



A CONTRIBUIÇÃO DA ERGONOMIA NO PROJETO DE CONSTRUÇÃO DE
ESPAÇO MAKER: UM ESTUDO DE CASO DO LABORATÓRIO DE
PROTOTIPAGEM RÁPIDA DA MARINHA DO BRASIL

Carlo Cesar Drumond

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Mario Cesar Rodríguez Vidal

Rio de Janeiro

Março de 2020

A CONTRIBUIÇÃO DA ERGONOMIA NO PROJETO DE CONSTRUÇÃO DE
ESPAÇO MAKER: UM ESTUDO DE CASO DO LABORATÓRIO DE
PROTOTIPAGEM RÁPIDA DA MARINHA DO BRASIL

Carlo Cesar Drumond

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Orientador: Mario Cesar Rodríguez Vidal

Aprovada por: Prof. Mario Cesar Rodríguez Vidal

Prof. Carlos Alberto Nunes Cosenza

Prof. Eduardo Ferro dos Santos

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

MARÇO DE 2020

Drumond, Carlo Cesar

A Contribuição da Ergonomia no Projeto de Construção de Espaço Maker: Um Estudo de Caso do Laboratório de Prototipagem Rápida da Marinha do Brasil / Carlo Cesar

Drumond - Rio de Janeiro:

UFRJ/COPPE, 2020

XIII, 87 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Mario Cesar Rodríguez Vidal

Dissertação (mestrado) – UFRJ / COPPE / Programa de Engenharia de Produção, 2020.

Referências Bibliográficas: p. 82 – 87

1. Ergonomia. 2. Prototipagem Rápida. 3. Espaço Maker. I. Vidal, Mario Cesar Rodríguez. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Produção. III. Título.

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação aos meus pais Cesar e Leamar que me inspiram diariamente a crescer, vencer obstáculos e crescer como pessoa e profissionalmente. Também dedico este trabalho a minha amada companheira Luiza, que esteve comigo durante esta longa jornada.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, à Marinha do Brasil, por me proporcionar tempo integral e dedicação exclusiva para conclusão dessa pesquisa.

Ao Prof. Mario Cesar Rodríguez Vidal, pelo apoio durante todo este trabalho e pelo aprendizado proporcionado durante as aulas ministradas ao longo do curso.

Aos alunos do Curso de Especialização Superior em Ergonomia (CESERG), por me auxiliarem nas pesquisas de campo;

À Universidade Federal do Rio de Janeiro, pela educação de excelência oferecida a mim.

A todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para esta realização.

Os meus eternos e sinceros agradecimentos.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M. Sc.)

A CONTRIBUIÇÃO DA ERGONOMIA NO PROJETO DE CONSTRUÇÃO DE
ESPAÇO MAKER: UM ESTUDO DE CASO DO LABORATÓRIO DE
PROTOTIPAGEM RÁPIDA DA MARINHA DO BRASIL

Carlo Cesar Drumond

Março / 2020

Orientador: Mario Cesar Rodríguez Vidal

Programa: Engenharia de Produção

Atualmente, os laboratórios de fabricação digital não possuem uma preocupação com o ambiente de trabalho ao qual seus usuários estão inseridos, no que se refere a saúde e segurança dos usuários. O objetivo do presente trabalho é demonstrar como a realização de uma análise ergonômica, nestes ambientes, pode contribuir para identificar e sugerir melhorias em situações de riscos aos quais seus usuários estão expostos. Para que as atividades realizadas em espaços de inovação e de criação de protótipos não causem prejuízos à segurança física dos seus usuários, com base na análise ergonômica, é desenvolvido um projeto de padronização de layout visando planejar um ambiente de trabalho adequado aos princípios ergonômicos. Para alcançar esse objetivo, um estudo de caso foi realizado no Laboratório de Prototipagem Rápida da Marinha (LabProM), uniformizando os procedimentos, requisitos e equipamentos mínimos necessários à sua operação segura, desenvolvendo assim um ambiente adequado e propício à inovação.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

THE CONTRIBUTION OF ERGONOMICS IN THE FAB LAB CONSTRUCTION
PROJECT: A CASE STUDY OF THE NAVY RAPID PROTOTYPING
LABORATORY

Carlo Cesar Drumond

March/2020

Advisor: Mario Cesar Rodríguez Vidal

Department: Production Engineering

The objective of this work is to perform the Ergonomic Work Analysis (AET) in digital manufacturing environments, also called Fab lab. Currently, Fab labs do not have this concern with the work environment to which their users are inserted. So that these spaces for innovation and prototyping do not harm the physical safety of its users, a standardization project will be developed to plan a work environment that is adequate to ergonomic principles. To achieve this objective, a case study will be carried out at the Navy Rapid Prototyping Laboratory (LabProM) in order to standardize the procedures, requirements and minimum equipment necessary for its safe operation, thus developing an adequate environment, of a generalizable character and conducive to innovation.

SUMÁRIO.....	viii
CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	1
1.1 A natureza tecnológica do LabProM	2
1.2 As finalidades do LabProM	3
1.3 A relevância da Ergonomia no projeto do LabProM.....	4
1.4 Objetivos e estrutura da dissertação.....	8
CAPÍTULO 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	10
2.1 Ação Ergonômica	10
2.1.1 MacroErgonomia.....	11
2.1.2 Análise Ergonômica	13
2.1.3 Antropotecnologia.....	18
2.1.4 Campos da Ergonomia	19
2.2 Prototipagem	20
2.2.1 Protótipos	21
2.2.2 Prototipagem rápida e manufatura aditiva	23
2.2.3 Materiais para manufatura aditiva.....	24
2.2.4 Prototipagem e impressão 3D	30
2.3 Fab labs	Error! Bookmark not defined.
2.3.1 Makerspace e Fab lab.....	33
2.3.2 Rede mundial de Fab labs	34
2.3.3 Requisitos de projeto Fab lab	37
2.3.4 Tipos de Fab lab's	43
CAPÍTULO 3 METODOLOGIA	46
3.1 Demanda gerencial e primeiras visitas	47
3.1.1 Itinerário de contatos.....	48
3.1.2 Construção social	49

3.1.3	Demanda gerencial.....	50
3.2	Análise global e Estudo da população	51
3.3	Demanda ergonômica: Delimitação empírica do tema de trabalho	54
3.4	Focalização e pré diagnóstico	55
3.5	Modelo Operante : apresentação estruturada do problema.....	55
3.5.1	Pré diagnóstico : Construção de Hipoteses diagnóstica	56
3.5.2	Resultado do EAMETA	57
3.5.3	Escritório de projetos	59
3.5.4	Laboratório de Impressão 3D	60
3.5.5	Oficina de acabamento	63
CAPÍTULO 4	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	65
4.1	Recomendações ergonômicas: objetivação do modelo operante.....	65
4.2	Requisitos ergonômicos mínimos para montagem de um FabLab	66
4.3	Aplicação dos requisitos ergonômicos no projeto do LabProM.....	70
CAPÍTULO 5	CONCLUSÃO	78
5.1	Conclusões	78
5.2	Discussão dos processos de realização da dissertação.....	79
5.3	Recomendações para trabalhos futuros.....	80
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82

Lista de figuras

Figura 1: As diferentes acepções metodológicas em Ergonomia.	11
Figura 2: Procedimento genérico da aplicação macroergonômica.	13
Figura 3: Indicadores de complexidade requerendo análise ergonômica.	14
Figura 4: A análise ergonômica em seu contexto empresarial.	15
Figura 5: O fluxo completo da ação ergonômica.	18
Figura 6: representação das principais etapas do processo de manufatura por camada.	24
Figura 7: Estereolitografia	25
Figura 8: Sinterização Seletiva por Laser	26
Figura 9: Fusão e deposição de material – FDM	27
Figura 10: Impressora 3D da fabricante Ultimaker	28
Figura 11: Processo FDM	28
Figura 12: Método auxílio à tomada de decisão	29
Figura 13: Etapas do processo de impressão 3D	32
Figura 14: Fab Charter	36
Figura 15: Kit básico do Fab Lab	37
Figura 16: Layout comumente utilizado em Fab Labs	39
Figura 17: Cortadora a laser	40
Figura 18: Cortadora de vinil	41
Figura 19: Fresadoras de precisão de pequeno (esquerda) e grande porte (direita)	42
Figura 20: Layout do Fab Lab da Universidade do Chile	45
Figura 21: Instituto de Pesquisas da Marinha - localização (IPqM, 2019)	47
Figura 22: Áreas de atuação do IPqM	48
Figura 23: Itinerário de Contatos	48
Figura 24: Construção Social	49
Figura 25: Distribuição por gênero	52
Figura 26: Composição da equipe do Grupo de Armas em termos de categorias	52
Figura 27: Repartição por grau de escolaridade	53
Figura 28: Número de funcionários por tempo de serviço na empresa	53
Figura 29: Número de funcionários por faixa etária	54
Figura 30: Trabalho de projetos em softwares CAD	60
Figura 31: Fase de acompanhamento inicial da impressão.	61
Figura 32: Abertura das janelas para permitir a ventilação natural.	62

Figura 33: Manual da Ultimaker ³	63
Figura 34: Realização do trabalho de acabamento.	64
Figura 35: Sugestões para a realização do trabalho em escritório de modelagem	66
Figura 36: Sugestões para a realização de trabalho em bancadas.	67
Figura 37: Exemplo de instalação de exaustores em laboratórios.....	68
Figura 38: Instalações do local onde será o futuro LabProM.....	71
Figura 39: Layout do Fab lab – LabProM	72
Figura 40: Sala de reuniões e Videoconferência	73
Figura 41: Sala de impressão 3D.....	74
Figura 42: Sala de Equipamentos – Bancada de acabamentos.....	75
Figura 43: Sala de Equipamentos – Fresadora de grande e pequeno porte	75
Figura 44: Escritório de Projetos	76
Figura 45: Sala de Exposição	77

Lista de quadros

Quadro 1: Tipo de protótipos	21
Quadro 2: Utilização dos protótipos nas várias fases dentro do processo de desenvolvimento de produtos.	22
Quadro 3: Mapa ergonômico	55
Quadro 4: Reportes dos operadores	57
Quadro 5: Destaque aos problemas encontrados utilizando o EAMETA	58
Quadro 6: Quadro resumo de recomendações de melhoria	65

Lista de símbolos

ABS – *Acrilonitrila Butadieno Estireno*

AET – *Análise Ergonômica do Trabalho*

CAD – *Computer Aided Design*

CAE – *Computer Aided Engineering*

CAM – *Computer Aided Manufacturing*

CNC – *Computerized Numeric Control*

EAMETA - Espaço, Ambiente, Mobiliário, Tarefa e Atividade

FDM – *Fused Deposition Modeling*

IPqM – Instituto de Pesquisas da Marinha

LabProM – Laboratório de Prototipagem da Marinha

SLA – *Stereolithography*

STL – *Standard Tessellation Language*

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO

Esta dissertação trata da contribuição da Ergonomia no projeto de construção de espaço maker, assim entendidos os espaços-tipo em que pessoas de diversas áreas se reúnem para realizar projetos de fabricação digital de forma colaborativa. Ela foi motivada pela decisão de construção de um laboratório de prototipagem rápida numa instalação da Marinha do Brasil. Tendo como fio condutor o princípio de que o projeto dos locais de trabalho deva assegurar, no plano técnico, a segurança, a operabilidade, ao mesmo tempo em que, no plano social, ofereça conforto aos operadores do laboratório, esta dissertação tem como objetivo instrumentar o projeto de um espaço maker, com conteúdo referentes às boas práticas em ergonomia, e adequadamente aplicados no contexto empírico do Laboratório de Prototipagem Rápida da Marinha (LabProM). Nesse sentido o teor da dissertação reporta uma intervenção ergonômica na qual nos incumbimos de agir sobre o projeto em curso para que resulte num ambiente seguro e confortavelmente operável na perspectiva de seus usuários.

Para que possamos bem introduzir esta dissertação se torna relevante considerar que o LabProM se constitui em um dos primeiros grupos de instalações de computação gráfica avançada da Marinha, cujas instâncias superiores decidiram, num primeiro momento, situá-lo no Instituto de Pesquisas da Marinha (IPqM). Portanto, devemos considerar que esta iniciativa deverá seguir reproduzindo-se em outras unidades e organização da Marinha e nas Forças Armadas como um todo. Nesse sentido podemos examiná-la, em nível introdutório, quanto à natureza da tecnologia nele embarcada e quanto às finalidades do Laboratório, como fundamentação introdutória à explicitação dos objetivos e da estrutura desta dissertação.

1.1 A natureza tecnológica do LabProM

As tecnologias de computação gráfica têm exercido um papel importante no desenvolvimento de protótipos e produtos desde sua disseminação massiva, que teve lugar na década de 1980, e se consolidou definitivamente nos anos 90. Tendo modificado o paradigma da interação humano-computador rumo às configurações de tela de nossos dias, a computação gráfica produziu um efeito de expansão de seus limites de visualização científica e de recursos computacionais para o projeto e manufatura de objetos físicos. Um de seus mais admiráveis desenvolvimentos recentes nessa direção é o da construção de modelos físicos tridimensionais que, dentre outras vantagens, são capazes de acelerar a curva de aprendizado no processo de desenvolvimento de produtos (BARKAN e IANSITI, 1993).

Os modelos físicos tridimensionais, foram inicialmente obtidos dentro do conceito *Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing* (CAD/CAM) cujo primeiro conceito tratou de criar meios de digitalização e de realização de desenhos técnicos digitais que possibilitaram a transformação dos tradicionais desenhos de fabricação mecânica e eletrônica em objetos digitais. Com pequena defasagem essa tecnologia logrou com sucesso sua conexão e associação a centros de manufatura de pequena escala e capazes de produzir componentes para montagem de mock-up's e outras representações prototípicas de produtos.

Em que pese um início com execução mais demorada e custosa, a obtenção de modelos tridimensionais tornou-se mais rápida e barata a partir do final da década de 1990 com o surgimento de tecnologias de Impressão 3D, e seus ganhos no desenvolvimento de produtos. Essa tecnologia permite a fabricação de peças diretamente do modelo digital – modelo CAD tridimensional – incorporando e aperfeiçoando, já em ambiente computacional, as representações por corte e perspectivas diversas.

Em nossos dias há uma multiplicidade de disseminação da tecnologia física, mas com pouca atenção aos aspectos sociotécnicos, especialmente no que tange às implicações dos aspectos colaborativos sobre o projeto de unidades espaço makers, conforme descritas no *caput* deste capítulo.

1.2 As finalidades do LabProM

Em sua concepção original o LabProM objetiva a elaboração e a confecção de peças e dispositivos mecânicos utilizando máquinas de impressão 3D e de usinagem CNC, para aplicação nos meios navais de uso militar. Este tipo de descrição estritamente técnica, no entanto, não é suficiente para delinear uma instalação deste tipo, já que se constituem em ambientes de interação mais do que em ambientes de utilização. Neste último contexto as pessoas apenas se servem dos equipamentos, individualmente, e ao nível de capacitação de que dispõem. No contexto colaborativo, no entanto, se trata de manuseio em pluralidade, ao longo do qual os interagentes possuem e praticam competências distintas em grau e modalidades.

Essa constatação implica em problemas de concepção tecnológica, com relevantes aspectos como as funcionalidades de instrumentação e controle das impressões 3-D, formas de antecipação apenas virtual de impressões realizadas e outros conteúdos de natureza cognitiva que possibilitassem interrogar de forma mais aprofundada as lógicas de programação e de representação dos softwares que acompanham o maquinário e dos demais protocolos operacionais do espaço maker. Por outro lado, sem que se proceda a exames intrínsecos da tecnologia, ainda assim cabem ser realizados exames extrínsecos da mesma para que o espaço maker se constitua num ambiente propício a inovação, que apresente equipamentos seguros, com propriedades de usabilidade e suporte aos operadores de laboratórios

Nesse contexto, da necessidade de um tal ambiente é onde se elabora um lista de aportes, de fundo ergonômico, que possibilite não somente incrementar a produtividade em inovações como também elevar o nível de segurança, diminuindo os fatores de risco à segurança de pessoas que podem ser operadores de maior expertise, como usuários de menor frequência, ai incluídos novatos e visitantes.

Por exemplo, para bem aproveitar o potencial do espaço maker, e nele realizar ao menos uma parte dos projetos de fabricação digital de forma colaborativa, não bastaria proceder às clássicas reuniões acerca de desenho projetados ou abertos sobre uma grande mesa ou prancheta, é igualmente necessária a manipulação ou a monitoração dos processos de impressão com ajustes e realinhamentos, algumas vezes em tempo real, pois assim se exigem os processos de inovação, com características fortemente situadas e oportunistas. E aqui se formula um contexto de investigação: quando se trata de uma estrutura colaborativa, onde se reúnem usuários potenciais com diferentes níveis de competência e familiaridade com os equipamentos – que são de origem industrial – emerge um conceito de conforto e segurança bastante peculiar, e é isso que se torna necessário aclarar e modelar para ajudar neste que está destinado a ser uma referência para espaços makers em instalações militares.

Esta dissertação se erige num primeiro passo neste sentido.

1.3 A relevância da Ergonomia no projeto do LabProM

A vivência em Ergonomia ensina que as transformações nos postos de trabalho, para que sejam positivas, devem possibilitar um aumento de desempenho na execução da atividade de trabalho sem pôr em risco a saúde dos trabalhadores. A disciplina Ergonomia, bem como sua prática profissional, a ação ergonômica, devem objetivar mais do que um posto de trabalho: deve-se focar a situação de trabalho como uma dinâmica

localizada do sistema de produção o que insere o posto de trabalho em seu contexto passado, presente e futuro. Isso é possível buscando-se estabelecer diretrizes que irão nortear transformações positivas com base:

- a) no desenvolvimento desde o *passado* – que constitui o sistema da forma como se apresenta e nos permite entender o porquê de alguns paradoxos ou limitações;
- b) no exame do *presente*, onde alguns problemas persistem e onde melhorias sejam cabíveis, necessárias e cuja implementação produza melhorias; e
- c) no delineamento de perspectivas *futuras*, que nos impeçam de tomar decisões irreversíveis em aspectos de penosidade e de eficiência.

A esse conjunto de diretrizes, trazido para o plano concreto da prática de projeto, chamamos de requisitos ergonômicos e é de que trata essencialmente essa dissertação.

O correto emprego de requisitos nos deverá permitir que seja possível trabalhar sem prejuízos à integridade física e mental, num contexto de respeito às leis e normas regulamentadoras relacionadas ao trabalho.

Sendo assim, interessa saber como o projeto possa vir a ser norteadado pelas contribuições da ergonomia tendo, portanto, um caráter generalizável em projeto de construção de outros similares, e é isso que chamamos de Ergonomia de Concepção

A Ergonomia de concepção é tratada por diversos autores (Guérin et al., 2001; Vidal, 2002; Béguin, 2007; Iida, 2009; Másculo e Vidal, 2011; Santos, Vidal e Rheingantz, 2013). Todos os autores mencionados convergem em seus estudos para o fato de que a concepção é o sentido maior para onde todos os esforços da prática em ergonomia devem ser encaminhados.

O projeto de um produto ou serviço deve considerar os objetivos, limitações de ordem técnica e as necessidades dos usuários. Um projeto, então, pode ser entendido como uma sequência de passos e procedimentos, porém estruturada de forma progressiva

para que nos seja possibilitado agir de forma recorrente, retornando a uma passagem específica ou ainda recorrendo às informações de etapas anteriores (FRISONI;2000), desde que se possa localizar com alguma precisão esse ponto de espera.

Nesse sentido é importante que a aplicação de requisitos seja bem marcada em cada momento de aplicação, o que chamamos de *pontos de espera* ao qual retornamos em caso de uma aplicação cujos resultados não se constituíram em algo efetivo.

Ainda segundo Frisoni (2000), o projetista pode contar com a (...) Ergonomia que “tem como ideal a integração da tecnologia e dos seres humanos”. Este ideal só pode ser alcançado quando o projetista atua como mediador em cada passo no desenvolvimento de novos produtos/serviços. Vidal (2002), assinala que as análises ergonômicas objetivam permitir descrever e interpretar os fatos notáveis da atividade enfocada, e tal como realizada.

Porém, novos e criativos ambientes de trabalho têm surgido nos últimos anos, como escritórios de *co-working*, que se baseiam no modelo de trabalho de compartilhamento de espaço e recursos de escritório, reunindo pessoas que trabalham num mesmo lugar mas não necessariamente para a mesma empresa ou na mesma área de atuação, podendo inclusive reunir entre os seus usuários profissionais liberais, empreendedores e usuários independentes.

