



UNIVERSIDADE
DO ESTADO DE MINAS GERAIS



ESCOLA DE DESIGN

Programa de Pós-graduação em Design (PPGD)
MESTRADO EM DESIGN

ANNIBAL GOUVÊA FRANCO

ESTUDO DO PAPELÃO ONDULADO DE PAREDE DUPLA, COMO MATERIAL ATERNATIVO DE MOBILIÁRIO COM DESIGN ECOLÓGICO

Belo Horizonte

2015



**UNIVERSIDADE
DO ESTADO DE MINAS GERAIS**



ESCOLA DE DESIGN

Programa de Pós-graduação em Design (PPGD)
MESTRADO EM DESIGN

ANNIBAL GOUVÊA FRANCO

**ESTUDO DO PAPELÃO ONDULADO DE PAREDE DUPLA, COMO MATERIAL
ALTERNATIVO DE MOBILIÁRIO COM DESIGN ECOLÓGICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em *Design*, da Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em *Design*, na área de concentração em *Design*, Inovação e Sustentabilidade.

Linha de pesquisa: *Design*, Materiais e Processos

Orientadora: Prof^ª. Rosemary do Bom Conselho Sales, Dr^a

Universidade do Estado de Minas Gerais.

Coorientadora: Prof^ª. Nelcy Della Santina Mohallem, Dr^a

Universidade Federal de Minas Gerais.

Belo Horizonte

2015

F825e Franco, Annibal Gouvêa

Estudo do papelão ondulado de parede dupla, como material alternativo de mobiliário com design ecológico. / Annibal Gouvêa Franco. – 2015.

109 f.: il. enc.

Orientadora: Profª Drª Rosemary do Bom Conselho Sales

Coorientadora: Profª Drª Nelcy Della Santina Mohallen

Dissertação (mestrado) – Universidade do Estado de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Design, área de concentração em Design, inovação e sustentabilidade.

Bibliografia: f. 94-104.

Inclui apêndices.

1. Desenho industrial – Teses. 2. Papelão – Teses. 3. Mobiliário – Projetos – Teses. 4. Sustentabilidade. I. Sales, Rosemary do Bom Conselho. II. Mohallen, Nelcy Della Santina. III. Universidade do Estado de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação. IV. Título.

CDU: 7.05

ESTUDO DO PAPELÃO ONDULADO DE PAREDE DUPLA COMO MATERIAL ALTERNATIVO DE MOBILIÁRIO COM DESIGN ECOLÓGICO.

Autor: Annibal Gouvêa Franco

Esta dissertação foi julgada e aprovada em sua forma final para a obtenção do título de Mestre em Design no Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade do Estado de Minas Gerais.

Belo Horizonte, 14 de dezembro de 2015.

Rita de Castro Engler
Coordenação Doutorado e Mestrado
MASP: 1160198-6
ESCOLA DE DESIGN - UEMG



Profª. Rita de Castro Engler
Coordenadora do PPGD

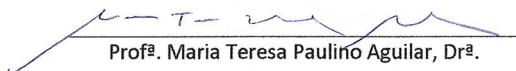
BANCA EXAMINADORA



Profª. Rosemary Bom Conselho Sales, Drª.
Orientadora
Universidade do Estado de Minas Gerais



Profª. Nelcy Della Santina Mohallem, Drª.
Coorientadora
Universidade Federal de Minas Gerais



Profª. Maria Teresa Paulino Aguiar, Drª.
Universidade Federal de Minas Gerais



Profª. Sebastiana Luiza Bragança Lana, Drª.
Universidade do Estado de Minas Gerais

Universidade do Estado de Minas Gerais UEMG

2015

ANNIBAL GOUVÊA FRANCO

**ESTUDO DO PAPELÃO ONDULADO DE PAREDE DUPLA, COMO MATERIAL ATERNATIVO DE
MOBILIÁRIO COM DESIGN ECOLÓGICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em *Design*, da Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em *Design*, na linha de pesquisa *Design, Materiais, Tecnologia e Processos*.

Prof^ª. Dr^ª. Rosemary do Bom Conselho Sales (orientadora)
(UEMG)

Prof^ª. Dr^ª. Nelcy Della Santina Mohallem (coorientadora)
(UFMG)

Prof^ª. Dr^ª. Maria Teresa Paulino Aguiar
(UFMG)

Prof^ª. Dr^ª. Sebastiana Bragança Lanna
(UEMG)

Belo Horizonte, 14 de dezembro de 2015.

Ao meu avô, Dirceu Gouvêa, engenheiro arquiteto, e ao meu tio, Ronaldo Gouvêa, engenheiro civil e urbanista, meus padrinhos, pela transferência do espírito academicista.

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, professora Rosemary Bom Conselho Sales, que tornou possível a realização deste trabalho.

À equipe do Laboratório de Materiais Nanoestruturados do Departamento de Química e Centro de Microscopia da UFMG, pelo apoio na realização dos ensaios químicos, em especial à minha coorientadora professora Nelcy Della Santana Mohallem.

À equipe do Laboratório de Ensaios Especiais da Escola de Engenharia da UFMG, pelo auxílio na confecção dos corpos de prova e ensaios físicos/mecânicos, em especial à professora Maria Teresa Paulino Aguiar e ao Natanael Almeida.

Ao SENAI, pelos esclarecimentos e apoio técnico do Sr. Ailton Faria Moreira, na elaboração dos ensaios de resistência mecânica.

À SINPAPEL, pelo apoio e indicação da indústria de papelão IRANI, empresa que me proporcionou a obtenção do papelão ondulado, de acordo com as especificações, para a execução dos ensaios.

À Universidade do Estado de Minas Gerais e ao PPGD, pelo apoio durante todo o desenvolvimento deste projeto.

À Capes, pela bolsa, que me permitiu dedicação integral a este mestrado.

À Engenheira Civil e Sanitarista Leila Möller, pela gentileza da revisão deste trabalho de maneira voluntária.

Finalmente, e não menos importantes, aos meus queridos pais, Fátima e José Márcio, à minha irmã Stela, à minha namorada Thais Martins, ao meu cunhado Franz Strobel, e aos meus amigos e familiares, pelo apoio e incentivo.

“Talvez eu, por poder usar a pena, tenha sido capaz de escrever sobre o espírito da sabedoria.

Entretanto, como uma criança que aprende a falar, posso apenas balbuciar os grandes mistérios...” Jacob Boehme

RESUMO

Nos últimos dez anos, a capacidade mundial instalada para produção de papelão ondulado cresceu 3,5% ao ano. Do total de papéis consumidos, 35% é direcionado à produção desse material. O papelão ondulado possui constituição simples, alta versatilidade e é reciclável, por isso tornou-se um dos materiais mais utilizados na produção de embalagens de todo tipo de produto. Contudo, o seu reaproveitamento como matéria prima para produção de novas embalagens tem vida útil limitada. Como consequência, as embalagens, após uso, têm sido responsáveis pelo aumento de fluxo de lixo no planeta. Dessa forma, muito se tem investigado sobre o reaproveitamento do papelão. Uma alternativa interessante, do ponto de vista ambiental, seria a produção de móveis e/ou objetos não convencionais, utilizando embalagens de papelão ondulado. Nesse trabalho é feito um levantamento, a partir da literatura, sobre a aplicação do papelão ondulado como material para fabricação de móveis, assim como sua caracterização, a partir das principais propriedades químicas, físicas e mecânicas. Foram realizados os ensaios de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), difração de raios X, ensaios de determinação da gramatura, resistência ao estouro, determinação da resistência à compressão de coluna e resistência à compressão de corpos de prova, fabricados com geometria e configuração específica, tomando como base a literatura. Os resultados indicam que existe uma carência de estudos mais aprofundados sobre o papelão ondulado. Apesar da falta de informações técnicas, o papelão apresentou boa resistência e potencialmente apresenta-se como um material de grande viabilidade e trabalhabilidade para ser aplicado no design de móveis.

Palavras-chave: Papelão ondulado, caracterização física, química e microestrutural, design de mobiliário.

ABSTRACT

In the last ten years, the world installed capacity for the production of corrugated cardboard increased 3.5% per year. Of the total paper consumed, 35% is directed to the production of this material. The corrugated cardboard has simple constitution, high versatility and is recyclable. Therefore, it has become one of the most used materials for production of packaging for all kinds of products. However, its reuse as raw material for production of new packaging has limited lifespan. Consequently, the packages, after use, have been responsible for increased waste stream on the planet. Thus, the reuse of cardboard has been intensively investigated. An interesting alternative from an environmental point of view would be the production of furniture and/or unconventional objects using corrugated cardboard. This dissertation presents a study, based literature, of the application of corrugated cardboard as a material for furniture manufacturing, as well as its characterization from the main chemical, physical and mechanical properties. Tests were performed, including scanning electron microscope (SEM), x-ray diffraction, determination of grammage, burst strength, determination of the vertical compressive strength and compressive strength test of a set of bodies of proof, manufactured with geometry and specific configuration, based on the literature. The results indicate a lack of deeper studies on the corrugated cardboard. Despite the lack of technical information, the cardboard displays good strength and potentially presents itself as a high viable and workable material to be applied in furniture design.

Keywords: Corrugated cardboard, physical-chemical and microestructural characterization, furniture design.

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - Flutuação do preço do petróleo, no período de 1960 a 2006.	24
FIGURA 2 - Dimensões da sustentabilidade.....	27
FIGURA 3 – Roda de ecoconcepção	32
FIGURA 4 - Empresa e a relação com o ambiente que coopera.	33
FIGURA 5 - Níveis de interferência do design e evolução das abordagens.	34
FIGURA 6 - Sistema de produção ecoeficiente.	35
FIGURA 7 – Análise do ciclo de vida do papelão ondulado para embalagens.	37
FIGURA 8 – Estágios do ciclo de vida.....	38
FIGURA 9 – Razões para que as organizações melhorem seu desempenho ambiental.	41
FIGURA 10 - Produtividade das Florestas de Rápido Crescimento (m ³ /ha/ano)	43
FIGURA 11 – Maiores importadores de celulose no mundo em 2013.....	44
FIGURA 12 – (a) Preparo da massa e (b) Formação da folha de papel	46
FIGURA 13 – (c) Prensagem e (d) Cilindro de secagem.....	47
FIGURA 14 – Acabamento e rebobinamento.	47
FIGURA 15 - Fabricação do papelão ondulado	49
FIGURA 16 – Estrutura do papelão ondulado	50
FIGURA 17 - Cadeira empalhável da linha Sitze für Besitzlose de Peter Raacke.....	57
FIGURA 18 - Poltrona e cadeira da linha Easy Edges de Frank Gehry	57
FIGURA 19 - Peças de Eric Guiomar.....	58
FIGURA 20 – Peças de David Graas.....	59
FIGURA 21 – Peças de mobiliário Bravais radiolarian.....	59
FIGURA 22 – Sistema articulável criado pelo designer Chun-wei Liao.....	60
FIGURA 23 – Peças criadas por Hans-Peter Stange	60
FIGURA 24 – Escritório dos designers Joost van Bleiswijk e Alrik Koudenburg	61
FIGURA 25 – Estante irregular cadeira Arm Chair e Big Chaos.....	61
FIGURA 26 – Móveis infantis desmontáveis	62
FIGURA 27 – Projetos de Nido Campolongo.....	62
FIGURA 28 – Cadeiras desmontáveis para adultos.	63
FIGURA 29 - Cadeira com acabamento em PVC da Design SuperLimão.....	63
FIGURA 30 – Trabalhos de Domingos Totora	64
FIGURA 31 – Representação esquemática das etapas de trabalho.	65
FIGURA 32 – Materiais utilizados para fabricação das amostras.....	66

FIGURA 33 – Processo de interação durante a incidência de um feixe de elétrons.	67
FIGURA 34 – Balança e paquímetro.....	69
FIGURA 35 – Preparação das amostras para os ensaios de gramatura.	70
FIGURA 36 – Resistência ao estouro/arrebentamento.	71
FIGURA 37 – Equipamento de resistência ao estouro/arrebentamento.	71
FIGURA 38 – Equipamentos para determinação da resistência compressão de coluna.	72
FIGURA 39 – Equipamento Crush Tester	73
FIGURA 40 – Teste de determinação da resistência à compressão de coluna.	73
FIGURA 41 – Configuração estrutural dos corpos de prova de papelão ondulado.	74
FIGURA 42 – Preparação dos corpos de prova	75
FIGURA 43 – Máquina de Ensaio Universais.....	79
FIGURA 44 – Placa de madeira maciça para estabilizar as amostras no equipamento.	79
FIGURA 45 – Microscopia Eletrônica de Varredura MEV do papelão	80
FIGURA 49 – Difração de raios X do pó.....	84
FIGURA 59 – Resistência a compressão de coluna CP-10.....	89

TABELAS

TABELA 1 - Evolução da Gestão Ambiental.	40
TABELA 2 - Tipos de ondas do papelão.	50
TABELA 3 - Ensaio mais utilizados no papelão	52
TABELA 4 - Características mecânicas do papelão ondulado.....	55
TABELA 5 - Corpos de prova (força perpendicular).	75
TABELA 6 - Corpos de prova (força paralela).	76

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	OBJETIVO.....	21
1.2	JUSTIFICATIVA.....	21
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1	DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	23
2.2	ECOEFIÊNCIA E ECODESIGN.....	29
2.3	DESIGN PARA SUSTENTABILIDADE.....	31
2.4	CICLO DE VIDA DOS PRODUTOS	36
2.5	SISTEMA DE GESTÃO AMBIENTAL	39
2.6	SETOR DE PAPEL E CELULOSE	42
2.7	FABRICAÇÃO DO PAPEL.....	45
2.8	FABRICAÇÃO DO PAPELÃO ONDULADO	48
2.9	ENSAIOS UTILIZADOS NO PAPELÃO	51
2.10	CARACTERIZAÇÃO DO PAPELÃO ONDULADO	52
2.11	INOVAÇÃO PELO DESIGN	55
2.12	APLICAÇÃO DO PAPELÃO ONDULADO COMO MATERIAL ALTERNATIVO PARA O DESIGN.....	56
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	65
3.1	MATERIAIS	66
3.2	MÉTODOS	66
3.2.1	Caracterização física/química.....	66
3.2.1.1	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	67
3.2.1.2	Microanálise por sonda EDS (<i>energy dispersive spectroscopy</i>),	67
3.2.1.3	Difração de raios X.....	68
3.2.1.4	Massa específica aparente.....	68
3.2.2.2	Ensaio de determinação da gramatura.....	69
3.2.1.5	Determinação da gramatura	69
3.2.2	Caracterização mecânica	70
3.2.2.1	Ensaio de resistência ao estouro ou ao arrebentamento.....	70
3.2.2.2	Determinação da resistência à compressão de coluna	72
3.2.2.3	Determinação da resistência à compressão perpendicular e paralela	73
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	80
4.1	CARACTERIZAÇÃO FÍSICA/QUÍMICA.....	80

4.2	CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA.....	85
5	CONCLUSÕES	94
6	REFERÊNCIA.....	96
7	APÊNDICES	107

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS, SÍMBOLOS

ABCV - Associação Brasileira de Ciclo de Vida
ABEPRO - Associação Brasileira de Engenharia de Produção
ABRE - Associação Brasileira de Embalagem
ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABPO - Associação Brasileira do Papelão Ondulado
ACV - Avaliação do Ciclo de Vida
 Al_2O_3 - Óxido de alumínio
BRACELPA - Associação Brasileira de Celulose e Papel
BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
°C - Grau Celsius
CaO - Óxido de cálcio
CBGCV - Congresso Brasileiro sobre Gestão do Ciclo de Vida de Produtos e Serviços
CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CEMPRE - Compromisso Empresarial para Reciclagem
CEOS - Chief Executive Officer
CILCA - Conference on Life Cycle Assessment in Latin America
cm – Centímetro
 CO_2 - Dióxido de carbono
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
DDT - Diclorodifeniltricloroetano
EDS - Energy Dispersive Epectroscopy
ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção
EUA - Estados Unidos da América
EPA - Environmental Protection Agency
 Fe_2O_3 - Óxido de ferro
FIEMG - Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais
FTIR - Espectroscopia vibracional de absorção na região do infravermelho
IBICT - Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia
ICC - International Chamber of Commerce
ICSID - International Council of Societies of Industrial Design
ISO - International Organization for Standardization
Kg - Quilograma

KN - Kilonewton

KPa - Kilopascal

Kv - Quilovolt

mA - Miliamper

m - Metro

MEV - Microscopia eletrônica de varredura

MgO - Óxido de magnésio

N - Newton

Na₂O - Óxido de sódio

NBR - Norma Brasileira

SENAI - Serviço Nacional da Industria

SETAC - Society of Environmental Toxicology and Chemistry

ONG's - Organizações não governamentais

ONU - Organização das Nações Unidas

P₂Ox - Pyranose 2-Oxidase

pol - Polegada

PVA - Acetato de polivinila

PVC - Policloreto de vinila

SciELO - Scientific Electronic Library Online

SINPAPEL - Sindicato das Indústrias de Celulose, Papel e Papelão

SiO₂ - Dióxido de silício

TiO₂ - Dióxido de titânio

UEMG - Universidade Estadual de Minas Gerais

UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais

USEPA - US Environmental Protection Agency

1 INTRODUÇÃO

A ação do homem, em decorrência de suas atividades e estilo de vida, tem causado forte impacto ao meio ambiente. As inovações e tecnologias, aliadas aos novos materiais, propiciam a criação, produção e disseminação de novos produtos conhecidos como “bens de consumo não duráveis”. Esses produtos, fabricados em larga escala, são colocados todos os dias no mercado. Como consequência, são descartados, nem sempre ao final de sua vida útil. A humanidade produziu, nos últimos 50 anos, mais artefatos do que em toda a sua história. O resultado dessa ação é o aumento significativo de resíduos sólidos acumulados nos aterros sanitários dos grandes centros, transformando-se em um grande problema para a sociedade e autoridades.

