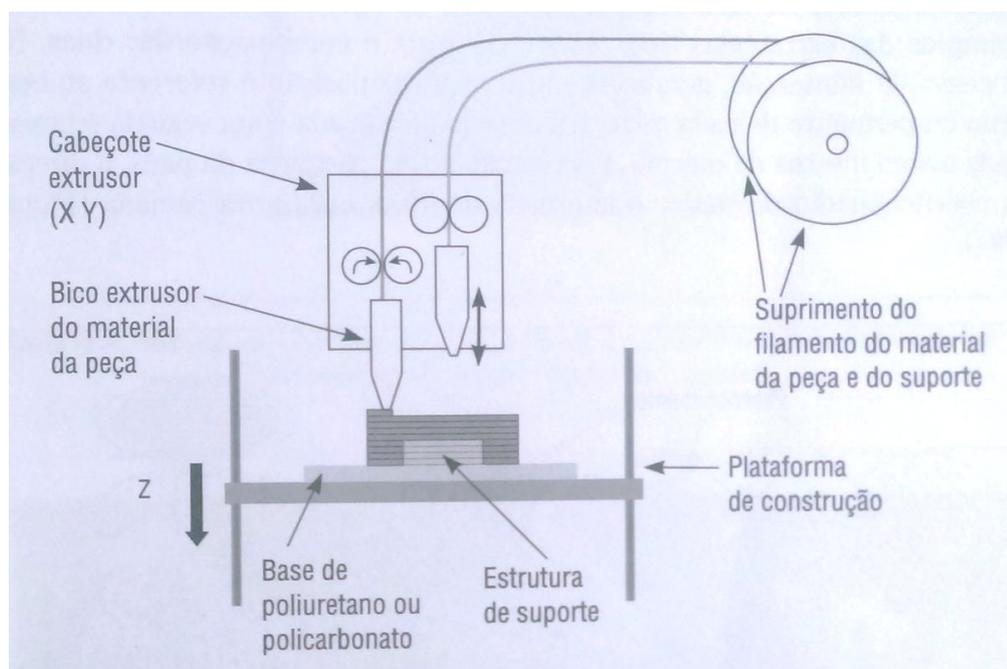


Figura 9 - Arranjo físico de manufatura por FDM (Volpato, 2007).

Segundo Volpato (2007), de acordo com a geometria do elemento a ser fabricado, o programa gera estruturas de suporte, que dependendo do tipo de impressora, podem ser gerados com material específico para apoio, que é geralmente mais frágil em relação ao material da peça, em caso de impressoras com 2 bicos extrusores. Ainda como alternativa mais barata, existem impressoras que constroem os suportes com o próprio material da peça a ser feita. Em ambos os casos, os suportes devem ser retirados ao término do processo.

As geometrias formadas pelo processo por extrusão de material utilizam estratégias de preenchimento diferentes e intercaladas (Figura 10). Segundo Volpato (2007), este intercalamento deve ser realizado alternado em 90° entre cada camada, gerando assim uma estrutura mais resistente. O processo é iniciado com a deposição da camada de contorno, que pode ser preenchido de maneiras diferentes. Essas diferenças auxiliam na melhor interação entre as camadas depositadas, permitindo melhor adesão entre as mesmas.

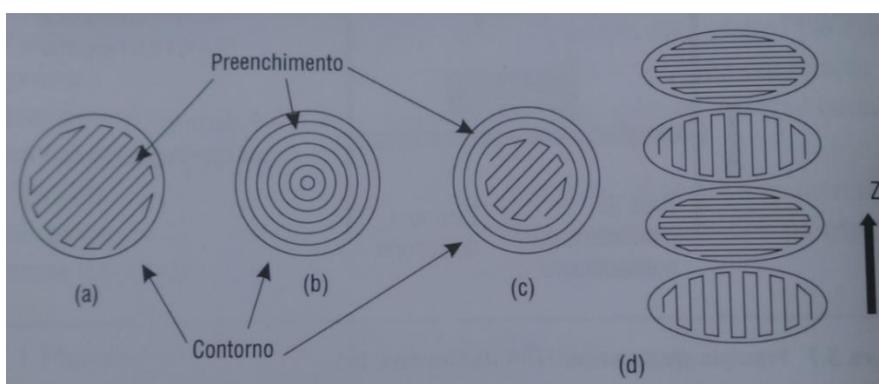


Figura 10 - Tipos de preenchimento (Volpato, 2007).

Conforme ilustrado na Figura 11, os parâmetros que são possíveis de serem controlados englobam a espessura das camadas, a espessura do filamento nas etapas de preenchimento, espessura de contorno e ainda a distância entre filamentos inseridos. O controle destes parâmetros é primordial para obtenção de produtos com resistência mecânica, tendo em vista que distâncias “Gap” maiores tendem a formar zonas sobrepostas com ausência de material, prejudicando assim a resistência da peça.

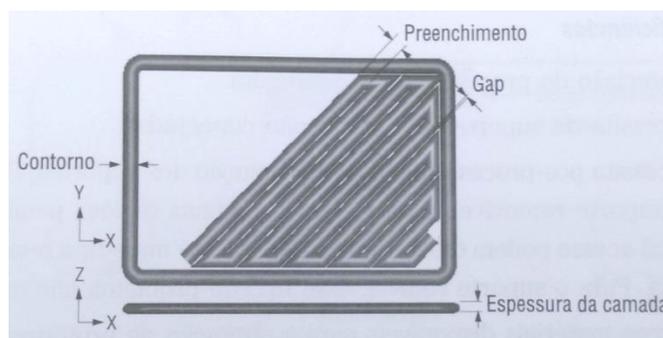


Figura 11 - Esquema de preenchimento e parâmetros para técnica FDM (Volpato, 2007).

2.6. Tecnologia assistiva

Segundo Bersch³ (2005, *apud* GARCIA; GALVÃO FILHO, 2012) O termo Tecnologia assistiva teve origem em 1988 com uma lei americana conhecida como “*Public Law 100-407*” que trata dos direitos de pessoas com deficiência nos Estados Unidos, e dá base legal para utilização de fundos públicos para aquisição de recursos e serviços que favoreçam uma vida independente e incluída socialmente. Para definir estes recursos e serviços se deu o termo *Assistive Technology* (Tecnologia Assistiva).

Cook e Hussey⁴ (1995, *apud* GARCIA; GALVÃO FILHO, 2012) definem a Tecnologia Assistiva como sendo “uma ampla gama de equipamentos, serviços, estratégias e práticas concebidas e aplicadas para minorar os problemas funcionais encontrados pelos indivíduos com deficiência”. Nesse sentido, qualquer pedaço de pau utilizado como bengala, ou então uma órtese ou prótese, podem ser classificadas como tecnologias assistivas.

A norma ISO 9999:2002 define com o termo “ajuda técnica” para o mesmo conceito adotado para tecnologia assistiva e propõe a classificação desses recursos em onze classes, dentre as quais se destaca a classe seis, referente à órteses e próteses (GARCIA; GALVÃO FILHO, 2012).

Atualmente há um crescimento da demanda de tecnologias assistivas devido a mudanças na sociedade atual que cada vez mais busca a inclusão social de todas as pessoas, dentre elas, as pessoas com deficiências e pessoas idosas, principais

³ BERSCH, R. 2005. Introdução à Tecnologia Assistiva. Disponível em: http://www.cedionline.com.br/artigo_ta.html. Acesso em 04 dez. 2007.

⁴ COOK e HUSSEY. *Assistive Technologies: Principles and Practice*, Mosby. USA-Missouri: Year Book, 1995.

alvos da tecnologia assistiva. Entretanto os estudos e desenvolvimento na área de tecnologia assistiva no Brasil ainda são escassos (GARCIA; GALVÃO FILHO, 2012).

2.7. Considerações sobre a revisão bibliográfica

Para a realização deste trabalho, dentre as metodologias pesquisadas, será adotado o método de Rozenfeld *et al.* (2006) com determinada adaptação, conforme apresentada na metodologia. Vale ressaltar que qualquer uma das três metodologias apresentadas poderiam ser utilizadas para o desenvolvimento do produto deste trabalho, sendo a escolha pelo método de Rozenfeld *et al.*(2006) realizada por conveniência dos autores.

Dentre os processos de fabricação possíveis, destacou-se neste trabalho o processo por manufatura aditiva, mais especificamente a tecnologia por extrusão de material, visto que a tecnologia é comumente utilizada na tecnologia assistiva.

Silva *et al.* (2015) já utilizaram a manufatura aditiva para fabricação de um Colete de Boston para auxiliar o tratamento da Escoliose Idiopática, e Fernandes *et al.* (2015) utilizaram da mesma tecnologia para fabricação de uma órtese para correção do ângulo de flexão do punho de uma criança com paralisia cerebral. Da mesma forma, observada na revisão bibliográfica a carência de tratamento para a plagiocefalia no Brasil, o presente trabalho aplicará a manufatura aditiva na área da tecnologia assistiva, desenvolvendo uma nova opção de tratamento.

3. Metodologia

A realização deste trabalho iniciou-se com uma pesquisa bibliográfica, do problema a ser tratado, plagiocefalia posicional. Com o objetivo de desenvolver uma órtese para tal tratamento, recorreu-se também à literatura em busca de uma metodologia para o desenvolvimento de produto que se adequasse a esse caso, onde optou-se pelo método de Rozenfeld *et al.* (2006) dentre as três metodologias apresentadas na referência bibliográfica.

Adicionalmente, pesquisou-se na literatura sobre o processo de fabricação por manufatura aditiva, visto que este seria o processo de potencial utilização para a fabricação do protótipo, o que se confirmou.

Como apoio às fases do desenvolvimento, utilizou-se algumas ferramentas para o desenvolvimento de produtos, que foram: pesquisa de satisfação com os pais dos pacientes, *Benchmarking*, QFD e Matriz morfológica. Para a pesquisa foi criado um formulário no *Google Forms* e enviado via *Facebook* aos pais de pacientes que realizaram o tratamento. Para o *Benchmarking* foi realizada uma pesquisa na internet para localização dos produtos similares e suas características. Para o QFD, foi utilizado o programa de domínio público denominado *QFD – Quality Function Deployment*, versão 1.1. Já para a Matriz morfológica, foi necessário como recurso apenas o programa Excel, no qual as possíveis soluções geradas foram inseridas numa matriz.

A sequência do trabalho foi a seleção da melhor combinação de soluções da matriz morfológica. No primeiro momento, apenas o mecanismo de ajuste da solução escolhida foi modelado no SolidWorks® e passou por diversos testes de impressão 3D para análise do funcionamento, com diversas variações de ajustes, mas poucas variações do conceito. Depois de eliminadas todas as dificuldades, o projeto completo do produto final passou a ser modelado no SolidWorks®.

Para o desenvolvimento do produto final foram utilizados os *softwares* InVesalius® 3.0, SolidWorks® 2016, Meshmixer® versão 11.0.544, e Meshlab® versão 1.3.4. A partir de uma imagem livre de tomografia computadorizada disponibilizada pelo site dicomlibrary.com, de uma criança com um estado de plagiocefalia ameno, foi extraída com o software InVesalius® uma imagem digitalizada da cabeça no formato stl. Essa superfície foi trabalhada nos programas Meshmixer® e Meshlab® para eliminar as partes indesejadas, realizar a suavização e

diminuir a quantidade de triângulos na malha, de modo a permitir a utilização da superfície para modelagem no *software* SolidWorks®.

No SolidWorks®, a cabeça digitalizada da criança foi utilizada como modelo para definir a geometria interna da órtese, fazendo com que as partes em contato com a cabeça seguissem o seu perfil. Para maior qualidade do modelo, foram criados diversos seguimentos de linha “*spline*” em duas direções, e criada uma nova superfície a partir da ferramenta “*loft*”, utilizando tais linhas com direção e guia da superfície. Essa nova superfície foi a base para criação do modelo sólido, e neste foram inseridos os mecanismos de ajuste nas regiões mais propícias para contato com a cabeça.