Os espaços makers - ambientes de trabalho *co-working* - fazem parte de um movimento maker, como conhecido hoje e é atribuído a Neil Gershenfeld, professor do Massachusetts Institute of Technology. Neil foi o responsável por idealizar e ministrar o curso How to make (almost) anything (como fazer (quase) qualquer coisa), no qual reuniu ferramentas de fabricação que possibilitasse viabilizar a realização de projetos por seus alunos. No andamento da disciplina, Neil identificou a natureza pessoal dos projetos, o papel do compartilhamento e da colaboração no processo de desenvolvimento desses

projetos (GERHENFELD, 2008)

Os espaços maker podem, então, ser definidos como locais abertos (NIAROS et al, 2017), onde os usuários se reúnem para trabalhar em projetos, com auxílio de especialistas em utilização de ferramentas de alta ou baixa tecnologia (MAKERSPACE, 2013). Portanto, espaço maker consiste em um espaço físico, menores que um ambiente industrial e mais semelhantes a pequenos laboratórios de baixa escala. Nestes ambiente podemos perceber a introdução de novas tecnologias como a impressão 3D, cortadora a laser, scanner 3D, entre outras, que possibilitam novas oportunidades criadas por prototipagem rápida. Nestes ambientes também podemos encontrar equipamentos de baixa tecnologia como materiais de papelaria, mercenaria e/ou costura (MAKERSPACE, 2013).

Pesquisadores, empreendedores e pequenas empresas podem executar elas próprias os seus produtos para venda no mercado ou desenvolver seus projetos, comumente denominado de protótipos. Estes espaços, além de disponibilizarem o acesso a tecnologias e ferramentas, potencializam também a partilha de conhecimento e criação de sinergias, com foco na criatividade e inovação.

O projeto ergonômico de ambientes de trabalho na concepção de espaço maker, curiosamente, é encontrado em poucas referências na literatura. Se levarmos em consideração fatores humanos no projeto de espaços maker, até onde é dado saber, não foi possível encontrar referências mais encorpadas na literatura. Diante deste problema, a solução a este impasse, tomado como desafio, é levar em consideração os relatos dos usuários em teoria detentores de conhecimentos de problemas que emergem e impactam em seu processo de trabalho. A realização da Análise Ergonômica nesses locais de trabalho, mostrou-se um desafio enfrentado pelo autor, uma vez que estes “conhecimentos” se constituem de reportes, expressões e comentários que cabem ao

ergonomista estruturar e articular uma descrição de conjunto – é o que, como veremos, se chama de modelo operante.

De acordo com Moreira (2014), o cenário para a realização de um projeto de Ergonomia apresenta, entre outras possíveis, a seguinte configuração:

- a) por um lado, ergonomistas com recursos analíticos para a compreensão de contextos, juntamente com projetistas possuindo capacidade de especificar soluções e ambos com conhecimento insuficiente da realidade onde devem intervir;
- b) por outro lado, trabalhadores com grupos de necessidades específicas, mas sem os recursos e capacidades do grupo anterior.

A configuração descrita acima leva a um importante desafio em reunir e estimular uma maior integração do projetista e do trabalhador em uma equipe de projeto em Ergonomia. A base do projeto deve ser oriunda dessa interação, através da ação conversacional entre os principais atores envolvidos no projeto e numa segunda etapa de análise, onde serão elaborados os requisitos do projeto, a partir de uma análise ergonômica. Estas duas etapas devem ser convergidas para um denominador comum que possibilite a modelagem da ação ergonômica e os encaminhamentos de mudanças úteis.

1.4 Objetivos e estrutura da dissertação

À luz do que até aqui caracterizamos, esta dissertação se desenvolve em torno de dois objetivos, quais sejam:

- Um **objetivo de caráter específico** que consiste em realizar o projeto de um espaço de trabalho colaborativo, ancorado em contribuições de uma análise ergonômica, tendo como estudo de caso o LabProM. Este objetivo visa a adequação do fluxo de trabalho e da distribuição das máquinas e equipamentos a fim de garantir a agilidade, praticidade e segurança dos

operadores na produção colaborativa de protótipos;

- Um **objetivo de caráter geral** que implica em que as soluções e boas práticas reúnam características generalizáveis para que possam ser replicadas por meio de um framework teórico-prático. Nesse viés o projeto do LabProM inclui inevitável função de ser um padrão a ser seguido na concepção de outros similares.

Isso dito, a presente dissertação assim se estrutura:

No capítulo 2 é feita a revisão bibliográfica do assunto, em torno das noções de Ação ergonômica, Prototipagem, Manufatura aditiva Rápida e Espaço maker.

Em seguida o capítulo 3 nos oferece a apresentação da metodologia empregada para encaminhar os objetivos da dissertação. A metodologia é aqui apresentada em sua forma aplicada de acordo com a esquematização apresentada no capítulo 2.

No capítulo 4 são apresentados os resultados, onde se destacam a objetivação do modelo operante em recomendações ergonômicas, a formulação dos Requisitos mínimos para montagem de um espaço maker, assim como o exercício de aplicação dos requisitos ergonômicos no projeto do LabProM.

O capítulo 5, encerra a dissertação com a descrição de problemas em aberto e de indicações de trabalhos futuros a partir do que esta dissertação ensejou.

CAPÍTULO 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta os conceitos da teoria da ergonomia e seus campos de atuação. Também é apresentado um conteúdo acerca das técnicas de prototipagem rápida e seu local de trabalho: O espaço maker.

2.1 Ação Ergonômica

A Ergonomia, apresenta a definição básica que estabelece a combinação integrada e não-dissociada, onde:

- por um lado, da busca da melhor utilização de nossas capacidades humanas para o trabalho;
- e, por outro lado do combate implacável à penosidade.

Com base na definição original, e sustentado pela finalidade básica, podemos dizer que a ergonomia objetiva modificar o processo de trabalho para adequar a atividade de trabalho às características, habilidades e limitações das pessoas com vistas ao seu desempenho eficiente, confortável e seguro. Esta objetivação poderá ser feita de forma antecipada e a custo reduzido no âmbito do planejamento (Ergonomia de concepção), ser oportuna ao longo da implementação da logística (Ergonomia de projeto) ou ainda ser mobilizada para manter funcionais as situações correntes que requeiram uma adaptação num contexto de melhoria contínua (Ergonomia de correção).

Essas três acepções convergem, para efeito de engenharia, ao contexto central da Ergonomia de projeto, sendo contextualizada pela Ergonomia de concepção e alimentada por acúmulo de experiências no campo da correção. Com efeito a prática de projeto não é possível – e nem recomendada – sem que se disponha das definições do planejamento, e certamente será bastante dificultada por um planejamento feito com ausência de

Ergonomia de concepção. Da mesma forma, sem uma experiência vivida no exame de situações de trabalho a partir de descrições, caracterizações e modelagens aportadas pela Ergonomia de correção, a tarefa projetual se aproxima de um enigma, o que, por seu turno, não parece o melhor caminho para evitar problemas futuros. Uma visão panorâmica das abordagens das metodologias em Ergonomia é apresentada na figura 1.

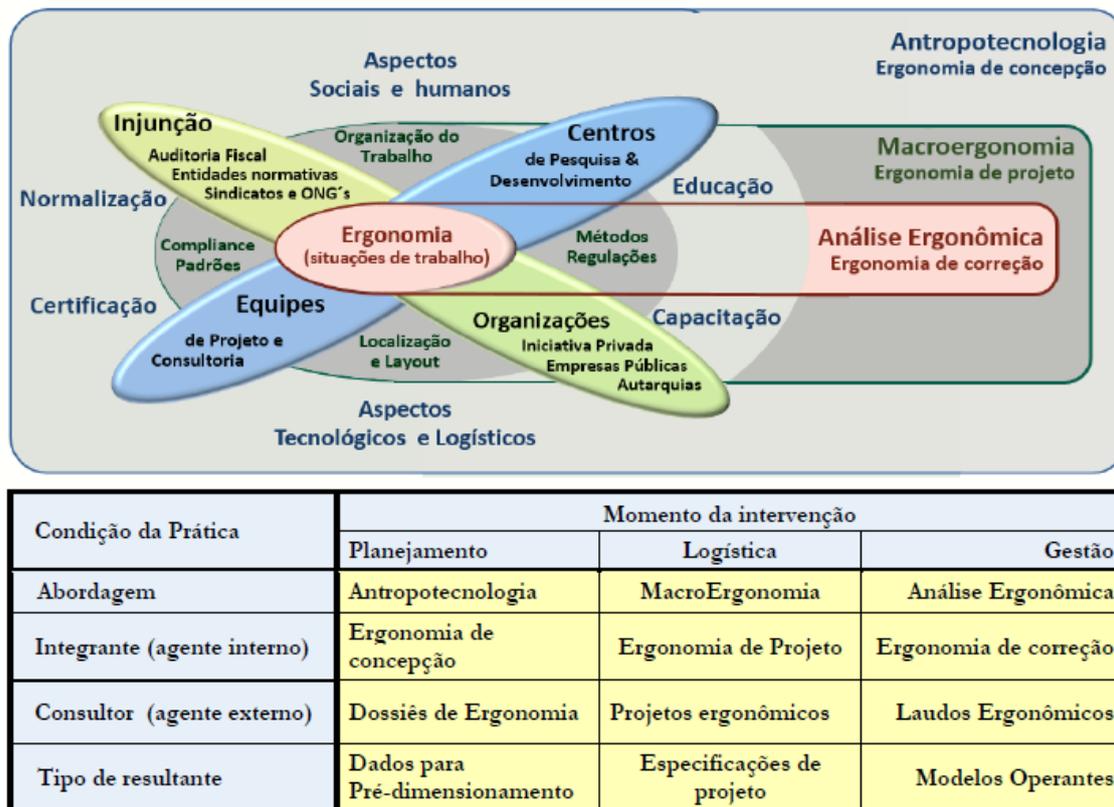


Figura 1: As diferentes acepções metodológicas em Ergonomia.

Fonte: Vidal (2020, comunicação pessoal).

2.1.1 MacroErgonomia

Nas palavras de Hendrick (2006), “Conceitualmente, macroergonomia é uma abordagem *top-down* de sistemas sociotécnicos para o projeto de sistemas de trabalho e a aplicação do sistema global de projeto do trabalho para os projetos de interfaces humano-trabalho, humano-máquina e humano-software”. Seu ensinamento básico é que os processos e produtos precisam buscar um equilíbrio entre pessoas, tecnologias e

organização. A Ergonomia contribui de forma decisiva para que este entendimento e este equilíbrio se faça assentado em bases de realismo e do ponto de vista da atividade das pessoas nas organizações.

Os métodos de Macroergonomia são mais dirigidos aos aspectos da arquitetura organizacional, que a tornem compatível com a dinâmica que houver sido percebida no nível microergonômico. Na MacroErgonomia, os esforços se voltam para compreender:

- a) a diferenciação dada pela divisão do trabalho;
- b) a integração recorrente para manter uma estrutura robusta e resiliente;
- c) a centralidade das decisões em poucos ou diversificados níveis e lugares;
- d) a formalização adequada ao bom funcionamento.

Numa analogia com a arquitetura de ambientes, podemos pensar que a macroergonomia se preste bastante bem para formar uma programação de projetos. Esse programa de necessidades se formaria a partir da organização em suas pautas de *compliance* e seus padrões, da macro e microlocalização e seus problemas de organização espacial e de *layout*. Nesse sentido é que vemos a Macroergonomia tão associada à Ergonomia de projetos: a concepção global é uma combinação de referências com uma localização que antes de redesenhar as materialidades, deve redesenhar os programas de projeto que as constituirão. A macroErgonomia supre as necessidades de uma concepção organizacional abrangente para que se possa encaminhar o projeto de uma unidade produtiva como um todo. A Figura 2 esquematiza o processo macroergonômico.

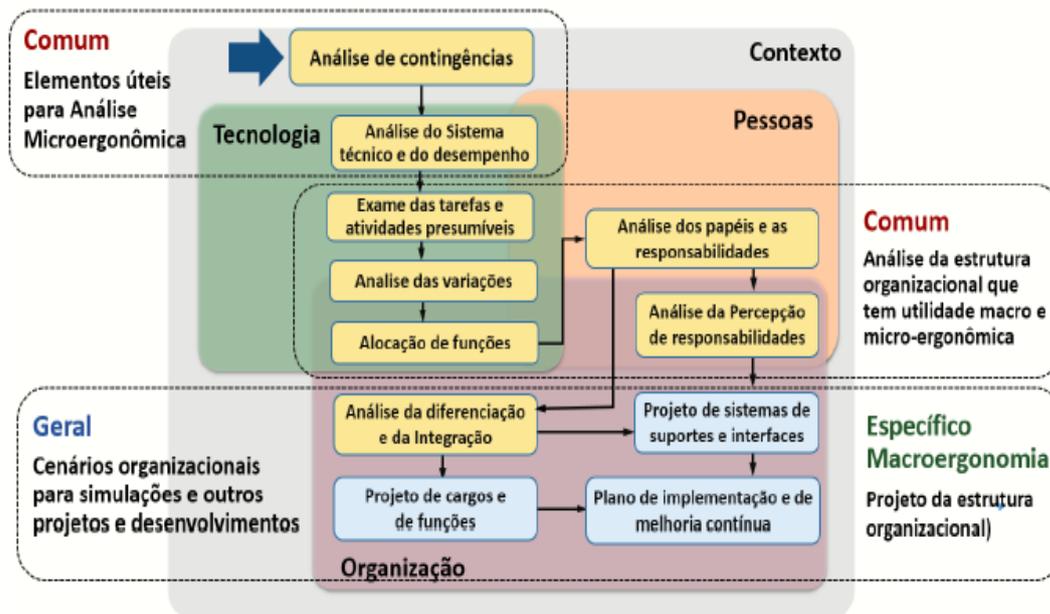


Figura 2: Procedimento genérico da aplicação macroergonômica.

Fonte: Hendrick, 2006, ampliado por Vidal, 2019

2.1.2 Análise Ergonômica

A Análise Ergonômica do Trabalho (AET) ou análise ergonômica – nomenclatura mais adequada ao rigor linguístico uma vez que a etimologia da palavra Ergonomia traz implícito o termo trabalho, tornando pleonástico seu uso como referência falada e escrita – se constitui de um conjunto estruturado e intercomplementar de análises, algumas ampliadas (de natureza global) e outras situadas (de natureza sistemática) dos determinantes da atividade das pessoas numa organização. O conjunto de esquemas (*outlines*) é composto por exames quantitativos e qualitativos que permitem tanto uma descrição operativa como a interpretação do que acontece na realidade da atividade enfocada. Estas análises são engendradas pela demanda de que se originam as ações ergonômicas necessárias e permitem já na fase de esclarecimento inicial de demandas,

definir a natureza do problema. A figura 3 assinala alguns casos típicos onde a análise ergonômica se faz necessária.

- Atividades que requeiram grande esforço físico, posturas rígidas (somente de pé ou somente sentado) e movimentos aparentemente repetitivos;
- Tarefas com elevados requisitos de precisão e qualidade final
- Introdução de novas tecnologias físicas ou organizacionais
- Elevadas taxas de absenteísmo, rotatividade, acidentes e queixas;
- Atividades em turnos
- Conflitos entre empregados ou setores (produção x vendas, produção x manutenção, etc.)
- Existência de contenciosos e notificações

Figura 3: Indicadores de complexidade requerendo análise ergonômica.

Fonte: Arueira, 2000.

A metodologia busca definir a natureza do problema subjacente a queixas (formas de demandas feitas por pessoas singulares) e preocupações (manifestações das gerências), percorrendo um itinerário para diagnóstico de um problema, na ótica do praticante de Ergonomia. Assim, indicamos que os métodos e técnicas da análise ergonômica têm ao menos as seguintes características:

- todos partem destas expressões concretas (demandas), com formas técnicas e sociais de instruí-la adequadamente para seguir em frente sem equívocos;
- combinam técnicas de observação (anotação, fotografia e vídeo, esquemas) com métodos de quantificação (mensurações, estatísticas e escrutínios) e procedimentos interacionais (conversações, entrevistas abertas e fechadas e grupos de foco);
- buscam combinar procedimentos de descrição (quadros, tabelas, gráficos e ambas), validação (restituição de resultados, auto confrontações) e modelagem (plantas, perspectivas, maquetes e simulações);
- operam com variáveis quantitativas (quantidades, frequências, sequências) e qualitativas (contextos de ocorrências, singularidades, curiosidades anedóticas).

Uma estrutura que chamaremos de Comitê de Ergonomia deve ter sido organizada na empresa. Sua ausência já se constitui em um indicativo do descaso da organização com o tema de fatores humanos. Essa estrutura faz a interface da ação ergonômica com as demais partes da empresa, seus diversos subsistemas de produção e os distintos tipos de interessados. E é neste comitê que nasce a decisão interna de realizar algum tipo de ação ergonômica. A figura 4 nos mostra um esquema bastante simplificado da análise ergonômica que empregaremos neste trabalho.

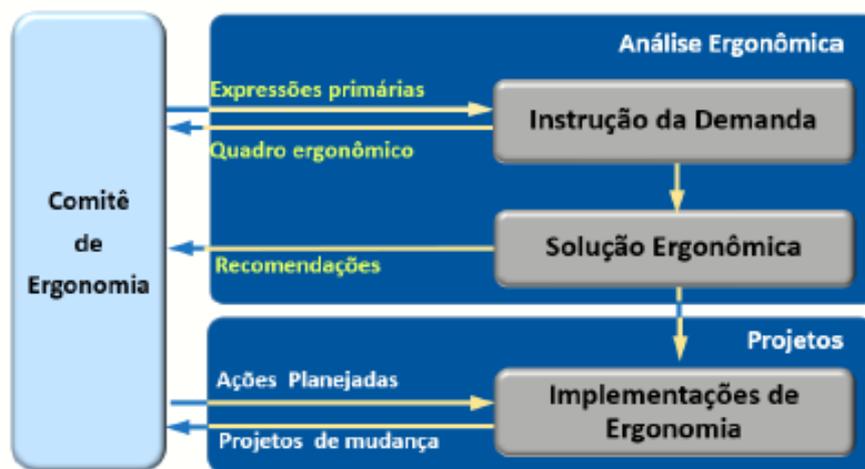


Figura 4: A análise ergonômica em seu contexto empresarial.

Fonte: Vidal (2020, comunicação pessoal).

A partir desta figura podemos conceituar a análise ergonômica, como um itinerário metódico, ambientado e contextualizado, um edifício composto por quatro blocos, quais sejam:

- as **premissas** - o conjunto de motivações para realização da análise ergonômica numa empresa, e de quem deriva a expressão inicial;
- o **fluxo principal de procedimentos** – constituído das etapas subsequentes entre a formulação do problema de ausência de Ergonomia, e seu entendimento final

por parte da organização como um todo como resultante do trabalho da equipe de Ergonomia;

- a **documentação e registro** – integrado pela massa de dados gerados e manuseados pela equipe de Ergonomia ao longo da AET, e;
- o **caderno de encargos**, que é o resultado final da análise ergonômica, e que, exatamente por isso deve ser cuidadosamente redigido

O campo da análise ergonômica aponta para uma modalidade da prática da Ergonomia, a Ergonomia de correção. A correção, quando bem identificado o problema e a estrutura de uma solução pertinente e dentro das possibilidades orçamentárias, poderá ser feita de forma oportuna, pois no início se tratava de algo incômodo – a ponto de gerar uma queixa – ou de repercussões ruins – a ponto de gerar uma expressão de preocupação.

A correção se constitui de providencias imediatas, ou seja, soluções de baixo custo, implementação localizada e de menor complexidade de execução. Isso, porém, não impede uma anotação ou reflexão sobre as possibilidades de ampliação da abrangência ou de exploração de alternativas para uso futuro quando e se for o caso. É neste sentido que a Ergonomia de correção é algo sempre maior do que a solução produzida possa exprimir, e é com este intuito que seja acompanhada e registrada no Comitê de Ergonomia.

É próprio e pertinente da Ergonomia instruir uma demanda a partir da expressão inicial, mediante uma análise global da população, das estruturas técnicas, econômicas e sociais da organização que permitirão entender a petição inicial num contexto ampliado e que forneça ao praticante uma melhoria desta expressão inicial.