Sabe-se que a procura por um desenvolvimento sustentável não é um pensamento atual. Medidas governamentais estão sendo tomadas para regulamentar as responsabilidades dos envolvidos. Essa ação desencadeou, ao longo dos anos, uma série de medidas reguladoras, que, de certa forma, instigam uma nova ordem mundial com reflexos perceptíveis, em setores da economia, da sociedade e dos governos.

Informações da *Accenture Sustainability Services* mostram que, em 2014, a cidade de Nova York lançou um estudo sobre sustentabilidade corporativa. O resultado foi publicado pela *United Nations Global Compact* e pela *Accenture Sustainability Services*. Tal estudo mostrou que, dos executivos entrevistados, os CEOs (*chief executive officer*), 93% veem a sustentabilidade como fundamental para o sucesso da empresa. Eles acreditam que uma nova era esteja iniciando. 80% dos entrevistados preveem um "ponto de inflexão" dentro de 15 anos, quando haverá um momento em que a sustentabilidade será totalmente incorporada às estratégias de negócio da maioria das empresas em nível global (ROCHA, 2014). Em dezembro de 2015 ocorreu em Paris uma conferência internacional sobre o clima, a COP 21, cuja agenda era chegar a um novo acordo global sobre mudanças climáticas. (ESTADÃO, 2016).

A poluição, por exemplo, gerada pelos processos produtivos, também é uma preocupação de muitas empresas que passaram a investir na melhoria do seu desempenho (HUI, ALAN e PUN (2001), JIANG E BANSAL (2003), MOURA (2004); NISHITANI (2009). O Sistema de Gestão Ambiental é, na maioria das vezes, implantado em conformidade com a norma

técnica ABNT NBR ISO 14001:2004, que tem como compromissos o atendimento da Legislação, a prevenção da poluição e a melhoria contínua de seus produtos. Une procedimentos, normas e medidas que regem os padrões ambientais a serem seguidos (BARBIERI, 2007).

Nesse sentido, considera-se que o design possa contribuir com ações para minimizar os problemas ambientais, no que se refere ao desafio da sustentabilidade. Tendências mundiais estimulam os profissionais a repensar seus conceitos tradicionais, quanto às características estéticas e funcionais dos bens de consumo. Torna-se necessário desenvolver produtos sob o ponto de vista do design para sustentabilidade. “Com a expressão design para a sustentabilidade entende-se o ato de projetar produtos, serviços e sistemas com um baixo impacto ambiental e uma alta qualidade social.” (MANZINI & VEZZOLI, 2008). A idéia, na prática, pode estar interligada aos conceitos de ecodesign e ecoeficiência, onde as empresas adotam como meta uma produção capaz de reduzir os impactos negativos da ação do homem ao meio ambiente (KAZAZIAN 2009; MANZINI, 1994; HAUSCHILD *et al.*, 2005; DE MORAES, 2010; MANZINI e VEZZOLI, 2008; KARLSSON; LUTTROP, 2006). Essa mudança de postura, em grande parte, se deve a um processo gradual de incremento, cujo foco é alterado à medida que o conhecimento científico e a tecnologia evoluem.

Assim, novos desafios surgem para atender a demanda do mercado cada vez mais exigente. Fez-se necessário o estabelecimento de métodos que possibilitem às empresas avaliar as consequências ambientais das decisões tomadas em relação aos seus processos e produtos. Desta abordagem, desenvolveu-se a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), que tem uma visão abrangente dos diversos impactos ambientais cumulativos do produto (MANZINI e VEZZOLI, 2008; CARDOSO, 2012). Surgiu nos Estados Unidos e Europa e encontra-se difundida em muitos países. No Brasil, teve início com a criação do subcomitê da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, que passou a integrar o Comitê Técnico TC 207 da ISO, na elaboração das normas da família ISO 14000 que são normas ou padrões de gerenciamento ambiental (ABREU, 2008; CARDOSO, 2008; CHEHEBE, 1997; SANTOS, 2007).

O consumo do papelão para fabricação de embalagens, por habitante, é significativamente superior ao de embalagens fabricadas com aço, plástico, vidro e alumínio. Segundo o Compromisso Empresarial para Reciclagem, no Brasil, em 2011, produziu-se 43,9% de papelão ondulado com a finalidade de produzir embalagens. Entre os anos de 2006 e 2012 o

segmento apresentou um crescimento de 21% (CEMPRE, 2014). Segundo dados do Sindicato das Indústrias de celulose/papel/papelão do Estado de Minas Gerais, o Brasil ocupa o 10º lugar no ranking mundial do setor na produção do material, sendo, os maiores produtores, a China e os Estados Unidos (SINPAPEL, 2014). Apesar de ter grande percentual de reciclagem (em torno de 70% a 80%), o processo não é simples, pois requer triagem prévia, separação, classificação e controle do material. Do processo, são retirados diferentes contaminantes como: matéria orgânica, grampos metálicos, colas, vernizes, tintas, etc. (CEMPRE, 2014). O resultado dessa ação gera, em média, 42% de rejeitos não utilizáveis. Esses resíduos são destinados aos aterros sanitários ou à incineração o que resulta em acúmulo de rejeitos e aumento das emissões de dióxido de carbono (CO²). Soma-se a isso o alto consumo de água e energia elétrica demandada no processo de fabricação (GRIMBERG; BLAUTH, 1998).

Percebe-se que reciclar não é suficiente para minimizar os impactos ambientais causados pelo crescente descarte de papelão ondulado. Requalificar, buscar novo sentido e soluções inovadoras, que venham minimizar os reflexos negativos da destinação inadequada desses produtos, vem se tornando preocupação de profissionais e pesquisadores do mundo todo. Autores como Manzini e Vezzoli (2008) argumentam que os impactos ambientais, causados pelos produtos industriais e por suas embalagens, devem ser combatidos com estratégias avançadas que permitam, se possível, a desmaterialização no consumo destes produtos. Uma alternativa poderia ser o reaproveitamento dos resíduos na própria cadeia, para a fabricação de novos produtos de baixo impacto ambiental e com potencial sustentável. Segundo o coordenador do Núcleo de Materiais do Centro São Paulo Design, Ricardo Scura (2007), por meio da inovação e do uso de novos materiais, alguns antes tidos como de qualidade inferior ou até mesmo lixo, passam a ser virtuosos, por sua contribuição à preservação ambiental. Dada a importância do segmento e produção de celulose/papel/papelão no Brasil, e os problemas ambientais oriundos do seu descarte, muitas vezes indiscriminado, nesta pesquisa são retomados os ideais de Frank Gehry que, nos anos de 1969/1973, surpreendeu o mundo quando contrapôs o estilo tradicional de mobiliário e apresentou uma série de artefatos ecológicos de baixo custo denominados *Easy Edges*. O arquiteto desenvolveu uma linha de objetos de papelão ondulado, a partir de camadas dispostas em direções alternadas, que gerou uma estrutura capaz de ser utilizada como peça de mobiliário. Como resultado foram obtidos artefatos não convencionais, de visual atraente e criativo. Nesse sentido, a presente pesquisa realizou um levantamento bibliográfico acerca da aplicação do papelão ondulado, como

material para fabricação de mobiliário. Buscou-se compreender suas principais propriedades químicas, físicas e mecânicas, com a finalidade de avaliar suas características de resistência para fins estruturais e fabricação de mobiliário. Para tanto, foram realizados ensaios de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*), difração de raios X, ensaios de determinação da gramatura, resistência ao estouro, determinação da resistência à compressão de coluna e resistência à compressão de corpos de prova, fabricados com geometria e configuração específica.

1.1 OBJETIVO

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar o uso do papelão ondulado de parede dupla, como material alternativo estrutural na fabricação de mobiliário.

Para se alcançar o objetivo geral serão cumpridos os seguintes objetivos específicos:

- caracterizar o papelão ondulado de parede dupla, de acordo com testes prescritos na literatura (Gramatura, Resistência ao Estouro, Compressão de Coluna, Resistência à Compressão e Massa Específica);
- caracterizar o papelão ondulado de parede dupla, por meio de ensaios comumente utilizados para caracterizar materiais de modo geral (MEV, EDS e difração de raios X);
- avaliar a viabilidade do uso do papelão ondulado como material estrutural para fabricação de mobiliário.

1.2 JUSTIFICATIVA

A dimensão que o segmento de celulose/papel/papelão assume no cenário mundial está intimamente ligada ao setor de produção, uso aplicação e descarte do material. Segundo estudos da Associação Brasileira de Embalagem – ABRE, o mercado mundial movimenta hoje cerca de 500 bilhões de dólares no setor de celulose, o que pode chegar a cerca de 1% ou 2,5% do PIB, dependendo do país. O Brasil movimenta atualmente cerca de 47 bilhões de reais no setor e gera em torno de 200 mil empregos (ABRE, 2015). A sua produção, no período de 2007 a 2010 obteve um crescimento (valor bruto da produção), acumulado no período, de 13,5%, passando dos R\$ 45,34 para R\$ 51,26 bilhões. São Paulo concentrou 46%

de toda a produção nacional, o estado do Paraná 13% e o de Minas Gerais 6% do valor bruto (FIEMG, 2014). Em notícia, divulgada no jornal Estado de São Paulo em 02/01/2014, este ambiente, combinado à realização da Copa do mundo e às eleições presidenciais, apontam uma expansão de aproximadamente 4% nas vendas de papelão em 2014. Empresas líderes de mercado, como a Klabin, prometem investir cerca de 900 milhões de reais e, a Orsa International Paper, 47 milhões de dólares, para ampliar sua capacidade de produção. Do exposto, pode-se prever que os problemas relacionados ao descarte de subprodutos da celulose irão agravar nos próximos anos. Assim, a presente pesquisa realiza um estudo no papelão ondulado, material de grande impacto ambiental, buscando contribuir e direcionar o seu resíduo para a construção de novos objetos resistentes, sustentáveis, com boa qualidade estrutural, duráveis e de baixo custo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentados os conceitos sobre o desenvolvimento sustentável, ecoeficiência e ecodesign, design para sustentabilidade, ciclo de vida dos produtos, sistema de gestão ambiental, setor de papel e celulose, fabricação de papel, fabricação do papelão ondulado, caracterização do papelão ondulado e aplicação do papelão ondulado como material alternativo para o design, inovação pelo design e aplicação do papelão ondulado como material alternativo para o design.

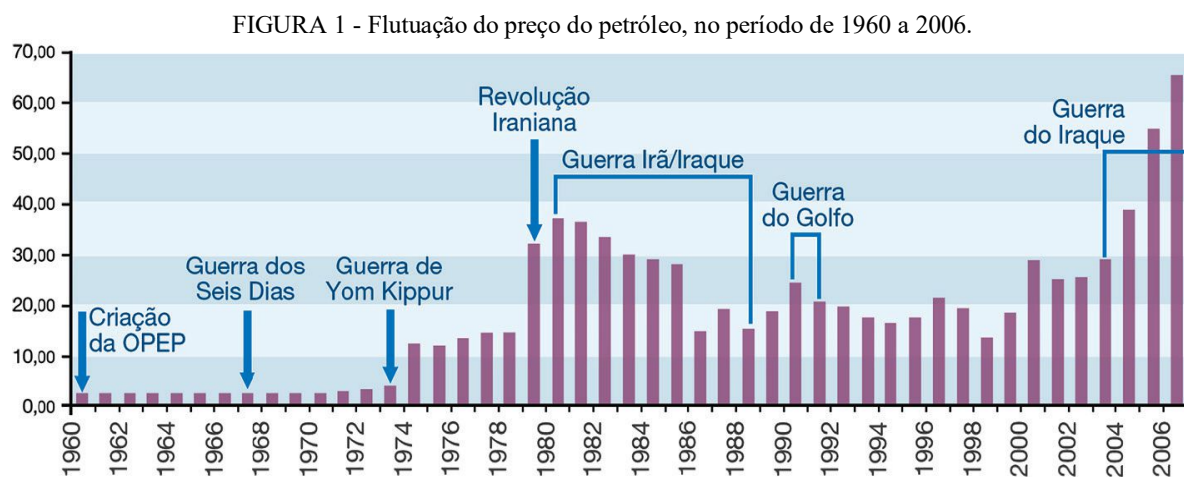
2.1 Desenvolvimento sustentável

O Desenvolvimento Sustentável não é um pensamento novo, ele é fruto da conscientização dos graves problemas ambientais e socioeconômicos que a humanidade enfrenta. O mundo está consciente dos impactos ambientais causados pelo aumento populacional e os reflexos que a ação do homem sobre o ambiente está causando ao planeta. A percepção dessas interferências trouxe profundas modificações na maneira de perceber o futuro da humanidade. Esta percepção desencadeou uma série de medidas reguladoras, inicialmente, em escala regional, como, por exemplo, legislação ambiental voltada para meios específicos (ar, água e solo), licenciamento de indústrias e mecanismos de controle, entre outros. A escritora, cientista bióloga e ecologista norte-americana Rachel Carson, publicou, em 1960, o livro *Primavera Silenciosa*, “*Silent Spring*”, alertando sobre os perigos dos pesticidas. Os reflexos da publicação influenciaram estudiosos, políticos e grupos ambientalistas, como o *Environmental Resources Defense Council* e o *World Wildlife Federation*. No final da década de 60 do século XX, no entanto, ficou clara a necessidade de uma visão integrada entre diversos segmentos da sociedade, e de ações em escala global voltadas para a preservação ambiental. Contudo, a preocupação com o meio ambiente difundiu-se mais fortemente a partir de 1968, com os reflexos da publicação de Paul Elrich. No livro *A Bomba Populacional*, “*The Population Bomb*”, o autor associa o crescimento da população humana com a destruição do meio ambiente. A partir de então, seguiu-se uma série de eventos que, de certa forma, instigaram uma nova ordem mundial, com reflexos já perceptíveis em vários setores da economia, da sociedade e dos governos.