Finalizado a modelagem virtual da órtese, um arquivo em formato stl de cada componente foi enviado para impressão na impressora 3D Vantage i, da Stratasys, disponibilizada pelo Núcleo de Prototipagem e Ferramental (NUFER) da UTFPR, campus Curitiba. Todas as peças foram impressas em material ABS. Após as impressões, retirou-se o suporte das peças, deu-se um acabamento e inseriram-se os acessórios para ajuste e conforto da órtese, concluindo a fabricação do protótipo.

Por fim, para atingir os objetivos do trabalho, consultou-se um profissional especialista para avaliar a órtese desenvolvida, que respondeu a um questionário sobre as suas impressões do produto. Essa avaliação foi utilizada para se chegar as conclusões finais do trabalho desenvolvido.

4. Desenvolvimento do projeto

Conforme apresentado, Rozenfeld *et al.* (2006) dividem a fase de desenvolvimento em microfases, que são elas: projeto informacional, projeto conceitual, projeto detalhado, preparação da produção e lançamento do produto. A seguir será apresentado o desenvolvimento do projeto da órtese enquadrando-se as atividades realizadas dentro das microfases propostas por estes autores. A seguir incluirá neste capítulo a fabricação e a avaliação do protótipo.

Cabe-se ainda resaltar que a última etapa do desenvolvimento proposta pelos autores que é o lançamento do produto, não será utilizada neste trabalho pois envolve a cadeia de suprimentos externa, assim como a fase de pós-desenvolvimento, com as etapas de acompanhamento e descontinuidade do produto, também não fazem parte do escopo do presente trabalho.

4.1. Projeto Informacional

4.1.1. Levantamento das necessidades dos clientes

Como forma de obter as necessidades dos clientes, e porventura avaliar um produto concorrente, foi realizada uma pesquisa direcionada aos pais de pacientes que já trataram a plagiocefalia posicional com uma órtese craniana. Esses pais de pacientes foram localizados via páginas ou grupos no *Facebook*, e receberam uma mensagem privada com a identificação e intenção dos envolvidos no projeto, juntamente com um link de um formulário a ser preenchido via *Google Forms*. Infelizmente, apenas três pessoas abordadas responderam ao formulário. As questões juntamente com as respostas encontram-se no APÊNDICE A.

Observa-se pelos resultados que o conforto é um requisito que não satisfaz plenamente os pais dos usuários, da mesma forma que a transpiração foi identificada como um problema. Também pelas respostas, a facilidade da vestimenta foi considerada satisfatória, mas constatou-se a movimentação do capacete na cabeça da criança de forma moderada. Por fim, o grande destaque das respostas obtidas foi o custo do tratamento, considerado alto ou muito alto pela totalidade das pessoas que responderam ao formulário.

4.1.2. Benchmarking

Por se tratar de um produto sob encomenda, segundo Schreen e Matarazzo (2013), a órtese é feita sob medida para cada paciente devido principalmente, as formas de cada crânio, o nível de avanço da plagiocefalia e a idade de início do tratamento. Devido a essas peculiaridades a realização do *benchmarking* foi dificultada, pois são poucos os produtos disponibilizados no mercado. A existência de poucos fabricantes para esta solução, mesmo que internacionais, restringiu o levantamento do estado da arte.

Com isso posto, este levantamento foi realizado com base na oferta de produtos comerciais disponibilizados pela fabricante americana Orthomerica. Apesar de serem feitas pelo mesmo fabricante, cada modelo possui características construtivas únicas, apesar do conceito básico de tratamento ser o mesmo: delimitar o contato externo da área ainda não desenvolvida do crânio do paciente. No Quadro 2, é apresentado o *benchmarking* contendo três órteses comerciais.

Considerando as características construtivas requisitadas, trata-se de um produto cuja construção pode ser realizada com tecnologias de escaneamento e impressão 3D, o que facilita o aprimoramento dos modelos existentes e suas opções. Logo, possui espaços para avanços e diferenciações construtivas do mesmo, haja vista as considerações listadas nos comentários sobre cada modelo elencado no Quadro 2.

A dificuldade, porém, encontra-se na seleção de materiais que ao mesmo tempo sejam confortáveis ao paciente, que exerçam a função de limitação do crânio sem incômodos e do posicionamento dos componentes de fixação da órtese ao crânio do paciente.

Pela ótica mercadológica, nota-se que existem poucos fornecedores no mercado mundial e que ainda não existe um fabricante nacional para esse tipo de órtese. Para analisar-se a viabilidade desta possível demanda e domínio mercadológico, torna-se necessário a avaliação com clientes de órteses concorrentes, que é um parâmetro importante para realizar a avaliação do mercado. As características construtivas que os poucos fabricantes deste produto ainda não atendem podem ser melhoradas pelo objeto de estudo deste trabalho.

Benchmarking			
			
Características	STARBand Bivalve®	STARLight®	STARBand®
Fabricante	Orthomerica	Orthomerica	Orthomerica
Material	Casca plástica e revestimento interno em espuma	Casco plástico transparente com revestimento interno em placas de espuma	Casca plástica e revestimento interno em espuma
Preço (US\$)	> 2200,00 (EUA)	> 2200,00 (EUA)	> 2200,00 (EUA)
Praticidade	Média	Boa	Média
Tipo de ajuste	Ajustável com Velcro Traseiro	Ajustável com Velcro Lateral	Ajustável com Velcro Lateral
Tamanho	Grande	Medio	Grande
Facilidade de limpeza	Média	Boa	Média
Comentários	O velcro na posição posterior pode ser um incômodo para o paciente ao dormir, o que pode causar estresse e efeito colateral ao uso da órtese.	Por ser transparente, pode-se observar por fora do capacete os pontos do crânio que estão sendo limitados, o que facilita a inspeção. As placas de espuma são mais fáceis para conservação e limpeza.	Devido ao seu tamanho e a faixa de ajuste possuir pinos, o peso desta órtese pode ser maior que a média dos concorrentes aqui avaliados, além de maior incômodo ao uso.

Quadro 2 - Benchmarking de órteses comerciais

4.1.3. Desdobramento da Função Qualidade - QFD

Com a pesquisa sobre o problema a ser tratado, o levantamento das necessidades dos clientes, e o *benchmarking* realizado, chegou-se aos requisitos necessários, bem como quais as especificações que a órtese deverá possuir para atendê-los. Confeccionou-se assim o QFD através do programa livre “QFD – *Quality Function Deployment*”, versão 1.1.

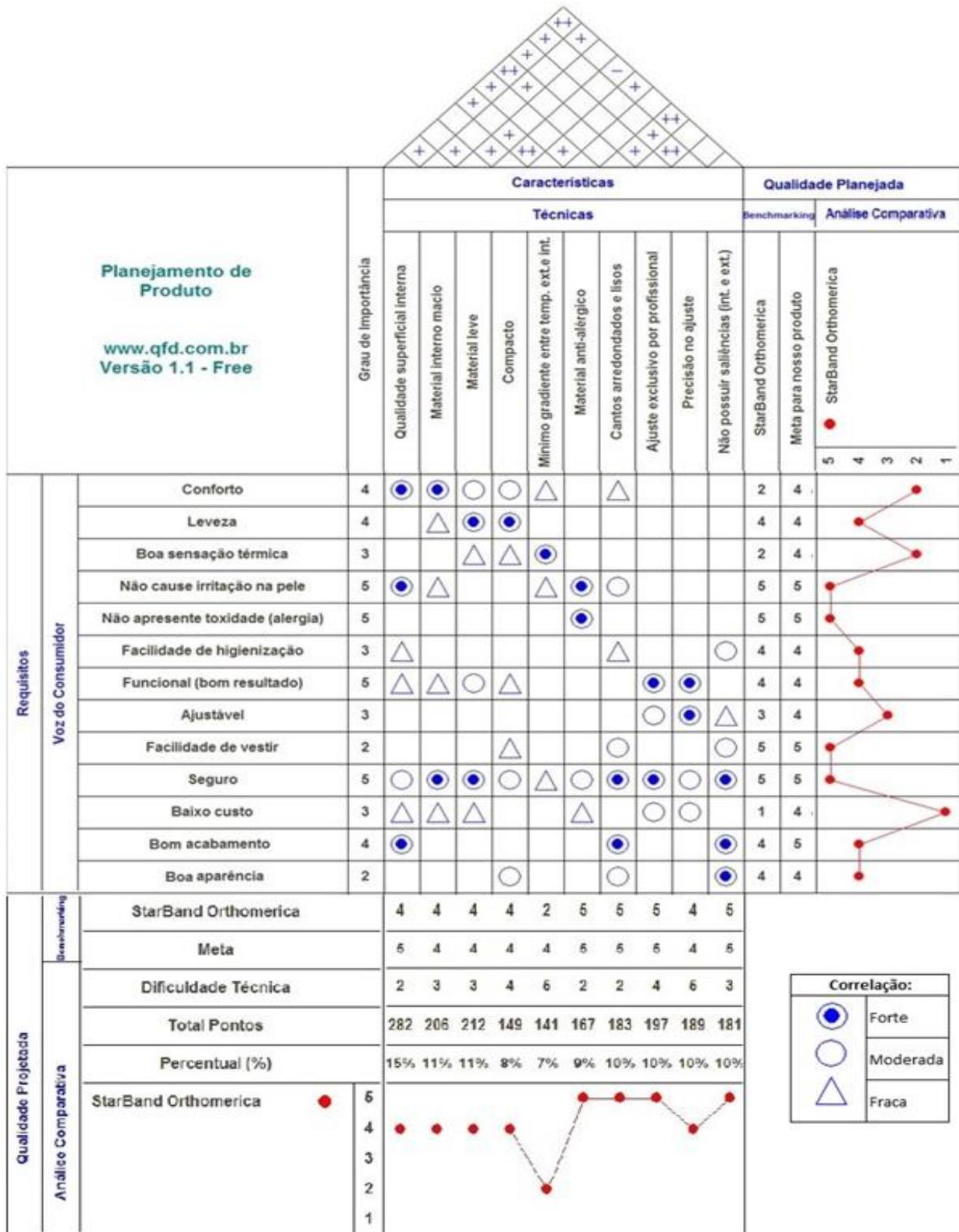


Figura 12 - QFD desenvolvido.

Foi dado o grau de importância para cada requisito baseado nas informações levantadas com os clientes e na literatura, assim como foram preenchidas as correlações entre os requisitos e características. Para avaliação do concorrente foram levantadas apenas as pontuações do modelo STARBand® da Orthomerica, modelo comercial que todos os clientes alvo pesquisados utilizaram para o tratamento de seus filhos, e indicado como meta para o produto a ser desenvolvido. O resultado do QFD obtido pode ser observado na Figura 12.

A análise do QFD auxiliará na interpretação das necessidades dos clientes, indicando quais as qualidades que deverão ser focadas para atingir a satisfação desejada. Pode-se observar que o conforto, a sensação térmica e o custo são os requisitos que os clientes destacam como maior critério negativo no produto do concorrente avaliado. Assim, as especificações técnicas com forte relação com esses requisitos deverão ser mais bem analisadas.

4.2. Projeto Conceitual

4.2.1. Matriz Morfológica

Com a finalidade de verificar soluções alternativas para os possíveis inconvenientes do uso da órtese, o uso da matriz morfológica se faz necessário para o melhor entendimento e elaboração de soluções para os problemas e requisitos de projeto. Pelas características e funcionalidades elencadas do produto, a matriz necessária para o projeto não exige vários itens para serem classificados e analisados.

A função ajuste se faz necessária em razão do desenvolvimento físico do corpo do paciente. Devido a sua pouca idade e ao constante crescimento de seu corpo, necessita-se de uma órtese que atenda a uma faixa de diâmetros de crânio de forma que a mesma seja ajustável e conseqüentemente adequada a este crescimento.

Por se tratar de um produto que passará praticamente 23h cumprindo sua função no crânio do paciente, o mesmo aumentará a sudorese no crânio, a temperatura corporal e a umidade proveniente do contato constante. Logo, se faz necessário a seleção de materiais, geometria ou componentes específicos para melhor dissipação de calor e umidade. Estes argumentos listados ainda são

aplicáveis para higienizar a órtese, algo fundamental para a saúde e bem estar do paciente.