Na formulação do problema, com melhores informações e perspectivas mais precisas, a equipe de Ergonomia devera tratar essas informações de forma conveniente de forma a poder propor uma reunião para contrapor uma nova formulação da demanda, agora definitiva. Esse é um passo importante, pois a expressão inicial deve ser aberta para podermos seguir em frente, conquanto aqui deverá se tratar de fechar o contrato sobre no que consistira a ação ergonômica específica. Pois é partir dele que se podem realizar as operações de focalização, modelagem operante e de restituição que completam uma análise ergonômica do trabalho. Destas operações resulta um relatório no qual está incluída uma lista de recomendações para a correção dos problemas causados pela ausência de Ergonomia. A consecução final consistira na implementação destas recomendações

A Figura 5 nos mostrara as três grandes etapas de uma ação ergonômica, repartidas nas instâncias de análise e de projeto assim como inserindo uma instância de articulação entre a ação ergonômica e o contexto em que se insere. O itinerário que começa de uma expressão de partida, tendo como plano comum a instrução da demanda e suas saídas sob a forma de apreciação ergonômica e de reconstrução da demanda, para em seguida trata de formas paralelas como a especificação ergonômica e o processo de modelagem ergonômica que encaminha um diagnóstico ergonômico.

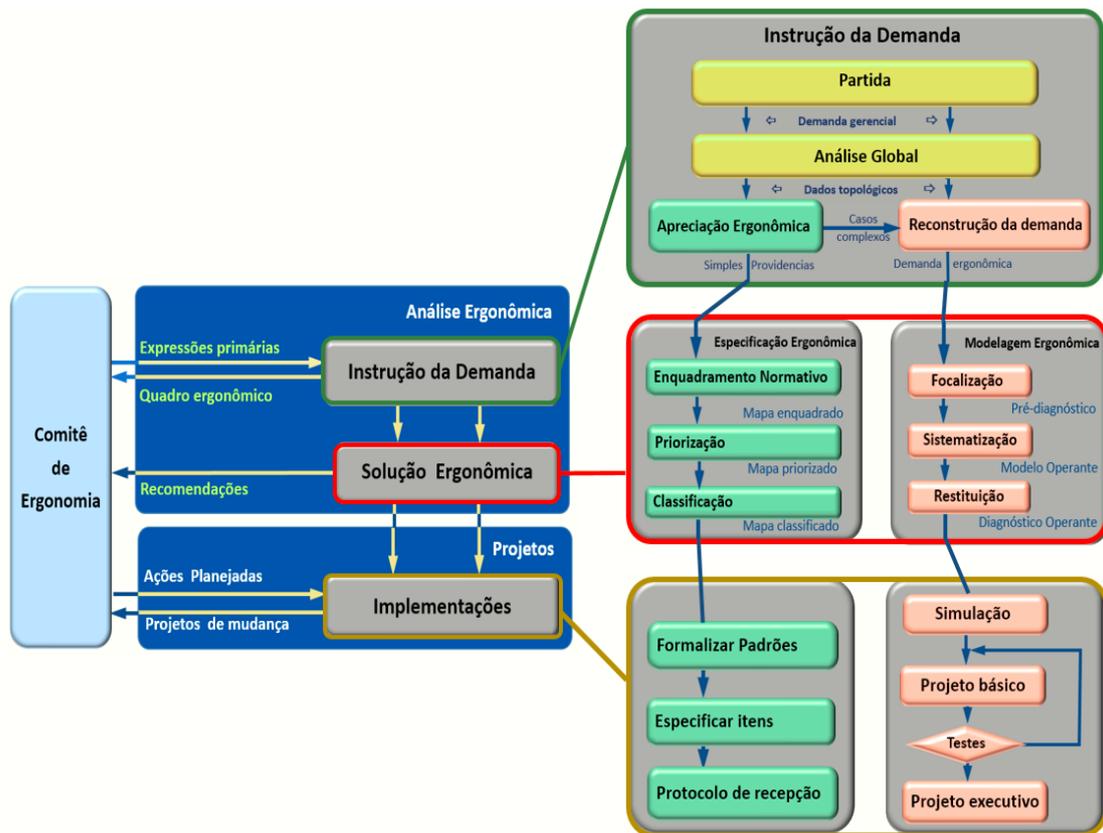


Figura 5: O fluxo completo da ação ergonômica.

Fonte: Vidal (2020, comunicação pessoal).

Dada a natureza diversa destas diferentes etapas, o fluxo principal da metodologia de análise ergonômica se divide em duas partes: uma etapa de definições, a instrução da demanda e uma etapa de esquematizações, a modelagem ergonômica e uma parte de ajustes e negociações, a implementação de Ergonomia.

2.1.3 Antropotecnologia

No plano prático e aplicado, um estudo antropotecnológico é a investigação preliminar que fornece um conjunto de pré-definições, que podem ser decisivas para a condição de trabalho na qual a produção será realizada. Um desconhecimento mínimo, como por exemplo, de qual seja a proporção de trabalhadores masculinos e femininos irá

interferir na área ocupada por vestiários e demais facilidades obrigatórias na futura instalação.

O campo da Antropotecnologia aponta, para uma modalidade superior da prática da Ergonomia, a Ergonomia de concepção. A solução, no plano estritamente metodológico, está na adoção de procedimentos de Ergonomia de concepção. Estes procedimentos podem ser sintetizados como a elaboração, com base na Ergonomia de estudos e formação de dossiê que permitam esquematizar e sustentar as decisões de implantação da tecnologia e de formas de organização do trabalho, sem desconsiderar adequadamente as pessoas

A possibilidade de projetar uma nova sala de controle ou uma nova planta ou novo escritório sempre vem acompanhada do desejo de que outras mudanças ocorram - tecnologia mais moderna, nova filosofia de trabalho, etc. Todas estas vontades, acabam tendo influência decisiva sobre os processos de trabalho, sobre a atividade das pessoas e isso quer dizer: impacto ergonômico a ser avaliado, e é nisso que se constitui a Ergonomia de concepção: antecipar e evitar que tais problemas futuros venham a ocorrer. A ideia básica é que cuidemos da inserção das pessoas no processo de implementação antes mesmo que os projetos de arquitetura, instalações prediais e os comissionamentos sejam feitos. O desafio é realiza-los com inclusão das pessoas e sob a ótica de Ergonomia, em eliminar a penosidade e possibilitar uma correta inserção do fator humano.

2.1.4 Campos da Ergonomia

Segundo Vidal (2000) temos alguns domínios de especialização com competências mais profundas que podemos citar dentro das atribuições da ergonomia. São elas:

- Ergonomia Física – são características humanas anatômicas, antropométricas, fisiológicas e biomecânicas que se relacionam com a atividade física. Incluem posturas de trabalho, manipulação de materiais, movimentos repetitivos, lesões músculo esqueléticas relacionadas com o trabalho, layout do posto de trabalho, segurança e saúde.
- Ergonomia Cognitiva – são processos mentais, como a percepção, memória, raciocínio, e resposta motora, que afetam as interações entre humanos e outros elementos de um sistema. Incluem a carga de trabalho mental, tomada de decisão, desempenho especializado, interação homem-computador, stress do trabalho e formação relacionados com a concepção homem sistema.
- Ergonomia Organizacional – diz respeito à otimização de sistemas sociotécnicos, incluindo as suas estruturas organizacionais, políticas e processos. Incluem comunicação, gestão de recursos de equipes, concepção do trabalho, organização do tempo de trabalho, trabalho em equipe, concepção participativa, trabalho cooperativo, novos paradigmas do trabalho, cultura organizacional, organizações virtuais e gestão da qualidade.

2.2 Prototipagem

Baxter (1998) afirma que o volume de investimento em um projeto de produto é sempre menor nas fases iniciais do desenvolvimento do que quando na fase inicial deste produto na produção em escala. Segundo o autor, os protótipos vêm primeiro. O motivo da construção de protótipos - peças físicas construídas para auxiliar no desenvolvimento de novos produtos submetidos a testes - é a possibilidade de transferir a ideia para um “modelo real”. Portanto, uma das principais funções do protótipo é a aprovação final do

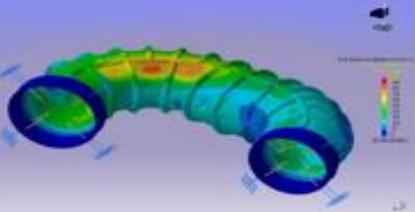
produto, antes da sua produção definitiva. Chamamos de prototipagem ao método e forma de construção de protótipos.

A prototipagem mostra-se como uma ferramenta no desenvolvimento de novos produtos, uma vez que permite a transformação de ideias de projeto em protótipos oferecendo uma maior tangibilidade à construção de produtos. Veremos aqui, sucessivamente a tipologia de protótipos.

2.2.1 Protótipos

De acordo com Volpato (2007), o protótipo pode ser caracterizado como nos mostra o quadro 1:

Quadro 1: Tipo de protótipos

Tipos de protótipos	Descrição	Exemplo
Protótipo físico ou visual	Consiste na representação de uma prova de conceito para testar rapidamente uma ideia e realizar experimentos de montagem com relação à forma e ao encaixe de um produto, mas sem a obrigação de aplicar o material final.	
Protótipo analítico ou virtual	Representação computacional por meio de software CAD, CAE e CAM que simula a forma, as propriedades físicas e a manufatura.	
Protótipo parcial ou focalizado	É a representação parcial com alguns componentes similares ao material final a fim de testar seus aspectos funcionais.	
Protótipo completo ou funcional	Implementa todos os atributos de um componente ou de um produto como um todo em escala real e completamente operacional próximo do resultado para ser confeccionado e encaminhado para a produção em série. Permite também a confecção de peças ferramentais como moldes e matrizes.	

Para Aviz et al. (2012), os protótipos podem ser utilizados em várias fases dentro do processo de desenvolvimento de produtos, entre as quais se destacam a aprendizagem, comunicação, integração e marco de projeto, conforme o Quadro 2 abaixo:

Quadro 2: Utilização dos protótipos nas várias fases dentro do processo de desenvolvimento de produtos.

Fases do processo de desenvolvimento de produtos	Aplicação dos protótipos
Aprendizagem	Os protótipos são construídos principalmente para responder questões de projeto, funcionando como uma ferramenta de aprendizagem a cada integração em que são utilizados.
Comunicação	Os protótipos desempenham o papel principal no compartilhamento de ideias, atuando como catalisadores para a troca de informações num ambiente de projeto composto por pessoas com diferentes habilidades e pontos de vista. A comunicação em todos os níveis fica facilitada principalmente quando se utilizam protótipos físicos, pois a representação física de um produto é muito mais fácil de ser entendida do que um desenho técnico ou uma descrição verbal.
Integração	Os protótipos promovem e melhoram a integração entre os membros de uma organização multicultural e multifuncional, por atuarem como um meio de comunicação e entendimento comum e, também, como uma base de dados em um processo de desenvolvimento de produtos. A possibilidade de se executar montagens nos estágios iniciais do processo de desenvolvimento de produtos, aumenta o nível de integração e promove a solução de problemas de projeto.
Marco de projeto	Os protótipos podem ser utilizados como marcos no processo de desenvolvimento de produtos por meio do estabelecimento de objetivos a serem alcançados. Assim, eles possibilitam a demonstração de progresso e reforçam o uso de cronogramas. Um cronograma que prevê protótipos serve como um coordenador de atividades de subsistemas paralelos.

As caracterizações acima enquadradas referenciam a prototipagem em geral. Nos últimos anos, entretanto, a prototipagem vem crescendo em grande escala, impulsionada principalmente pelo avanço de novas tecnologias que trouxeram rapidez, praticidade e variedade de configuração geométrica para a fabricação de modelos reais. Esse é o tema a seguir, a prototipagem rápida e seus fundamentos tecnológicos, a manufatura aditiva e a impressão 3D.

2.2.2 Prototipagem rápida e manufatura aditiva

O termo prototipagem rápida ou *rapid prototyping* (RP) refere-se a uma classe de tecnologias que podem construir modelos físicos, de modo automatizado, a partir de um modelo gerado num sistema CAD (GORNI, 2001). Os processos originais combinaram com alguma dificuldade as sistemáticas de desenhos CAD transmitidos para sistemas de manufatura auxiliada por computador (Computer Integrated Manufacturing - CIM) e ali nasceram as primeiras formas de prototipagem rápida. Essa prototipagem era bastante limitada às capacidades de usinagem de blocos sólidos permitidas pela tecnologia CIM.

A prototipagem se torna mais rápida e efetiva com o advento de processos de Fabricação de Sólidos de Forma Livre (SFF), cuja inovação consistiu na manufatura aditiva – Additive Manufacturing (AM). Com efeito, a manufatura aditiva reporta o processo de adição de material, desenvolvido na década de 80 visando encurtar o tempo de execução e montagem de maquetes topográficas (Beaman, 2001). Selhorst *et al.* (2007) examinaram estes processos de MA, e concluíram que estes equipamentos têm a possibilidade de construção de geometrias complexas, sem a necessidade da utilização de qualquer tipo de ferramenta de construção do tipo moldes. Em outras constrói-se os objetos de forma livre, superando a necessidades de formas outras mediações, algo que sempre alongou muito o tempo de desenvolvimento de produtos.

A figura 6 mostra, de modo simplificado, como ocorre o processo de adição de material, gerando modelos reais a partir de modelos virtuais desenvolvidos no computador.

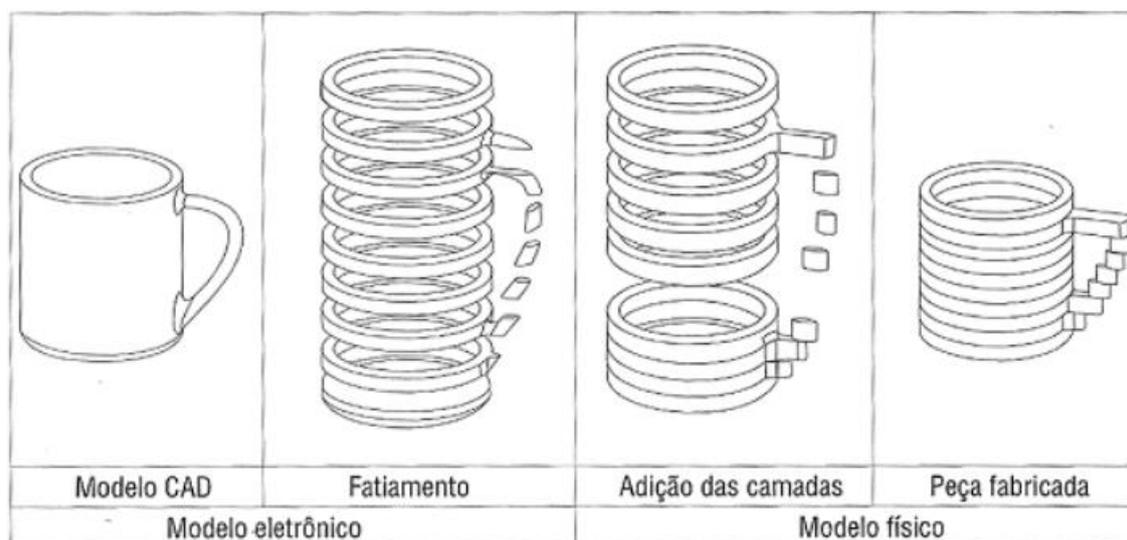


Figura 6: representação das principais etapas do processo de manufatura por camada.

Fonte: Carvalho e Volpato (2007).

2.2.3 Materiais para manufatura aditiva

Cada vez mais acessíveis e presentes no mercado, as máquinas de impressão 3D permitem a possibilidade de imprimir vários tipos de materiais em diferentes estados físicos: Líquido, pó ou sólido. De acordo com Volpato (2007), as variações das tecnologias de adição de material se apresentam de acordo com o estado físico inicial da matéria-prima utilizada na fabricação dos protótipos:

a) Protótipos baseados em líquidos

O material usado para a produção do protótipo, é uma resina em estado líquido que será polimerizada. A sensibilização da resina pode ocorrer através de laser UV (Ultravioleta), como a Estereolitografia – *StereoLithography*, ou poderá ocorrer com o jateamento da resina sobre superfícies planas que posteriormente serão sensibilizadas por laser UV, conforme mostrado na Figura 7.

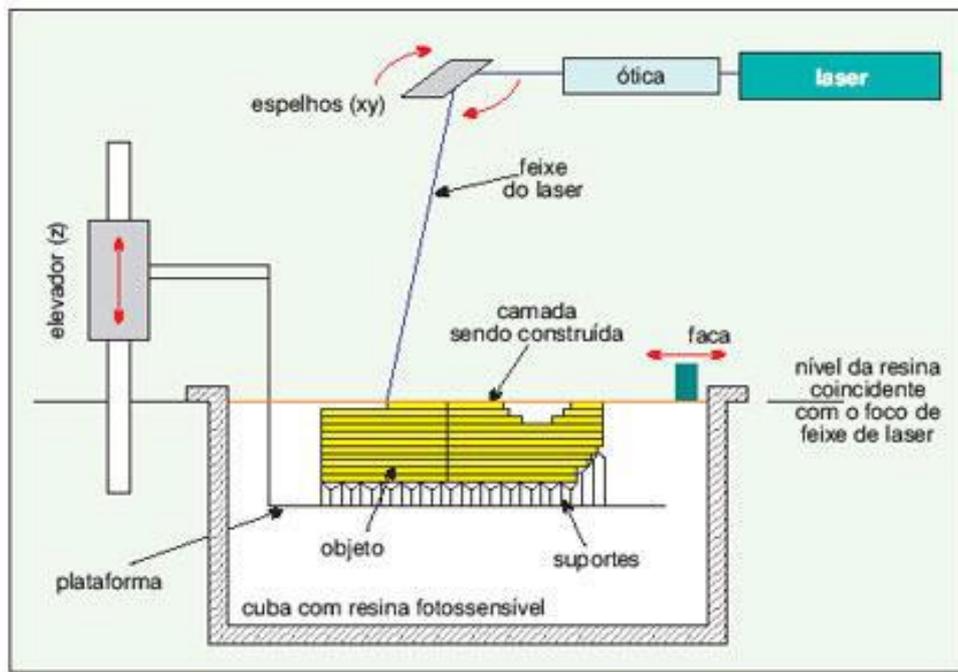


Figura 7: Estereolitografia

Fonte: http://www.cimject.ufsc.br/knowledge/03_knowledge_RP_estereo.htm

b) Protótipos baseados em pó

O material usado para a fabricação do modelo real encontra-se inicialmente em forma de pó ou partículas. Os processos baseados neste sistema são semelhantes aos baseados em líquidos, em que o material é sensibilizado por laser (SSL – Sinterização Seletiva por Laser – *Selective Laser Sintering*) ou por aglutinantes (3DP – Impressão Tridimensional – *3D Dimensional Printing*) (Figura 8).

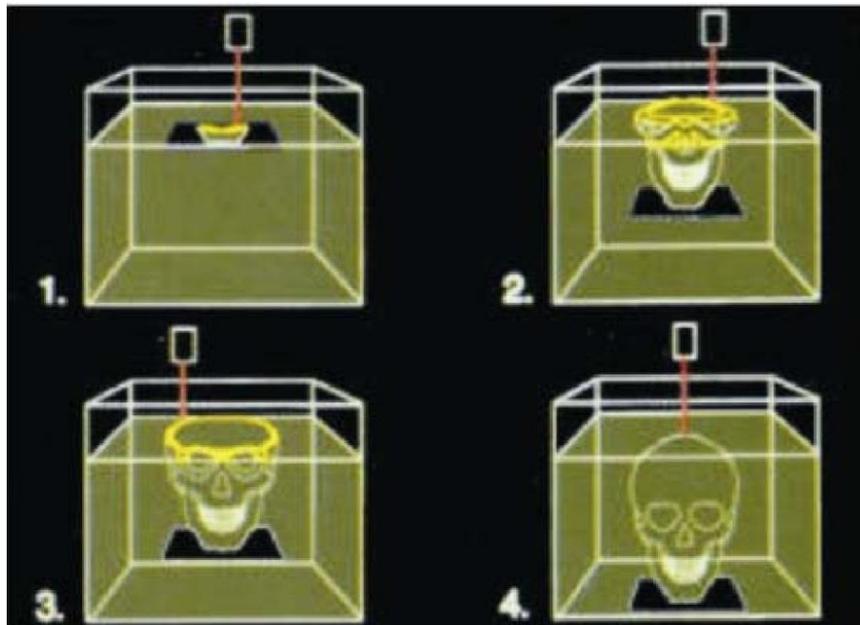


Figura 8: Sinterização Seletiva por Laser

Fonte: 3D System

As fases da impressão de um crânio (Figura 4), na qual se observa um cabeçote de movimentos horizontais em eixos X e Y, que projetará um feixe de laser aglutinador em uma área de impressão que é preenchida por sucessivas camadas de pó, a cada término de passagem do laser, por um pistão na base de impressão de movimento vertical eixo Z de cima para baixo.

c) **Protótipos baseados em sólidos**

O material usado para a fabricação do protótipo encontra-se em estado sólido, podendo se apresentar em forma de filamento, grãos e filmes. Alguns processos vão trabalhar com o material através da fusão (FDM – Modelagem por Fusão e Deposição – Fused Deposition Modeling) e outros através do corte de lâminas sobrepostas (LOM – Manufatura Laminar de Objetos – Laminated Object Manufacturing), sendo que este último está em desuso no mercado, segundo Alves (2014). A Figura 9, mostra um esquema de funcionamento da fabricação por Fusão e Deposição.