No início dos anos 1970, o termo eco-desenvolvimento foi proposto por Maurice Strong e desenvolvido mais tarde pelo economista polonês Ignacy Sachs. O autor apresenta o conceito

e critica as políticas que separam o crescimento econômico dos problemas sociais e ambientais. O autor considera o Estado e a sociedade civil peças fundamentais para fiscalizar e corrigir as deficiências e excessos do mercado (FERNANDEZ, 2011; SACHS, 2004). O pesquisador Dennis Meadows, do *Massachusetts Institute of Technology de Cambridge - EUA*, publicou, em 1972, um estudo, com base na análise de sistemas, para simular a degradação ambiental da terra. O autor chama a atenção para a insustentabilidade do sistema industrial vigente na época. Mantidos os níveis de poluição, industrialização, exploração dos recursos naturais e a produção de alimentos, o desenvolvimento da terra chegaria ao seu limite em, no máximo, 100 anos.

Entre outubro de 1973 e março de 1974, a Organização dos Países Produtores de Petróleo (OPEP), elevou o preço do barril próximo dos 400%. A este fenômeno, deu-se o nome de Choque do Petróleo (Figura 1). A crise energética persistiu e se aprofundou durante a Revolução Islâmica (1979). Ronald Reagan, presidente dos Estados Unidos (EUA), apoiou o Iraque de Saddam Hussein contra o Irã, na guerra que se estenderia por toda a década de 1980. Nos próximos anos, o preço do petróleo oscilou em patamares menores e voltou, em 2004/2005 e em meados de 2006, para picos históricos, ultrapassando a crise de 1980 (FUNDAÇÃO CECIERJ, 20014).



Fonte: FUNDAÇÃO CECIERJ, (2014).

No final da década de 1970 e início dos anos de 1980, desencadeou-se uma crise energética mundial. A paixão pelo automóvel, símbolo das concepções fordistas de produção, impulsionaram o consumo, de tal forma, que o petróleo tornou-se um recurso natural estratégico às grandes potências mundiais.

Ainda em 1980, surgiu a noção de Ecologia profunda, que coloca o homem como o componente de um sistema ambiental complexo, holístico e unificado. Em decorrência dos fatos surgiu, em 1983, uma preocupação quanto ao modelo de utilização de recursos naturais e produção de não-naturais. Com base nos diversos problemas ambientais, a Organização das Nações Unidas - ONU criou a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, cujo relatório “Nosso Futuro Comum” - (*Our Common Future*), ou relatório *Brundtland*, propunha limitação do crescimento populacional, garantia de alimentação, preservação da biodiversidade e ecossistemas, diminuição do consumo de energia e desenvolvimento de tecnologias de fontes energéticas renováveis, aumento da produção industrial a base de tecnologias adaptadas ecologicamente, controle da urbanização e integração campo e cidades menores, além da satisfação das necessidades básicas. Pela primeira vez, em 1987 surgiu o conceito de Desenvolvimento Sustentável, reproduzido por diferentes autores como “aquele que satisfaz as necessidades do presente, sem comprometer a capacidade das futuras gerações de satisfazer suas próprias necessidades” (BRIAN, 2008; SACHS, 2004; KAZAZIAN, 2009). Mais tarde esse conceito evoluiu para sustentabilidade. Segundo definição do Dr. John R. Ehrenfeld, da Universidade da Noruega, criador do conceito “*Industrial Ecology*”, o desenvolvimento sustentável é aquele “conduzido responsavelmente por indivíduos, empresas, governos e outras instituições, cuidando do futuro como se ele lhes pertencesse, dividindo e partilhando equitativamente os recursos naturais, dos quais os seres humanos e as demais espécies dependem, de forma a garantir que aqueles que hoje existem estejam presentes também no futuro, para satisfazer as necessidades e aspirações humanas” (EHRENFELD, 2001).

Em 1988, ocorreu na cidade canadense de Toronto a primeira reunião com líderes de países e da classe científica, para discutir sobre as mudanças climáticas. Na reunião foi dito que as mudanças climáticas têm impacto superado somente por uma guerra nuclear. A partir dessa data, foram sucessivos anos com elevadas temperaturas, jamais atingidas desde que foi iniciado o registro.

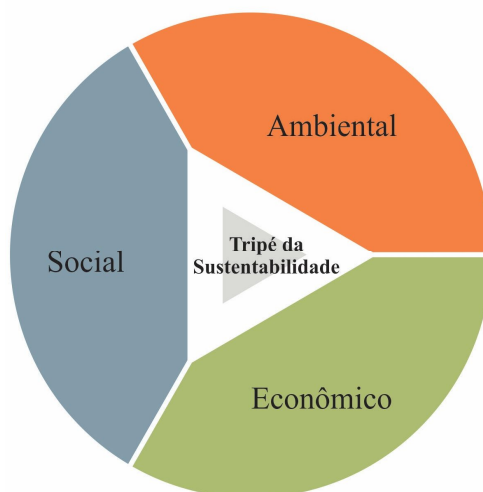
A Câmara de Comércio Internacional, em 1991, aprovou Diretrizes Ambientais para a Indústria Mundial, definindo 16 compromissos de gestão ambiental a serem assumidos pelas empresas, conferindo à indústria responsabilidades econômicas e sociais nas ações que interferem com o meio ambiente (WILLERS, 2013; ABREU, 2008; CARDOSO, 2008). Em 1992, aconteceu, na cidade do Rio de Janeiro, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio

Ambiente e Desenvolvimento, a ECO 92. Representantes de vários países discutiram o problema da devastação do planeta. A Conferência utilizou, como guia, o relatório “Nosso Futuro Comum”, tendo, como resultados, acordos e protocolos, como a Agenda 21, onde foi proposto que as nações deveriam se comprometer a estudar soluções para os problemas socioambientais, tais como: combate à pobreza, ao desmatamento, à desertificação e à seca, fortalecimento do comércio e da indústria e gestão dos impactos e resíduos tóxicos (BRASIL, 2000).

Em 1997, na cidade japonesa de Kyoto, foi proposto um protocolo com o objetivo de firmar acordos e discussões internacionais para, em conjunto, estabelecer metas de redução na emissão de gases de efeito estufa na atmosfera, principalmente por parte dos países industrializados. O protocolo de Kyoto foi assinado como forma de se criar um acordo de desenvolvimento de maneira menos impactante àqueles países em pleno desenvolvimento, (marcado efetivamente no ano de 2005).

Em 1999, o *Triple Bottom Line*, conhecido como o tripé da sustentabilidade (Figura 2), foi criado, por John Elkington, para auxiliar empresas a entrelaçarem os componentes do desenvolvimento sustentável, prosperidade econômica, justiça social e proteção ao meio ambiente, em suas operações. Dentro do conceito, a dimensão ambiental tem, como meta, promover melhores condições ambientais, reduzir as agressões ao meio ambiente e evitar desperdícios. A dimensão econômica é direcionada às organizações que devem ser capazes de produzir produtos e serviços voltados para os interesses da comunidade onde atuam. Com o intuito de avaliar o impacto do desenvolvimento econômico no sistema, aparece a dimensão social (Elkington, 1994).

FIGURA 2 - Dimensões da sustentabilidade



Fonte: adaptado de Elkington, 1994

Outra conferência aconteceu em 2002, a RIO +10, onde se instituiu a iniciativa “*Business Action For Sustainable Development*”. O evento foi realizado na cidade de Johannesburg, na África do Sul. A conferência avaliou o progresso das questões ambientais após a Eco 92, onde a Comissão de Desenvolvimento Sustentável sugeriu a realização de uma nova cúpula mundial. Em 2004, aconteceu na Argentina uma reunião que fez aumentar a pressão para que se estabelecessem metas de redução na emissão de gases, por parte dos países em desenvolvimento até 2012.

Na 15ª conferência da ONU sobre o clima, que aconteceu em 2009, foi elaborado o Acordo de Copenhague. Países desenvolvidos se comprometeram a reduzir 20 % das emissões de gases do efeito estufa, até 2020, e a cortar emissões em até 80%, até 2050. Em 2010, a ONU divulgou que 55 países participantes da conferência apresentaram suas metas em relação à diminuição das mudanças climáticas (IPEA, 2014).

A Rio+20 foi realizada em junho de 2012, na cidade do Rio de Janeiro. Foram abordados dois temas centrais: a economia verde (a partir de novos modelos de produção), e a governança internacional (que aponta estruturas para alcançar o futuro desejado). A expectativa de que a Rio+20 pudesse transformar conceitos adotados na Rio-92, em ações concretas para o desenvolvimento sustentável, não se confirmou. A cúpula naquele ano foi bem mais fluida que a de 20 anos atrás (O GLOBO, 2012).

Em dezembro de 2015, aconteceu, em Paris, a Conferência Internacional sobre o clima a COP 21. Na agenda pretendia-se chegar a um acordo global sobre mudanças climáticas, para entrar em vigor em 2020. Entretanto, ainda restava vencer muitas dificuldades para se chegar a tal acordo climático, que conseguisse limitar, de forma eficaz e abrangente, as emissões de CO₂. Um dos poucos compromissos assumidos na conferência foi a transferência de 100 bilhões de dólares, pelos países desenvolvidos, às nações em desenvolvimento até 2020. (ESTADÃO, 2016)

Nesse sentido, considera-se que o design possa ser parte integrante das soluções dos problemas ambientais, no que se refere ao desafio da sustentabilidade. Muitos dos produtos e serviços estão, de alguma forma, vinculados às decisões dos designers, que exercem forte influência sobre os processos de produção, na decisão dos materiais utilizados, na distribuição, utilização e descarte. Conscientes de sua responsabilidade social e moral na condução do processo, e em uma nova perspectiva, fica claro que o design está intimamente ligado a este sistema, uma vez que ele interfere de forma direta no tripé da sustentabilidade. Eliminar o conceito de desperdício (inclui-se aqui energia), reduzir o movimento e a distribuição de bens, além de utilizar mais pessoas e menos matéria prima poderiam contribuir para a sustentabilidade (THACKARA, 2008).

Dentro desse conceito, o designer americano Victor Papanek (1984), classifica “design” como uma importante ferramenta capaz de moldar os produtos, o ambiente, e, por consequência, o próprio homem. Ele identifica a responsabilidade social do profissional e os problemas oriundos de sua ação no meio ambiente, quando assinala que o profissional precisa analisar o passado, e as consequências futuras previsíveis de seus atos. Igualmente, Ignacy Sachs (2004) mostrou uma concepção de desenvolvimento sustentável em uma combinação de crescimento econômico e aumento igualitário do bem-estar social. Segundo De Moraes (2006), tanto Papanek quanto Sachs mostraram o quanto a sociedade industrial estava voltada para a produção de bens, em detrimento do bem-estar, medido apenas em função do nível de consumo. Em um pensamento que conjuga o passado com vistas no futuro, o conhecimento da realidade propicia, ao profissional do design, ser suporte ao estilo de consumo atual e contribuir para mudanças de comportamento do profissional e, consequentemente, na sua forma de atuar, com vistas a interferir na criação do produto e no perfil do consumidor, no sentido de uma maior sustentabilidade (LEWIS et al, 2001; MANZINI E VEZZOLI, 2008 SHERWIN, 2004).

A idéia de sustentabilidade, na prática, está interligada ao conceito de ecodesign e ecoeficiência. O objetivo principal é que as empresas adotem, como meta, produzir mais com menos, no sentido de reduzir os impactos negativos dessa ação ao meio ambiente. A maioria dos autores concorda que, se nos anos de 1970 o objetivo era diminuir a velocidade do consumo, antes que os limites fossem atingidos, agora o objetivo é diminuir os níveis de consumo abaixo dos limites, sem que haja guerras e/ou grandes danos ao planeta (VEZZIOLI, 2010).

2.2 Ecoeficiência e ecodesign

O termo ecoeficiência foi criado pelo *World Business Council For Sustainable Development* (WBCSD, 2014) em 1992 e definido como a produção e entrega de bens e serviços a preços competitivos, que satisfaçam as necessidades humanas, promovendo qualidade de vida, enquanto que, progressivamente, são reduzidos os impactos ambientais e a intensidade do consumo de recursos naturais em todo o ciclo de vida, em consonância com a capacidade estimada da terra em prover estes recursos e absorver os impactos.

No início do século XX, foram difundidos os conceitos de ecodesign e ciclo de vida, como uma abordagem que contempla a preocupação do designer com todas as etapas do ciclo de vida do produto, desde a extração de matéria-prima até o descarte. O ecodesign pode ser considerado como uma estratégia de início de processo, onde as empresas focadas na ecoeficiência definem estratégias empresariais, para a gestão ambiental, além da geração de benefícios econômico-financeiros ao negócio (NASCIMENTO, 2012).

Diferentes autores apresentam o conceito de ecodesign de formas distintas. Contudo, o termo é uma tendência mundial nos campos da arquitetura, engenharia e do design. PAPANEEK, (1984) chamou, de design ecológico, o design socialmente responsável, estimulante e original em sua concepção. O autor considera o princípio da natureza, a máxima produtividade com o menor esforço. Em outras palavras, consumir menos, usar os bens de consumo por mais tempo, e ser econômico no que se refere a reciclar os materiais. Manzini (1994) considera que ecodesign seja uma forma de se criar novas propostas culturais e socialmente aceitáveis, de forma a conectar o que é tecnicamente possível ao ecologicamente necessário. Karlsson e Luttrupp, (2006) consideram que o ecodesign possa ser interpretado como um conceito que leva em conta aspectos ambientais no projeto de produto, de tal forma que tem-se, no desenvolvimento de produtos, a oportunidade de não somente projetá-los pensando em

questões como qualidade, custo, segurança, mas também a de considerar seu desempenho ambiental (HAUSCHILD et al., 2005). De Moraes (2010) considera ecodesign como uma metodologia de projeto cujo objetivo é aperfeiçoar o desempenho ambiental dos produtos ao longo do ciclo de vida, possibilitando criar produtos ecoeficientes, que proporcionem benefícios econômicos, sociais e ambientais para as empresas, para os consumidores e para o meio ambiente.

Recentemente, Manzini e Vezzoli, (2008) relacionaram o termo ecodesign com a ecologia industrial, considerando como um sistema de produção e de consumo organizado, de tal maneira a aproximar o seu funcionamento ao do sistema natural, combinando tecnociclos (processos tecnológicos fechados) e biociclos (processos biocompatíveis). Os autores utilizam o termo para se referir a um conjunto de processos produtivos diversos, mas semelhantes entre si, por provocarem um impacto no ecossistema tendencialmente nulo.

Embora pouco comum, existem ainda definições que tratam o ecodesign sob uma abordagem que inclui, além da questão ambiental, questões relativas à economia, ao social e à ética. (KARLSSON; LUTTROPP, 2006). Vezzoli (2010) considera essa abordagem como um sistema produto-serviço, onde o produto seria um sistema, que integra várias partes, cada qual com seu impacto no meio-ambiente. Também conhecido por *Design for Environment*, o termo é utilizado quando o projeto do produto leva em consideração aspectos que possam causar impactos no meio ambiente (MANZINI; VEZZOLI, 2008).

A concepção de um produto, em todas as fases, desde os processos de extração de matéria-prima, manufatura, uso, distribuição e descarte, são fontes potenciais de impactos ambientais, visto que pode haver consumo de recursos, emissões atmosféricas, geração de resíduos sólidos, etc. (ABNT ISO 14062, 2004; HAUSCHILD et al., 2005). Embora os métodos de ecodesign sejam utilizados com a intenção de reduzir esses impactos, muitas vezes os resultados não são produtos ambientalmente melhores (RITZÉN E LINDAHL, 2001).

Apesar de inicialmente surgir como uma ideia de reaproveitamento, o termo ecodesign logo ganha uma dimensão maior e passa a ser reconhecido como uma atividade imprescindível para a sustentabilidade do planeta (NAIME e GARCIA, 2004 e NAIME, 2005). Hoje discute-se uma nova abordagem de design sustentável, onde, segundo Brunetti e Sant'anna (2003), o ecodesign passa a ser o novo marco diretivo da humanidade, para o gerenciamento de qualquer conflito ambiental. Nesse contexto, o *International Council of Societies of Industrial*

Design - ICSID, descreve e identifica o design como fator de inovação tecnológica, capaz de contribuir para o desenvolvimento sustentável (ICSID, 2014).