Devido à necessidade de remoção diária da órtese para a higienização da mesma e da criança, é necessária a atenção para que, ao realocá-la, a órtese se posicione conforme o estabelecido pelo especialista. Este posicionamento deve ser alcançado facilmente em todos momentos de colocação da órtese de maneira prática e confortável.

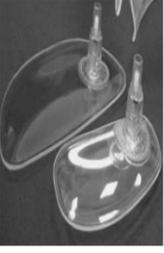
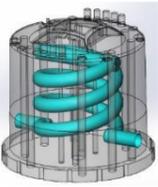
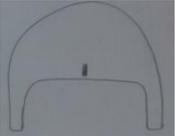
Para que os resultados esperados sejam atingidos com o menor tempo possível, o correto posicionamento da órtese no crânio requer referências de alocação. Estas referências dependem basicamente da geometria do crânio, dependendo assim de pontos chave, tais como orelhas e nariz. Logo, uma correta escolha de solução ou combinação das mesmas para a sujeição da órtese é a base para a realização de sua função.

No Quadro 3, estão elencadas as funções básicas necessárias para o correto funcionamento do dispositivo para tratamento da plagiocefalia e consequentes alternativas para a solução das funções requeridas.

4.2.2. Seleção da Solução

Como as opções de recursos para realizar as funções necessárias ao funcionamento adequado da órtese já foram elencadas na matriz morfológica, realizou-se agora uma avaliação de quais seriam as combinações mais plausíveis. Estas combinações resultaram em um total de 16 variantes que estão relacionadas na Tabela 2. As variantes estão denominadas de V1, V2, ..., V16, e cada uma é composta de um conjunto diferente de soluções, dentre as soluções apresentadas na matriz morfológica.

Com a finalidade de classificar as funcionalidades e viabilidade de cada variante da Tabela 2, cada uma das combinações resultantes foram avaliadas. Nesta avaliação, foram consideradas as características construtivas, manufatura, custos acessíveis, necessidades do cliente e sua segurança, de acordo com sua natureza frágil.

		Matriz morfológica				
Função/ Solução	1	2	3	4	5	
1	Ajuste					
		Bolsas de ar com controle do volume e pressão.	Espécie de calços removíveis de diversos tamanhos para configurar o volume interno.	"Células" internas ajustadas por parafusos (avanço/recuo).	Órtese moldável com geometria definida por tela interna de material com memória de forma.	Lixamento do material interno.
2	Recurso para evitar transpiração					
		Orifícios para arejamento.	Canais na órtese para inserir um fluido refrigerante e trocá-lo com determinada frequência.	Sistema de refrigeração completo.		
3	Higienização	Partes removíveis para limpeza.	Limpeza sem remoção de nenhum componente	Parte interna descartável.		
4	Recurso para facilitar a colocação e remoção					
		Abertura lateral e travamento com velcro	Abertura lateral e travamento com cinto.	Abertura lateral e sem travamento	Montagem da órtese na cabeça	Órtese com mecanismo similar a dobradiça
5	Posicionamento adequado					
		Contorno lateral que possibilite o alinhamento pelas orelhas.	Uma marcação frontal no capacete indicando a posição da órtese em relação ao nariz.	Sem recurso especial, visando o autoalinhamento da geometria interna com a cabeça.		

Quadro 3 - Matriz morfológica desenvolvida.

Tabela 2 - Variantes de soluções consideradas.

Variante de soluções	Solução selecionada				
	Função 1	Função 2	Função 3	Função 4	Função 5
V1	1	1	1	1	1 e 2
V2	1	1	1	2	2
V3	1	1	3	4	3
V4	1	2	2	3	1
V5	2	1	1	1	1 e 2
V6	2	1	2	1	2
V7	2	2	1	5	3
V8	2	1	3	2	2
V9	3	1	1	1	1 e 2
V10	3	1	2	1	1
V11	3	2	3	4	2
V12	3	1	2	2	2
V13	4	1	1	1	1 e 2
V14	4	1	2	2	1
V15	5	1	1	1	1 e 2
V16	5	1	2	2	1

No quadro 4 foi atribuído sim (+) ou não (-) para cada conjunto de soluções (variante) em cada um dos quesitos avaliados: compatível com o problema proposto, se satisfaz as exigências do cliente, possibilidade de realização, custo aceitável, atendimento às medidas de segurança, preferência da equipe e o estágio de conhecimento para desenvolver a solução.

No Quadro 4 ainda acompanham as colunas de observações, onde foi incluso o principal motivo da avaliação negativa, e uma coluna para decisão. Para as variantes que obtiveram poucos pontos negativos, mas por motivos que poderiam ser superados, foi atribuído o sinal de interrogação (?), o que significa que esta solução poderá ser reavaliada futuramente.

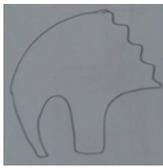
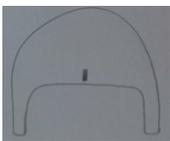
Variante da Solução	(+) Sim, (-) Não							Observações	Decisão: (+) Seleccionada, (-) Eliminada, (?) Reavaliar solução.
	Compatível com o problema proposto	Satisfeitas as exigências do cliente	Em princípio realizável	Custo aceitável	Atende às medidas de segurança	Preferida pela equipe	Estágio de conhecimentos satisfatório		
V1	+	+	-	-	+	-	-	Dificuldade na confecção das bolsas de ar.	?
V2	+	+	-	-	+	-	-	Cinto não permite ajuste em todas as posições.	-
V3	+	-	-	-	+	-	-	Montagem da órtese trabalhosa.	-
V4	+	-	-	-	-	-	-	Pode ocorrer vazamento de fluído.	-
V5	+	+	+	+	-	-	-	Calços podem se soltar.	?
V6	+	+	+	+	-	-	-	Calços podem se soltar.	?
V7	+	+	-	-	-	-	-	Pode ocorrer vazamento de fluído.	-
V8	+	-	+	-	+	-	-	Custo de reposição da parte interna.	-
V9	+	+	+	+	+	+	+		+
V10	+	+	+	+	+	-	+	Maior dificuldade de limpeza em comparação com V9.	-
V11	+	-	-	+	+	-	+	Possível problema com refrigeração e custo de reposição da parte interna.	-
V12	+	+	+	+	+	-	+	Cinto não permite ajuste em todas as posições.	-
V13	+	+	-	-	+	-	+	Alto custo e dificuldade para modelar a malha de Nitinol.	-
V14	+	+	-	-	+	-	+	Cinto não permite ajuste em todas as posições.	-
V15	-	+	+	+	+	-	+	Uma vez ajustado, o material não pode ser inserido novamente.	-
V16	-	+	+	+	+	-	+	Cinto não permite ajuste em todas as posições.	-

Quadro 4 - Seleção das soluções

As variantes negativadas por motivos mais relevantes já foram eliminadas neste momento, recebendo o sinal de negativo (-) na coluna de decisão. No caso de soluções que obtiveram sim (+) em todos aspectos avaliados, foi atribuído o sinal de positivo (+) na coluna de decisão, ou seja, esta deve ser a primeira variante de soluções a ser desenvolvida e possivelmente aplicada ao projeto.

Como resultado da seleção, nota-se que a grande maioria das soluções tiveram que ser descartadas. Justifica-se tal fato devido principalmente, a aspectos de segurança, conforto e para atender corretamente a sua funcionalidade. Com esta seleção efetuada, constata-se que a variante 9 foi a que melhor se adequou as necessidades de projeto consideradas como primordiais a sua execução.

De forma prática, pode-se resumir que as características da variante 9 são o ajuste de células internas por parafusos, montados em um capacete dotado de orifícios para aeração, com partes removíveis para limpeza, fechamento a velcro, e com alinhamento de posicionamento garantido pelas referências de orelhas e pela marcação frontal para referência com o nariz da criança. O Quadro 5 resume as soluções escolhidas.

Matriz Morfológica – Soluções escolhidas					
1	2	3	4	5	
Ajuste	Recurso para evitar transpiração	Higienização	Recurso para facilitar a colocação e remoção	Posicionamento adequado	
		Partes removíveis para limpeza.			
"Células" internas ajustadas por parafusos (avanço/recuo).	Orifícios para arejamento	-	Abertura lateral e travamento com velcro.	Contorno lateral que possibilite o alinhamento pelas orelhas.	Uma marcação frontal no capacete para alinhamento com o nariz.

Quadro 5 – Matriz morfológica com as soluções selecionadas.

Foi elaborado um croqui do produto, contendo as características elencadas como necessárias ao projeto, concluindo a fase do projeto conceitual. O croqui é apresentado na Figura 13. Com a conclusão da presente etapa, foi iniciado o desenvolvimento detalhado do projeto.

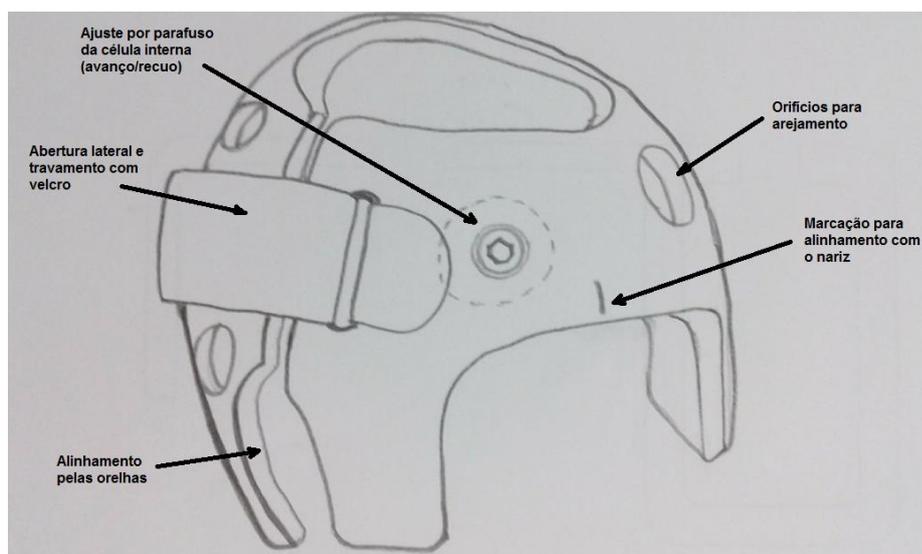


Figura 13 - Croqui do conjunto de seleções escolhidas (Variante 9).

4.3. Projeto detalhado

Nesta etapa a solução selecionada no projeto conceitual foi detalhada de modo a viabilizar a sua construção e interação. Para melhor entendimento da solução se fez necessário, primeiramente, a padronização da definição dos termos mais utilizados no projeto, que foram eles:

- **Capacete:** nome popularmente dado à órtese para correção da plagiocéfalia posicional. Neste trabalho em específico, o termo também será utilizado para definir o componente externo paralelo a geometria da cabeça da criança, onde serão inseridos mecanismos de ajuste em quantidade e localização orientada por um profissional especializado, de acordo com o diagnóstico da plagiocéfalia do paciente. Portanto, a órtese será composta do capacete e dos mecanismos de ajustes.
- **Mecanismo de ajuste:** composto por cada conjunto de componentes que serão inseridos no capacete para permitir o avanço e recuo da

célula interna, possibilitando a mudança dimensional interna da órtese. Conforme definido no projeto conceitual, a movimentação deste mecanismo se dará por rosca, como um parafuso.

- **Célula interna:** Componente parte do mecanismo de ajuste, presente internamente no capacete e que será movimentado pelo parafuso. Esta célula terá contato e dará apoio à cabeça da criança, portanto, ela será posteriormente revestida com um material como o EVA, para dar maior conforto ao paciente. Apesar de o mecanismo permitir o avanço e recuo da célula, durante o tratamento apenas o recuo será utilizado para que a órtese acompanhe o crescimento da cabeça do paciente.