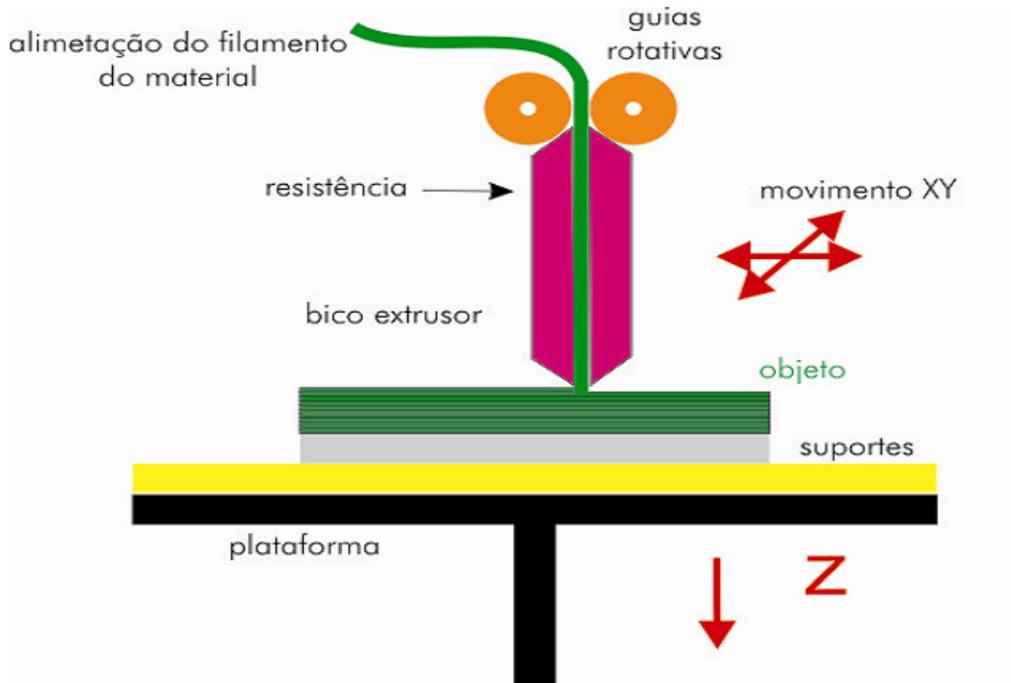


Figura 9: Fusão e deposição de material – FDM

Fonte: Stratasys

O equipamento de Impressão 3D, atualmente presente no laboratório LabProM é o Ultimaker, cujo processo consiste na deposição de dois materiais fundidos – no caso PLA, ABS, CPE e Nylon para o material de construção do modelo e PVA para o material do suporte – em uma bandeja de vidro própria para receber ambos os materiais em temperaturas elevadas. (Figura 10)



Figura 10: Impressora 3D da fabricante Ultimaker

Fonte: O autor.

Os materiais são armazenados em forma de filamento enrolado em um carretel na parte de trás da máquina e é puxado por roldanas no interior do cabeçote. Este cabeçote irá aquecer o material a uma determinada temperatura, para ser extrusado por dois orifícios, um para cada material, que farão o filamento atingir o ponto de fusão, de acordo com as configurações pré-ajustadas no software de impressão 3D. (Figura 11)

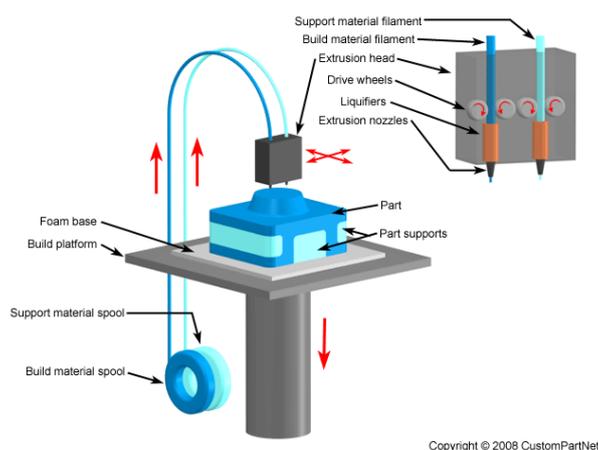


Figura 11: Processo FDM

Fonte: <http://www.custompartnet.com/wu/fused-de-1>

Diante de diferentes processos de prototipagem, Canciglieri et al (2015) propôs um método de auxílio à tomada de decisão dividido em 3 fases: (i) Descrição das características e geometria do produto; (ii) Aplicação dos critérios de decisão; (iii) Análise de tomada de decisão e (iii) Prototipagem do produto (Figura 12).

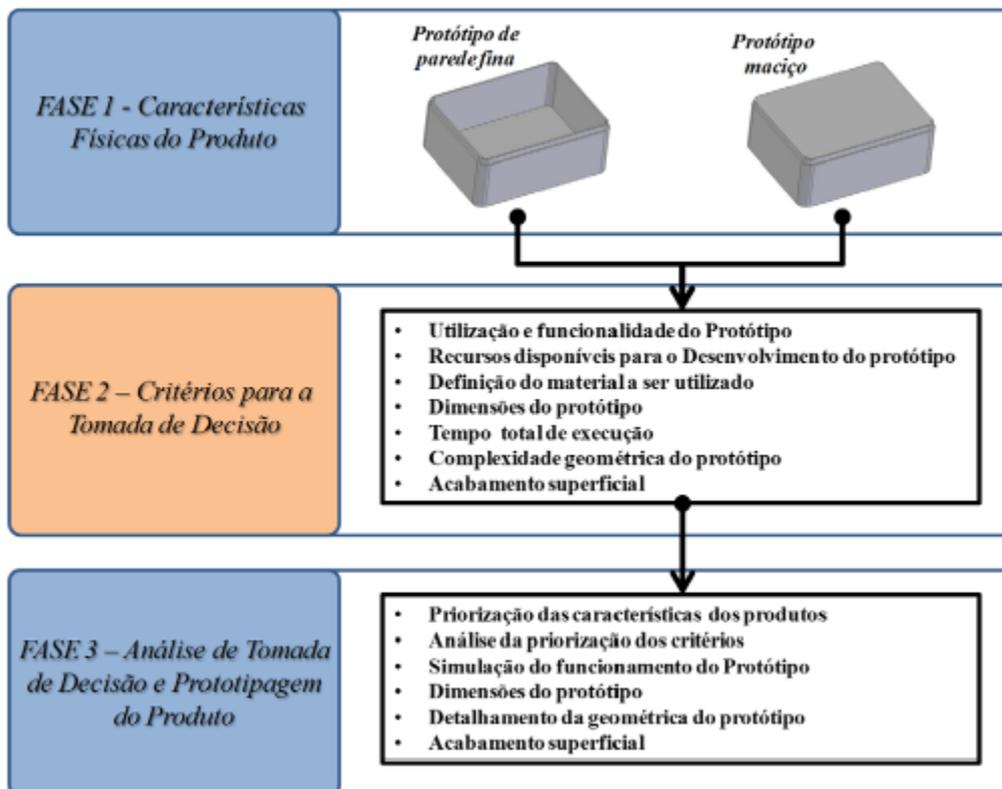


Figura 12: Método auxílio à tomada de decisão

Fonte: Canciglieri et al (2015)

Segundo Canciglieri et al (2015), conhecendo *a priori* as características das tecnologias e de utilização do protótipo, é possível escolher a prototipagem rápida a ser usada como ponto de partida na tomada de decisão. Cada fase tem suas particularidades bem definidas e são descritas a seguir:

- (i) Descrição das características e geometria do produto: Nesta fase analisa-se o produto que será prototipado, considerando os aspectos dimensionais, geometria, características e restrições com base no propósito de utilização, a

fim de definir *a posteriori* quais destas são mais relevantes para a tomada de decisão.

- (ii) Nesta fase avaliam-se criteriosamente as características mais relevantes do produto e das tecnologias de prototipagem disponíveis para concepção do protótipo. A composição destes “critérios de decisão” visa definir o grau de prioridade para as características apresentadas na Fase 1 do método. Dessa forma, permite estabelecer os pesos dos critérios de priorização das características; a priorização e o ranqueamento das características mais relevantes.
- (iii) Nesta fase analisa-se comparativamente cada tecnologia de prototipagem disponível para concepção do protótipo, com base nos resultados obtidos na Fase 2 do método proposto, proporcionando um auxílio na tomada de decisão. Dessa forma, o resultado desta fase será a concepção do protótipo fundamentada nos critérios de decisão, proporcionando confiabilidade do protótipo, economia de tempo, recursos técnicos e financeiros e precisão/acuracidade das dimensões e formas geométricas.

2.2.4 Prototipagem e impressão 3D

A impressão 3-D simboliza a forma de construção desses modelos reais ou protótipos. De acordo com Volpato (2007) e Gibson et al. (2010), a impressão 3-D se inicia com uma modelagem CAD 3D o qual especificará as dimensões nas cotas XYZ da peça a ser produzida. O arquivo gerado pelo software CAD 3D será convertido para o formato STL, que permite a leitura do arquivo em camadas (padrão reconhecido pelas máquinas de Prototipagem Rápida), para então ser transferido para um software CAM

(softwares específicos de cada fabricante) da impressora 3D, o qual produzirá o fatiamento do sólido, necessário a impressão por camadas.

O formato padrão de arquivos de geometria tridimensional nos sistemas de impressão é o 3D STL (Standard Tessellation Language). Este formato representa as superfícies através de triângulos cujos vértices são formados por coordenadas cartesianas (x, y, z) e cuja face recebe um vetor normal que indica o lado para o qual a parte externa do modelo está voltada (VOLPATO, 2007).

Por meio deste programa é realizada a edição da peça, seu posicionamento na plataforma de construção e obtenção das informações relativas ao processo de construção, como quantidade de insumo da máquina e tempo previsto. A qualidade da superfície do modelo e o seu tempo de fabricação estão diretamente ligados com a espessura da camada, ou seja, quanto menor a espessura da camada, melhor será a definição da superfície e maior será o tempo de fabricação do modelo. O arquivo gerado no software CAM será carregado na máquina de impressão 3D e logo a seguir a máquina será preparada e configurada por um operador antes do início da impressão.

Por último o protótipo é retirado e passará por uma etapa de pós-processamento e, no final, encaminhado para realização do teste. As fases do processo de Manufatura Aditiva por Camadas estão demonstradas na Figura 13.



Figura 13: Etapas do processo de impressão 3D

Fonte: Alves (2014) adaptado de Gibson, Rosen et al. (2010)

Os problemas não percebidos no modelo virtual tornam-se mais evidentes quando são materializados pelas impressoras 3D. Assim, um produto desenvolvido, por exemplo, para utilização doméstica, pode apresentar cantos vivos e/ou pegas ruins, sendo necessário o modelo real para podermos ver e sentir esses inconvenientes, que seriam negligenciados no modelo virtual. Isso possibilita a influência no andamento do projeto do produto e no aumento da realização de testes com o protótipo, simulando as condições reais ideais que permitirão suporte à tomada de decisões com maior embasamento empírico.

A rápida evolução das tecnologias de manufatura aditiva, nos últimos anos, permitiu encurtar o tempo de execução das etapas de impressão (Figura 13) assim como

a diminuir os custos de desenvolvimento de produtos das empresas. Assim, a etapa de dimensionamento de uma peça real, a ser reproduzida na impressão 3D, pode ser rapidamente concluída através da utilização de *Scanners* 3D, equipamento que permite a captura das dimensões do sólido.

2.3 Espaço maker

2.3.1 Espaço maker e Fab lab

Espaço maker é um espaço comunitário equipado com ferramentas para a criação de projetos e trabalhos de manufatura. Há um tipo específico de espaço maker conhecido como Fab lab. Para o idealizador, Gershenfeld (2012), Fab lab é a abreviação de Fabrication Laboratory ou “Laboratório de Fabricação”. Fab lab são pequenas oficinas ou espaços comunitários equipados com tecnologias de fabricação digital e manipuladas por *Makers* em uma rede de colaboração aberta. Fab labs e makerspaces estão diretamente relacionados ao Movimento Maker, que é traduzido livremente como um “fazedor” — alguém que coloca a mão na massa para materializar algum projeto novo.

O conceito de *Fab lab*, segundo Gershenfeld (2012), foi idealizado em 2002 após a aula intitulada “Como fazer (quase) tudo¹”. Nessa efeméride se estabeleceram convergências e distinções entre Makerspaces e Fab labs, da forma como se segue:

- a) O ***Fab lab*** tem um padrão de equipamentos e recursos a ser seguido e é voltado especificamente para criações digitais, enquanto o ***makerspace*** pode ou não ser voltado ao universo da fabricação digital, que é um método de

¹ *How to make (almost) anything*. Aula realizada no Museum of Science em 10 de março de 2010.

fabricação onde os equipamentos transcrevem as informações dos arquivos digitais em objetos físicos com o uso do computador.

b) Um Fab lab, associado a sociedade participativa, é geralmente equipado com um conjunto de ferramentas flexíveis controladas por computador que cobrem diversas escalas de tamanho e diversos materiais diferentes, com o objetivo de produzir protótipos e/ou peças para utilização final, incluindo-se, neste último caso, produtos tecnológicos geralmente vistos como limitados para produção em massa.

Em suma, muito embora os Fab labs não têm (ainda) custo baixos de fabricação para competir em comparação à produção em massa e sua economia de escala, eles já demonstraram potencial para capacitar indivíduos a criar objetos inovadores para si mesmos e para a sociedade. Estes objetos podem ser adaptados às necessidades locais ou pessoais de maneiras que não são práticas ou econômicas usando a produção em massa. Desse modo, um *Maker* poderia fabricar um objeto para atender as demandas ergonômicas do usuário final, por exemplo, uma palmilha ortopédica, com formato e tamanho individual, inviável de ser produzido em massa na indústria.

2.3.2 Rede mundial de Fab labs

A abertura dos Fab lab's para o público em geral, permitiu a sua expansão para outros países. Segundo Carrilho *et al.* (2006), no ano de 2006 um levantamento apontava para 115 Fab lab's, sendo 12 nos Estados Unidos, 8 na África do Sul e 4 na Índia, dentre outros espalhados pelo mundo.

Os primeiros Fab lab's se apoiaram sobre as competências dos estudantes do MIT e estes são considerados os primeiros *Fab Managers*. Eles, inicialmente, iam até os

diferentes países, passavam alguns meses ali e treinavam a equipe local para que esta pudesse continuar a função independentemente. (EYCHENNE E NEVES, 2013, p. 39)

Esta expansão de acordo com Eychenne e Neves (2013) e Carrilho et al. (2006) permitiu a criação de sua rede mundial, atualmente composta por duas centenas de Fab Labs. Segundo Macedo *et al.* (2017), o Fab Lab funciona como uma rede, sendo auxiliado por organizações que trabalham de forma compartilhada, como a *Fab Foundation*, organização americana que ajuda na criação e regulamentação dos laboratórios espalhados pelo mundo. Há também outras organizações separadas por países; no caso do Brasil, podemos destacar a *Fab Lab Brasil Network*. A criação de novos Fab lab's é auxiliada por diretrizes para que todos da rede pudessem ter o mínimo de equipamentos e ferramentas básicas. Foi, então, desenvolvida uma carta, chamada de *FabCharter* (figura 14), documento que contém o direcionamento a rede e aos futuros interessados. O modelo de padronização para criação destes laboratórios traz diversos benefícios para os usuários e para as pessoas que fazem parte desta rede. Um dos benefícios citados é a possibilidade de um usuário ir a qualquer Fab lab, e encontrar os mesmos recursos tecnológicos em qualquer laboratório, podendo, dessa maneira, replicar ou continuar seus trabalhos.

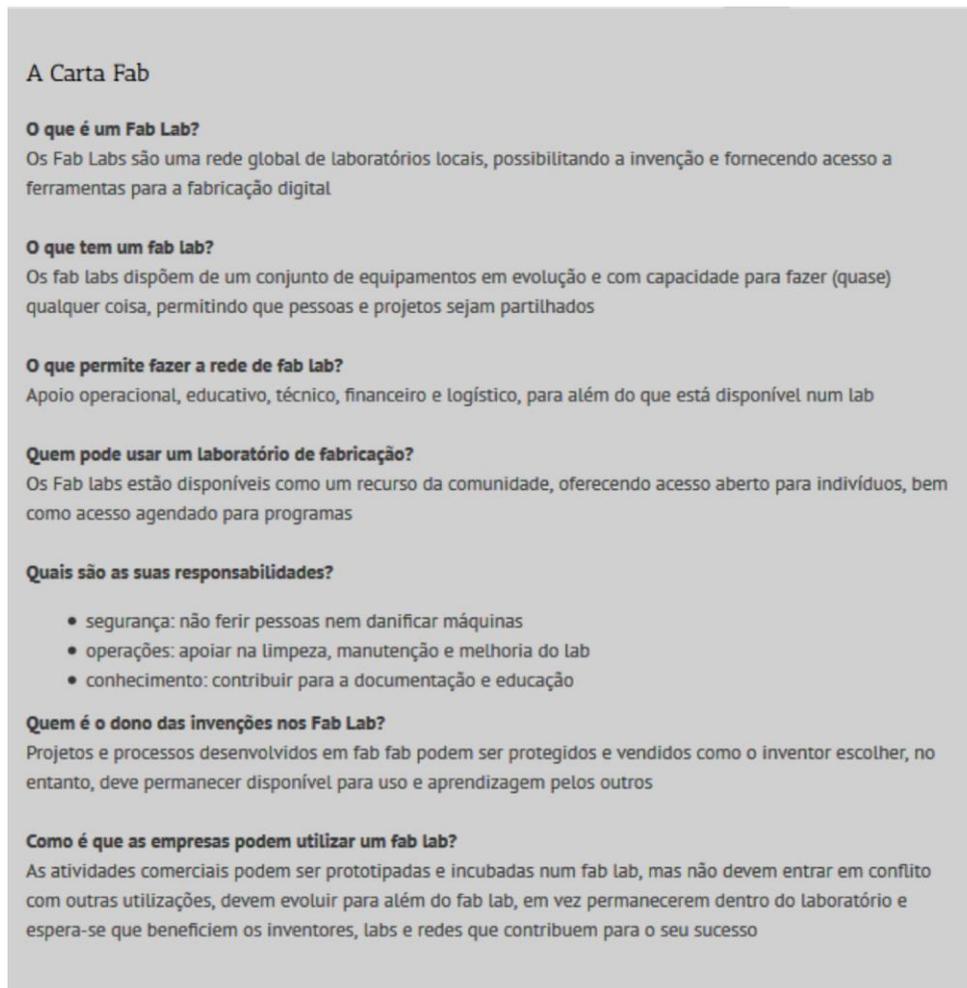


Figura 14: Fab Charter

Fonte: Fab Foundation (2015)

Esta carta é apresentada por Eychenne e Neves (2013) e visa manter a cultura de compartilhamento de ideias por meio da troca de experiências e a documentação dos projetos realizados. Além disso, deve permitir acesso livre às ferramentas de fabricação digital, assistência e treinamento aos seus usuários, dar liberdade para a criatividade e invenção e valorizar a acessibilidade dos projetos para qualquer pessoa. O modelo atual de Fab lab's deve seguir um kit básico (Figura 15) onde consta, no mínimo, os seguintes equipamentos: uma cortadora a laser, uma cortadora de vinil, uma fresadora grande e pequena e uma impressora 3D.



Figura 15: Kit básico do Fab Lab

Fonte: Associação Fab Lab Brasil

Embora todos os Fab Labs iniciem com um conjunto comum de máquinas e ferramentas, é natural que um determinado Fab Lab desenvolva recursos adicionais para atender às necessidades internas. Ou seja, cada laboratório fornecerá mais ferramentas específicas para atender às suas demandas específicas (MIKHAK et al., 2015).