2.3 Design para sustentabilidade

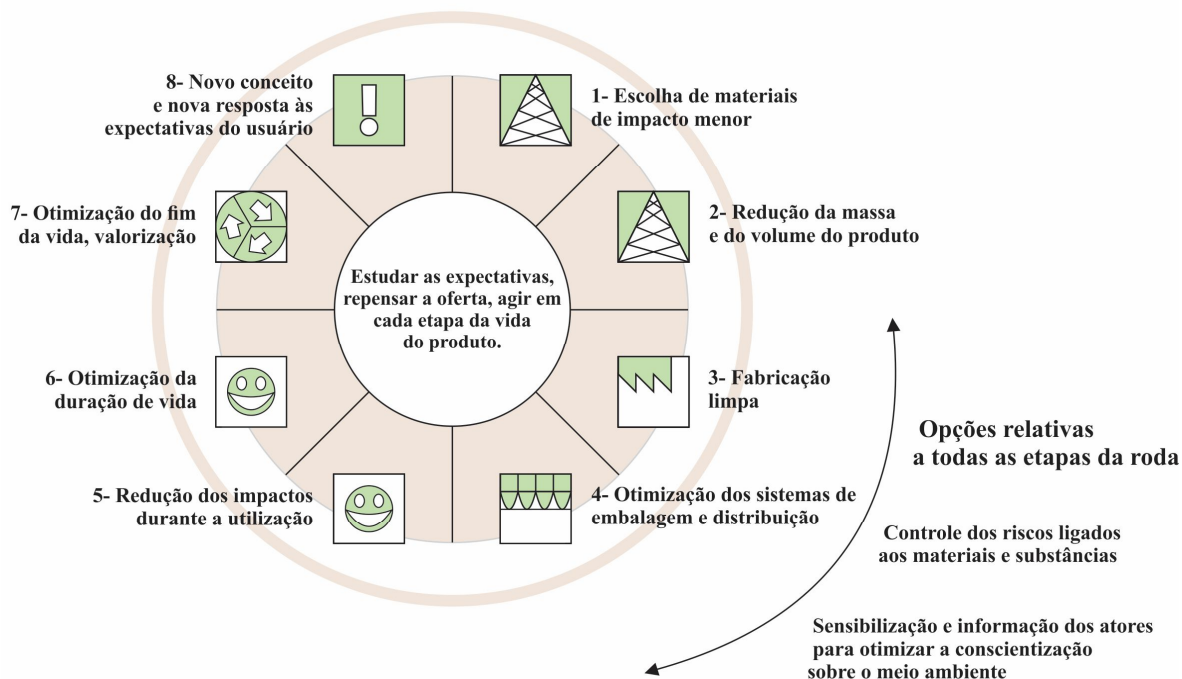
Segundo informações da *Accenture Sustainability Services*, foi lançado em 2014 na cidade de Nova York, o maior estudo de sustentabilidade corporativa, publicado pela *United Nations Global Compact* e pela *Accenture Sustainability Services*. Neste estudo foram entrevistados cerca de 1.000 CEOs (*chief executive officer*), líderes empresariais e da sociedade civil. O levantamento mostra que o compromisso com as questões ambientais, sociais e de governança tornou-se significativo nas empresas. Os CEOs acreditam que uma nova era da sustentabilidade está começando a entrar em vigor, sendo que 80% dos entrevistados preveem um "ponto de inflexão" dentro de 15 anos – um momento em que a sustentabilidade será totalmente incorporada às estratégias de negócio da maioria das empresas em nível global (ROCHA, 2014).

Desde o surgimento dos primeiros debates sobre as questões ambientais, os designers têm recebido uma carga cada vez maior de responsabilidade no desenvolvimento de projetos. Na sua atuação eles passam a prever ações que possam reduzir os impactos ambientais da cadeia produtiva e ao longo de todo o ciclo de vida. Além disso, cabe a eles pensar em soluções sustentáveis e inovadoras, ou seja, a preocupação voltou-se para o controle de danos, já nas abordagens do processo. A contribuição do designer para a sustentabilidade acontece na medida em que ele incorpora o ecodesign em suas atividades, no início dos processos de projeto. Um método desenvolvido por Papanek (1995), e utilizado ainda hoje, apresenta 6 fases relativas às etapas da vida do produto. Cada fase pode ser entendida como princípios e requisitos para um projeto sustentável. São elas: escolha de materiais, processos de fabricação, embalagem do produto, o produto acabado, transporte do produto, geração de resíduos sólidos.

O método de Kazazian (2009) é mostrado, de forma esquemática, na Figura 3, a Roda da Eco-concepção apresenta oito opções relativas a cada etapa da vida do produto. A primeira opção é a escolha de matéria-prima renovável e de menor impacto ambiental; a segunda opção é a redução da massa e o volume dos produtos; a terceira opção é a fabricação utilizando processos limpos (com menos emissão de poluentes e energia); a quarta opção é a otimização dos sistemas de embalagem e distribuição; a quinta opção é a redução dos impactos durante a

utilização; a sexta opção é o aumento da duração de vida do produto; a sétima opção é a valorização do fim de vida do produto; finalmente, a oitava opção é estabelecer um novo conceito e novas respostas às expectativas dos usuários.

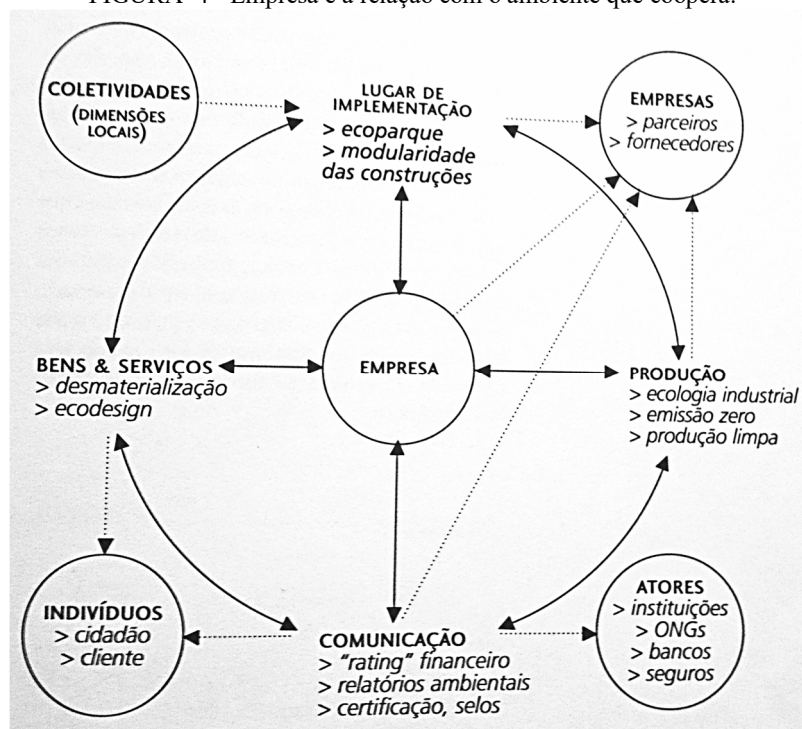
FIGURA 3 – Roda de ecoconcepção



Fonte: Adaptado de Kazazian (2009)

Kazazian (2009) apresenta também uma estratégia em constante evolução (Figura 4), onde a empresa, como foco, se relaciona com o ambiente com o qual opera. Os fornecedores oferecem produtos inovadores, de menor impacto. Sua produção se preocupa com a emissão zero de poluentes, produção limpa e ecologia industrial, e seus produtos e serviços são planejados com base em conceitos eco-eficientes. Os indivíduos também são importantes nesse processo, como os funcionários e os clientes. Os consumidores devem observar a origem do produto, seus métodos de fabricação, as condições de trabalho, o respeito ao meio ambiente e a saúde pública. A empresa pode cooperar com outras complementares, para estabelecer novas ofertas em comum, e manter intercâmbios com as partes envolvidas, como as instituições (Bancos), os investidores e as associações.

FIGURA 4 - Empresa e a relação com o ambiente que coopera.

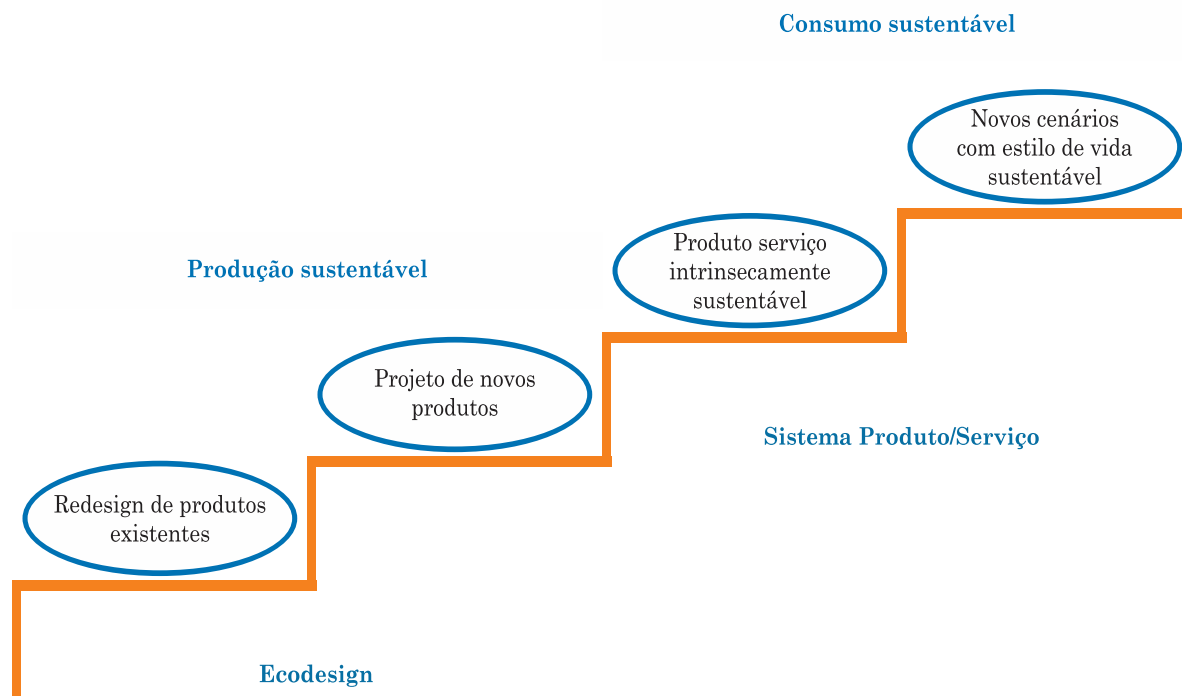


Fonte: Kazazian (2009)

Ainda, segundo o autor, próximo à estratégia de emissão zero de poluentes, há a do fluxo fechado, onde a empresa controla a totalidade do ciclo de vida do produto, notadamente até seu fim de vida. Uma vez devolvido, ele é “remanufaturado”, atualizado, para novamente ser colocado no mercado, ou desmontado, para a reutilização das peças em novos produtos e os componentes não reutilizáveis passam por processo de reciclagem (KAZAZIAN, 2009).

Adicionalmente, o sistema produto-serviço propõe a integração entre os atores/parceiros, de forma a promover a convergência de seus interesses econômicos, na redução do consumo de recursos. O profissional do design pode atuar em quatro níveis, com vistas à sustentabilidade (Figura 5): o primeiro nível, no redesign ambiental de produtos já existente; o segundo nível, nos projetos de novos produtos ou serviços que substituam os atuais; o terceiro nível, nos projetos de novos produtos-serviços intrinsecamente sustentáveis; o quarto nível, na proposta de novos cenários que correspondam ao estilo de vida sustentável (MANZINI; VEZZOLI, 2008). Pode-se relacionar o ecodesign aos primeiros níveis, com caráter mais técnico e que não exige mudança radical no estilo de vida da sociedade. Já o sistema produto-serviço, enquadra-se nos níveis mais estratégicos, intrinsecamente mais sustentáveis, considerando a desmaterialização do consumo, e na busca de resultados socialmente aceitos e favoráveis ao meio-ambiente.

FIGURA 5 - Níveis de interferência do design e evolução das abordagens.



Fonte: Adaptado de Manzini e Vezzoli (2008)

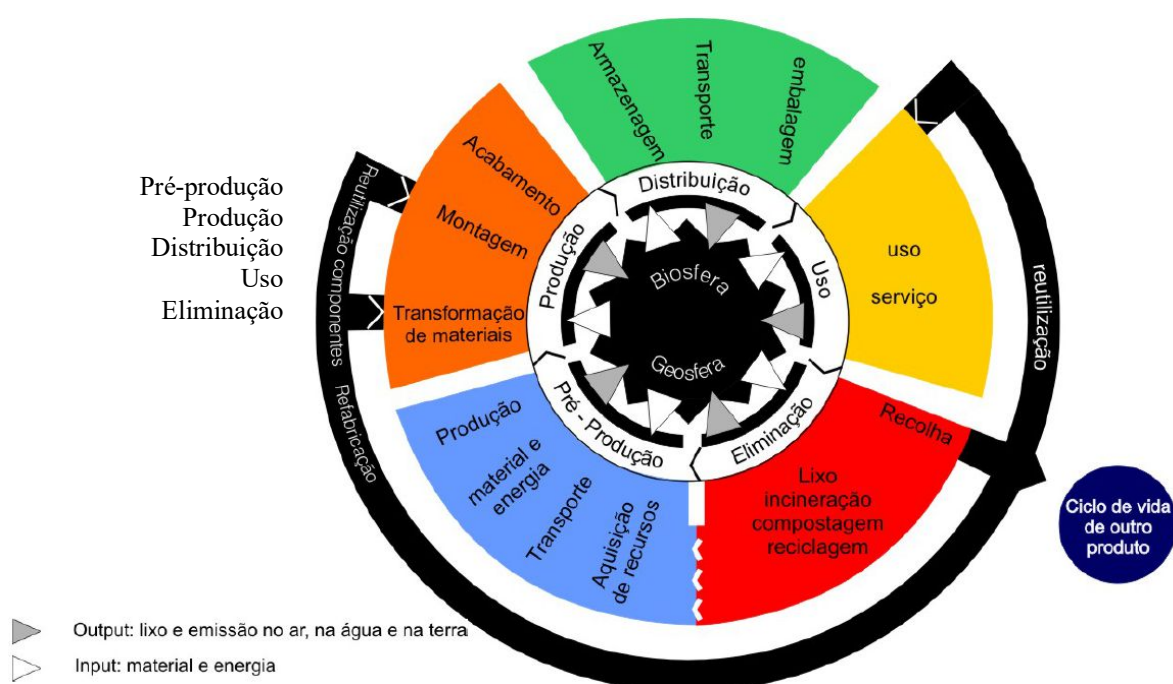
Um conceito recente de ciclo de vida do produto foi apresentado por Manzini e Vezzoli, em 2008, e refere-se às trocas (*input e output*) entre o ambiente e o conjunto dos processos que acompanham o nascimento, vida, morte e descarte de um produto. A Figura 6 mostra as etapas do ciclo de vida. Existem os *inputs* e *outputs*, sendo os *inputs* os recursos retirados da natureza (matéria-prima e energia) e os *outputs*, o que é devolvido pelo processo à natureza (lixo e emissões de gases e fluidos). As ações preventivas, baseadas no ecodesign, consideram os elementos que compõe as cinco fases principais, ou seja, as planejadas pelo designer para prevenir impactos negativos (escolha de matéria prima renovável ou secundária do pré-consumo, energia limpa e redução da embalagem). As medidas corretivas estão representadas pelo semi-círculo externo, que envolve a refabricação, reutilização de componentes e a reutilização pelo consumidor. Dessa maneira, o produto descartado no pós-consumo, que acabou gerando impacto negativo, pode ser corrigido através do seu reprocessamento e reinserção em um novo processo produtivo, dando origem ao ciclo de vida de outro produto.