Para melhor compreensão do mecanismo de ajuste, realizou-se previamente apenas a modelagem do mesmo no programa SolidWorks®. Após confirmação do modelo do mecanismo de ajuste a ser utilizado, partiu-se para o desenvolvimento da órtese final.

4.3.1. Evolução do conceito

O primeiro modelo desenvolvido é apresentado na Figura 14 em uma vista com os componentes parcialmente explodidos (a) e em uma vista em corte (b). No momento ainda não foi necessária a modelagem de todo o capacete, mas sim apenas a região onde seria montado o mecanismo de ajuste, visto que a sua geometria corresponderá a cabeça de cada criança em tratamento.

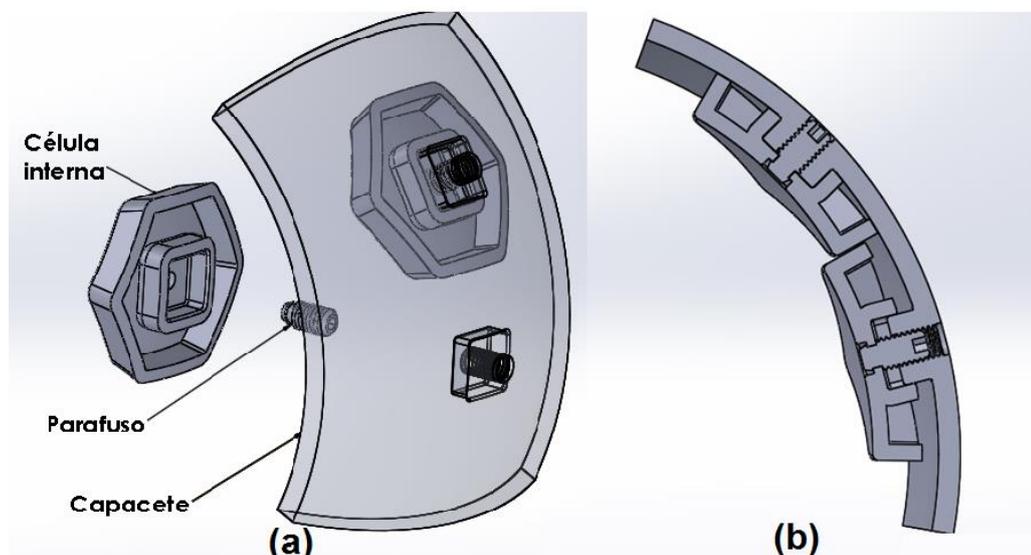


Figura 14 - Primeiro mecanismo de ajuste com (a) explosão parcial e (b) vista em corte.

O mecanismo da Figura 14 consistiu em 3 partes: o próprio capacete, a célula interna no formato sextavado e um parafuso utilizado para o deslocamento. No capacete foi adicionado um reforço na região da rosca, sendo as laterais desse ressalto importantes para não haver inclinação da célula interna. Com o parafuso previu-se a utilização de um modelo com rosca M6 (norma DIN 915), entretanto, a necessidade de articulação na ponta do parafuso traria a dificuldade de adaptação no modelo de parafuso comercial. Adicionalmente, considerou-se ainda para decisão o fato deste parafuso não ser encontrado em material polimérico, e os filetes de rosca ser de difícil fabricação por meio das tecnologias mais populares de manufatura aditiva. A decisão foi de aprimorar esta solução.

O segundo modelo desenvolvido (Figura 15) evoluiu do primeiro e trouxe como novidade a intenção de fabricar a rosca por meio da impressão 3D. Para possibilitar a construção em impressoras de tecnologia por extrusão de material, a rosca utilizada passou para M16x2mm.

Foi também incluído no mecanismo outra peça externa chamada de tampa, cuja finalidade seria controlar o ajuste angular do parafuso e esconder os furos no capacete no momento em que o parafuso estivesse avançado. Essa tampa giraria em “falso”, se mantendo no mesmo local, e por meio de um sextavado transmitiria o movimento para o parafuso. Esta tampa conteria 3 furos, onde se encaixaria uma ferramenta de 3 pinos especialmente desenvolvida para este fim, e também fabricada por meio da manufatura aditiva. Observa-se ainda na Figura 14 que o encaixe da célula interna e da tampa seriam por pressão.

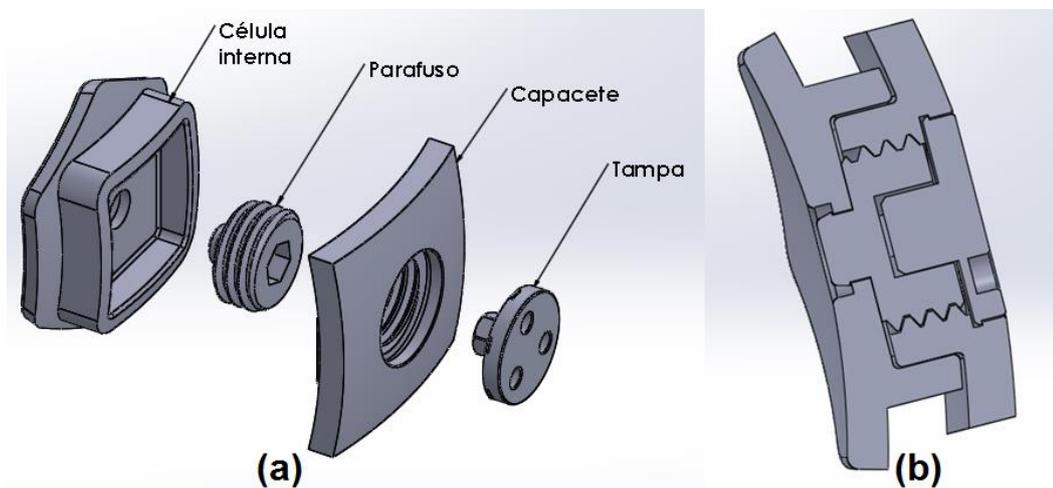


Figura 15 - Segundo mecanismo de ajuste (a) explodido e (b) com vista em corte.

As quatro peças que compõem o mecanismo da Figura 15 foram impressas e após remoção do suporte, são apresentadas na Figura 16.

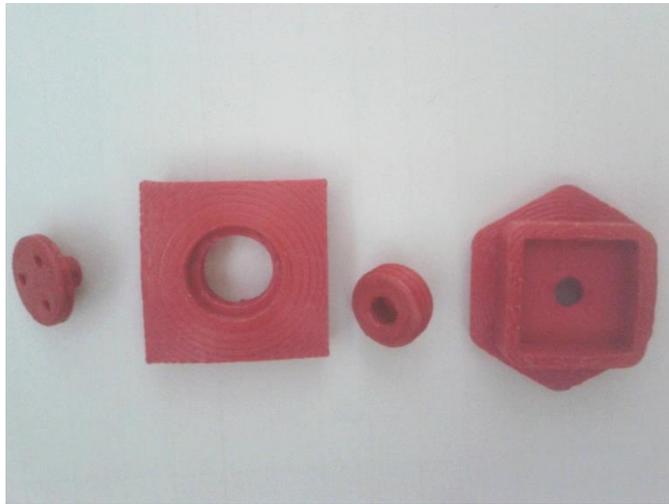


Figura 16 - Peças impressas do segundo mecanismo.

Concluiu-se que o encaixe por pressão da célula interna seria de grande dificuldade, e que as roscas fabricadas não apresentavam as folgas necessárias para sua utilização. Por esses motivos, buscou-se a evolução deste mecanismo de modo a viabilizar a sua fabricação, chegando-se então ao terceiro mecanismo, apresentado na Figura 17 (a) em vista explodida e (b) em corte.

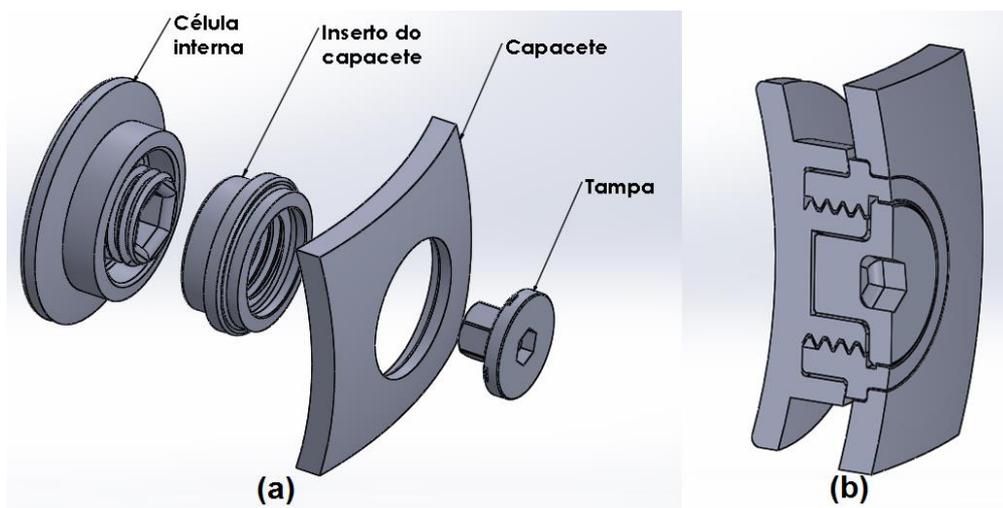


Figura 17 - Terceiro mecanismo de ajuste desenvolvido (a) explodido e (b) em corte.

Neste terceiro mecanismo a primeira alteração foi a incorporação da célula interna ao parafuso para eliminar o encaixe por pressão. Desta forma ao girar o parafuso para realizar o ajuste, além do avanço, a parte interna também girará.

Como consequência, durante o ajuste, o revestimento interno não poderá estar aderido nesta parte móvel e em alguma outra parte fixa, situação fácil de evitar pois já se prevê a retirada do revestimento para higienização. A geometria desta célula interna foi alterada para redonda para permitir o giro, impossibilitado pela geometria anterior, sextavada.

Ainda nesta fase foram atribuídas novas folgas para todos os encaixes se baseando na experiência anterior. Outra alteração foi no avanço e recuo, antes realizado por uma ferramenta especial de 3 pontos, que agora foi substituído por um alojamento sextavado, cuja ferramenta para utilização é uma chave comercial do tipo Allen.

Por fim, considerando as peculiaridades do processo de fabricação por meio da manufatura aditiva com a tecnologia por extrusão de material, constatou-se que a fabricação do capacete final teria uma orientação de camada de impressão diferente em relação à peça que estava sendo impressa apenas para testar o mecanismo de ajuste, e que corresponderia ao capacete. Este fato comprometeria a rosca na peça final que teria qualidade totalmente diferente da encontrada nos experimentos, onde a mesma era impressa com o seu eixo axial na vertical.

Para solução deste problema, extraiu-se a rosca interna para uma nova peça chamada de inserto do capacete. O terceiro mecanismo elaborado e impresso é apresentado na Figura 18.

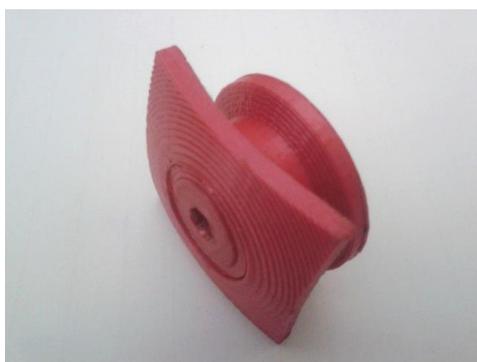


Figura 18 - Terceiro mecanismo impresso e montado.

Apesar de ainda ter encontrado certa dificuldade no funcionamento da rosca, foi possível concluir que a sua fabricação por meio da tecnologia de impressão utilizada era possível, desde que se tolerassem certas imperfeições nos filetes da rosca, fato minimizado posteriormente com o uso. Foi observado que os filetes se

conformaram no contato entre as peças macho e fêmea, corrigindo estas imperfeições.