2.3.3 Requisitos de projeto Fab lab

Espaço físico e configuração: A maioria dos Fab Lab's variam o layout de seus laboratórios, pois isto depende da quantidade de membros que um laboratório poderá abrigar e não há na literatura disponível uma definição objetiva da configuração do espaço necessário para o estabelecimento de um Fab Lab, porém, o website da Fab Foundation disponibiliza alguns layouts para o projeto de construção (Figura 16) e também o modelo aplicado no Fab Lab Chicago. Além de contar com isso, interessados em fazer parte da rede podem se basear também nos laboratórios espalhados ao redor do mundo, que de acordo com a Fab Foundation (2015) e Eychenne e Neves (2013, p. 26-27), têm como padrão os seguintes formatos:

- Espaço compreendido entre 100 e 380 m²;
- Ao menos uma sala separada e fechada para o uso da fresadora de grande formato;
- Uma grande peça central, onde de um lado devem ser dispostas as máquinas que fazem menos barulho e, do outro, aquelas que são perigosas e/ou que geram poeira; além disso, deve haver postos informáticos, escritórios livres e mesas de reunião ou de trabalho para uso de computadores portáteis;
- Espaço com possibilidade de relaxamento equipado com uma máquina de café, geladeira e sofás;
- Espaço de exposição de projetos finalizados;
- Espaço para executar treinamentos e conferências online;
- Estocagem de materiais e pequenas ferramentas.

A Fab Foundation recomenda a utilização de mesas de superfície metálica para facilitar a limpeza, a existência de uma porta com mais de 2 metros de largura para o carregamento de materiais pesados, assim como banquetas de elevação, uma mesa redonda para hangouts ou conferências com outros Fab Labs, entre outros. A configuração do laboratório é de fundamental importância, pois considera-se como pré-requisito o fator de os Fab Labs terem um ambiente propício à inovação, com bancadas novas e espaços para compartilhamento de conhecimento, promovendo assim o trabalho em conjunto.

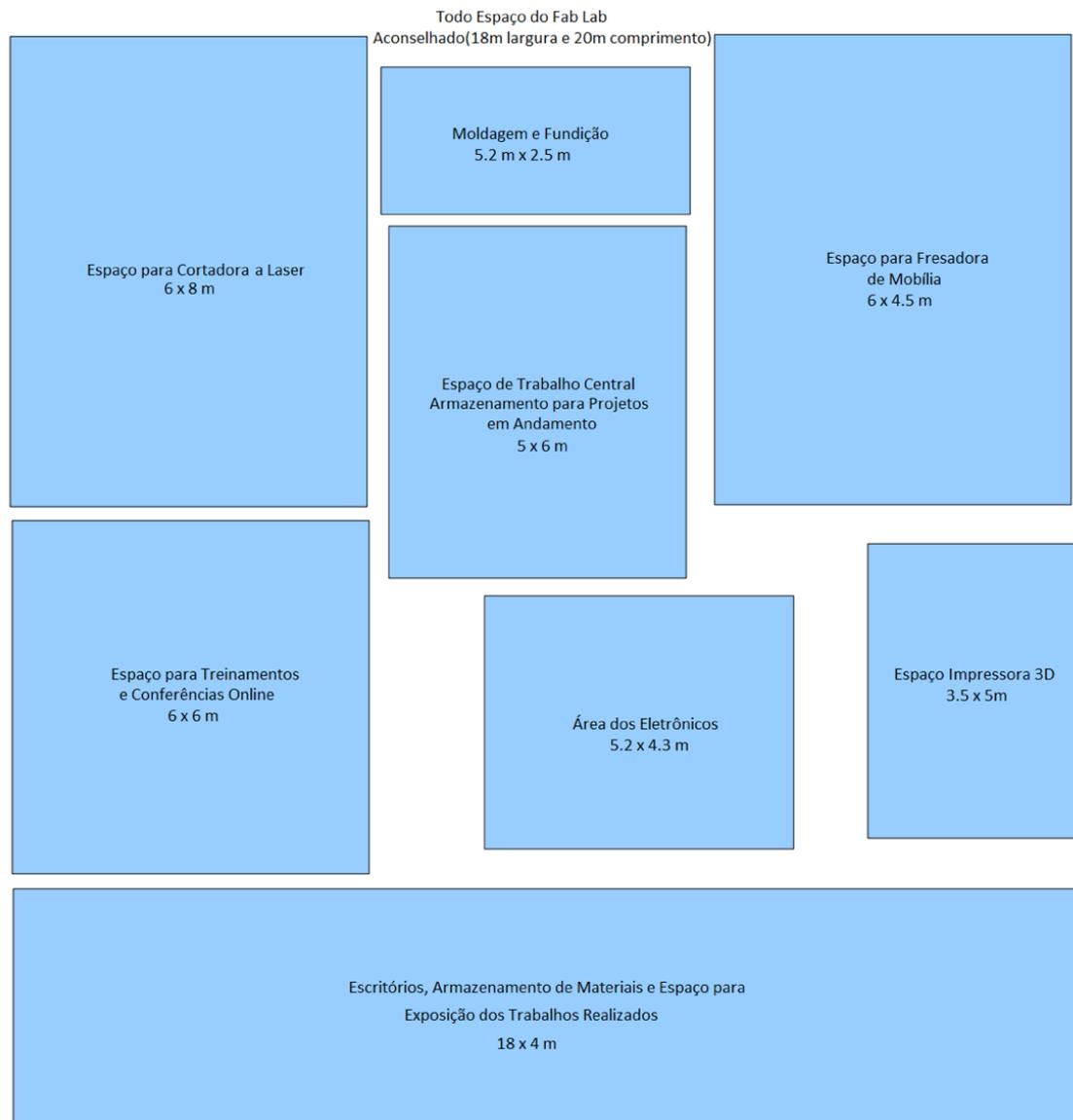


Figura 16: Layout comumente utilizado em Fab Labs

Fonte: Fab Foundation (2015)

Máquinas: Outro requisito para se tornar parte da rede de Fab Labs é ter o maquinário adequado. Seguindo as recomendadas pela Fab Foundation, os Fab Labs têm a particularidade de serem equipados com máquinas de comando numérico. Estas máquinas são comandadas por computadores capazes de interpretar os arquivos de CAD traduzindo as coordenadas tridimensionais do modelo ou desenho digital em uma série de comandos de posição, velocidade, corte ou extrusão, reconhecíveis pela máquina (EYCHENNE; NEVES, 2013). A Fab Foundation já considera um laboratório como sendo um Fab Lab

se este possuir cinco máquinas controladas por comando numérico, de modo a constituir a base de equipamentos da rede de laboratórios.

A primeira dessas máquinas é a cortadora a laser (Figura 17), um equipamento que recebe um comando numérico que direciona, com muita precisão, um feixe de laser de gás carbônico sobre o material a ser cortado ou gravado, movimentando-se sobre dois eixos. A máquina pode realizar corte em madeira, papel, papelão, acrílico, couro, tecido, feltro, além de realizar gravação em materiais como metal, alumínio, pedra e madeira.



Figura 17: Cortadora a laser

Fonte: Fab Labs IO (2015)

Outra máquina essencial para os Fab Labs é a cortadora de vinil (Figura 18). O equipamento é basicamente igual a uma impressora, mas ao invés de reservatórios de tinta, possui em sua cabeça de impressão uma fina lâmina de aço. Ela permite cortar materiais como vinil, papéis, tecidos e adesivos de cobre utilizados na fabricação de circuitos impressos.



Figura 18: Cortadora de vinil

Fonte: Fab Labs IO (2015)

As fresadoras de precisão são máquinas controladas por comando numérico dotada de uma fresa em sua cabeça que se move sobre três eixos (figura 19). As fresas podem ser alternadas dependendo do material que será lapidado, de forma que algumas têm a função de desenhar, enquanto outras apenas retiram camadas. De acordo com a Fab Foundation, é essencial possuir dois desses equipamentos: um de pequeno e outro de grande porte. Estas máquinas possuem diversos usos, sendo o mais comum a fabricação de circuitos impressos com a utilização de filmes de cobre e a fabricação de moldes. Além disso, a máquina também pode usar madeira, espuma e outros materiais. A última máquina essencial é a impressora 3D, já discutida no início do capítulo.



Figura 19: Fresadoras de precisão de pequeno (esquerda) e grande porte (direita)

Fonte: Fab Labs IO (2015)

Gestores e colaboradores: A Fab Foundation e a Fab Labs IO trazem uma lista de cargos que devem existir dentro de um Fab Lab e quais as especificações para estes cargos:

1. Um diretor, cuja responsabilidade é planejar a estratégia do Fab Lab, além de buscar parcerias. Nos Fab Labs profissionais, geralmente são as pessoas que cuidam das finanças dos laboratórios. Sua carga horária deve ser de aproximadamente 40 horas semanais.
2. Fab Manager, que realiza a gestão do laboratório, sendo responsável pela organização do espaço, coordenação de projetos, e realização de eventos e workshops para promover o Fab Lab. Sua carga horária também deve ser de 40 horas semanais.
3. Gurus devem possuir total conhecimento do maquinário do laboratório, para que possam realizar a manutenção dos aparelhos. Também têm como responsabilidade a instrução dos utilizadores do Fab Lab, com o intuito de explicar-lhes a maneira correta de usufruir de um equipamento. Além disso, são instrutores dos workshops promovidos pelo Fab Manager. Sua carga horária é de 40 horas semanais.

4. O pessoal de Suporte Técnico é responsável por garantir o funcionamento da rede de Internet, bem como prestar manutenção aos computadores do laboratório. Sua carga horária também é de 40 horas semanais.
5. Por último, os laboratórios costumam contar com muitos Estagiários, que algumas vezes são remunerados com bolsas do governo – ou do próprio laboratório – e outras vezes são voluntários credenciados, que possuem muito interesse em aprender e manter o contato com a fabricação digital. As atividades que executam vão do auxílio aos Fab Managers na organização de eventos até acolher o público e apresentar-lhes o laboratório. Sua carga horária é de 20 horas semanais.

2.3.4 Tipos de Fab lab's

De acordo com Eychenne e Neves (2013, p. 17-19), na grande maioria dos casos, uma organização "mãe", tal como uma estrutura associativa, uma fundação, uma universidade ou um programa governamental deve ser responsável pelo projeto de criação de um Fab Lab. Esta entidade tem um papel importante na orientação deste espaço. O projeto deve definir aspectos como o tipo de uso e objetivos deste laboratório, o perfil dos usuários, modelos de gestão e de organização. Sendo assim, são conhecidas três categorias de Fab Labs:

- **Laboratórios acadêmicos:** são sustentados por universidades ou escolas e recebem um número menor de usuários externos. Alguns, inclusive, são de utilização apenas dos alunos (com exceção do Open Day, quando os Fab Labs devem estar abertos ao público), sendo que todos os recursos, como maquinário, espaço, software e matéria prima para a construção dos produtos, são custeados pelas universidades, e por vezes por parceiros privados. Nota-se que este tipo de laboratório não é sustentável financeiramente;

- **Laboratórios públicos:** geralmente são sustentados pelo governo municipal, estadual ou federal, ou institutos de desenvolvimento e ONGs. Geralmente, estes Fab Labs fornecem workshops e cursos de formação para a população;
- **Laboratórios profissionais:** são os únicos que precisam, de fato, preocupar-se com a viabilidade financeira, de modo que geralmente geram faturamento através do aluguel de espaço e máquinas para empresas e Makers desenvolverem seus produtos. Esses Fab Labs costumam cobrar dos frequentadores uma taxa por horas, dias ou meses de uso. São, na maioria das vezes, concebidos em conjunto com empresas, startups, auto empreendedores e Makers. Apesar de se preocupar com a sustentabilidade financeira, devem ser abertos uma vez por semana ao público, conforme preveem as normas de funcionamento dos Fab Labs, sendo que neste dia não é cobrada qualquer taxa do público para a entrada, apenas o material que utilizarem para a criação de seus produtos.

No Chile, segundo Zagal *et al.* (2013), foi criado um *Fab Lab* acadêmico na Universidade do Chile com base na metodologia pedagógica do CDIO (C – *Conceive*, D – *Design*, I – *Implement*, O – *Operate*). Esta é composta por 4 atividades de projeto que buscam introduzir aos alunos em situações reais de projeto do dia a dia profissional e basicamente consiste em criar produtos factíveis de serem produzidos e introduzidos no mercado.

As atividades deste laboratório atendem 50 usuários simultaneamente (no máximo) em um ambiente de 500 m² de área. A sua organização e disponibilidade, segundo Zagal *et al.* (2013), são fundamentais para afinidade dos estudantes com as máquinas e para as relações interpessoais. O espaço deste *Fab Lab* (Figura 20) é composto

por: 1 – Sala de vídeo conferência; 2 – Estúdio de design e reunião; 3 – Sala de impressão 3D; 4 – Sala de escaneamento 3D; 5 – Sala de informática; 6 – Oficina de montagem; 7 – Laboratório de química; 8 – Laboratório de eletrônica; 9 - Oficina de máquinas CNC e 10 – Oficina de corte.



Figura 20: Layout do Fab Lab da Universidade do Chile

Fonte: Zagal *et al.* (2013)

CAPÍTULO 3 METODOLOGIA

Neste capítulo é mostrada a Análise Ergonômica (AE) realizada no contexto dos Fab lab's, O teor do capítulo se constitui na aplicação do plano de ação ergonômica descrito no capítulo de revisão bibliográfica. A escolha do local é importante, pois deve ter características comuns a outros Fab lab, uma vez que o trabalho se propõe a ter caráter generalizável. Uma vez autorizada pela instituição, a AE é realizada em seis etapas: Demanda Gerencial, Análise global, Demanda Ergonômica, Focalização, Modelagem operante.

Durante a etapa de demanda Gerencial foi realizada a primeira visita à empresa e criada às primeiras relações sociais. Na fase da Análise Global, foram coletados dados da população e do fluxo de serviços da empresa para a análise desses dados e verificação dos setores que poderiam ser focalizados no estudo e identificados os principais problemas de cada setor. Na etapa de demanda ergonômica foi escolhido - dentre os problemas selecionados - aquele que chamou mais atenção e na etapa de focalização, foram escolhidos o setor e o problema do presente trabalho. O quadro 3 exibe uma síntese da realização do trabalho.

Quadro 3: Etapas da realização da AET

Etapa	Breve descrição no contexto realizado.
Demanda Gerencial	Itinerário de contatos, Primeira visita e Construção social
Análise global	Ordenamento dos dados da população
Demanda ergonômica	Seleção de problemas em ordem de prioridade

Focalização e Pré-diagnóstico	Escolha do setor que será objeto de análise
Modelagem Operante	Recomendações de melhoria
Validação & Restituição	Feedback e ajustes das observações

3.1 Demanda gerencial e primeiras visitas

O estudo de caso foi realizado no Instituto de Pesquisas da Marinha (IPqM), organização militar de pesquisa e inovação. O IPqM está localizado na cidade do Rio de Janeiro, no bairro da Ilha do Governador. A localização é considerada estratégica (Figura 21), uma vez que fica próximo do principal polo de pesquisa em Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro: O Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE/UFRJ).



Figura 21: Instituto de Pesquisas da Marinha - localização (IPqM, 2019)

Fonte: Google

Fundado em 1959, o IPqM dedica-se a projetos que assegurem a independência tecnológica do Brasil, o desenvolvimento da base industrial de Defesa e o robustecimento da Força Naval. Subordinado à Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação da Marinha

(SecCTM), o IPqM realiza atividades de pesquisa nos campos de sistema de armas, de sensores, de guerra eletrônica, de guerra acústica e de sistemas de monitoramento e controle (Figura 22).



Figura 22: Áreas de atuação do IPqM

3.1.1 Itinerário de contatos

O primeiro contato foi feito através de um servidor público civil que ao saber da proposta de trabalho fez a solicitação ao Chefe do Grupo de Armas (IPqM-11). Intermediado por este, foi feito o pedido de autorização para realizar um estudo com os operadores do Laboratório de Prototipagem da Marinha (LabProM) e a autorização foi concedida pela direção do IPqM (Figura 23). Após a autorização, foi possível circular pelas instalações sempre acompanhado pelo líder do LabProM, o qual transmitiu os conhecimentos relacionados aos trabalhos realizados neste local.



Figura 23: Itinerário de Contatos

3.1.2 Construção social

Após receber a autorização e para que o trabalho obtivesse sucesso foi importante estabelecer uma boa construção social não só com a direção do IPqM e o chefe do Grupo de Armas, mas também, com o líder do LabProM e seus operadores. A interação permitiu que em cada momento da Análise Ergonômica prevalecesse o consenso e a objetividade das pessoas que ali trabalham tornando este método um poderoso aliado da AET (Figura 24).

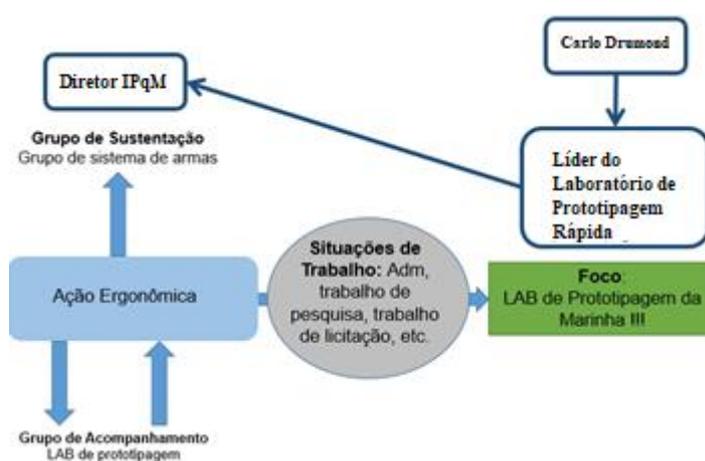


Figura 24: Construção Social

Fonte: o autor

Algumas reuniões de apresentação foram realizadas inicialmente com o Grupo de Suporte (chefe do grupo de Armas e Diretor do IPqM) onde apontaram as mudanças que precisavam ser feitas no setor. Durante as apresentações também houve questionamentos sobre como Ergonomia poderia ajudar nessas mudanças, melhorando o ambiente de trabalho.

Os operadores do LabProM formaram o Grupo de Foco, do setor de Prototipagem Rápida, e ficaram à disposição para entrevistas e para relatar o que de fato acontecia durante sua jornada de trabalho além de pontuar quais seriam os principais transtornos causados durante essa jornada. O Grupo de Acompanhamento foi formado pelo líder do

LabProM que deu suporte em cada etapa e durante a visita aos postos de trabalho do LabProM, identificando cada posto, sua rotina e qual sua importância dentro do LabProM.

3.1.3 Demanda gerencial

As visitas foram realizadas entre os meses de janeiro a outubro de 2019, durante o horário do expediente. Após a primeira reunião, além de explicar o que era Ergonomia e onde ela poderia atuar para melhorar a qualidade de trabalho dos operadores, foi perguntado ao chefe do grupo de armas e ao líder do LabProM qual seria a principal demanda identificada por eles para que o trabalho de AET fosse iniciado. A resposta foi que a principal demanda era a segurança física dos operadores no LabProM, pois eles estavam reformulando este setor para melhorar as instalações e a segurança de seus funcionários.

Diante da demanda inicial, possível observar a atividade do operador do LabProM e entrevistas foram realizadas a fim de coletar informações que pudessem ajudar na proposta de melhoria das condições de trabalho. Fotos foram feitas, dentro do LabProM, para análise crítica da postura adotada pelos trabalhadores e sua relação com o mobiliário e equipamentos.

O foco inicial sugerido foi melhorar a condição de trabalho dos operadores e seu principal motivo era dar maior segurança as atividades ali realizadas. A sugestão dada pelo chefe do IPqM-11 para que essa melhoria acontecesse foi a de projetar um novo laboratório de prototipagem rápida, com todas as recomendações ergonômicas aplicadas.

3.2 Análise global e Estudo da população

A análise global tem por finalidade estabelecer a lógica de produção que irá reger o projeto, o *modus operandus* e a gestão do sistema ou subsistema de produção no qual uma demanda gerencial foi estabelecida. Essa lógica se compõe, em sua partida, de uma apreciação do arranjo produtivo e suas exigências, e de um exame da população de trabalho, e suas características. De posse destes dois exames, se procede a uma confrontação de um ao outro, para buscar entender como atender as exigências do arranjo examinado, mediante a mobilização dos efetivos disponíveis e suas características.