Percebe-se que os autores propõem fases do ciclo de vida, as quais devem receber atenção especial do profissional do design, durante a elaboração do projeto, bastante semelhantes. As idéias se encaixam e se complementam (pré-produção, produção, distribuição, uso e descarte).

É interessante destacar que, apesar da nomenclatura distinta escolhida pelos autores, a essência do projeto ecológico é a mesma.

Na abordagem, tanto o ecodesign quanto o sistema produto-serviço propõem-se à redução de impactos ao longo do ciclo de vida. No entanto, na primeira abordagem, o interesse nesta redução é relacionado ao ator envolvido em uma fase específica de transformação, ou seja, existe pouca interação entre os atores, fornecedores de matéria-prima, produtores, distribuidores e consumidores.

FIGURA 6 - Sistema de produção ecoeficiente



Fonte - Fonte: Manzini e Vezzoli (2008).

As discussões a respeito do design de sistemas para sustentabilidade são recentes e, para que as estratégias referentes a essa abordagem tenham resultado, é necessário haver mudança cultural do consumidor. Acredita-se que é preciso maior conhecimento quanto aos métodos de design de serviços eco-eficientes, precisa-se de uma nova geração de designers (designers educadores) e de outros profissionais capazes de operacionalizar a inovação, bem como de pesquisa em sistemas (complexos). É importante continuar buscando novas formas de produção e consumo, de forma a tornar possível a transição para uma sociedade sustentável (VEZZOLI, 2010).

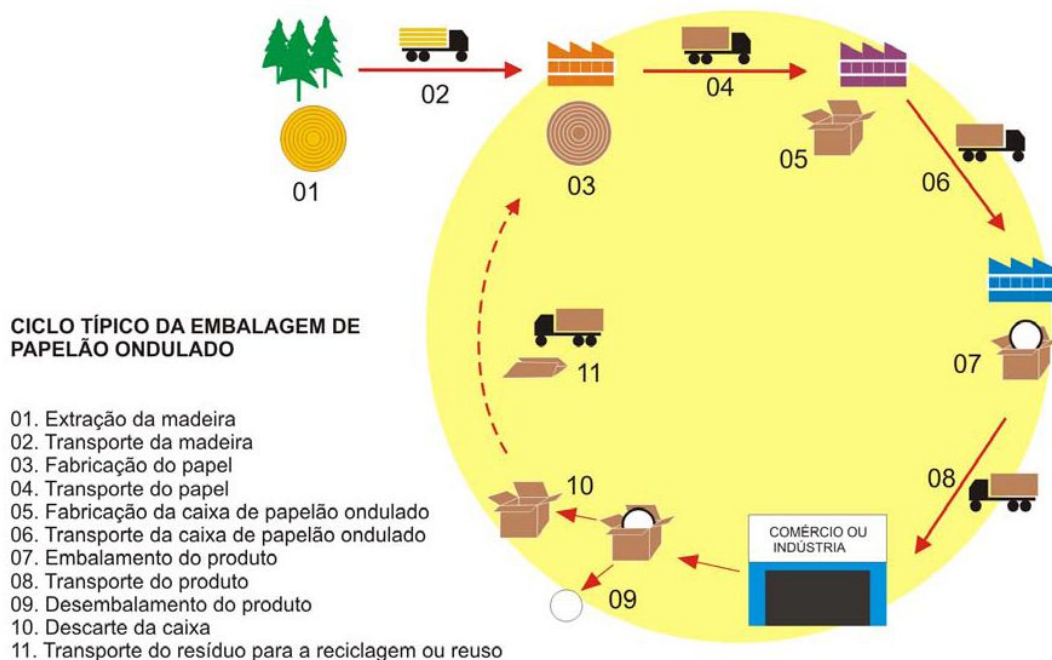
2.4 Ciclo de vida dos produtos

Nos últimos anos, as questões ambientais têm fortalecido seus valores e atribuído, às indústrias, novos desafios para atender a demanda de um mercado consumidor cada vez mais exigente. Isso se deve, principalmente, à forma como os produtos e serviços são produzidos, utilizados e descartados e como eles afetam o meio ambiente. Outro imperativo é o surgimento de novas leis e regulação ambiental em todo o mundo. De igual forma, as indústrias têm se interessado e cobrado práticas de produção mais limpas das grandes organizações parceiras, certificações com reconhecimento internacional e controle do esgotamento dos recursos naturais etc. (OLIVEIRA; SERRA, 2010).

Em função dessa abordagem, fez-se necessário o estabelecimento de métodos que possibilitassem às empresas avaliar as consequências ambientais das decisões que tomavam em relação aos seus processos ou produtos. Nesta ação complexa de abordagem, desenvolveu-se a ferramenta de avaliação denominada “Avaliação do Ciclo de Vida” - (ACV). Essa abordagem, conhecida também como do “berço ao túmulo”, tem uma visão abrangente dos diversos impactos ambientais cumulativos do produto, em todo o ciclo de vida (de um produto/processo), que engloba as diferentes etapas da extração e processamento das matérias-primas, fabricação, transporte, distribuição, reutilização ou reciclo, tratamento e disposição final dos resíduos (MANZINI e VEZZOLI (2008); CARDOSO (2012)). A Figura 7 ilustra, de forma clara, uma análise do ciclo de vida do papelão ondulado para embalagens.

A ACV é padronizada pela *International Organization for Standardization* (ISO), que elaborou a ISO 14040, sobre a Avaliação do Ciclo de Vida, publicada no Brasil pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT. De acordo com a ISO 14040 (2006), a ACV é uma técnica de avaliação dos aspectos e impactos potenciais associados ao produto/processo, por meio de estratégias como: compilação de um inventário de todas as entradas (*inputs*) e saídas do sistema (*outputs*) de resíduos e emissões atmosféricas, avaliação dos impactos potenciais associados com essas entradas e saídas, interpretação dos resultados do inventário e dos impactos em relação aos objetivos do estudo.

FIGURA 7–Análise do ciclo de vida do papelão ondulado para embalagens.

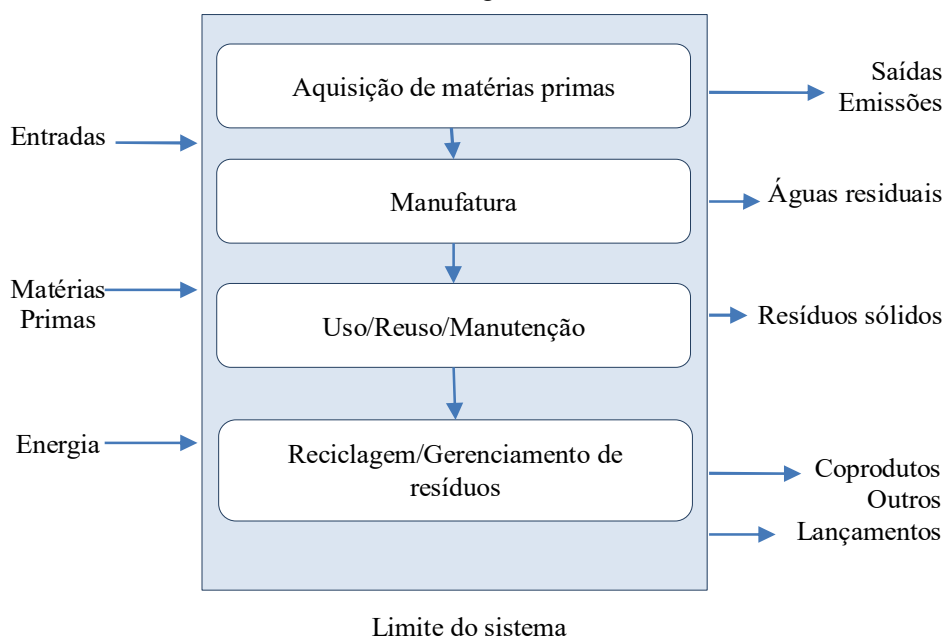


Fonte: SAMPAIO (2008)

Nessa ótica, a avaliação começa com a aquisição de matérias-primas e termina no momento em que todos os materiais sofrem disposição final (WILLERS, 2013; ABREU (2008); CARDOSO (2008)). A Figura 8 ilustra as possíveis etapas do ciclo de vida que podem ser consideradas em uma ACV e as entradas e saídas típicas.

A ACV, cujas origens remontam à década de 1960, encontra-se difundida em muitos países, com estudos diversos, os quais têm contribuído para a consolidação da metodologia em todo o mundo. O conceito de ACV surgiu pioneiramente nos Estados Unidos e Europa, onde vários esforços foram empreendidos para desenvolver uma metodologia acerca deste conceito. A *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* - SETAC e a *US Environmental Protection Agency* – USEPA propuseram *workshops* e diversos projetos para desenvolver e promover um consenso sobre um *framework*, visando à condução da Análise de Inventário do Ciclo de Vida e Avaliação de Impacto. Esforços similares foram empreendidos pelo SETACEurope, por outras organizações internacionais de padronização de normas (tais como a *International Standardization Organization*- ISO) e por praticantes de pesquisas com esta abordagem, em todo o mundo (CLAUDINO, 2013).

FIGURA 8 – Estágios do ciclo de vida



Fonte - Adaptado de EPA (2006)

No Brasil, a ACV teve início com a criação do subcomitê da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, na década de 1990, que passou a integrar o Comitê Técnico TC 207 da ISO, na elaboração das normas da família ISO 14000, que são normas ou padrões de gerenciamento ambiental, de caráter voluntário, que podem ser utilizadas pelas empresas, para demonstrar que possuem um sistema de gestão ambiental (ABREU, 2008; CARDOSO, 2008; CHEHEBE, 1997; SANTOS, 2007). Em 2002, foi fundada a Associação Brasileira de Ciclo de Vida, ABCV, que promoveu diversas conferências no Brasil, destacando-se a que ocorreu na cidade de São Paulo, denominada Conferência Internacional sobre Análise do Ciclo de Vida na América Latina (Conference on Life Cycle Assessment in Latin America – CILCA) e o Congresso Brasileiro sobre Gestão do Ciclo de Vida de Produtos e Serviços - CBGCV, evento que já conta com três edições: 2008, 2010 e 2012.

Nos últimos anos no Brasil, esforços tem sido dedicados ao estudo da ACV, onde grande parte dos trabalhos estão voltados para o desenvolvimento de pesquisas visando a solução de problemas na área ambiental, com possibilidade de aplicação dos resultados nos diferentes setores da indústria, agroindústria, e/ou setor acadêmico. Como exemplo, podem ser citadas duas pesquisas bibliográficas sobre a aplicação do método da ACV, uma realizada por Lima em 2006, que buscou as principais bases de dados em periódicos internacionais, como a *Science Direct*, o banco de teses e as dissertações da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e do Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e

Tecnologia (IBICT), onde se encontram as teses e dissertações defendidas junto aos programas de pós-graduação do país. A outra foi realizada por Willers, Rodrigues e Silva, em 2013, onde os autores apresentam um estudo realizado em eventos e periódicos oficiais ou reconhecidos pela Associação Brasileira de Engenharia de Produção - ABEPRO, como é o caso do Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP, e na base de dados do SciELO Brasil.

Willers e colaboradores (2013) concluem que a ACV é uma metodologia com grande potencial de aplicação na avaliação de impactos ambientais. Outro aspecto citado foi relacionado às áreas de aplicação da metodologia, identificadas a partir do estudo, que são: a agricultura, a agroindústria, a logística, as usinas de cana-de-açúcar e etanol, as indústrias de eletrodomésticos, materiais odontológicos, farmacêutica, têxtil, de siderurgia, de refinaria de petróleo, de plástico, de cimento, de cerâmica e química. Os autores afirmam que a metodologia da ACV possui benefícios e limitações, relacionadas até mesmo na ISO 14040 (2006). Finalmente, os autores sugerem uma maior difusão dessa metodologia, através da abordagem direta do tema pela ABEPRO, em seus fóruns de discussão, como o Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP, por meio da promoção de palestras, e/ou mini-cursos, ou no incentivo à temática da ACV em seus periódicos, de modo a melhor divulgar e propagar a ACV para profissionais e pesquisadores das diversas regiões do país, criando, assim, opções de bases científicas que poderão servir de referência para os trabalhos produzidos no Brasil.

2.5 Sistema de gestão ambiental

A poluição gerada pelos processos produtivos é hoje uma outra preocupação de muitas empresas que passam a investir na melhoria do seu desempenho ambiental (HUI, CHAN e PUN (2001), JIANG E BANSAL (2003), MOURA (2004); NISHITANI (2009). Essa mudança de postura, em grande parte se deve a um processo gradual de incremento, cujo foco é alterado à medida que o conhecimento científico e a tecnologia evoluem. O sistema de gestão ambiental, segundo Valle (2002), deve ter como um de seus objetivos a melhoria contínua das atividades da organização, em harmonia com o meio ambiente, compreendendo todas as fases de produção de um produto, desde seu projeto, até o descarte dos resíduos gerados pelo processo produtivo e, até mesmo, a disposição final do produto, quando este atinge o final da sua vida útil. Essa mudança de postura, no entanto, é difícil de ser

internalizada de forma espontânea, assim, pressões externas como as de órgãos governamentais, da sociedade e o próprio mercado, influenciam esse processo de mudança, impulsionando as empresas a incorporarem a variável ambiental nas práticas gerenciais da instituição, independentemente das exigências de leis, decretos e normas técnicas. (BARBIERI (2007); MOREIRA (2006) KAZAZIAN, 2009). Ela vai ocorrer de forma gradual e ao longo de várias décadas, bem como a sua inserção às práticas empresariais. Nessa evolução, destacam-se três fases, a fase de alienação, que compreende os anos 1950/1960, a fase passiva, entre 1970/1980 e a fase ativa, entre 1990/2000, conforme mostrado na Tabela 1.

TABELA 1 - Evolução da Gestão Ambiental

ALIENAÇÃO	1950	Bombas atômicas em Hiroshima
	1960	Industrialização acelerada. Aceitação da idéia de que os prejuízos ambientais devem ser assumidos pela sociedade, em favor do desenvolvimento econômico; Preocupação com acidentes de trabalho; Legislação ambiental incipiente no Brasil; Publicação do romance “silent Spring” (Primavera Silenciosa), da bióloga americana Rachel Carson, que contribuiu decisivamente para a proibição do uso do DDT.
PASSIVA	1970	Marco Principal: Conferência de Estocolmo, promovida pela ONU em 1972; Crise do Petróleo e aceleração dos programas nucleares na Europa; Surgimento das ONG’s; Em 1971 nasce o Greenpeace, que apresenta uma das atuações mais radicais em favor do meio ambiente; Inicia-se a implantação da tecnologia de fim de tubo (ponto de descarga); Em 1974, pela primeira vez, cientistas americanos chamam a atenção do mundo para os perigos da destruição da camada de ozônio, pelo uso dos CFCs; Criação da Agência Ambiental Americana (EPA), do Selo Verde na Alemanha e do Anjo Azul na França.
	1980	Instituição da Política Nacional do Meio ambiente, em 1981, e criação de diversos órgãos de atuação ambiental; Legislação ambiental sobre zoneamento ambiental, licenciamento de atividades poluidoras e avaliação de impacto ambiental (Resolução CONAMA 1/86), dentre outras; Preocupação das empresas em atender às exigências dos órgãos ambientais; Inclusão do planejamento ambiental nas empresas, investimentos e sistemas de controle; Pouca ou nenhuma visão das oportunidades de ganhos decorrentes de uma gestão ambiental eficaz; Mobilização das comunidades; A Convenção de Viena, de 1985, e o Protocolo de Montreal, em 1987, sobre o uso de substâncias nocivas à camada de ozônio; Aprovação e divulgação pela ONU, em 1987, do Relatório “Nosso Futuro Comum”, no qual foi defendido o conceito de Desenvolvimento Sustentável: “Desenvolver sustentavelmente satisfazendo as necessidades do presente, sem comprometer as habilidades das futuras gerações em satisfazer as suas necessidades”.
ATIVA	1990	Marco Principal: Conferência Rio-92, que consolidou o conceito de Desenvolvimento sustentável e aprovou a Agenda 21; Promulgada, em 1991, pela Câmara Internacional do Comércio (ICC), a “Carta de Roterdã”, conhecida também por “Princípios do Desenvolvimento Sustentável”; Gestão Proativa (ações preventivas para evitar a poluição no ponto de geração); Intensificação da mobilização das comunidades, de forma organizada e reivindicativa; Adesão das empresas a princípios estabelecidos por determinados grupos, com base no conceito de desenvolvimento sustentável. Exemplos: “Responsible Care” (Atuação Responsável), da Associação de Indústrias Químicas e “Princípios do Desenvolvimento sustentável” da ICC; Emissão da Norma ISO 14001 – Sistema de Gestão Ambiental, com adesões em escala crescente, por parte das empresas internacionais e nacionais, antes mesmo de sua versão final, em Outubro de 1996; Negociações internacionais sobre a redução das emissões de CO ² (Protocolo de Kyoto); Surgimento da legislação brasileira sobre “crimes ambientais” (1998).