Observou-se que este último mecanismo atendia as necessidades, entretanto, deixou uma preocupação com a facilidade de desencaixe da tampa. Por este motivo, elaborou-se ainda um quarto mecanismo, com o mesmo conceito que o terceiro, mas agora todo o conjunto deveria ser montado e encaixado por dentro no capacete, que teria um furo apenas para utilização da chave allen para regulagem. Também eliminou-se a parede externa que existia na célula interna, visto que a sua finalidade de guia estava sendo desnecessária, pois a o diâmetro da rosca M16 já era suficiente para não permitir o balanço desta peça. O quarto mecanismo é apresentado na Figura 19 (a) em uma explodida e outra (b) em corte.

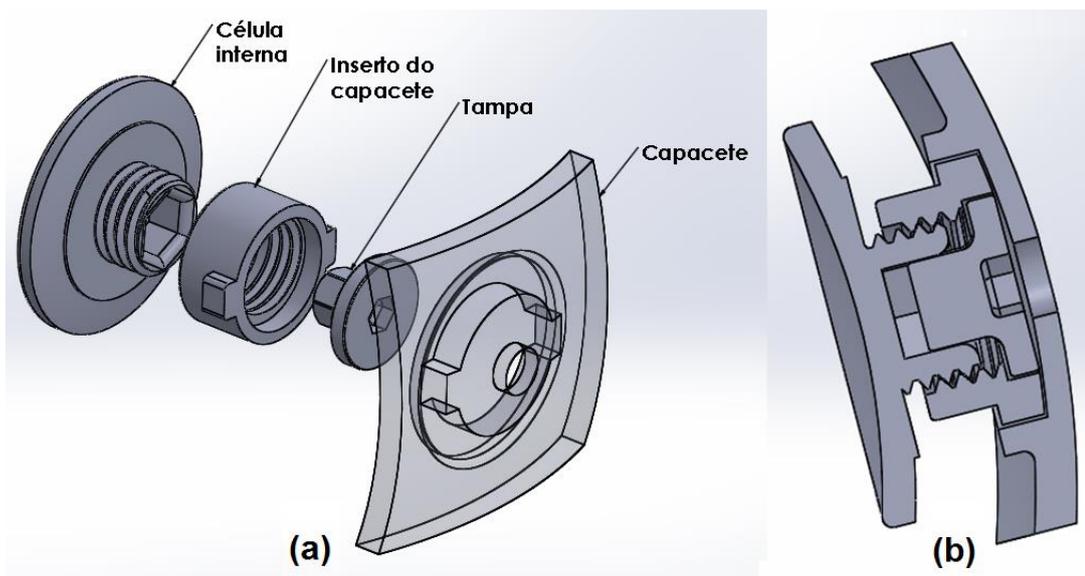


Figura 19 - Quarto mecanismo de ajuste desenvolvido (a) explodido e (b) em corte.

O quarto mecanismo foi impresso e pode ser visto na Figura 20.

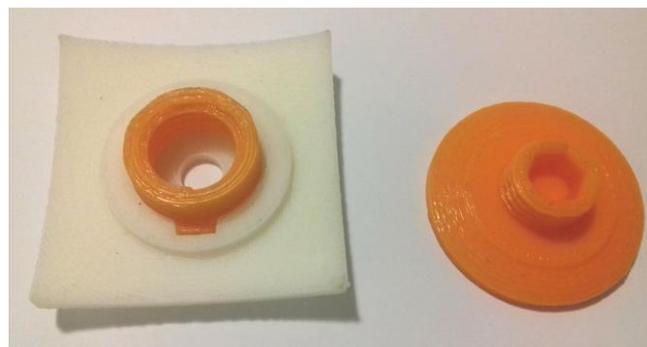


Figura 20 - Quarto mecanismo impresso.

Considerou-se que este mecanismo atendia as necessidades, e então se iniciou a modelagem do capacete final. Os procedimentos para a criação do modelo final serão apresentados na sequência. A primeira modelagem completa, portanto, pode ser vista na Figura 21.

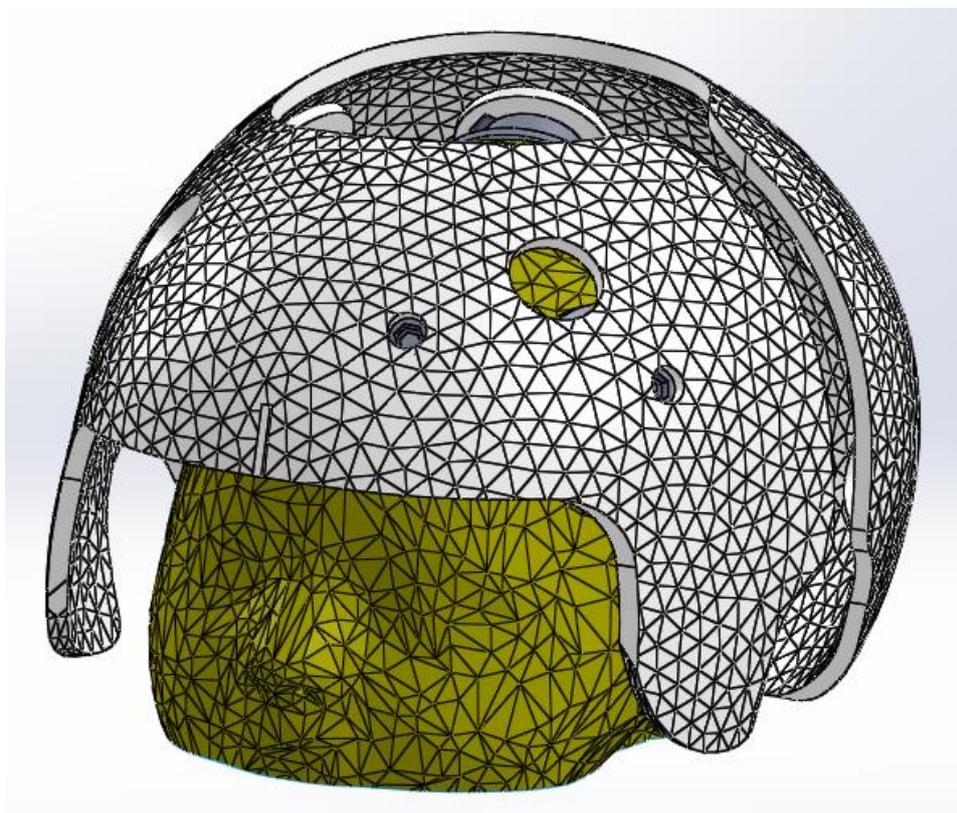


Figura 21 - Aspecto geral da primeira órtese modelada completa.

Notam-se alguns furos neste modelo que atendem a finalidade de arejamento, e dois furos em uma lateral frontal, nos quais se realizarão os ajustes do mecanismo. Da mesma forma, na mesma diagonal, mas na parte de trás, também possuem três furos onde dentro se encontram os mecanismos conforme previsto. A dinâmica para desenvolvimento do capacete será apresentada no subcapítulo a seguir.

Na fase de acabamento será colocado o EVA, que fará o contato com a cabeça da criança e será responsável pela estabilidade do capacete, mas já se observou que o espaço existente entre a cabeça e o capacete estava grande demais (20mm). Isso se deve à geometria do capacete ser completamente paralela à cabeça da criança, e este espaço de 20mm seria necessário para alojar o mecanismo.

Uma opção para diminuir este espaço seria diminuir essa distância deixando apenas o mecanismo para fora, mas, uma das características técnicas oriunda da Casa da Qualidade e fortemente relacionada à segurança foi que o capacete não poderia possuir saliências interna e externa. Por outro lado, concluiu-se que manter esta distância poderia comprometer a estabilidade do mesmo interferindo no processo terapêutico.

Diante dessas dificuldades descritas, buscou-se uma nova solução com a experiência dos mecanismos já desenvolvidos. A prioridade passou a ser a diminuição do espaço entre a cabeça e o capacete. A solução encontrada foi o quinto mecanismo modelado e apresentado na Figura 22 (a) e (b).

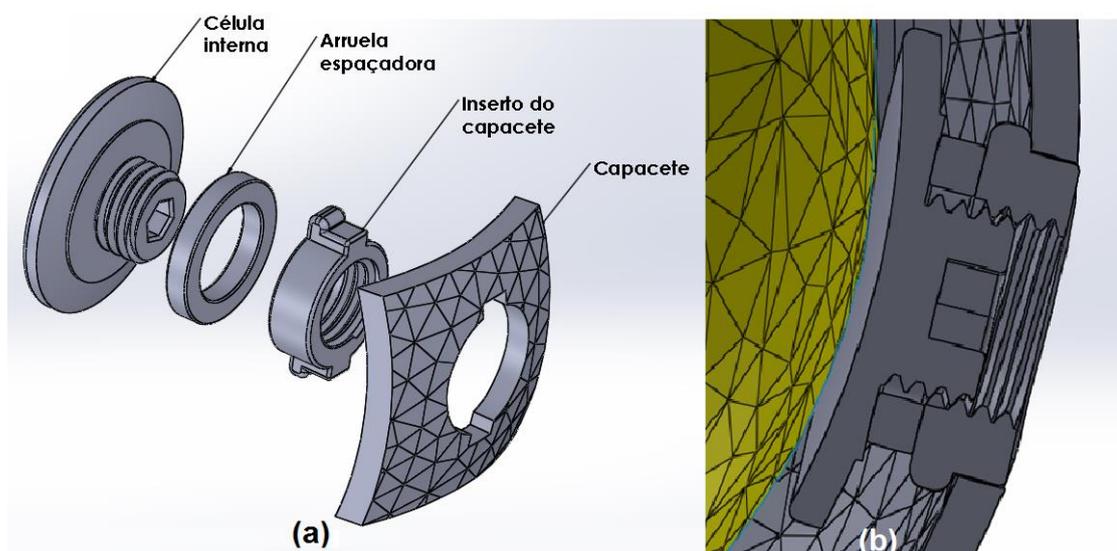


Figura 22 - Quinto mecanismo de ajuste desenvolvido em vista (a) explodida e (b) em corte inserido no capacete.

O novo mecanismo foi responsável pela diminuição do espaço entre a cabeça e a órtese para 14mm. Observa-se que agora apenas uma porca fabricada separadamente é inserida no capacete, e nela é rosqueada a célula interna onde o ajuste é realizado diretamente.

A tampa que intermediava o ajuste foi eliminada, mas a célula interna poderia girar involuntariamente, o que comprometeria a regulagem realizada por um profissional e poderia oferecer risco à criança. Para evitar este problema inseriu-se uma arruela espaçadora e, ao realizar um novo ajuste, o profissional deverá retirar e inserir uma nova arruela com uma espessura diferente. Essa arruela será pressionada contra o capacete pelo aperto da rosca, dificultando a movimentação do mecanismo e garantindo o ajuste realizado pelo profissional.

Para atender os diversos ajustes durante o crescimento da cabeça, a órtese deverá ser acompanhada por um conjunto de arruelas, que terão espessuras padronizadas variando a cada 0,5mm.

4.3.2. Modelo final

Para a construção do modelo final, primeiramente se obteve uma imagem tridimensional da cabeça da criança. Essa imagem foi gerada a partir de um exame de tomografia computadorizada, em formato DICOM, e exportado em formato stl utilizando-se o programa InVesalius®.

Para limpeza das superfícies do arquivo stl foi utilizado o programa Meshmixer®. Ao final, restou-se apenas uma superfície com a parte de interesse da cabeça para o teste da órtese. Essa superfície teve seus furos fechados e foi suavizada. Para utilizar a superfície no Solidworks®, dadas as suas limitações, foi necessário um outro programa (Meshlab®) para diminuição da quantidade de triângulos. A ferramenta: *Filters / Remeshing, Simplification and Reconstruction / Quadric Edge Collapse Decimation* permitiu a obtenção de uma malha com cinco mil triângulos, e a superfície pode ser lida no Solidworks®.