A realização desta confrontação deve ser feita de forma setorizada, ou seja, numa grande organização, em cada setor é realizada uma ação ergonômica situada: se descreve o arranjo produtivo situado, a população correspondente e são anotados os tópicos de penosidade e de efetividade ali observados e/ou reportados na busca de atender as exigências com os efetivos disponíveis. A análise global é a reunião das ações ergonômicas situadas realizadas na organização.

No caso presente, esta delimitação já foi apresentada no capítulo introdutório como sendo uma ação ergonômica no IPqM (segmentação maior) para implementação de um LabProM (segmentação específica).

Sendo assim, uma população se refere a um todo. Equipes, times ou forças-tarefa são forma de divisão do trabalho, ou seja, formas de segmentar a população em classes. O processo de trabalho é a articulação de todas as classes assim formadas no tempo e no espaço. No tempo temos os grupos estruturados (divisões e batalhões, por exemplo) e os grupos eventuais (forças-tarefa que cumprem missões específicas). No espaço, essa articulação leva o nome de layout, cuja grafia se tentou aporuguesada formando a palavra leiaoute, muito pouco usada. Na Ergonomia propus em 1974 o termo arranjo produtivo

para referenciar uma articulação espacial de sistemas de produção onde cabem tanto os grupos estruturais como os eventuais (Vidal, 2020, comunicação pessoal).

O Grupo de Armas é composto por 36 funcionários com presença majoritária de funcionários do sexo masculino (Figura 25) sendo que mais da metade dos funcionários é composta por servidores civis (Figura 26). O perfil de qualificação (Figura 27) informa que o nível de escolaridade é alto com presença significativa de mestres e doutores.

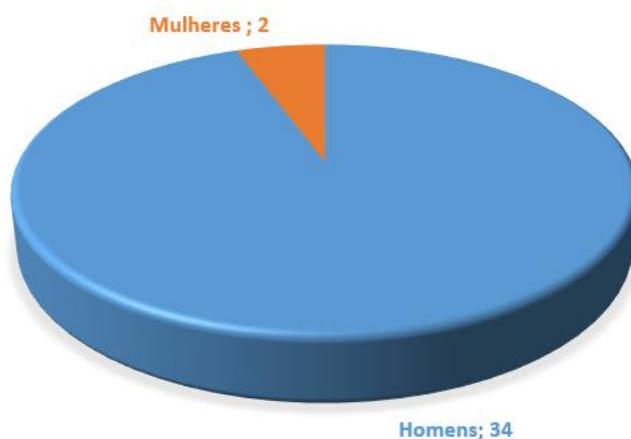


Figura 25: Distribuição por gênero

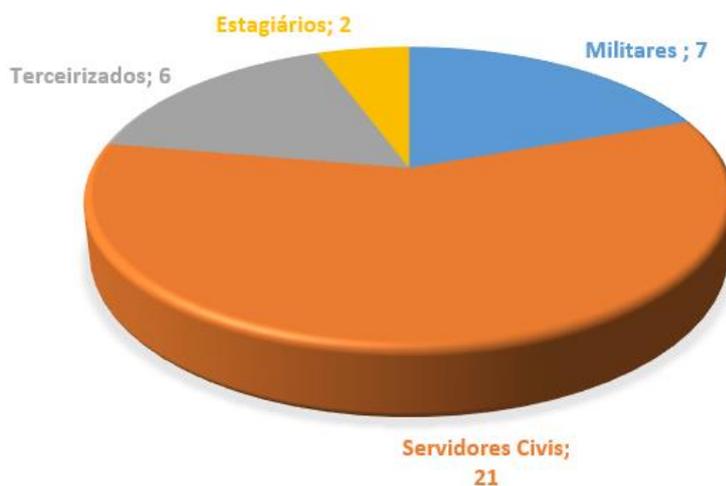


Figura 26: Composição da equipe do Grupo de Armas em termos de categorias

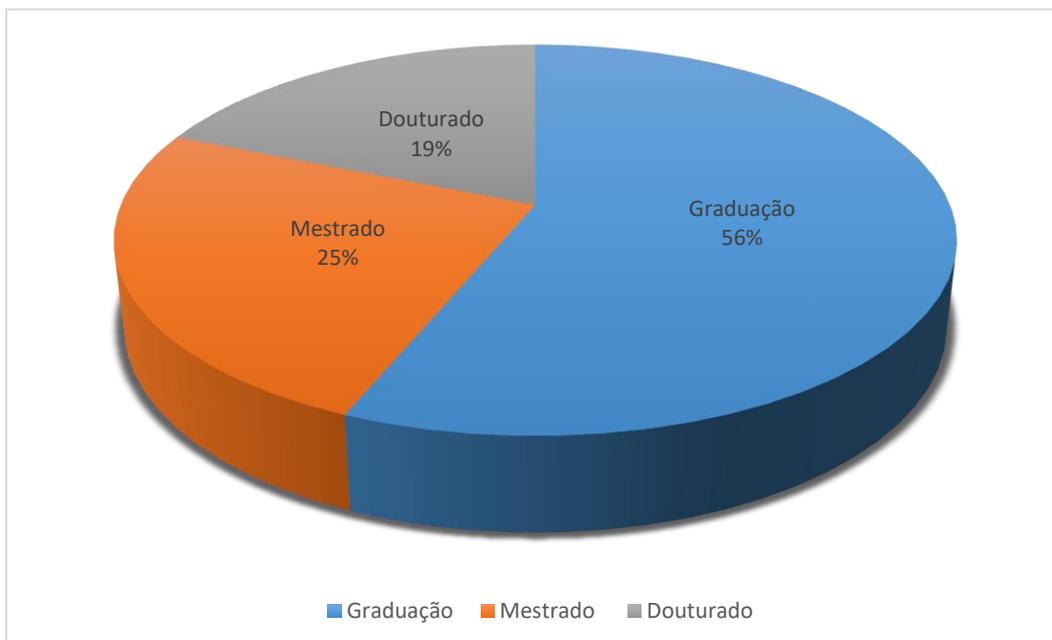


Figura 27: Repartição por grau de escolaridade

O tempo de serviço de funcionários com mais de 30 anos de serviço (Figura 28) e a faixa etária (Figura 29) merecem uma atenção especial, dado que se apura existir um número relevante de servidores com idade próxima da aposentadoria, ensejando maiores esforços por parte da direção para que o conhecimento acumulado de alguns funcionários seja compartilhado com os mais novos a fim de que a informação não se perca nesse processo de transição.

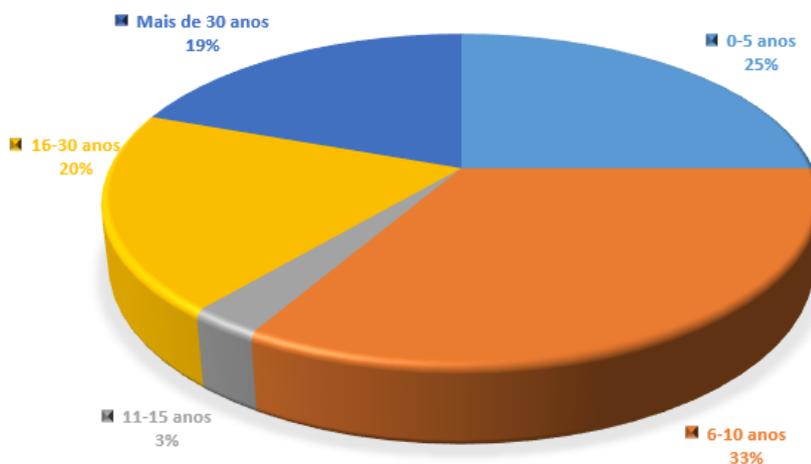


Figura 28: Número de funcionários por tempo de serviço na empresa

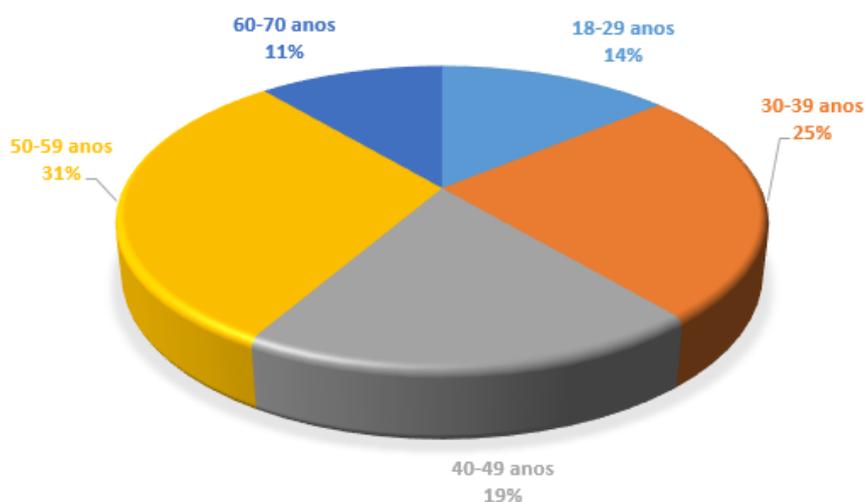


Figura 29: Número de funcionários por faixa etária

Em suma, temos uma população praticamente masculina, relevantemente composta por servidores civis com qualificação essencialmente universitária, cujo tempo de serviço de 75% dos servidores possui mais de 5 anos de experiência, tempo considerado como aquele em que uma competência no setor se torna consolidada, de acordo com a legislação sobre o estágio probatório para servidores civis e para lograr a estabilidade no caso de oficiais militares. Essa população tem um perfil de idade com uma parcela expressiva de pessoas acima de 50 anos, o que representa uma preocupação para a administração, pois muitos servidores estão em idade próxima da aposentadoria.

3.3 Demanda ergonômica: Delimitação empírica do tema de trabalho

Analisando o Grupo de Armas, observou-se que alguns setores poderiam causar situações de adoecimento. Esses pontos notáveis foram listados no mapa ergonômico conforme mostra o quadro 3. A demanda ergonômica se deu no Setor LabProM. Tal escolha foi devido a duas razões: em primeiro lugar, o estudo se constituiu em um trabalho acadêmico e por causa do prazo de conclusão não abrange tempo hábil para que o estudo

seja feito em mais de um setor; em segundo lugar, houve entendimento por parte do *Ergonomista* de que o setor encolhido abrangeria não só um número significativo de funcionários como também um setor que concentra os maiores riscos de possíveis quedas de rendimento e/ou afastamentos.

Quadro 3: Mapa ergonômico

Setor	Relatos	Problemas identificados
Setor oficina	Desconforto e inadequação dos postos de trabalho.	Falta de um ambiente que possibilite os ajustes adequados no mobiliário
Setor LabProM	Dores nas costas e pescoço ao realizar o processo de impressão 3D e o processo de remoção de rebarbas.	Falta de um ambiente que possibilite os ajustes adequados no mobiliário e ausência de bancada para realizar o trabalho de acabamento.
	Desconforto e relatos de enxaqueca provocado pelos gases de impressão	A área escolhida para o trabalho de impressão 3D não possui ventilação adequada para remover os gases produzidos pela impressão

3.4 Focalização

Após determinar o mapa ergonômico da empresa, foi escolhido o setor LabProM como objeto do presente estudo, pois é nesse ambiente onde se concentram os maiores riscos de acidentes, lesões e possíveis afastamento causados pelo trabalho.

3.5 Modelo Operante: apresentação estruturada do problema

Utilizou-se a ferramenta EAMETA (Bonfatti, 2017) para a identificação dos problemas existentes no setor em estudo, onde foi aplicada a ferramenta para diferentes postos de trabalho para a função operador do laboratório.

No primeiro contato do autor deste trabalho, na fase de início da construção social junto aos colaboradores, foram identificados alguns problemas auxiliado pelo líder do

laboratório. Ao longo de visitas subsequentes realizadas, a construção social foi sendo gradativamente solidificada junto aos demais membros do laboratório, o que aguçava a curiosidade deles em ajudar na identificação de outros problemas até então ignorados. A aplicação da ferramenta EAMETA pôde então ser iniciada, e as revelações começaram a emergir, tornando assim possível traçar um mapa da situação das atividades executadas pelos colaboradores.

Os resultados da aplicação da metodologia AET são divididos e discutidos em seções, uma vez que o trabalho pode ser dividido em 3 etapas essenciais no processo de impressão 3D de protótipos. A análise da operação e manuseio de máquinas tipo corte a laser, cortadora vinil e fresadoras (grande e pequena) não foram incluídas nessa análise, pois, não são consideradas essenciais no processo de impressão 3D, mas apenas acessórias. Além disso, o trabalho de análise AET nesses equipamentos demandaria tempo de observação e análise, com a presença de operadores e equipamentos no local do LabProM, porém não havia essas máquinas, atualmente, naquele laboratório da Marinha.

3.5.1 Pré diagnóstico: Construção de Hipóteses diagnóstica

Examinando o setor LabProM, conclui-se, provisoriamente, que o aspecto mobiliário, ventilação e espaço do atual laboratório, assim como a carga mental durante a modelagem e impressão são devidos, principalmente, à falta de experiência e treinamentos, constatado em observações, conversas e análises de documentos nesta etapa da análise ergonômica.

Esses fatores fazem com que os trabalhadores adotem comportamentos inusitados, como a utilização de espaços de trabalho não apropriados, ou seja, salas de escritório ao invés de um laboratório adequado, o que é bastante provável que explique o fato de terem sido reportadas dores lombares, no pescoço, ombro além de enxaquecas, além de sinais

de carga mental, tais como irritabilidade, dificuldade de concentração, erros de modelagem e retrabalhos de impressão.

3.5.2 Resultado do EAMETA

Após aplicação da Ferramenta EAMETA, podemos constatar (conforme o Figura 30) que as maiores ocorrências de queixas ocorridas no Setor LabProM foram: Bancada, circulação de ar, cadeiras e treinamentos.

O quadro 4 nos apresenta as observações reportadas nos meses de julho a novembro de 2019 através das narrativas fornecidas pelos operadores (6 pessoas foram entrevistadas que atuavam no LabProM) em relação aos itens de maior ocorrência de queixas.

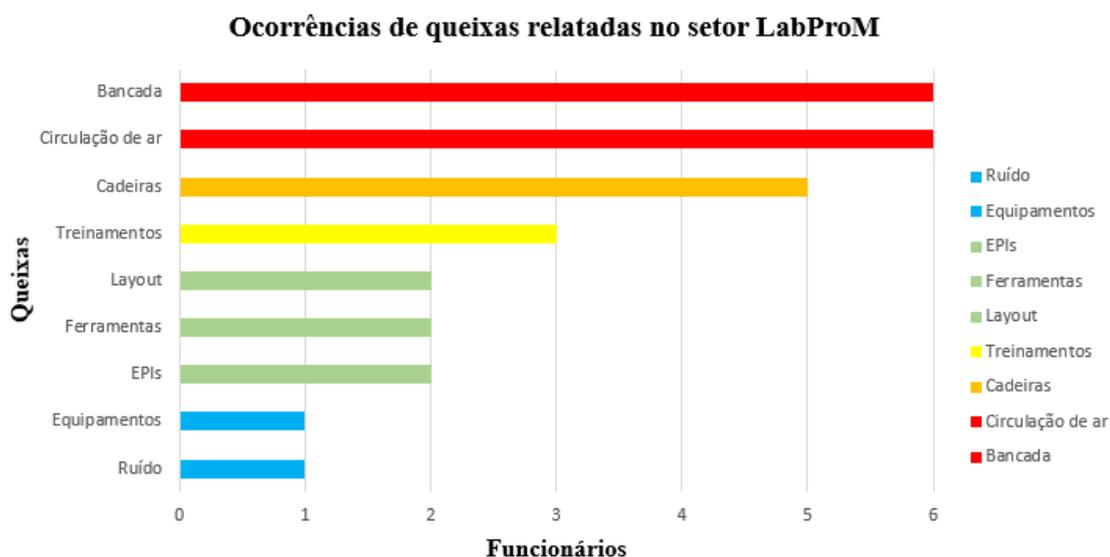


Figura 30: Resultado da aplicação do EAMETA no Setor LabProM.

Quadro 4: Reportes dos operadores

Protocolo verbal

“A bancada de impressão 3D é muito baixa”.
“Tem que aumentar o comprimento da bancada e colocar tomada para não ter que abaixar para ligar a impressora 3D”.
“O mobiliário não tem regulagem de altura”.
“A circulação de ar não é boa, mas poderia ter mais espaço na sala de impressão 3D”.
“A área de impressão deveria ter mais espaço”.
“Muito tumultuado, o espaço é pequeno”.
“Tinha que ser mais aberto para dar mais renovação do ar”.
“Abrimos as janelas para resolver o problema da fumaça”.
“Sinto dores nas costas e nos ombros e algumas vezes nas pernas”.
“Os gases que a impressora solta me faz mal, preciso sair de perto às vezes”.
“Quando cortar os filamentos a 45° precisa ter cuidado pra não acertar os olhos”.
“De vez em quando recorro a Internet pra aprender alguma coisa, mas daí perco muito tempo quando poderia aprender melhor com alguém experiente”.

No quadro 5, foram destacados, em cada um dos três postos ou setores de trabalho, os problemas mais comuns de cada setor, obtidos em entrevistas diretas realizadas pelo avaliador com os funcionários do LabProM.

Quadro 5: Destaque aos problemas encontrados utilizando o EAMETA

Postos / Instalações	Posto 1	Posto 2	Posto 3
	Laboratório de impressão 3D	Escritório de modelagem	Oficina de Acabamento
Espaço - Layout	Rotatividade: Mudanças constante de espaço para impressão. Espaço pequeno e sem ventilação forçada.		
Mobiliários	Bancadas inapropriadas para suporte de máquinas de impressão 3D e cadeiras sem regulagem de altura para inspeção do início da impressão	Mobiliário Inadequado: Ausência de cadeiras com padrão de regulagem de altura e apoio da região lombar.	Bancadas muito baixas para atividades de polimento e retirada de rebarbas e suportes
Equipamentos	Ausência de exaustor para eliminação adequada dos gases de impressão.		Ausência de EPIs

	Ausência de incubadora para adequado armazenamento dos materiais utilizados na impressora		
--	--	--	--

3.5.3 Escritório de projetos

Este setor se dedica ao desenho de peças auxiliado por computador (CAD), de modo que o processo de impressão de protótipos 3D tem início nessa etapa. O operador - que já deve ter algum conhecimento prévio em projeto de peças em software CAD - desenha a peça no computador, gerando o modelo virtual. Ao projetar esses modelos virtuais, o operador deve ter atenção e habilidade para não projetar uma peça sem os suportes adequados.

Identificação de agravos: A análise desse trabalho mostrou que, frequentemente, demanda muitas horas de trabalho na posição sentado e com alto nível de carga cognitiva, uma vez que a atenção deve ser constante para definir os parâmetros de impressão. Essa etapa é essencial ao processo e depende da experiência do projetista. O projetista, que se não possui habilidades em software CAD e treinamentos em impressão 3D, poderá permanecer muitas horas desnecessárias nessa etapa do processo. A falta de experiência nessa etapa gera retrabalhos (por motivo de alguma falha na impressão decorrente de um mal projeto), perdas de filamentos de impressão e estresse.

A demanda cognitiva é responsável por relatos de dores de cabeça e vista cansada, uma vez que consideráveis horas (dependendo da complexidade do projeto) de trabalho são necessárias no desenvolvimento de modelos virtuais. Ao permanecer na posição sentado por muito tempo, o funcionário, inconscientemente, adota posturas forçadas, inclinando-se para frente do tronco, a fim de visualizar melhor a peça que está desenhando.

O problema observado ao adotar a prática de utilização de mobiliários inadequados nesta etapa, expõem os trabalhadores a permanecerem em posturas forçadas por longos períodos de trabalho. A figura 30 evidencia de modo claro essas posturas forçadas ao realizar o trabalho de modelagem no computador.



Figura 30: Trabalho de projetos em softwares CAD.

Fonte: O autor, 2019

3.5.4 Laboratório de Impressão 3D

O laboratório de impressão 3D é o local onde ocorre a transformação de modelos virtuais em modelos reais ou protótipos, através dos equipamentos de impressão 3D. O trabalho é realizado pelos acompanhamentos das etapas iniciais e finais de impressão e retirada dos protótipos da mesa de impressão, além da manutenção e pré-ajustes no equipamento de impressão.