	2000	Introdução do conceito do ciclo de vida do produto (análise ambiental de todas as etapas de produção, incluindo fornecedores e consumidores, conhecida também pela expressão “do berço ao túmulo”); Integração das questões ambientais à estratégia do negócio; Gestão ambiental, vista como um diferencial competitivo e um fator de melhoria organizacional; Exploração do “ecomarketing”; A “empresa cidadã”: Preocupação da empresa frente à sociedade.
--	------	---

Fonte: Moreira (2006).

Segundo Moura (2004), muitas organizações são filiais de empresas multinacionais, e seguem padrões corporativos, o que as obriga a seguir diretrizes estabelecidas pelas matrizes, que, por sua vez, também são influenciadas pelo mercado, sociedade e governos. A pressão exercida pelos clientes também faz com que as empresas revejam sua postura com em relação às questões ambientais, com as quais elas estão envolvidas. Outras razões também contribuem para que a empresa melhore o projeto de seus produtos e processos internos de produção, em relação à área ambiental como: a satisfação do cliente, a melhoria na imagem da empresa, a conquista de novos mercados, um melhor desempenho da empresa, redução dos custos, maior permanência do produto no mercado, facilidade para obtenção de financiamento, facilidade de obter certificação e redução de riscos, conforme mostrado na Figura 9.

FIGURA 9 – Razões para que as organizações melhorem seu desempenho ambiental



Fonte: Adaptado de Moura (2004) e Nishitani (2009).

A Gestão Ambiental é, portanto, uma união de procedimentos, normas e medidas que regem a condução adequada dos padrões ambientais a serem seguidos, que vão permitir reduzir e controlar os danos e os impactos ambientais (BARBIERI, 2007). Nesse sentido, a Gestão Ambiental caracteriza-se como uma gestão empresarial forte e decidida, voltada para organização, ou seja, companhias, corporações, firmas, empresas ou instituições, e pode ser definida como sendo o conjunto de políticas, programas e práticas administrativas e operacionais que levam em conta a proteção do meio ambiente, por meio de um conjunto de ações da eliminação ou minimização dos impactos e danos ambientais, decorrentes do planejamento, implementação, operação, ampliação, realocação e ou desativação de empreendimento ou atividades, incluindo-se todas as fases do ciclo de vida de um produto (BARBIERI, 2007). A gestão ambiental empresarial, além de ser uma vantagem competitiva, quando implantada corretamente, torna-se uma questão estratégica, e não apenas de cumprimento de normas e leis (TIBOR E FELDMAN, 1996; KAZAZIAN, 2009). Isso porque, segundo Floriano (2007), contratos de comércio internacional são mais facilmente firmados com organizações que possuem implantados sistemas de gestão baseados em normas reconhecidas internacionalmente.

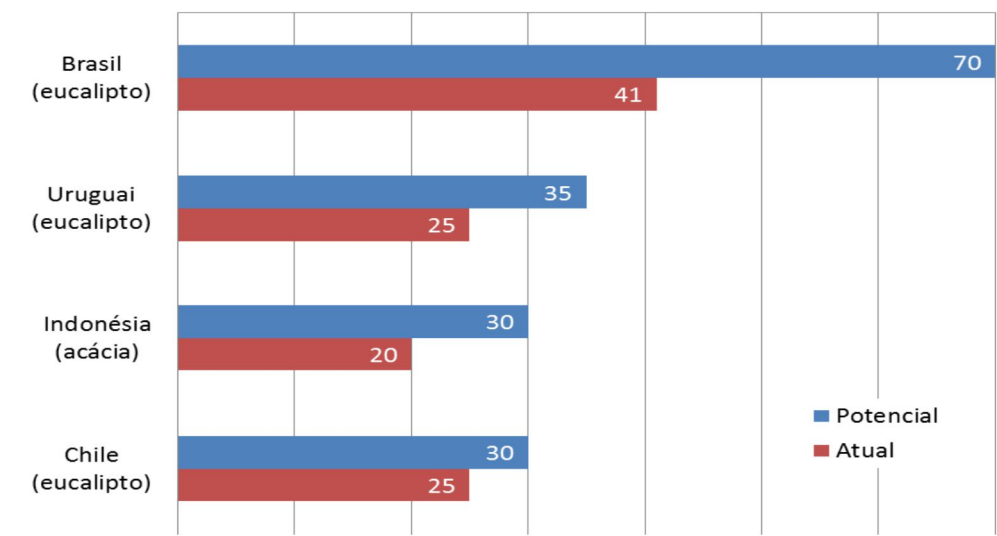
O Sistema de Gestão Ambiental é, na maioria das vezes, implantado em conformidade com a norma técnica ABNT NBR ISO 14001:2004, que tem como compromissos o atendimento da Legislação, a prevenção da poluição e a melhoria contínua. A norma ABNT NBR ISO 14004:2005 pode ser vista como um complemento à NBR ISO 14001, pois apresenta os requisitos para a implantação de um Sistema de Gestão Ambiental de forma geral, incluindo exemplos, descrições e opções que auxiliam neste processo. A política de gestão ambiental empresarial, nos termos das normas da Série ISO, tem como princípio envolver todos os setores da sociedade, visando criar um sistema de gestão dos aspectos ambientais dos processos e produtos, melhorando-o continuamente (FLORIANO, 2007).

2.6 Setor de papel e celulose

O setor de papel e celulose possui uma cadeia produtiva bastante complexa, abrangendo etapas de reflorestamento, produção de madeira, fabricação, conversão de papel em artefatos (embalagens), produção gráfica, produção editorial e reciclagem do papel utilizado. Além disso, inclui atividades de geração de energia, distribuição, comércio, exportação e transportes. O setor florestal brasileiro é referência mundial, por sua competitividade e por

suas práticas de manejo¹, por utilizar florestas plantadas, certificadas na produção de celulose e papel, principais setores de base florestal (Figura10).

FIGURA 10- Produtividade das Florestas de Rápido Crescimento (m³/ha/ano)



Fonte: Poyry e Bracelpa, (2015)

Apesar do cenário adverso, com a economia mundial em retração, as expectativas foram gradualmente melhoradas. A maior parte da celulose produzida no mundo (aproximadamente 97%, em 2012) é empregada na produção de papéis. A celulose comum é um polímero e apresenta alfacelulose² em torno de 87% (PALEOLOGOU, 2012).

Segundo a Associação Brasileira de Celulose e Papel - BRACELPA, (2015), o Brasil apresenta um importante e constante crescimento no contexto mundial, no que diz respeito à produção de celulose e papel. O Brasil foi o 4º maior produtor mundial de celulose e o 9º maior produtor de papel no ano de 2012. O setor gerou 128 mil empregos diretos, sendo 79 mil na indústria, 51 mil em florestas e 640 mil em empregos indiretos (BRACELPA, 2015). No Brasil, destaca-se o consumo dos papéis dos tipos embalagens, imprimir e escrever e para

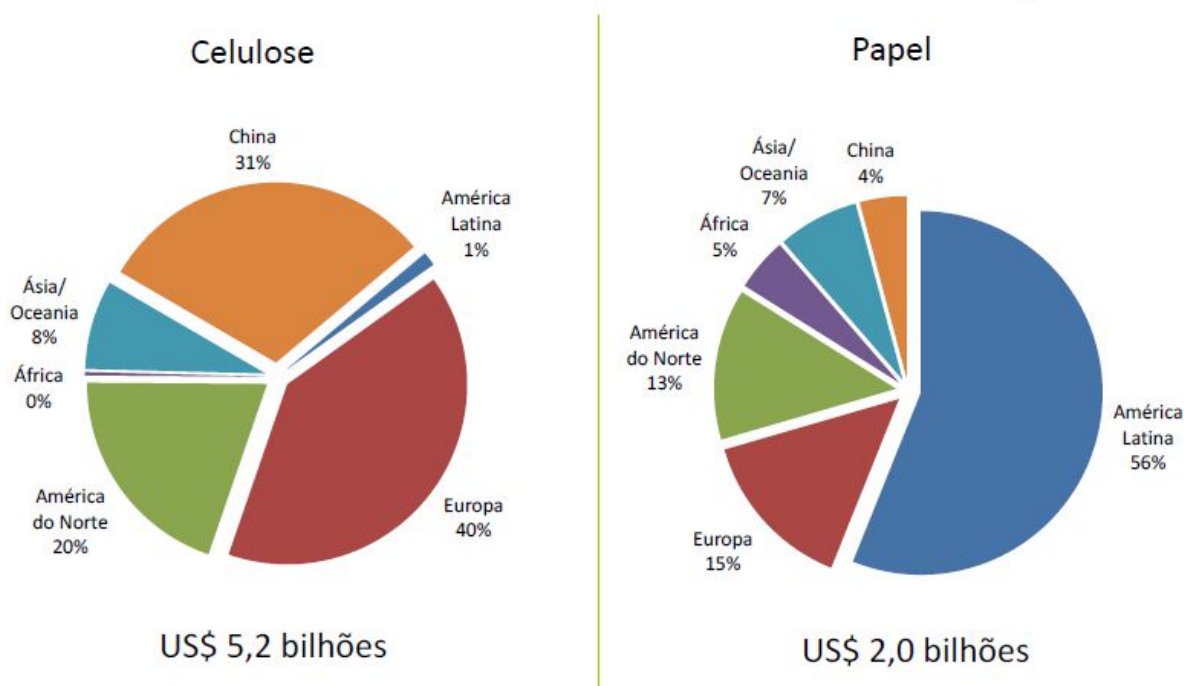
¹ De forma simplificada, é o conjunto de técnicas empregadas para colher cuidadosamente parte das árvores grandes, de tal maneira que as menores, a serem colhidas futuramente, sejam protegidas.

² Alfacelulose é definida como a parte da celulose que não se dissolve em solução de hidróxido de sódio à concentração de 17,5%.

fins sanitários. Isso se deve, de acordo com Biazus, Hora e Leite, (2014), ao aumento da renda real disponível, em franca evolução nos últimos 10 anos.

No que se refere ao comércio exterior de papel e celulose, o volume exportado pelo país papel foi de 2,0 bilhões dólares em 2013 e de celulose 5,2 bilhões dólares. Segundo dados da BRACELPA, (2015) a América Latina e Europa foram os maiores importadores de papel do Brasil, a América do Norte e China os maiores importadores de celulose (Figura 11). O principal tipo de papel exportado foi de imprimir e escrever, seguido de embalagens, enquanto, na importação, prevaleceram os papéis do tipo imprensa. O balanço importações versus exportações de papel resultou em um superávit de US\$ 483 milhões (BNDES, 2015; VIDAL, 2013).

FIGURA 11 – Maiores importadores de celulose no mundo em 2013.



Fonte – BNDES, 2015

O investimento para o segmento de papéis previsto para os próximos anos apresenta tendência mundial de consolidação e aumento do grau de concentração (considerando os projetos mapeados pelo BNDES). Espera-se que, com a formação e o crescimento de empresas globais, com escala de produção elevada e canais amplos de distribuição de produtos, o mercado de papel e papelão seja, em médio prazo, ainda mais produtivo. Todos os segmentos são representativos, o de embalagens devido ao crescimento econômico, o de imprimir e

escrever, pela qualidade do produto nacional, e o sanitário, pela mudança de hábitos da população, graças ao aumento da renda nos últimos anos.

Nesse contexto, as expectativas sugerem antecipação de projetos no segmento de embalagens pela alta utilização da capacidade instalada. O ganho do mercado externo deve vir, dependendo do nível de aumento de capacidade chinês e da recuperação dos mercados norte-americano e europeu. O desempenho do câmbio também deve influenciar a competitividade do produto nacional, inclusive no mercado local. Segundo Biazus, Hora e Leite (2014), a estimativa para os próximos anos é de que o investimento agregado nos setores de floresta, celulose e papel tenha potencial para atingir um montante acima de R\$ 20 bilhões.

2.7 Fabricação do papel

A celulose é a principal matéria-prima para fabricação do papel. É produzida a partir de um composto natural existente nos vegetais, encontrado nas raízes, troncos de árvores, folhas, frutos e sementes. O principal componente das células dos vegetais são as fibras, com formas alongadas e finas, além de ser encontrada, também, a lignina e a hemicelulose³. Os fabricantes de celulose recebem a sua principal matéria-prima na forma de toras ou resíduos. As toras são descascadas e, na maior parte dos processos, mecanicamente reduzidas em aparas de madeira, a fim de fornecer uma matéria-prima limpa e de dimensão e teor de umidade adequados para a fabricação da pasta celulósica. No processo de transformação da madeira em pasta, que é a matéria prima para o papel, é necessária a separação da lignina, da celulose e a da hemicelulose, que estão presentes na madeira. No processo de separação, processos químicos e mecânicos estão presentes. Esses processos demandam uma grande quantidade de energia e calor, para evaporar a água presente nas fibras da madeira crua, ou mesmo na utilização da pasta para a fabricação do papel.

Independente da natureza da polpa-química, mecânica ou reciclada, fibra longa ou fibra curta, as etapas básicas da fabricação de papel são semelhantes e no maquinário o material passa por três fases. A primeira fase é destinada a promover certas propriedades de qualidade nos

³Hemicelulose - (literalmente: "meia celulose") são polissacarídeos. Junto com a celulose, a pectina e as glicoproteínas, formam a parede celular das células vegetais.

produtos. A indústria incorpora à polpa as chamadas cargas ou aditivos. As cargas são materiais de baixa granulometria, quimicamente inertes, que são incorporadas à suspensão de fibras celulósicas e tem como finalidade propiciar uniformidade à superfície e melhorar certas características, tais como propriedades óticas, resistência a seco e a úmido ou resistência a absorção de água, óleo, ácido láctico ou peróxido. A suspensão de polpa é distribuída uniformemente ao longo da seção transversal de uma tela em movimento. O desaguamento nesta parte da máquina, conhecida como seção formadora, acontece principalmente sob a ação da força gravitacional (Figura 12a). Na parte final desta fase (Figura 12b) é formada uma folha contínua, com um teor de sólidos de cerca de 20% (ANDRADE, 2011).

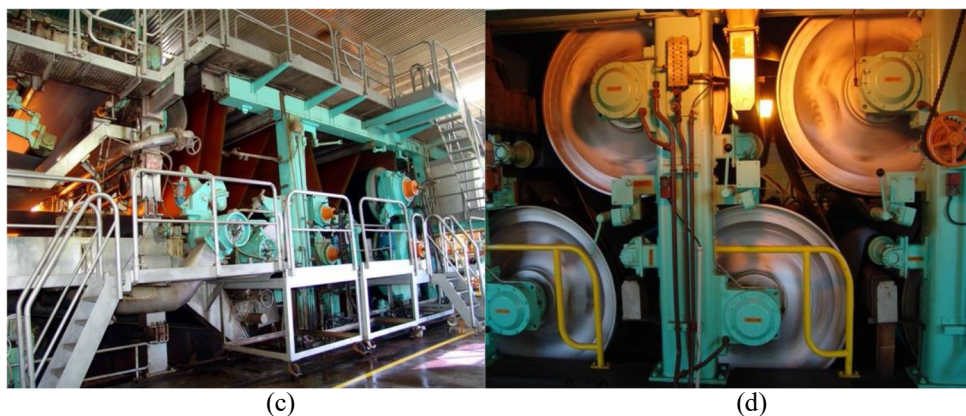
FIGURA 12– (a) Preparo da massa e (b) Formação da folha de papel



Fonte: Andrade, 2011

Na segunda fase, a folha entra na seção de prensagem, onde se utiliza energia mecânica no desaguamento, passando entre dois rolos de aço, sendo a água deslocada para um ou dois feltros. Usualmente três ou quatro *nips* de prensagem são empregados. Quando a folha deixa a seção de prensagem, apresenta um teor de sólidos de 40 a 45% - Figura 13 (c). A terceira fase é chamada de seção de secagem, onde se utiliza energia térmica para o desaguamento. A folha passa sobre cilindros de ferro rotatórios, aquecidos com vapor, e a maior parte da água remanescente é evaporada. Ao sair desta seção, o teor de sólidos do papel aumenta para cerca de 90 a 95%.