Entretanto, no Solidworks® essa superfície ainda não permitia a utilização de *Offset* e espessamento. Entendeu-se como uma limitação do programa ao trabalhar com superfícies compostas por uma malha com muitos triângulos ou com certas peculiaridades na geometria. Devido a isso, criou-se diversos planos e um esboço com linha do tipo *spline* em cada seção deste plano, e ao final, criou-se uma nova superfície coincidente por *loft*.

Essa nova superfície foi mais adequada para o trabalho. A mesma foi salva em stl, e no software Meshmixer® foi dado o *offset* e o espessamento desejado, e salvo novamente em stl no formato sólido. Este modelo já era o capacete, restando a inserção dos mecanismos de ajuste e um acabamento final no Solidworks®.

Voltando ao Solidworks®, foram inseridos no capacete os alojamentos dos mecanismos de ajuste nos dois lados da diagonal maior da cabeça da criança. Os mecanismos serão inseridos nestas posições, pois são as regiões onde será permitido o contato. Já na diagonal oposta, a falta de contato deixará livre para o

crescimento da cabeça compensando a assimetria existente. Essas posições foram e deverão ser indicadas por um profissional de acordo com o diagnóstico da criança. Para orientação deste trabalho foi consultado o Fisioterapeuta Mauro Gemelli, especialista em Osteopatia Pediátrica.

Também com o auxílio do profissional, definiu-se que o mecanismo de ajuste deveria permitir o crescimento da cabeça em até 8mm durante o tratamento. Este valor teve como base um estudo do crescimento da cabeça realizado por ROLLINS *et al.* (2010) e apresentado na revisão bibliográfica deste trabalho. O estudo indica um crescimento de 5,1mm durante 6 meses de acompanhamento a partir dos 5 meses de vida. Portanto, adotou-se um curso para o mecanismo de ajuste de 4mm, para permitir o crescimento total de até 8mm, já considerando neste valor uma margem de segurança.

No Solidworks® ainda foi definido um contorno mais apropriado para o capacete, foi inserida uma abertura lateral para se necessário abri-lo um pouco para colocação e remoção, e inserido um furo superior onde seria desnecessário material. A abertura lateral citada dará certa flexibilidade ao capacete e será travada com velcro.

Os mecanismos de ajuste foram inseridos no capacete em um arquivo de montagem e testado na cabeça do modelo para validar virtualmente o projeto. O modelo final desenvolvido é apresentado nas Figuras 23 e 24.

Neste modelo não se incluiu furos para arejamento devido ao espaço ainda existente entre a cabeça e o capacete, suficiente para tal finalidade mesmo após a inserção do EVA. Concluiu-se o projeto virtual da órtese e iniciou-se a fabricação do protótipo.

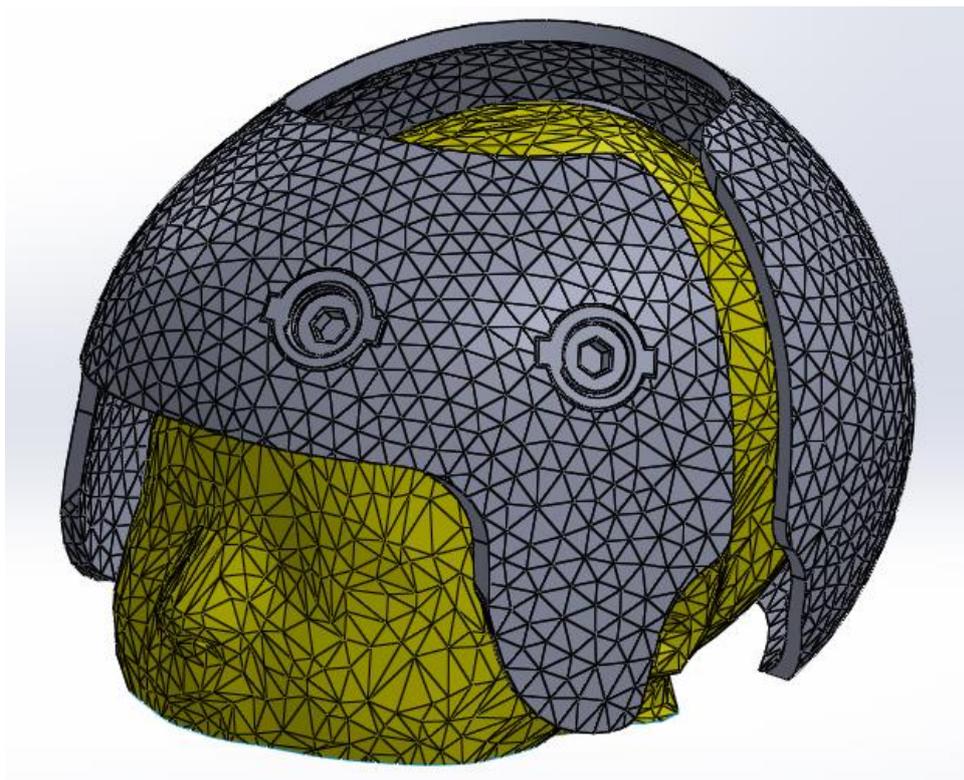


Figura 23 - Modelo final da órtese.

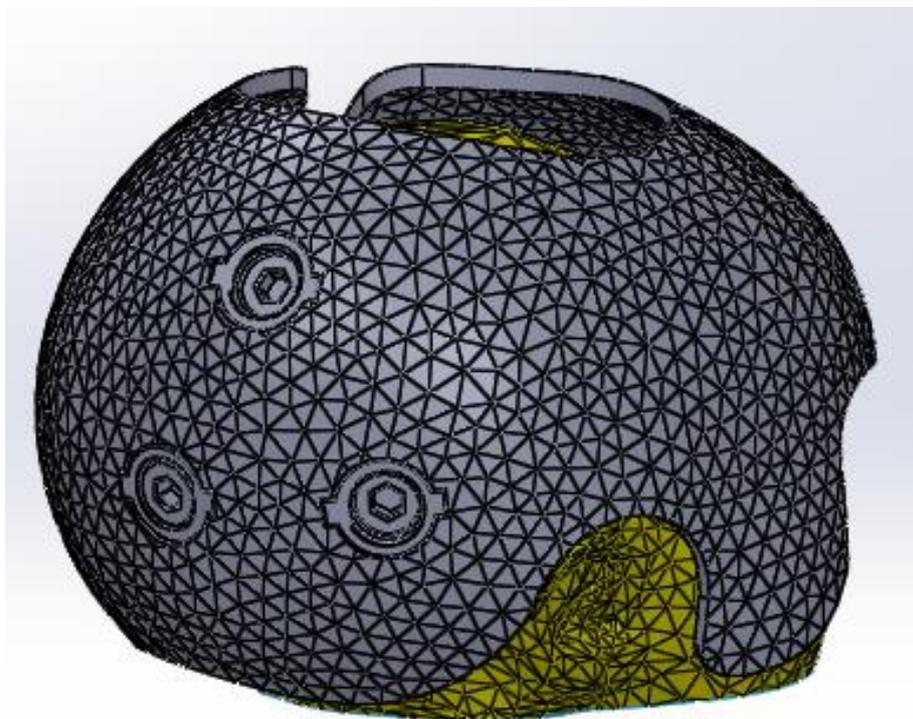


Figura 24 - Modelo final da órtese, parte traseira.

4.4 Fabricação do protótipo

4.4.1 Impressão 3D dos componentes

As dificuldades constatadas nos mecanismos anteriormente impressos continuaram a aparecer na órtese, tais como rebarbas e ressaltos em virtude da natureza do processo, da qualidade da matéria prima e da qualidade construtiva da máquina de manufatura aditiva 3D Cloner. A solução encontrada foi imprimir os ressaltos e materiais de apoio em ABS utilizando-se a máquina Vantage i (Stratasys Ltd.) disponível no Núcleo de Prototipagem e Ferramental – NUFER, da UTFPR campus Curitiba, que também utiliza a tecnologia por extrusão de material, mas possui material de suporte específico (cor marrom) como mostrado na Figura 25. As peças impressas mostraram-se interferentes especialmente no sistema de regulagem de apoio roscado, requisitando cuidados extras na hora da calibração e limpeza.

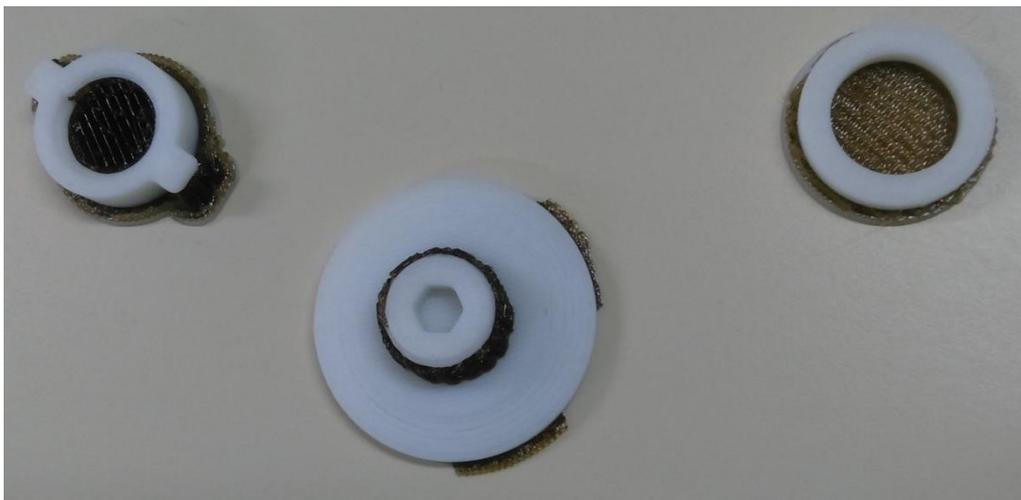


Figura 25 - Aspecto geral dos componentes do mecanismo de ajuste com material de suporte após a impressão.

Decidiu-se que todas as peças do mecanismo e capacete seriam impressas em ABS na máquina Vantage I. As Figuras 26, 27 e 28 mostram o capacete após o processo de impressão. O seu tempo de impressão foi o mais significativo e levou cerca de 21 horas e 13 minutos.



Figura 26 - Vista inferior do capacete antes da retirada do material de suporte.



Figura 27 - Capacete na posição de impressão.



Figura 28 - Vista superior do capacete antes da retirada do suporte.

Após o processo de impressão, deve-se realizar a remoção do material de suporte e limpeza de rebarbas.

4.4.2 Operações Manuais de Acabamento

As imperfeições constatadas na etapa de impressão tiveram que ser retrabalhadas de maneira manual, juntamente com a retirada do material de suporte. A retirada do material de suporte foi realizada manualmente e pela imersão das peças numa solução de soda cáustica (5%) e água. O restante das rebarbas e imperfeições foram corrigidas com o uso de uma microrretífica portátil (Figura 29) e de lixas finas, com resultado final satisfatório, como pode ser constatado nas Figuras 30 e 31.



Figura 29 - Microrretífica portátil.



Figura 30 - Capacete e componentes após etapa de acabamento.



Figura 31 - Imagem interna dos apoios montados após etapa de acabamento.

4.4.3 Montagem do Conjunto

Apesar da necessidade de retrabalho após a impressão 3D dos componentes, especialmente nos mecanismos de ajuste roscado, o resultado obtido na montagem do conjunto atendeu as expectativas iniciais do projeto (Figura 32).



Figura 32 - Montagem do sistema de ajuste.

Na Figura 33, tem-se a visualização do sistema de ajuste na parte interna do capacete.



Figura 33 - Visualização do sistema de ajuste na parte interna do capacete.

Apesar dos ajustes necessários em algumas regiões específicas, especialmente no capacete, o conjunto e o mecanismo de ajuste apresentaram bom acabamento final, como constatado na Figura 32, e relativa rigidez, o que é adequado a proposta deste trabalho.