Identificação de agravos: A Análise Ergonômica do Trabalho, nesse local, mostrou que problemas de postura forçadas, em decorrência do uso de mobiliário inadequado, são recorrentes. Também foi observado a presença de bancadas improvisadas (mesas próprias de trabalho em escritórios comuns) que acomoda as máquinas de impressão, com altura muito baixa, levando os colaboradores a permanecerem em posturas forçadas aumentando o grau de risco a lesões na coluna e pescoço. A figura 31

mostra como os funcionários utilizam esses mobiliários e torna claro que são inadequados ao uso.

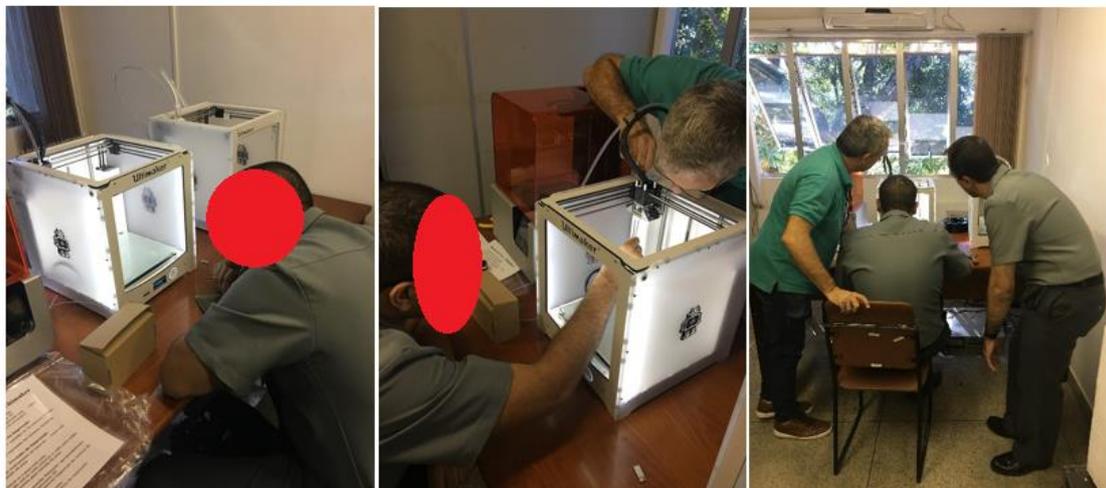


Figura 31: Fase de acompanhamento inicial da impressão.

Fonte: O autor, 2019

A presença de gases ou fumaças no laboratório, subproduto da fusão dos filamentos de impressão, é uma preocupação, pois não há equipamentos que possam retirar essa fumaça do local de trabalho. Há relatos de afastamento voluntário do local de impressão a fim de evitar o contato constante com a fumaça. Esse comportamento pode causar um acompanhamento deficiente da etapa iniciais de impressão e pode ocasionar também grandes perdas de material de impressão, pois o operador não estava presente no local de impressão a fim de parar o processo de impressão. Também há relatos de vertigem e incômodos na presença destes gases, obrigando os funcionários a abrirem as janelas para que ocorra a renovação natural do ar ambiente, como mostrado na figura 32.



Figura 32: Abertura das janelas para permitir a ventilação natural.

Fonte: O autor, 2019

O manual do equipamento de impressão utilizado atualmente no LabProM claramente indica a instalação de um exaustor no local de impressão, para evitar a exposição a esses gases prejudiciais à saúde humana. Na figura 33, um trecho destacado do manual da fabricante da Ultimaker 3, mostra as recomendações da utilização de exaustores para a adequada ventilação forçada no ambiente de fabricação de protótipos. O manual também nos fornece recomendações de segurança a fim de evitar riscos diversos aos operadores do equipamento.

Segurança elétrica



A Ultimaker 3 foi testada segundo a diretiva IEC 60950-1, a qual se enquadra na diretiva da baixa tensão. A Ultimaker 3 deve ser utilizada juntamente com a fonte de alimentação GST220AX da Meanwell e com o cabo de alimentação fornecido. Juntos, garantem uma utilização segura relativamente a curto-circuito, sobrecarga, sobretensão e sobreaquecimento. Para obter mais informações, consulte o relatório CB no nosso website.



Desligue sempre a impressora da tomada antes de efetuar manutenções ou modificações.

Segurança mecânica



A Ultimaker 3 contém peças móveis. Não se prevê lesões pessoais provocadas pelas correias de transmissão. A força da placa de construção é suficiente para provocar algumas lesões, pelo que deve manter as mãos fora do alcance da mesma durante o funcionamento.



Desligue sempre a impressora da tomada antes de efetuar manutenções ou modificações.

Risco de queimaduras



Existe um risco potencial de queimaduras: a cabeça de impressão pode atingir temperaturas de 280 °C, enquanto a base aquecida pode atingir temperaturas de 100 °C. Não toque em qualquer uma das peças com as mãos desprotegidas.



Permita sempre que a impressora arrefeça durante 30 minutos antes de efetuar a manutenção ou modificações.

Saúde e segurança



A Ultimaker 3 foi concebida para PLA Ultimaker, ABS Ultimaker, CPE Ultimaker, Nylon Ultimaker e PVA Ultimaker. Os nossos materiais podem ser impressos em segurança se forem utilizadas as temperaturas e definições recomendadas. Recomendamos a impressão de todos os materiais Ultimaker numa zona com boa ventilação. Consulte a ficha de dados de segurança de cada material em específico para obter mais informações.

Materiais que não os da Ultimaker podem libertar COV (compostos orgânicos voláteis) durante o respetivo processamento em impressoras 3D Ultimaker (não abrangido pela garantia). Estes podem provocar dores de cabeça, fadiga, tonturas, desorientação, sonolência, desconforto, dificuldade de concentração e sensação de embriaguez. Recomendamos a utilização de um exaustor. Consulte a ficha de dados de segurança destes materiais para obter mais informações.

Figura 33: Manual da Ultimaker³

Fonte: Manual de instalação e do utilizador, 2016

3.5.5 Oficina de acabamento

Na última etapa do processo de impressão 3D, a etapa de acabamento, são retirados suportes e rebarbas dos protótipos recém impressos. Essa etapa é realizada em bancadas com a ajuda de ferramentas, como o alicate, a lixadeira, além de outras ferramentas de corte de precisão.

Identificação de agravos: Aqui, estamos diante, mais uma vez, de mobiliário inadequado (próprios para o trabalho em escritórios), pois não há ajustes de altura nas cadeiras próximo a bancada. A bancada, por sua vez, foi adaptada de forma improvisada e mostra-se, claramente, não adequada para trabalho manual de precisão, forçando assim, o funcionário a inclinar-se para frente do tronco, saindo de sua posição neutra, para melhor visualizar o trabalho de acabamento e inspeção final do protótipo impresso. A

figura 34 mostra um funcionário realizando a etapa de inspeção final após o processo de lixamento.



Figura 34: Realização do trabalho de acabamento.

Fonte: O autor, 2019

CAPÍTULO 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O presente capítulo tem por objetivos apresentar os resultados, quais sejam, a objetivação do modelo operante em recomendações ergonômicas e, a partir delas, a formulação de alguns princípios que nos possibilitem formar os requisitos que um projeto de espaço maker deve possuir. Por fim, é apresentada a aplicação desses requisitos ao estudo de caso, o LabProM.

4.1 Recomendações ergonômicas: objetivação do modelo operante

Diante dos problemas anteriormente descritos, algumas sugestões de melhoria são recomendadas a fim de contornar e/ou solucionar os problemas que podem ocasionar afastamentos e/ou doenças relacionados ao trabalho no ambiente estudado aqui. São elas resumidas no quadro 6:

Quadro 6: Quadro resumo de recomendações de melhoria

Setor	Falas e comentários coletados	Problemas identificados	Recomendações de melhoria
Setor LabProM	Dores nas costas e pescoço	Atividades realizadas em ambientes com mobiliário inadequado (bancada baixa e cadeiras sem ajuste de altura).	Aquisição de mobiliários que possibilitem ajustes de altura
	Presença de fumaça causa náuseas e tonturas	A fabricação de peças em impressoras 3D gera gases	Aquisição de equipamentos de exaustão
	Pequena quantidade de treinamentos para habilitar os operadores do laboratório	Falta de experiência para lidar com adversidades e desafios de imprimir estruturas complexas.	Curso de reciclagem periódicos para a equipe de projetos
	O corte a 45° do filamento de	Ausência de política de segurança e	Adoção de procedimentos de segurança para disseminação dentro

impressão, pode ocasionar ferimentos aos olhos. O bico extrusor pode ocasionar queimaduras se não manuseado adequadamente.	proteção física aos operadores	da organização e aquisição de equipamento EPI
Ausência de ambiente que possibilite a montagem do Fab Lab	Os funcionários não possuem um local certo para os trabalhos. Ficam em salas próprias de escritórios, com espaços inapropriados.	Projeto de Layout, contemplando três ambientes: escritório de modelagem, laboratório e oficina para acabamento

4.2 Requisitos ergonômicos mínimos para montagem de um espaço maker

A partir das recomendações de melhoria, podemos elaborar 5 princípios ergonômicos que podem ser aplicados em qualquer espaço maker, a fim de evitar os problemas relatados neste trabalho. São eles:

1. No escritório de modelagem, utilizar cadeiras e mesas padronizadas e adequadas ao uso correto na posição sentada, com ajustes de altura, para que possibilite atender a variação de altura e comprimentos das pernas dos usuários e apoio para braços e cotovelos, como mostrado na figura 35, cujo modelo possui essas características.

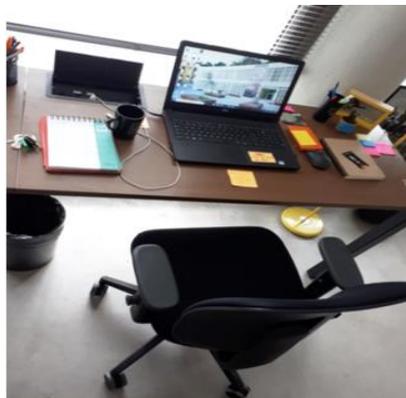


Figura 35: Sugestões para a realização do trabalho em escritório de modelagem

No laboratório de impressão, ao realizar o trabalho de acompanhamento da fase inicial e final de impressão ou realizar a manutenção do bico extrusor, adotar banquetas com regulagem de altura, como mostrado na figura 31 e mesas de apoio para os equipamentos de impressão 3D com altura de acordo com esse tipo de trabalho, como mostrado na figura 36;



Figura 36: Sugestões para a realização de trabalho em bancadas.

Fonte: O autor, 2019

2. A operação de um espaço maker necessita de uma equipe técnica especializada e treinada. O treinamento da equipe que vai operar o laboratório é necessário pois a velocidade com que a tecnologia recente vai sendo superada e substituída por novas tecnologias de impressão 3D (com variação de técnicas e recursos a partir de cada fabricante) é uma realidade nesse setor. Diante desse fato, treinamentos periódicos são necessários, a fim disseminar o conhecimento na equipe, evitando-se assim a concentração de conhecimento em poucos indivíduos do grupo (prejudicial a produtividade e a gestão do conhecimento na empresa) ou a dependência de um consultor

externo para, por exemplo, enfrentar o desafio de imprimir estruturas complexas e fazer a manutenção em caso de entupimento do bico extrusor ou identificar e corrigir falhas na impressão.

3. A experiência nos mostra que certos materiais emitem mais gases do que outros tipos, porém todos eles emitem gases compostos orgânicos voláteis – COV – prejudiciais à saúde humana e ao conforto. Dessa forma, adquirir equipamentos de exaustão no local da impressão, é necessário e recomendado pelo manual do fabricante. Esse equipamento facilita o transporte desses gases ao ambiente externo por ventilação forçada, sendo idealmente aplicado em muitos laboratórios químicos industriais ou de pesquisa, tendo em vista a segurança e a saúde dos operadores. A figura 37, mostra um exemplo típico de uma instalação adotada com exaustores do tipo capela.



Figura 37: Exemplo de instalação de exaustores em laboratórios.

Fonte: <http://www.exaustfarma.com.br/produtos/capela>

A capela geralmente é fabricada em chapa de aço inoxidável, possui porta tipo guilhotina, iluminação interna e exaustor. Utilizado nos diversos laboratórios, para manipulação de substâncias voláteis, tóxicas, cáusticas, irritantes ou corrosivas.

4. Muitas ferramentas de corte e acabamento são utilizadas nas fases de pré e pós impressão. A adoção de medidas de proteção para evitar ferimentos pelo manuseio inadequado dessas ferramentas é fortemente recomendado uma vez que, o material cortado poderá atingir os olhos do próprio operador ou das pessoas ao seu redor. O corte do filamento a 45° para posterior introdução na máquina e início da impressão, é um procedimento padrão de alimentação da máquina de impressão e deve ser feito na etapa anterior a impressão 3D. A utilização de óculos protetores é, portanto, uma solução simples ao problema de possíveis ferimentos.

O manuseio da retirada da peça desse ser cuidadoso quando a bandeja ainda estiver a alta temperatura, sendo necessário medidas de proteção antitérmica. Por fim, a peça pode apresentar quinas pontiagudas ou cantos vivos que podem ocasionar cortes e ferimentos no seu manuseio. Portanto, a adoção de luvas com proteção antitérmica e proteção a cortes é uma medida simples e que garante a segurança dos operadores. Seu uso deve ser estimulado e difundido através de procedimentos escritos e divulgado nos ambientes de trabalho.

5. O projeto de layout desse ser feito antes da montagem do laboratório. O Mobiliários e a disposição física dos equipamentos, escritórios de projeto e oficina de acabamento, assim como sala de reunião e vídeo conferencia deve

ser incluída no projeto para otimizar as atividades ali desenvolvidas. Esse princípio não é levado em consideração em muitos Fab labs atuais pois os mesmos resultam de uma adaptação de um escritório comum, sem a necessária divisão de ambientes de trabalho. O que podemos perceber é um ambiente inusitado de variadas frentes de trabalho inseridos no mesmo local, sem planejamento e/ou organização, gerando perdas de produtividade por excesso de informalidade, ocasionando muitos relatos de desconforto físico e cognitivo nos operadores inseridos nesses ambientes.

4.3 Aplicação dos requisitos ergonômicos no projeto do LabProM

O ambiente virtual desenvolvido nessa etapa do trabalho tem como objetivo auxiliar o projetista, com a contribuição da Ergonomia, a determinar de que maneira os equipamentos e processos de um espaço maker pode ser planejado e organizado. A partir do estudo de caso (LabProM), o laboratório será projetado com a aplicação dos requisitos ergonômicos descritos na seção anterior. A atual instalação do local, onde será o futuro LabProM, é apresentada na figura 38. Suas medidas foram adquiridas em plantas, fotos e medições manuais das edificações reais do local.



Figura 38: Instalações do local onde será o futuro LabProM

As atividades do LabProM serão projetadas para atender 20 usuários simultaneamente (no máximo) em um ambiente de 100 m² de área, como mostrado na figura 34. A sua organização e disponibilidade, segundo Zagal *et al.* (2013), são fundamentais para afinidade dos estudantes com as máquinas e para as relações interpessoais.



Figura 39: Layout do espaço maker – LabProM

O espaço do LabProM (Figura 39) será composto por:

- 1) Sala de treinamentos e videoconferência (atual sala de técnicos);
- 2) Sala de impressão 3D (atual laboratório de ensaios mecânicos);
- 3) Sala de Equipamentos – Bancada de acabamento e fresadoras de grande e pequeno porte (atual oficina de montagem mecânica 2);
- 4) Escritório de projetos (atual oficina de montagem mecânica 1);
- 5) Sala de exposições (atual sala de exposições).

Sala de treinamentos e videoconferência

Esta sala contará com uma mesa redonda e cadeiras com regulagem de altura para reuniões. Um profissional experiente da equipe (ou consultor externo) dará cursos e treinamentos à equipe de operadores, e para isso, contará com um televisor,

além de um computador com acesso à internet para videoconferência. A figura 34, mostra o aproveitamento desta sala.

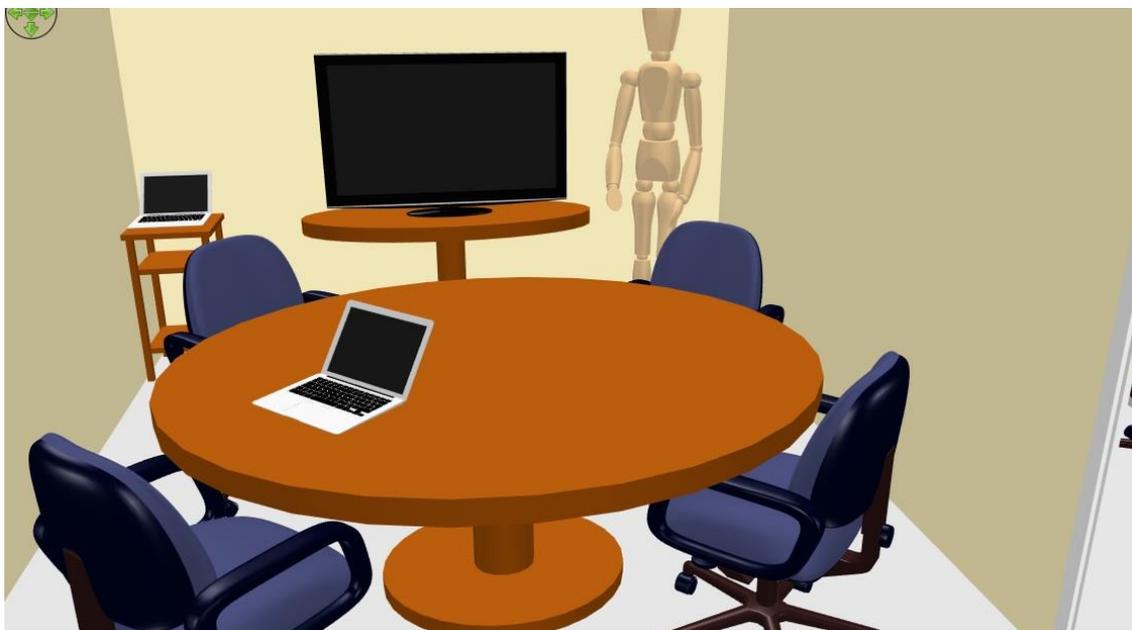


Figura 40: Sala de reuniões e Videoconferência

Sala de impressão 3D

Para atender os requisitos ergonômicos especificados, esta sala contará com equipamentos exaustores em cada máquina de impressão. A adoção de banquetas com regulagem de altura e encosto para região lombar, será adotada. O operador que estiver trabalhando na fase de acompanhamento inicial ou final de impressão poderá ter a liberdade de trabalhar na posição em pé ou sentado e contará com bancadas de apoio para as máquinas de impressão com facilidade de acesso a parte de trás dessas máquinas, onde se dá o trabalho alimentação de filamentos e de manutenção das mesmas. A figura 41 ilustra esse ambiente.



Figura 41: Sala de impressão 3D

Sala de Equipamentos – Bancada de acabamento e fresadoras de grande e pequeno porte

A sala de equipamentos irá aglomerar os equipamentos fresadoras de grande e pequeno porte, além da bancada com ferramentas para a etapa de acabamento e retirada de suportes dos protótipos. A bancada e os equipamentos CNC serão dispostos com banquetas com regulagem de altura e apoio à região lombar. Equipamentos EPI (luvas, óculos etc.) ficarão armazenados nessa sala para uso seguro das ferramentas e equipamentos de corte de precisão. A figura 42 e 43, mostram como esse ambiente foi projetado.