FIGURA 13– (c) Prensagem e (d) Cilindro de secagem



Fonte: Andrade, 2011

O produto passa por uma série de cilindros de secagem aquecidos - Figura 13 (d), onde atinge umidade da ordem de 8%. Posteriormente, e para obter uma superfície uniforme, o cartão em formação passa por uma seção de calandragem, no qual é prensado entre dois cilindros aquecidos (ANDRADE, 2011). Finalmente o produto sofre as operações de acabamento, que são o rebobinamento e a embalagem (Figura 14).

FIGURA 14– Acabamento e rebobinamento.



Fonte: Andrade, 2011

Segundo o autor, os equipamentos do processo são monitorados e controlados, utilizando um Sistema Distribuído de Controle Digital. Todas as informações do processo estão armazenadas em um banco de dados denominado *Plant Information*, cujo objetivo é o registro do histórico dos dados operacionais. Os operadores acompanham o processo e atuam, quando necessário, ajustando os valores de produção dos controladores locais.

2.8 Fabricação do papelão ondulado

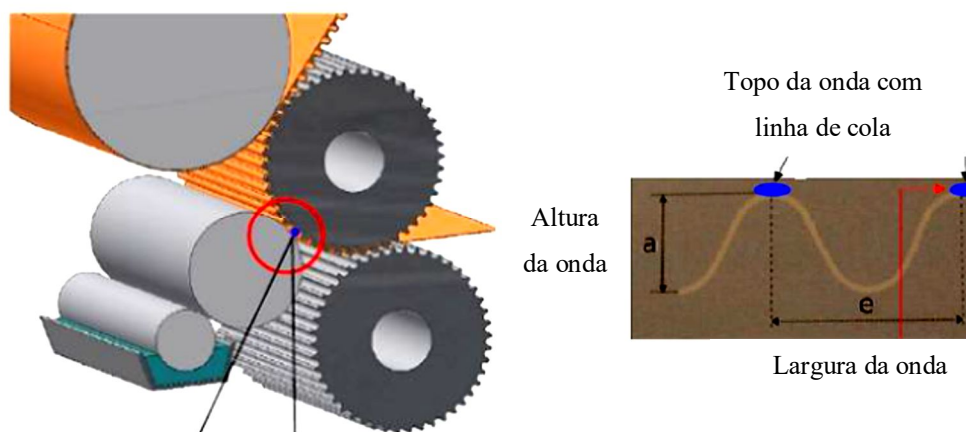
Desde o século XIV se utilizava o papel para proteger e embalar produtos, no entanto, sua baixa resistência, limitava seu uso, cuja eficiência era determinada pela gramatura. A solução para tais inconvenientes surgiu quando a primeira patente com os princípios básicos da corrugação foi criada, em 1856, por Albert L. Jones. Algum tempo depois, o americano Oliver Long verificou que uma folha plana colada ao papel ondulado mantinha sua forma e aumentava a sua resistência, o que recebeu o nome de papelão de face simples. Com esta percepção de aumento da resistência, nasceu a indústria de papelão ondulado (ABPO, 2015).

Desde sua primeira patente, o papelão ondulado tem sido largamente utilizado como embalagem, pois é um material de fácil manejo, de custo reduzido, que apresenta rigidez, resistência mecânica e características térmicas adequadas à sua aplicação como material de acondicionamento (PICHLER, 2000). O consumo do papelão destinado a embalagens, por habitante, é significativamente superior ao de outros materiais. A indústria de papelão corrugado é um dos maiores segmentos de negócio, sua produção mundial é superior a 90 bilhões de dólares. A capacidade instalada de papéis para fabricação de embalagens no mundo é de cerca de 161 bilhões de toneladas/ano (RISI, 2011).

O papelão ondulado, cuja matéria prima básica é a celulose, é composto por várias camadas de papéis, de maneira a formar uma estrutura composta por um ou mais elementos ondulados (miolo), sendo estes fixados a elementos planos (capas) (ABPO, 2015 SANTOS, 2006).

Para produção do miolo (o papel ondulado), o papel selecionado passa por um processo de amaciamento, realizado por meio de vapor de água. Em seguida, ele é introduzido em um par de cilindros dentados, chamados de corrugadores, onde são formadas as ondas (Figura 15). As ondas podem ser moldadas em diversos tamanhos, e são classificadas por suas alturas. Após o processo de ondulação, uma folha de papel lisa é colada na superfície das ondas, com cola de amido de milho, para formar o papelão ondulado.

FIGURA 15 - Fabricação do papelão ondulado



Fonte, JAREK, (2014)

Os papéis mais utilizados para a produção do papelão ondulado são o papel tipo *Kraft- liner*, papel *Test-liner* e o papel reciclado. O *Kraft liner* é produzido com grande participação de fibras virgens e, portanto, apresenta alta resistência mecânica. O *Test-liner* possui propriedades mecânicas inferiores, pois utiliza matérias-primas recicladas em alta proporção. A coloração desse tipo de papel varia do marrom escuro ao amarelo claro. O reciclado é fabricado com matéria-prima 100% reciclada, e possui uma cor marrom claro, devido à mistura de fibras que foram branqueadas.

Ao contrário dos materiais compósitos reforçados com fibras vegetais, o papelão ondulado é um compósito multifásico composto de umidade, fibras vegetais, vazios e aditivos químicos. Sua estrutura tridimensional é basicamente um conjunto de fibras discretas, unidas em uma rede complexa. O composto apresenta uma única orientação preferencial das fibras, como resultado das forças hidrodinâmicas presentes na máquina para fabricação de papel. Esta orientação é chamada de direção da máquina. A direção no plano perpendicular à direção preferencial é chamada de direção transversal à máquina. Dessa forma, as propriedades do material dependem das direções em que são observadas (material ortotrópico) (MAGALHAES,2006).

De acordo com a terminologia da Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 5985 (2004), os principais tipos de chapas de papelão (Figura 16) são: face simples, que contém um elemento ondulado (miolo) agregado a duas capas; parede dupla, contendo três capas e dois miolos intercalados; parede tripla formada por quatro elementos planos, colados em três

elementos ondulados intercalados; e parede múltipla, formada por cinco ou mais elementos planos, colados a quatro ou mais elementos ondulados, intercalados.

FIGURA 16– Estrutura do papelão ondulado



Ressalta-se que o sentido da ondulação do papelão caracteriza sua funcionalidade e rigidez para o empilhamento. As ondulações devem estar na vertical, pois funcionam como suporte do composto (MOURA E BANZATO, 2010). O papelão ondulado apresenta diferentes características, variando de tipo, altura e número de ondas, em certo comprimento. A Tabela 2 detalha os diferentes tipos de papelão ondulado.

TABELA 2 - Tipos de ondas do papelão.

Tipo de onda	Espessura do papelão ondulado	Nº de ondas em 10 cm
A	4,5/5,0 mm	11 a 13
B	2,5/3,0 mm	16 a 18
C	3,5/4,0 mm	13 a 15
D	1,2/1,5 mm	31 a 38

Fonte: ABRE, (2015)

Considerando que a maior parte das embalagens são de papelão e que elas são comumente descartadas, o papelão ondulado impacta fortemente o meio ambiente e está se transformando na mais rápida produção de fluxo de lixo do mundo (MOURA e BANZATO, 2010; BALLOU, 2011; CARDOSO, 2012; BAUMAN, 2008). Segundo o Compromisso Empresarial para Reciclagem, em 2011 o Brasil fabricou 43,9% de papelão ondulado, com a finalidade de produzir embalagens. São Paulo é um dos maiores centros de reciclagem brasileiros, com 1.365 mil toneladas, seguido de Santa Catarina, com 906 mil, Paraná, com 497 mil, Minas Gerais, com 360 mil, Rio de Janeiro, com 180 mil, Pernambuco, com 143 mil e Bahia, com 133 mil toneladas. Entre os anos de 2006 e 2012 o segmento apresentou um crescimento de 21%. Apesar do alto percentual de reciclagem do setor de papel/papelão (70% a 80%), o processo não é simples, pois requer triagem prévia, separação, classificação e controle do material (SANTOS, 2006). Do processo são retirados diferentes contaminantes, como matéria orgânica, grampos metálicos, colas, vernizes, plásticos, tintas, etc. (CEMPRE, 2015). O resultado dessa ação gera, em média, 42% de rejeito não utilizável. Esses resíduos

são destinados aos aterros sanitários ou à incineração, o que resulta em acúmulo de rejeitos e aumento das emissões de CO². Soma-se a isso o alto consumo de água e energia elétrica demandada no processo de fabricação (GRIMBERG e BLAUTH, 1998). Tal contexto justifica o reuso do papelão para confecção de artefatos, como mobiliário.

2.9 Ensaios utilizados no papelão

A qualidade do papel depende fortemente do grau de limpeza da massa que irá produzir o produto. A sua caracterização química normalmente é realizada para se obter quais elementos químicos/aditivos foram adicionados à massa, para lhe conferir características físicas, químicas e ópticas desejadas. Contudo, ao se considerar o papel para fabricação de embalagens primárias (que acondicionam alimentos), os mesmos não devem conter corantes orgânicos, pigmentos inorgânicos, tinta e outros aditivos químicos. Como a produção do papel nem sempre tem origem em matéria prima virgem, para se obter um papel adequado à finalidade de uso, alguns aspectos devem ser considerados, como, por exemplo, a seleção adequada dos materiais utilizados. Deve-se evitar locais como hospitais, aterros sanitários, lixões, estabelecimentos sanitários e exemplares antigos (bibliotecas), que podem conter pentaclorofenol (tratamentos de fumigação), dentre outros. Deve-se proceder uma separação adequada dos contaminantes e submeter o resíduo à lavagem que considere um manejo apropriado das águas. O papel deve ser submetido a um processo de destintamento, branqueamento ou tratamento térmico (60 a 140 °C). Geralmente, os agentes químicos utilizados no branqueamento são o peróxido de hidrogênio, o ácido sulfinico formamidina (ASF), o hidrossulfito de sódio, o ozônio e o oxigênio. Pode ser aplicado um tratamento químico para reduzir o nível de contaminação química e microbiológica. O tratamento pode ser realizado durante a dispersão a quente. Na formulação das embalagens primárias elaboradas com fibras recicladas podem ser incorporados apenas os aditivos previstos na Resolução GMC nº 56/97 - Lista Positiva de Componentes de Embalagens Celulósicas em Contato com Alimentos. Além de observar a resolução em embalagens primárias, não devem ser detectadas bifenilas policloradas, em níveis iguais ou superiores a 5 mg/kg, nem pentaclorofenol, em níveis iguais ou superiores a 0,10 mg/kg de papel (GMC nº 20/00). Além disso, as embalagens e equipamentos celulósicos não devem transferir aos alimentos constituintes antimicrobianos (D'ALMEIDA e ZANUTTINI, 2012).

A caracterização física e mecânica do papelão ondulado é feita em ensaios realizados nos papéis que o constituem e no próprio papelão. Segundo a ABNT o papel é caracterizado quanto à gramatura, espessura, permeabilidade/porosidade, resistência a tração, alongamento, resistência ao rasgo, resistência ao estouro, umidade, absorção de água (Cobb), resistência ao esmagamento de onda e resistência ao amassamento de anel. Os papelões ondulados são caracterizados quanto à gramatura, capacidade de absorção de água (Cobb), resistência ao estouro ou arrebentamento (Mullen), resistência ao esmagamento e resistência à compressão de coluna. Contudo, as propriedades podem ser influenciadas por fatores externos, tais como: umidade, formação da folha, prensagem, secagem, tipos de aditivos utilizados, processo de obtenção das fibras e limpeza, dentre outros. A Tabela 3 apresenta os principais testes concernentes às propriedades físicas/mecânicas do papelão ondulado (SANTOS, 2006).

TABELA 3 - Ensaios mais utilizados no papelão

Ensaio	Método	Princípio
Gramatura (g/m ²)	ISO 536	A gramatura afeta todas as propriedades óticas e mecânicas do papelão. A massa por unidade de área do papel é determinada em ambiente com temperatura de $(23 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ e $(50 \pm 2)\%$ de umidade relativa do ar.
Espessura (mm)	NBR 6738	A distância entre as duas faces do papelão ondulado é medida em micrometro de peso morto provido de duas superfícies de pressão circulares e planas e paralelas, entre as quais é colocado o corpo de prova.
Absorção de água Cobb (g/m)	ISO 535	Mede-se a quantidade de água absorvida por um corpo de prova de papelão, por unidade de área.
Estouro/ Arrebentamento Mullen (kPa/cm ²)	ISO 2759	Mede-se a pressão necessária para romper uma amostra de papelão, ao exercer uma força que comprime um diafragma de borracha contra a amostra fixada firmemente.
Resistência ao esmagamento (kN/m)	NBR 3035	Mede-se a resistência de um papelão ao esmagamento de onda em um corpo de prova pré-dimensionado.
Resistência à compressão de coluna Crush (kN/m)	NBR 6737	É considerada a melhor referência para qualificar a chapa de papelão ondulado. Determina o desempenho do papelão ao empilhamento.