Com a finalidade de melhor ajuste da cabeça e conforto ao usuário da órtese, as folgas previstas entre a órtese e o crânio foram preenchidas com EVA de 11 mm de espessura, além de cerca de 3mm de espessura previstos para a fixação do velcro. Os calços de EVA de 11 mm de espessura (Figura 34), que podem ser removidos de acordo com a necessidade do paciente indicada pelo profissional responsável pelo tratamento.

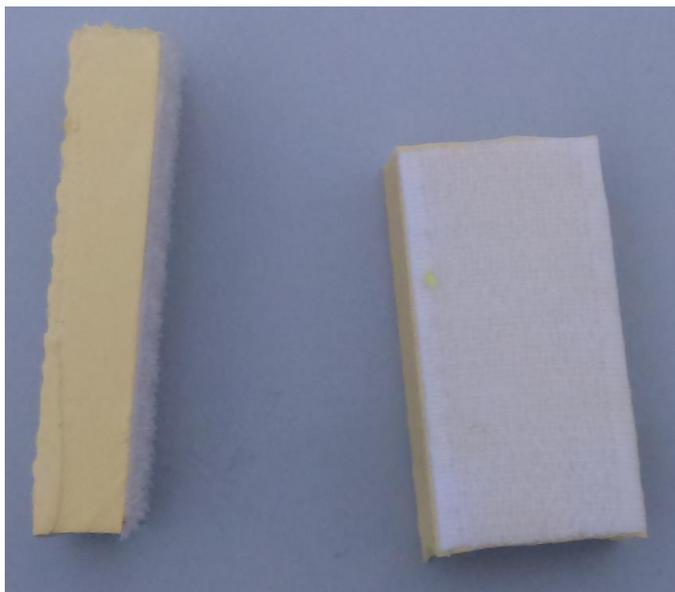


Figura 34 - Conjunto de calços de EVA com fixação por velcro.

Os calços de apoio ajustáveis foram preenchidos com EVA de 3mm de espessura, como mostrado na Figura 35. Ambas as camadas com a finalidade de conforto e proteção ao usuário.

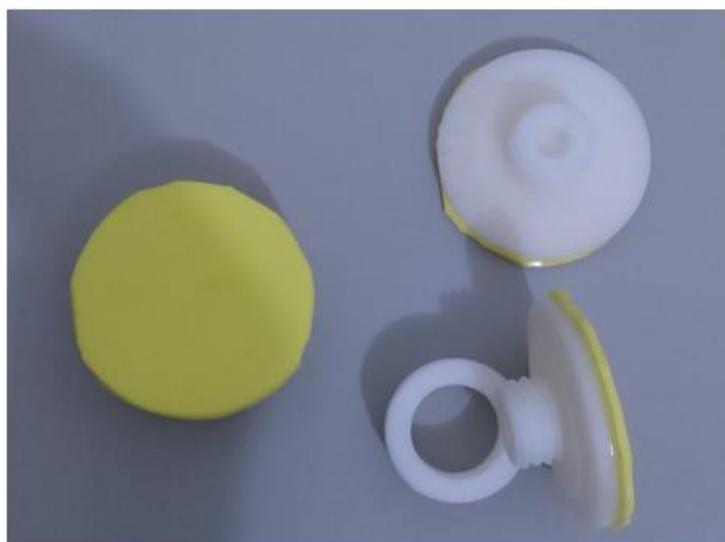


Figura 35 - Conjunto de ajuste roscado com superfície de contato protegida por EVA.

Após os encaixes e fixações, foram realizadas as fixações do velcro e do EVA de proteção. O aspecto geral da montagem pode ser visualizado nas Figuras 36, 37 e 39.



Figura 36 - Conjunto de calços de EVA montados na órtese.

A Figura 37 mostra os mecanismos de regulagem e de apoio montados nos locais definidos pelo fisioterapeuta.



Figura 37 - Vista superior do capacete com destaque para o sistema de ajuste traseiro.

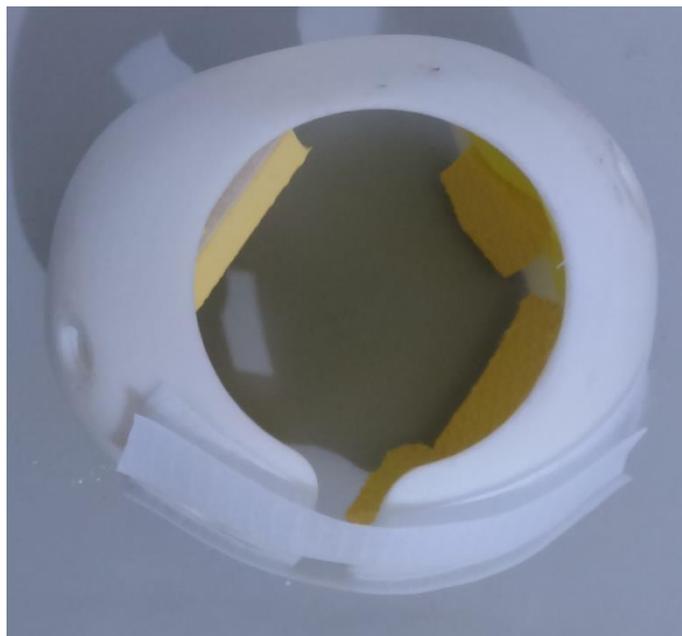


Figura 38 - Vista superior do capacete com os velcros de fixação.

Na Figura 39, é mostrado o sistema de ajuste externo da órtese com velcros, que possui a finalidade de facilitar a operação de remoção e instalação da órtese no crânio do paciente.



Figura 39 - Detalhe do sistema de ajuste da órtese.

A fixação das placas dimensionadas de EVA, bem como as bandanas de velcro para ajuste da órtese foram fixadas no corpo da mesma por meio de cola líquida para polímeros. A sua adesão nas superfícies atendeu as necessidades do projeto, não aparecendo sinais de descolamento, odores ou reações adversas que pudessem comprometer a integridade e qualidade da órtese.

4.5. Validação do capacete

4.5.1. Massa do conjunto

Com o objetivo de avaliar a viabilidade do protótipo, devido às características da aplicação previamente avaliadas pelo presente trabalho, foram mensuradas em cada uma das principais etapas de montagem, a massa em gramas da órtese. Os resultados obtidos durante o processo podem ser vistos na Tabela 3.

Nota-se um acréscimo de 65g na massa da órtese devido à inserção dos componentes de ajuste, proteção e segurança. Porém devido às funcionalidades acrescentadas e ao conforto previsto e proporcionado para o uso diário, tais componentes são necessários e devem ser mantidos na órtese.

Tabela 3 - Massa da órtese em diferentes etapas.

Etapa	Massa
Capacete pós limpeza sem componentes	160g
Capacete com mecanismos de ajuste	200g
Capacete com mecanismos de ajuste, e acessórios de acabamento	225g

4.5.2. Análise de custo

Com a finalidade de analisar a viabilidade econômica, uns dos propósitos deste projeto, foram comparados os custos de fabricação do protótipo fabricado em ABS na impressora Vantage i, com uma simulação de custo de impressão em PLA na impressora 3D Cloner. Para calcular o custo pelo tempo de serviço da máquina, também se obteve as durações de impressão dos componentes. Os resultados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Quantidade de material e tempo consumido para fabricação da órtese nas impressoras Vantage i e 3D Cloner.

Componente	Qtde. de material (gramas)		Tempo (hh:mm:ss)		
	Vantage i		3D Cloner	Vantage i	3D Cloner
	Peça	Suporte			
Arruela (5 pçs)	7,25	0,95	7,3	00:50:00	00:25:00
Capacete	188,9	77,8	226,82	21:13:00	17:30:00
Célula (5pçs)	25	8,9	34,05	05:10:00	02:35:00
Inserto (5pçs)	11,1	3,9	12,2	03:35:00	01:55:00
TOTAL	323,8		280,37	30:48:00	22:25:00

Estimando o custo por hora de utilização de cada impressora, e sabendo o custo por quilo de material, foi possível chegar ao custo total de fabricação se utilizada cada uma das duas impressoras. Os resultados são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Custo total de fabricação utilizando as impressoras Vantage i e 3D Cloner.

Impressora	Vantage i	3D Cloner
Material	ABS	PLA
Massa de material (Kg)	0,324	0,280
Custo do material (R\$/Kg)	2100,00	120,00
Tempo total (horas)	30,8	22,42
Custo da máquina (R\$/hora)	100,00	20,00
Custo de acessórios	20,00	20,00
Custo total (R\$)	3.780,40	502,00

Chegou-se que o custo total, se for utilizada a impressora Vantage i como neste trabalho, será de R\$3.780,40, já se utilizar a máquina 3D Cloner o valor ficará em R\$502,00. Para fim de avaliação se este valor é alto, vale comparar com o valor da órtese americana apresentada no *Benchmarking* e mais utilizada no Brasil, que é cerca de US\$ 2.200,00, que pela cotação atual do dólar em torno de R\$3,40, resultará no custo de R\$7480,00.

4.5.3. Avaliação do protótipo por um profissional

Devido ao fato do trabalho ter seus objetivos limitados ao desenvolvimento e fabricação de um protótipo da órtese, e não a validação final do produto para uso comercial, não foi possível obter uma validação baseada em resultados de pacientes tratados. Entretanto, como alternativa, adotou-se a avaliação do produto realizada por um profissional especialista na área.

O profissional consultado foi o fisioterapeuta Mauro Gemelli, especialista em Osteopatia Pediátrica. Foi solicitado ao profissional o preenchimento de um questionário que abrangesse os principais requisitos que a órtese deveria possuir e os problemas com maior potencial de ocorrência. O questionário foi preenchido e encontra-se integralmente no APÊNDICE B.

Na avaliação do especialista, o peso final foi satisfatório ao ter um valor similar a órteses já existentes e o conforto foi considerado positivo, mas com ressalva devido a necessidade de testar a estabilidade do produto. A higiene também foi bem avaliada, pela facilidade de higienização do material EVA, e pode-se destacar ainda a possibilidade de retirada do EVA para higienização externa.

Já para a funcionalidade, observa-se uma avaliação mais cautelosa, sugerindo que o sistema de trava deve ser melhorado e o posicionamento dos apoios melhor estudado, mas é destacado de forma positiva o sistema de ajuste em relação aos produtos existentes onde prevalece o lixamento.

Como principais pontos positivos foram citados, além do sistema de ajuste, a boa ventilação interna, o tempo de confecção, o baixo custo e a liberdade de personalização da órtese. Como principais pontos negativos, citou-se a estabilidade que precisa ser testada, o acabamento dos apoios, e o velcro lateral que poderia ser preso por rebites por exemplo. Sugeriu-se ainda que o diâmetro na circunferência mais baixa do capacete (contorno das orelhas e nuca) pudesse ser menor, pois não há necessidade do capacete ter uma geometria paralela constante em todas as regiões da cabeça.

Como comentários finais, o especialista destacou que aparentemente o produto tem ótima aplicabilidade, sugere o material ABS em relação ao PLA pelo acabamento resultante, e que seja realizada uma análise de tempo e custo abrangendo o desenvolvimento e a fabricação.

5. Conclusão

O presente trabalho teve por finalidade avaliar a viabilidade de nacionalização de uma órtese para tratamento de plagiocéfalia posicional, trazendo como inovação o desenvolvimento de um modelo ajustável e customizado para cada paciente. Para alcançar este objetivo, foram utilizadas as práticas de metodologia de projeto com o intuito de avaliar sua viabilidade econômica, técnica e funcional.

Do ponto de vista comercial, foram listados concorrentes com o *benchmarking* para este projeto, e até o presente momento, apenas concorrentes internacionais atuam no mercado brasileiro com preços considerados altos. Sob a ótica técnica, o projeto da órtese necessita de cuidados especiais com sua manufatura e construção, de maneira a preservar a integridade física da criança devido a sua natureza frágil. No aspecto funcional, o mesmo deve cumprir a finalidade do tratamento proposto, mas a verificação do sucesso desse objetivo não foi objeto deste trabalho por não ser de competência profissional dos autores.