Figura 42: Sala de Equipamentos – Bancada de acabamentos

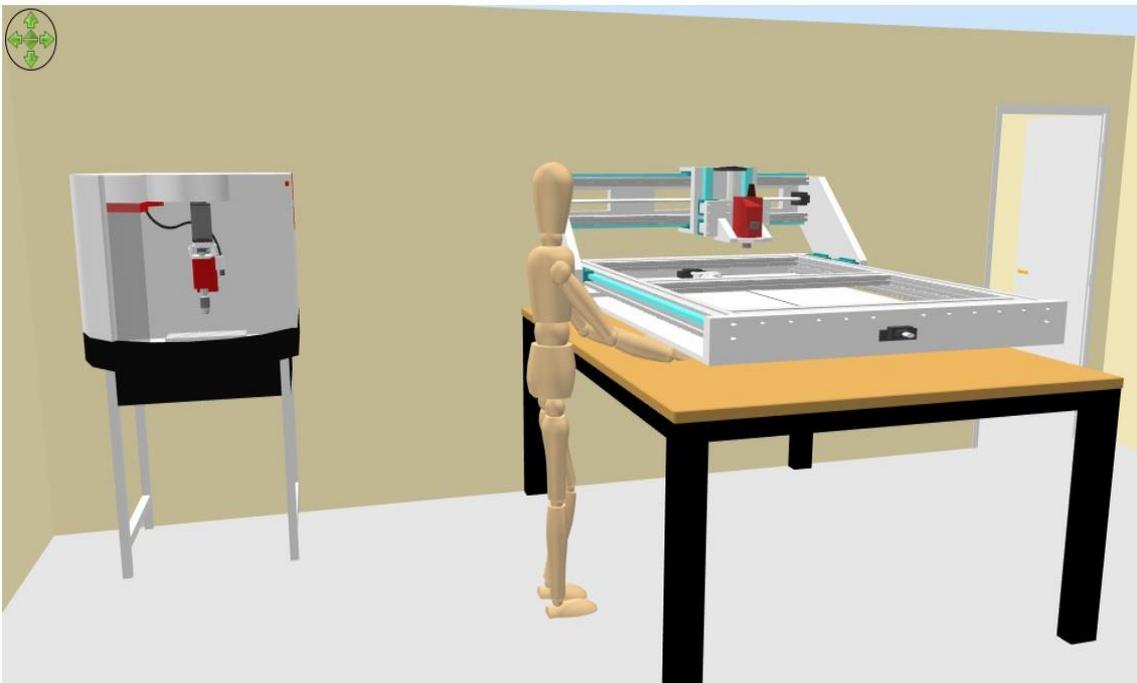


Figura 43: Sala de Equipamentos – Fresadora de grande e pequeno porte

Escritório de projetos

O escritório de projetos contará com 8 estações de trabalho para desenvolvimentos de modelos virtuais. O ambiente é projetado com mesas com gavetas e cadeiras com regulagem de altura e apoio a coluna lombar. Esse ambiente contará ainda com armários para arquivo de projetos desenvolvidos pela equipe. A figura 44, mostra a disposição física do mobiliário e computadores desta sala.

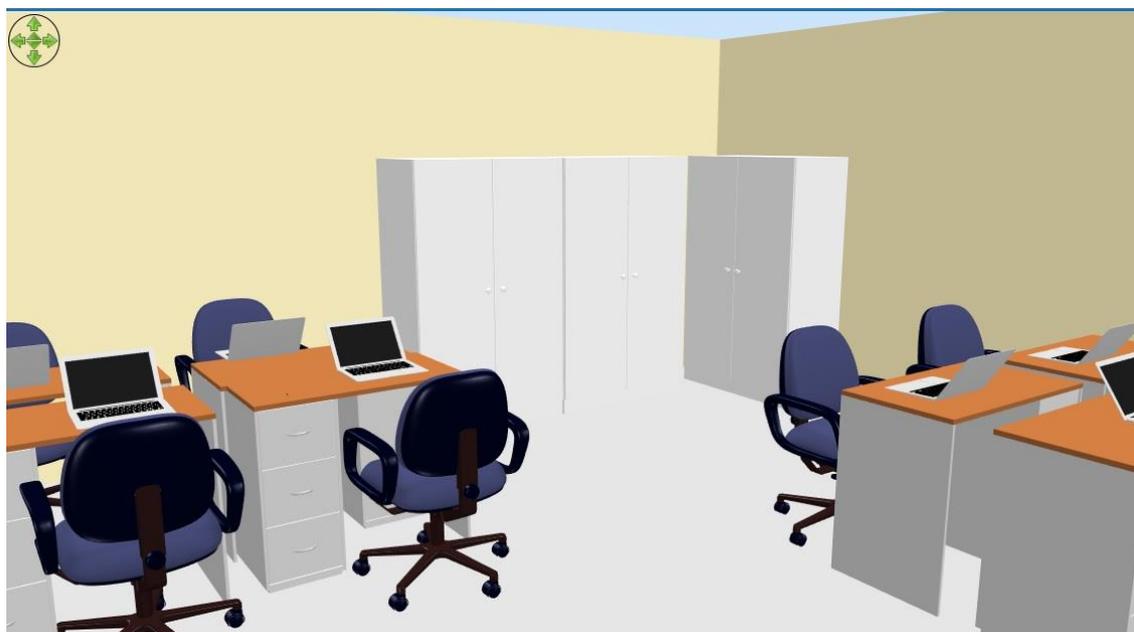


Figura 44: Escritório de Projetos

Sala de exposições

Por fim, a sala de exposições reunirá alguns protótipos de frequente impressão pela equipe do laboratório, além de alguns mais complexos para atrair o interesse em eventos aberto ao público interno e externo. Esta sala contará ainda com uma grande janela para a sala de impressão 3D, para tornar a experiência e o contato, com os trabalhos desenvolvidos pelo laboratório, mais real ao público. A figura 45, mostra como será esta sala.



Figura 45: Sala de Exposição

CAPÍTULO 5 CONCLUSÃO

Neste capítulo, serão apresentadas as conclusões do caso em estudo, encerrando com a discussão dos resultados obtidos e sugestões para trabalhos futuros.

5.1 Conclusões

O resultado da aplicação da AET, em conjunto com o protocolo verbal dos operadores, foi possível realizar a compreensão das atividades executadas no espaço maker da Marinha e a interseção destas informações nos proporcionou a oportunidade de produzir requisitos e propostas para adequação dos postos de trabalho, conforme se pode verificar nas cinco classes de requisitos ergonômicos a seguir:

- **Aquisição de mobiliários** - Indicação de aquisição de mobiliários padronizados e com regulagens e ajustes, próprio para cada posto de trabalho analisado, em conformidade com as necessidades do tipo de trabalho realizado;
- **Curso e treinamentos** - Indicação de treinamentos periódicos a fim de reduzir perdas por retrabalho ou desperdícios de recursos materiais;
- **Equipamentos exaustores** - Indicação de aquisição de exaustores no local de impressão 3D para transporte ao ambiente externo de gases nocivos à saúde humana;
- **Equipamento de Proteção Individual (EPI)** - Indicação de aquisição de EPI's e adoção de procedimentos internos a fim de difundir boas práticas e cultura de segurança no manuseio de peças e equipamentos;
- **Projeto e montagem do espaço maker** - Indicação de projeto de layout anterior à montagem do espaço maker com a finalidade de auxiliar a disposição física dos

equipamentos, o melhor aproveitamento da área disponível e adequar o futuro laboratório aos recursos mínimos exigidos pela Fab Foundation.

Portanto, esta dissertação propôs analisar o desenvolvimento ambientes de trabalho do tipo espaço maker pela perspectiva da Ergonomia. Assim, foi desenvolvido cenários e ambientes virtuais de simulação, a fim de verificar a aplicação de requisitos ergonômicos e sua contribuição no contexto do LabProM.

5.2 Discussão dos processos de realização da dissertação

No desenvolver desta pesquisa não foi possível identificar a existência, através da verificação de textos acadêmicos, de propostas ou projetos de desenvolvimento de espaços maker que levassem em consideração fatores humanos, isto é, a preocupação com a saúde e o conforto dos usuários que utilizam estes locais como ambiente de trabalho.

A identificação de propostas e recomendações de melhoria foi possível devido a participação dos operadores no apontamento de necessidades e possíveis soluções técnicas aos problemas relatados. Nesse trabalho, o desenvolvimento participativo foi fundamental na identificação de soluções para problemas recorrentes.

A Análise Ergonômica foi conduzida através de verbalizações e técnicas conversacionais com os operadores do LabProM que resultou em um conjunto de possíveis causas dos problemas ergonômicos diagnosticados. As sugestões de melhoria foram baseadas em critérios objetivos e podem ser aplicados em laboratórios similares.

A imersão nos postos de trabalho também foi possível através da observação participante, onde o autor deste trabalho, realizou as diversas etapas essenciais que compõem o trabalho de imprimir protótipos rápido através da tecnologia de impressão 3D, isto é, houve a participação e o acompanhamento do autor nas etapas de modelagem de protótipos virtuais seguida de impressão e finalmente no acabamento. As dificuldades encontradas e a solução adotada para contorná-las foram, entre outras:

- a) Entupimento do bico extrusor – Trabalho executado por, no mínimo, duas pessoas, onde um operador empurra o filamento conduzindo ao bico extrusor, já aquecido, e o outro retira com uma pinça o material extrusado até a completa desobstrução;
- b) Definição da localização de suportes – Este trabalho foi auxiliado por operadores experientes que já possuíam conhecimento tácito de limitações da máquina de impressão 3D, ou seja, locais onde a máquina precisaria de um suporte para começar a imprimir estruturas da peça que não seriam retiradas na etapa de acabamento;
- c) Armazenamento adequado dos insumos de impressão – Após a utilização dos insumos, os mesmos eram armazenados em incubadoras para que não perdessem suas propriedades em ambientes com alta umidade. Um medidor digital de umidade foi adquirido para que este controle fosse efetivo.

O compartilhamento de conhecimento e experiências entre o autor e os operadores foi o núcleo da solução proposta que possibilitou o auxílio na eficiência dos projetos ergonômicos dos postos de trabalho.

5.3 Recomendações para trabalhos futuros

O presente trabalho foi elaborado com o objetivo de proporcionar melhorias e benefícios tanto para a empresa como principalmente para os trabalhadores. A partir dos relatos de problemas apresentados pelos operadores do laboratório, elaborou-se recomendações para que ações sejam tomadas no sentido de melhorar o ambiente e as condições de trabalho.

Sugere-se o preenchimento de algumas lacunas no presente trabalho:

1. É necessário realizar Análise Ergonômica (penosidades e eficiências) e modelagem de concepção (princípios e requisitos) em outros Fab Lab, a fim de permitir confrontação dos resultados apresentados nesta dissertação;
2. É necessário incluir a Análise Ergonômica em postos de trabalho não analisados no presente trabalho, isto é, na operação e manuseio de protótipos produzidos pelas fresadoras de grande e pequeno porte, máquinas cortadoras a laser e vinil; Essa indicação pode abrir um importante e adicional capítulo, cujos princípios e requisitos venham enriquecer as propostas apontadas nesta dissertação.
3. Um trabalho envolvendo Design Thinking é recomendado para complementar a Ergonomia de Concepção, incluindo, assim, mais um método para solucionar problemas e gerar inovações, selecionadas em função dos objetivos da atividade ou negócio, da viabilidade tecnológica e das necessidades humanas. Assim, ao analisar o problema de maneira abduativa, a solução não é derivada do problema: ela vem do universo que permeia o problema;
4. O presente trabalho não traz dados estatístico referente a afastamentos por motivo de saúde dos operadores e número de acidentes contabilizados no Fab lab em estudo. Este dado é fundamental para sensibilizar tanto os gestores como os operadores da necessidade por mudanças na política de segurança do Fab lab e uma recomendação seria a de pensar num sistema de registro e gestão desse tipo de implicação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

3D SYSTEM. **RP equipments**. Informação sobre equipamentos Disponível em <<http://www.3dsystems.com>> Acesso em: 01 setembro 2019.

ABRAHÃO, J; SILVINO, A. **Introdução a Ergonomia – Da Prática a Teoria**. 1ed. Edgard Blucher, 2009.

AVIZ, A. **Construção de Protótipos por Adição e Remoção de Material Comparativo Entre Deposição em ABS X Usinagem CNC**. 4E-Tech: Tecnologias para Competitividade Industrial, Florianópolis, n. esp. Metalmecânica, p. 14-36, 2012.

BEAMAN, J. J. **Solid Freeform Fabrication: An Historical Perspective**. In: Solid Freeform Fabrication Proceedings; 12th, Solid freeform fabrication symposium. Austin Texas. The University of Texas. pp. 584-595, 2001.

BARKAN, P., IANSITI, M. **Prototyping: a tool for rapid learning in product development, Concurrent Engineering: Research and Applications**, v. 1, 1993, p. 125-134.

BARBOSA, M. S. A.; SANTOS, R. M.; TREZZA, M. C. S. F. **A vida do trabalhador antes e após a lesão por esforço repetitivo (LER) e doença osteomuscular relacionada ao trabalho (DORT)**. Rev. bras. enferm., Brasília, v. 60, n. 5, Oct. 119 2007. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0034-71672007000500002&script=sci_abstract&tlng=pt >. Acesso em: 22 set. 2018.

BAXTER, M. **Projeto de produto. Guia prático para o desenvolvimento de novos produtos**. 2a ed. São Paulo, Editora Blücher Ltda, 2000.

BÉGUIN, P. **O ergonomista, ator da concepção**. In: FALZON, P. Ergonomia. Capítulo 22, São Paulo: Edgar Blücher, 2007.

BONFATTI, R. J., & VIDAL, M. C. **Eameta: Um método amigável de análise participativa de situações de trabalho.** Revista Ação Ergonômica, 11(1), 2017.

CANCIGLIERI JUNIOR, Osiris; SELHORST JUNIOR, Aguilar; SANT'ANNA, Ângelo Márcio Oliveira. **Método de decisão dos processos de prototipagem rápida na concepção de novos produtos.** Gest. Prod., São Carlos , v. 22, n. 2, p. 345-355, jun. 2015.

CARRILHO, L. AND LOURO, C. AND VALVERDE, N.(2006). **International Benchmarking study on the functioning of FabLabs - Business Model Proposal.** Disponível em:<http://fablabedp.edp.pt/sites/default/files/uploaded_files/rl_836_0_mt_traduzido.pdf> Acesso em: 10 ago.2010.

CARVALHO, J., VOLPATO, N. **Prototipagem Rápida como processo de fabricação.** In. VOLPATO, N. (Ed.) Prototipagem rápida – tecnologias e aplicações. 1ª ed., São Paulo: Blücher, 2007, p. 1-15.

COUTO, H. A. **Ergonomia aplicada ao trabalho: conteúdo básico, guia prático.** Belo Horizonte: Ergo, 2007.

COUTO, H. A., **Como implantar Ergonomia na empresa; a prática dos comitês de Ergonomia.** Belo Horizonte: Ergo, 2002.

COUTO, H. A. **Ergonomia aplicada ao trabalho; o manual técnico da máquina humana.**2v. Belo Horizonte. Ergo Editora, 1995.

DI GIOVANNI, J. R. M.; SILVEIRA, C. S. **Intervenção ergonômica de postos de trabalho: um estudo de caso da indústria de toldos.** [s.d].Disponível em: <<http://www.ergonomianotrabalho.com.br/analise-ergonomica-toldos.pdf>>. Acesso em: 02 out. 2019.

EYCHENNE, F., NEVES, H. (2013). **Fab Lab: A Vanguarda da Nova Revolução Industrial**. São Paulo: Editorial Fab Lab Brasil.

FAB FOUNDATION. (2015). Fab Foundation. Disponível em: <<http://www.fabfoundation.org/>> Acesso em: 15 jan. 2019.

FAB LABS IO. (2015). **Show me Fab Labs Around the World**. Disponível em: <https://www.fablabs.io>

FALZON, P. **Natureza, objetivos e conhecimentos da ergonomia: elementos de uma análise cognitiva da prática**. In: FALZON, P. (Ed.). Ergonomia. São Paulo: Blucher, 2007

FRISONI, Bianca Cappucci. **Ergonomia, metodologia ergonômica, “designing” para o uso humano**. Dissertação de Mestrado - PUC-Rio, Rio de Janeiro. 2000.

GERSHENFELD, N. **Fab: the coming revolution on your desktop from personal computers to personal fabrication**. Basic Books, 2008.

GERSHENFELD, N. **How to make almost anything: the digital fabrication revolution**. Foreign Affairs, Tampa, v. 91, n. 6, p. 43-57, 2012.

GIBSON, I., ROSEN D. W., STUCKER, B. **Additive manufacturing technologies: rapid prototyping to direct manufacturing**. 1ª ed., New York: Springer. 2010.

GORNI, A. Augusto **Introdução a Prototipagem Rápida e Seus Processos**. Revista Plástico Industrial, março (2001), p. 230-239.

GRANDJEAN, E. **Manual de ergonomia: adaptando o trabalho ao homem**. Porto Alegre: Editora Artes Médicas Sul, 1998.

GÜÉRIN, F. *et al.* **Compreender o trabalho para transformá-lo: a prática da ergonomia.** São Paulo: Edgard Blücher, 2001.

IIDA, I. **Ergonomia - projeto e produção.** 2. ed. Revisada e ampliada. São Paulo: Edgard Blücher, 2009.

LIMA, C.B.S. **Engenharia Reversa e Prototipagem Rápida:** estudo de caso. 2009. 91 f.

MACEDO, M.; TEIXEIRA, C. F.; AGUIAR, F. F.; CESCA, R. **Desenvolvimento e implantação de um Fab Lab: um estudo teórico.** Revista Espacios. Vol. 38, N° 31, 2017.

MAKERSPACE. Makerspace Playbook: Scholl Edition. [s.1.], 2013. Disponível em: <<http://makered.org/wp-content/uploads/2014/09/Makerspace-Playbook-Feb-2013.pdf>>. Acesso em 10 mai. 2019.

MÁSCULO, F. S.; VIDAL, M. C.; **Ergonomia trabalho adequado e eficiente.** Rio de Janeiro: Elsevier/Abepro, 2011.

MARQUES, Amanda et al. **A Ergonomia como um Fator Determinante no Bom Andamento da Produção: um Estudo de Caso.** Revista Anagrama: Revista Científica Interdisciplinar da Graduação, São Paulo-SP, ano 4 – edição 1, setembro – novembro de 2010.

MIKHAK, Bakhtiar et al. **Fab Lab: an alternate model of ICT for development.** In: 2nd international conference on open collaborative design for sustainable innovation. 2002. Disponível em: <<http://cba.mit.edu/events/03.05.fablab/fablab-dyd02.pdf>> acesso em 03 de jun de 2019.

NETO, A. I., JUNIOR, O. C., & JUNIOR, A. S. (2007). **Processos de Prototipagem Rápida Por Deposição ou Remoção de Material na Concepção de Novos Produtos - Uma Abordagem Comparativa**. XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Foz do Iguaçu.

SANTOS, M. S.; VIDAL, M. C. R.; CASSANO, D. A., **Ergonomia de Concepção: Apropriação do conhecimento informal na gestão de projetos de ambientes de trabalho construído**. Em: XVº Congresso Brasileiro de Ergonomia, 2008, Porto Seguro. Anais do XVº Congresso Brasileiro de Ergonomia, v. 1, 2008.

SANTOS, M. S.; VIDAL, M. C. R.; RHEINGANTZ, P. A., **Ergonomia de Concepção: Ambientes Construídos para o Trabalho**. 1ª Edição. Rio de Janeiro: Editora Virtual Científica, 2013.

SELHORST JR., AGUILAR.; CANCEGLIERI JR, OSIRIS. **Análise comparativa entre os processos de prototipagem rápida por deposição ou remoção de material na concepção de novos produtos**. In: 4o Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 2007, Estância de São Pedro/SP/BR. Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação (4 : 2007 :Estância de São Pedro), 2007.

STRATASYS, FDM ACCURATE, RAPID MANUFACTURING AND PROTOTYPING SYSTEMS. Informação sobre equipamentos. Disponível em: <<http://www.Stratasys.com>> Acesso em 01 setembro 2019.

TREBIEN, E. I.; MACHADO, M. M.; SACKSER, M. R. **Qualidade de vida no trabalho**. Curso de Pós-Graduação em Administração. Universidade Federal de Santa Catarina.

VIDAL, M. C. R.; BONFATTI, R. J.; CARVÃO, J. M. B., **Ação ergonômica em sistemas complexos – Proposta de um método de interação orientada em situação: A conversa-ação**. Revista Ação Ergonômica, v.1, nº 3. 2002, p. 53

VIDAL, M. C. R. **Introdução à Ergonomia**. Pós-graduação Lato Senso. Rio de Janeiro, 2000.

VIDAL, M. C. R. **Ergonomia na empresa: útil, prática e aplicada**. Rio de Janeiro: Virtual Científica, 2002.

VIDAL, M. C. R., **Guia para Análise Ergonômica do Trabalho (AET) na empresa**. Rio de Janeiro: Editora Virtual Científica, 2003, p.153.

VIDAL, M. C.; CARVALHO, P. V. **Ergonomia cognitiva. Raciocínio e decisão no trabalho**. Rio de Janeiro: Virtual Científica, 2008.

VOLPATO, Neri (Edit.). **Prototipagem rápida: tecnologias e aplicações**. São Paulo, SP: Edgard Blücher, 2007.

ZAGAL, JUAN C. *et al.* **Fab lab as an implementation tool of the cdio program**. Proceedings of the 9th International CDIO Conference, Massachusetts Institute of Technology and Harvard University School of Engineering and Applied Sciences, Cambridge Massachusetts, June 9-13, 2013.