Quanto ao custo de fabricação, observa-se que o produto é viável comercialmente mesmo se fabricado com a impressora Vantage i, quando o custo ainda é cerca da metade da órtese americana mais utilizada no Brasil. Entretanto, observa-se que com a impressora 3D Cloner, ou outra de custo de similar, poderia deixar o produto significativamente mais acessível. Portanto, seria interessante uma análise futura sobre a qualidade do produto se fabricado por esta.

Observa-se também que a utilização da manufatura aditiva foi determinante para a execução deste projeto, ao permitir a fabricação de peças plásticas personalizadas conforme a necessidade. Comparado com outras opções de fabricação, se o protótipo fosse fabricado pelo processo de injeção, por exemplo, o custo e o tempo utilizado seriam bem maiores devido à necessidade de fabricação dos moldes. Considerando ainda os resultados da análise de custo, pode-se considerar o processo de manufatura aditiva como a primeira opção para fabricação do produto final, e não só do protótipo.

Para trabalhos futuros, sugere-se o projeto de uma órtese com uma solução similar ao quarto mecanismo desenvolvido neste trabalho, mas que reduza o espaço existente entre o capacete e a cabeça da criança. Adicionado a isto, um sistema

autotravante que não dependa de um conjunto de arruelas espaçadoras, o que poderá agregar praticidade a utilização do produto pelo profissional.

Como sugestão de protocolo de modelagem virtual, para a criação de um produto similar ao desenvolvido, que é totalmente paralelo a cabeça do paciente, sugere-se a utilização do *software* Meshmixer® para criação de uma superfície em *offset*, ao invés da criação de uma superfície por *Loft* no SolidWorks® e posterior *offset*, como utilizado neste trabalho. Entretanto, a criação de uma superfície por *Loft* no SolidWorks® ou outro *software* similar pode ser uma alternativa para atender a sugestão do profissional consultado, em diminuir a folga do capacete nas regiões inferiores (contorno das orelhas e nuca).

Considerando a análise de custo e a avaliação realizada pelo profissional consultado, pode-se considerar que o trabalho atingiu os objetivos propostos, e o produto é viável para uma possível disponibilização no mercado após passar por todos os testes e validações necessárias.

REFERÊNCIAS

AHREN, Carlos H; LENCINA, Diovani; BEAL, Valter E; FRAGA, Marcelo. **Considerações iniciais para a confecção de protótipos rápidos**. Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação. Curitiba, 2001.

BACK, Nelson; OGLIARI, André; DIAS, Acires; SILVA, Jonny C. **Projeto Integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem**. 1. ed. Barueri: Manole, 2008.

BIGGS, Wendy S. **Diagnosis and Management of Positional Head Deformity**. American Family Physician, 2003.

FERNANDES, B. O.; FOGGIATTO, J. A.; POIER, P. H. **Uso da impressão 3D na fabricação de órteses: um estudo de caso**. In: Fourth International Conference on Integration of Design, Engineering and Management for innovation. Florianópolis, 2015.

FREITAS, R.S.; ALONSO, Nivaldo; SHIN, J.H.; PERSING, John. **Assimetrias cranianas em crianças: diagnóstico diferencial e tratamento**. Revista Brasileira de Cirurgia Craniomaxilofacial. São Paulo. Vol.13, n.1, jan. 2010.

GARCIA, J.C.D.; GALVÃO FILHO, T.A. **Pesquisa Nacional de Tecnologia Assistiva**. São Paulo: Instituto de Tecnologia Social, 2012.

GUIMARAES, Leovani M. **QFD – Quality Function Deployment: Uma análise de aspectos culturais organizacionais como base para definição de Fatores Críticos de Sucesso (FCS) na Implementação da Metodologia**. Revista Qualidade, Ed. Banas, jan. 2003.

PAHL, Gerhard; BEITZ, Wolfgang; FELDHUSEN, Jörg; GROTE, Karl-Heinrich. **Projeto na Engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

PINTO, Fernando C. G.; MATARAZZO, Carolina G. **Assimetria craniana: Cranioestenose ou Plagiocefalia Posicional?** Blucher Medical Proceedings, nov. 2014.

ROLLINS, J. D.; COLLINS, Julianne S.; HOLDEN, Kenton R. Holden. **United States Head Circumference Growth Reference Charts: Birth to 21 Years**. The Journal of Pediatrics. Vol.156, n.6, Pages 907-913.e2, Jun. 2010.

ROZENFELD, H; FORCELLINI, F.A.; AMARAL, D.C.; TOLEDO, J.C.; SILVA, S.L., ALLIPRANDINI, D.H.; SCALICE, R.K. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: uma referência para a melhoria do processo**. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2006.

SCHREEN, Gerd; MATARAZZO, Carolina C. **Tratamento de plagiocefalia e braquicefalia posicionais com órtese craniana:** estudo de caso. São Paulo, 2013.

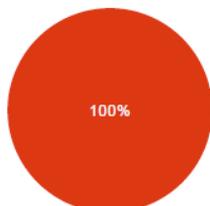
SILVA, R. F.; REGIS, S. N.; MOURA, F. I. R; ALMEIDA, H. P. G.; PEREIRA, K. C. S.; MATINS, Mateus. **Órtese para reabilitação de jovens com escoliose idiopática.** HFD, v.4, n.8, p112-130, Nov. 2015.

VOLPATO, Neri; AHRENS, C.H.; FERREIRA, C.V.; PETRUSCH, Günther; CARVALHO, Jonas de; SANTOS, J.R.L.; SILVA, J.V.L. **Prototipagem Rápida:** Tecnologias e Aplicações. 1. ed. São Paulo: Edgar Blücher, 2007, p. 1-70.

APÊNDICE A – RESULTADO DA PESQUISA REALIZADA COM PAIS DE PACIENTES

Foi necessária intervenção cirúrgica no crânio do bebê para correção?

Sim	0	0%
Não	3	100%



Qual o modelo de órtese (capacete) utilizado?



STARband® (Tratamento com Drº Gerd Schreen)	3	100%
Órtese desenvolvida pela AACD	0	0%
Outra	0	0%

Se você respondeu outra, por favor descreva sua marca e modelo abaixo:

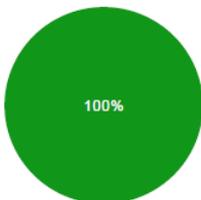
Por quantos meses foi realizado o tratamento com o capacete?

3
2,5

Com quantos meses de idade iniciou o tratamento?

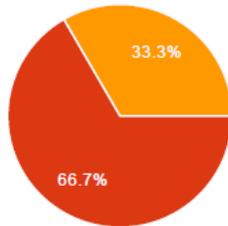
6
7
8

Qual sua satisfação com o resultado alcançado?



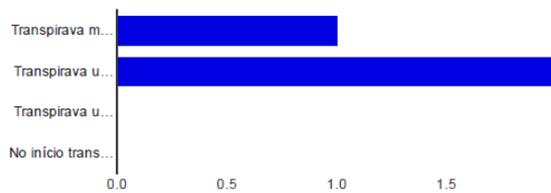
nada satisfeito	0	0%
parcialmente satisfeito	0	0%
satisfeito	0	0%
muito satisfeito	3	100%
extremamente satisfeito	0	0%

Qual sua avaliação geral sobre o conforto do capacete?



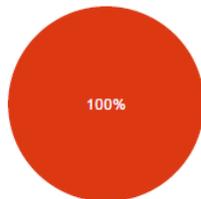
pouco confortável	0	0%
parcialmente confortável	2	66.7%
confortável	1	33.3%
muito confortável	0	0%
extremamente confortável	0	0%

Considerando que o capacete poderia esquentar, fazer a cabeça do bebê suar e aparecer mau cheiro, responda: (Marque mais de uma se necessário)



Transpirava muito mesmo em dias com temperaturas amenas	1	33.3%
Transpirava um pouco além das demais partes do corpo	2	66.7%
Transpirava um pouco, mas proporcional as demais partes do corpo	0	0%
No início transpirava mais e com o tempo normalizou	0	0%

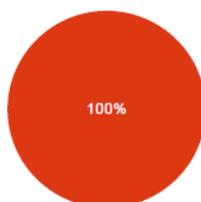
A criança teve algum tipo de irritação na pele ou alergia?



Sim	0	0%
Não	3	100%

Se sim, descreva qual tipo de irritação na pele ou alergia apresentada

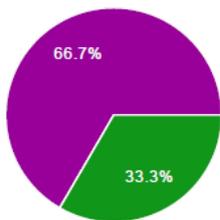
Você notou algo que prejudicou a criança ao usar o capacete?



Sim	0	0%
Não	3	100%

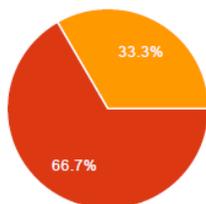
Se algo prejudicou a criança, por favor descreva o problema abaixo:

Qual sua avaliação sobre a facilidade de vestir o capacete na criança?



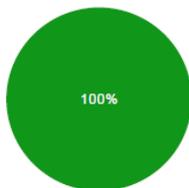
Avaliação	Quantidade	Porcentagem
difícil	0	0%
parcialmente difícil	0	0%
razoável	0	0%
parcialmente fácil	1	33.3%
extremamente fácil	2	66.7%

Como você avalia a movimentação do capacete na cabeça da criança?



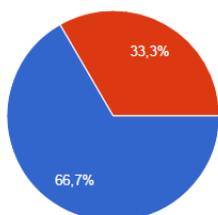
Avaliação	Quantidade	Porcentagem
não havia movimentação	0	0%
se movimentava pouco	2	66.7%
se movimentava algumas vezes	1	33.3%
se movimentava muito	0	0%

Qual sua avaliação sobre o acabamento do capacete?



Avaliação	Quantidade	Porcentagem
mal acabado	0	0%
parcialmente acabado	0	0%
acabamento razoável	0	0%
bom acabamento	3	100%
excelente acabamento	0	0%

Você considera o custo deste tratamento: (3 respostas)



- muito alto
- alto
- razoável
- acessível
- barato

APÊNDICE B - AVALIAÇÃO PRÉVIA DA ÓRTESE DESENVOLVIDA

Profissional consultado: Fisioterapeuta Mauro Gemelli, especialista em Osteopatia Pediátrica.

1. Massa final da órtese (225 gramas)

1 2 3 4 5

Comentário: Tem o peso similar a órteses existentes.

2. Conforto aparente que a órtese oferecerá

1 2 3 4 5

Comentário: Parece ser confortável, mas necessita testes de estabilidade.

3. Facilidade de higienização

1 2 3 4 5

Comentário: EVA é um material de fácil higiene.

4. Funcionalidade

1 2 3 4 5

Comentário: Apresenta aparente fácil manejo (colocação e retirada);

Sistema de ajuste que facilita a utilização em relação aos outros produtos;

Posicionamento dos apoios deve ser estudado;

Sistema de trava deve ser melhorado.

5. Principais pontos positivos

Ventilação interna ótima;

Sistema de ajuste fácil;

Rápido tempo de confecção a partir de protocolo definido;

Baixo custo comparado aos sistemas existentes;

Personalização da órtese a partir de impressão 3D.

6. Principais pontos negativos

Estabilidade necessita ser testada, o que inclui estudo do posicionamento dos ajustes.

Acabamento dos apoios necessita melhora. Necessita de padrão e diferentes comprimentos. Tentar solucionar isso com menos inserção de EVA de apoio.

Diâmetro relativamente grande na circunferência mais baixa do capacete em decorrência do protocolo de modelamento adotado. Melhorar relação de espaço livre no capacete para reduzir o tamanho final da órtese.

Sistema de trava deve ser realizado com mecanismo mais seguro, como com "rebites" (p.ex.), para garantir estabilidade.

7. Outros comentários

Resultado bem interessante.

Aparentemente tem aplicabilidade ótima para o objetivo proposto.

Estudar o material de impressão ABS como primeira escolha, devido a melhor acabamento de impressão em comparação com PLA.

Fazer análise de custo de impressão, e tempo em horas gastos desde recebimento de uma Tomografia ou Imagem 3D até a finalização da órtese com acabamentos em EVA.