Fonte: Adaptado de SANTOS, (2006)

2.10 Caracterização do papelão ondulado

Vários trabalhos da literatura avaliam as características mecânicas do papelão ondulado, em função da forma, dimensões da ondulação do miolo e da espessura da capa (Luo, 1992; Damatty, 2000; Aboura, 2004; Talbi, 2009; Allaoui, 2011). No entanto, são escassos os relatos sobre dados coletados experimentalmente. Em trabalho de 1980, Baum e Habeger

estimaram a resistência à tração do papelão, por meio da rigidez do material, determinada em ensaios de ultrassom, nas direções longitudinal e transversal. Pastel *et al.* (1997) investigaram os mecanismos de ruptura de cilindros de papelão ondulado, no modo biaxial, com as ondas paralelas ao eixo do cilindro. Os testes realizados foram de compressão axial, torque, pressão externa e a combinação deles. Os cilindros foram dimensionados para evitar flambagem, antes da falha do material, por meio de análise de elementos finitos. A análise de falha da placa foi baseada no estado de tensão nos revestimentos, em conjunto com o critério de falha de tensão combinada. Para cilindros sob compressão paralela às ondulações, a flambagem local foi observada, mas não influenciou a carga de colapso. Para casos de carga biaxiais envolvendo corte substancial e compressão perpendicular às ondulações, as tensões de ruptura experimentais foram substancialmente abaixo das previsões com base em tensões nos revestimentos em conjunto com o critério de falha. Nordstrand (2004) analisou painéis de papelão ondulado no regime pós-flambagem. Para tanto, foi construída uma plataforma de teste de compressão, para atingir a carga com precisão e estabelecer condições de contorno similares a um quadro de teste para placas de metal. A fim de descrever o comportamento de deformação, uma análise de deformação não-linear de placas ortotrópicas foi modificada, para incluir imperfeições iniciais. A carga crítica dos painéis foi avaliada por regressão não-linear, para as curvas medidas experimentalmente carga-deslocamento. Os resultados mostraram uma diferença da ordem de 15 a 20%, entre a carga crítica estimada experimentalmente e a carga crítica analiticamente prevista para placas ortotrópicas. Magalhães, Figueiredo e Dedini (2006) realizaram ensaios de rigidez a flexão, em amostras de papelão ondulado, e cálculos analíticos, para determinar o módulo de elasticidade por diferentes métodos, comparando os resultados com os valores obtidos experimentalmente. Os corpos de prova foram testados na direção de fabricação e na direção transversal. Os resultados mostraram que os valores de rigidez da estrutura do papelão, estimados a partir dos ensaios de flexão ou tração dos papéis-capas e miolo, utilizando o módulo de elasticidade calculado, são inferiores aos valores experimentais. A rigidez estimada com o módulo de elasticidade, obtido a partir do ensaio de flexão, apresentou valores mais próximos do valor obtido experimentalmente no ensaio de quatro pontos, do que o estimado pelo método da tração. Lago *et al.* (2009) desenvolveram, para fins de experimentação, um modelo de mobiliário, cujo material utilizado foi submetido a testes laboratoriais similares aos ensaios normatizados para madeira. Os resultados indicaram que o papelão ondulado mostra-se um material de grande viabilidade e trabalhabilidade satisfatória para ser aplicado no design de móveis. Allaoui, *et al.* (2009) propuseram uma contribuição para a identificação do comportamento mecânico do papelão

ondulado, por meio de ensaios de tração uniaxial, sob várias configurações. Para identificar os fenômenos microscópicos produzidos na estrutura, foi utilizada microscopia eletrônica de varredura. Pelas análises, foi possível destacar a presença de danos e seus vários aspectos mecânicos. Navaranjan e Jones (2010), utilizaram a termografia infravermelha para avaliar o desempenho estrutural de embalagens de papelão ondulado, submetidas à carga de compressão. Os resultados mostraram que a termografia tem potencial para ser uma ferramenta valiosa para a avaliação do desempenho estrutural e para avaliar diferentes projetos e materiais. Andrade (2011) realizou um estudo para utilização de quitosana, como recobrimento para papelão ondulado. Foram realizados testes de gramatura, permeabilidade, ângulo de contato e aderência. A caracterização microestrutural foi realizada por MEV e espectros de FTIR. Os resultados mostraram que o filme de quitosana criou uma barreira contra a umidade sendo, portanto, eficiente como revestimento para o papelão. Allaoui, Aboura e Benzeggagh (2011) estudaram os efeitos da umidade relativa sobre o comportamento mecânico da estrutura do papelão ondulado. Foram realizados testes de resistência à tração e flexão em três pontos, com diferentes índices de umidade relativa. Um modelo analítico baseado na teoria clássica foi usado para prever o comportamento elástico do papelão ondulado, sob diferentes condições atmosféricas. Os resultados mostraram que o papelão ondulado é sensível à umidade relativa dos ensaios ambientais. Em relação às propriedades elásticas, elas mudaram significativamente com umidade relativa maior que 70%. Este efeito foi mais perceptível na flexão do que na tração. O efeito da umidade na direção transversal foi mais significativo do que no sentido longitudinal, por causa da orientação privilegiada das fibras de celulose. Bartsch (2012) utilizou a norma DIN para estabelecer um método para avaliar o comportamento de dobramento do papelão ondulado livre de umidade. O comportamento de dobragem de corpos de prova foi classificado de 1 (muito ruim) a 10 (muito bom). Frinhani e Daltoé (2012) mostraram que o grau de deslignificação da polpa usada na fabricação da celulose *Kraft* influencia fortemente o comportamento mecânico do papelão. A diminuição do grau de deslignificação está associada a um ganho da resistência à compressão do anel, da resistência à compressão das ondas e da rigidez. No entanto, observou-se, para a mesma situação, perda no comprimento de autoruptura, no índice de arrebentamento e no índice de rasgo. Russ et al. (2013) analisaram as características do papelão ondulado, com o objetivo de produzir placas estruturais para isolamento térmico, a partir de resíduos desse material. As amostras foram submetidas a ensaios de resistência à flexão e de coeficiente de condutividade térmica (Tabela 4). Na análise dos resultados, considerou-se a quantidade de adesivo aplicada nas camadas

individuais das placas. Concluiu-se que as placas estruturais podem ser utilizadas na indústria moveleira, na produção de placas de isolamento térmico de edifícios ou como paredes divisórias.

TABELA 4 - Características mecânicas do papelão ondulado.

Amostra	Peso volumétrico (kg.m ⁻³)	Espessura da placa (mm)	Resistência à flexão (MPa)	Condutividade térmica (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)		Adesivo 1 m ² (g)	Núcleo
0	98,3	18,30	0,00	0,045		0	Duplo
18	101,2	18,10	1,20	0,045		55	Duplo
19	104,1	18,47	1,41	0,045		80	Duplo
20	105,0	17,45	1,42	0,045		100	Duplo
21	106,9	17,96	1,46	0,046		122	Duplo
22	110,5	18,38	1,46	0,047		144	Duplo
24	136,5	18,20	2,51	0,052		100	Triplo
25	109,7	18,71	1,67	0,049		100	Cinco
26	119,9	19,20	1,73	0,050		100	Misto

Fonte: Russ *et al.* (2013).

Lavoine, Bras e Desloges (2014), em seu trabalho com papelão revestido com celulose microfibrilada, estudaram a permeabilidade do material ao oxigênio e permeabilidade ao ar, rigidez à flexão e resistência à compressão. Os resultados mostraram que adição de celulose microfibrilada melhoraram em 30% a rigidez à flexão e a resistência à compressão no sentido da máquina, ou seja, no sentido de produção do material. Por outro lado, a celulose microfibrilada não melhorou as propriedades de isolamento do papelão, aumentando consideravelmente a absorção de água.

2.11 Inovação pelo design

O desenvolvimento de novos produtos tem adquirido crescente importância nas empresas, devido à acirrada concorrência de mercado, que tem forçado a elevação dos padrões de excelência, nos níveis de qualidade e preço compatíveis às práticas internacionais. A Lei nº 10.973, de dezembro de 2004, que dispõe sobre incentivos à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo, coloca que a inovação pode ser compreendida como a introdução de novidade, ou aperfeiçoamento no ambiente produtivo ou social e deve resultar em novos produtos, processos ou serviços. Apesar da necessidade de inovação, as empresas de países em desenvolvimento, sejam elas grandes, médias, ou de pequeno porte, nem sempre conseguem criar uma cultura de inovação dentro da empresa. Contudo, a inovação circulante, em menor ou maior grau, é o que determina a sobrevivência da empresa, uma vez que elas, com frequência, necessitam lançar produtos novos para se manterem à frente da concorrência, cada vez mais acirrada (SENHORAS, *at.al.* 2007). Segundo Neto (1981), para incorporar a

inovação, o designer deve utilizar as tecnologias disponíveis e as chamadas tecnologias de ponta. Deve ter uma preocupação redobrada no projeto de produto, de tal forma que ele não seja apenas o redesenho de outros existentes ou o aperfeiçoamento de um produto, para estar próximo ao concorrente, como enunciado por Baxter (1998). A criatividade do designer deve estar presente e representar a geração de novas idéias, aliadas à inovação, quando cria artefatos, redes de serviços e/ou organizações. Estudo desenvolvido por uma empresa internacional de design consultoria em inovação – IDEO revela que o designer atua como um negociador para aquisição de novas tecnologias. Ele depende da sua própria rede de contatos (*networking*) e memória de trabalhos, para desenvolver o processo de distribuição e cruzamento de conhecimentos tecnológicos, quando desenvolve novos produtos (KELLEY, 2002). Na publicação de Rodrigues, em 2005, intitulada "Antropologia do Design: o olhar antropológico do designer", o autor salienta que existe uma consciência entre o olhar apurado do design e o produto ou serviço que ele cria. Salienta que o trabalho transcende a particularidades dos indivíduos e dos grupos sociais. Isso porque ele busca sua matéria prima na sociedade e a devolve como um produto reelaborado. O designer transforma o senso comum em uma expressão de linguagem mais elaborada. Desta forma, abre novos caminhos na densidade cultural, apontando rumos futuros, desencadeando relações, modelando pensamentos, dialogando com a sociedade, construindo valores, símbolos, e novos significados (RODRIGUES, 2009). O não profissionalismo nos processos de desenvolvimento de novos produtos tem produzido uma imagem negativa desse processo, que muitas vezes não leva em consideração aspectos importantes dos materiais utilizados. Ferreira et al., (2006) descreve que o processo de desenvolvimento de produtos se caracteriza pelo alto grau de incerteza no início, porém, é neste momento que são realizadas as escolhas de soluções de projeto (materiais, conceitos e processos de fabricação, dentre outros), e são elas que determinam aproximadamente 85% do custo final do produto. Estima-se que são possíveis reduções, em torno de 50%, no tempo de lançamento de um produto, quando os problemas de projeto são identificados e resolvidos com antecedência.

2.12 Aplicação do papelão ondulado como material alternativo para o design

Uma das primeiras vezes que se fez uso do papelão ondulado na manufatura industrial foi em 1968. O arquiteto Peter Raacke criou uma cadeira leve, prática, versátil, totalmente fabricada em papelão ondulado. Parte integrante da série experimental Sitze für Besitzlose, a cadeira

(Figura 17), ficou conhecida pelo seu design inovador e pela praticidade de empilhamento, fato incomum da época (LAGO, 2009).

FIGURA 17 - Cadeira empilhável da linha Sitze für Besitzlose, de Peter Raacke.



Fonte: (Lago, 2009).

Frank Owen Gehry também realizou experimentos, aplicando o papelão ao design de móveis. No final da década de 1960, o arquiteto canadense realizou experimentos utilizando o papelão ondulado como matéria-prima para elaboração de móveis. Entre 1969 e 1972 ele desenvolveu a série de poltronas Easy Edges, feitas em papelão ondulado, utilizando a colagem de volumes predeterminados unidos em laminas, para criar a forma desejada. (LAGO, 2009). Inspirado em poltronas clássicas, com formas generosas e arredondadas, o arquiteto, produziu móveis, industrialmente, explorando as formas e a leveza (Figura 18). O resultado foi um móvel leve, robusto, macio, com textura e linguagem formal próprias.

FIGURA 18 - Poltrona e cadeira da linha Easy Edges, de Frank Gehry



Cadeira Edges
FONTE: (Santos, 2009).



Cadeira Contour Rocker,

O americano Victor Papanek, pensador radical da área do design, em suas publicações da década de 1970, apresentou uma visão inovadora de mobiliários práticos, leves e fáceis de construir, contendo projetos tipo “faça você mesmo”, onde se explora materiais, em especial no papelão, dobras, empilhamentos e inflagem, dentre outros. Suas obras foram, na verdade,

um guia de design e um manifesto para um novo modo de vida. Ainda hoje, oferece inspiração e introspecção sobre a prática do design a estudantes e profissionais de todo o mundo (REBERNJAK, 2013). O artista parisiense Eric Guiomar desenvolveu, na década de 1980, uma linha de móveis (Figura 19), confeccionados com lâminas inteiras do papelão ondulado, de forma a explorar o potencial estético, de acabamento, e de resistência mecânica do material (CÔRTE-REAL 2015).

FIGURA 19 - Peças de Eric Guiomar.



FONTE: (Côte-Real 2015).

David Grass, designer holandês, desenvolveu peças, a partir de materiais recicláveis, para criar diferentes produtos. Utilizou uma técnica de encaixe de módulos que formam uma trama que facilita a montagem e desmontagem da peça. Na Figura 20 pode-se visualizar uma cadeira de papelão para crianças, que chamou de Finish it Your Self. Com ela, as crianças poderiam usar e se divertir, montando o objeto no estilo do faça-você-mesmo. A cadeira foi indicada para o prêmio de melhor embalagem, através do “Design Awards” Holanda, em 2007 (FRANCO, 2014).

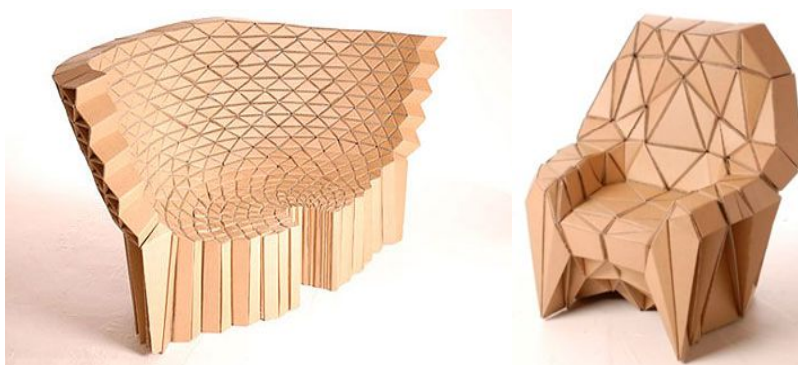
FIGURA 20 - Peças de David Graas - Cadeira infantil, Finish it Your Self



Fonte: <http://www.davidgraas.com/finish-it-yourself#3>

Em 2010, no Interiors UK Nec, evento que acontece anualmente na cidade de Birmingham, foi apresentada uma grande variedade de móveis fabricados a partir do papelão ondulado. Dentre eles destacou-se a poltrona e sofá, Bravais e Radiolarian, de estrutura alveolar, como o favo de mel (Figura, 21). O móvel, inovador, surgiu como parte de um projeto colaborativo entre o designer de móveis Liam Hopkins e o artista Richard Sweeney, do estúdio Lazerian, em Manchester, UK. A estrutura de papelão reciclado foi criada por modelamento matemático inspirado nas formas da natureza, com composição que remete à estrutura óssea cristalina de organismos marinhos, conhecida como radiolária, que deu origem ao nome da coleção.

FIGURA 21 – Peças de mobiliário Bravais radiolarian



Sofá Radiolarian favo de mel

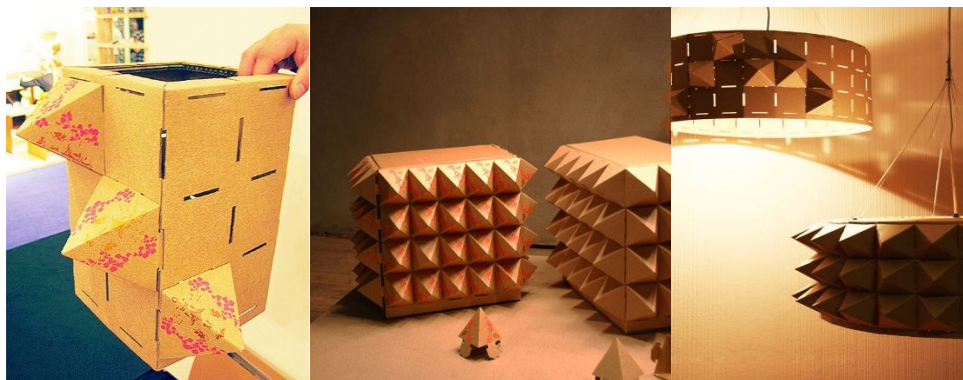
Sofá Bravais

Fonte: Feira Internacional NEC- 2010 - <http://aleal.pt/pt/noticias/4/interiors-nec-birmingham-2010>

Um sistema triangular, criado pelo designer Chun-wei Liao, apresentado em 2008, em Londres, possibilitou a montagem de diferentes artefatos, como pendentes, bancos, luminárias, dentre outros. Todos os módulos foram fabricados a partir de uma base de papelão

ondulado triangular (Figura 22). O modelo produzido foi formado por um sistema que utiliza uma folha de papelão e várias pirâmides, que podem ser encaixadas na folha principal, concebendo uma forma original.

FIGURA 22 – Sistema articulável criado pelo designer Chun-wei Liao



Fonte <http://www.igreenspot.com/the-transformer-collection-by-chun-wei-liao/>

O alemão Hans-Peter Stange desenvolveu uma linha de móveis sofisticados para a empresa Karton Group (Figura 23). A linha possui dobras e abas projetadas para uma montagem perfeita, as peças se encaixam e ficam rígidas e estáveis, com ótimo acabamento, e não necessitam de fixação.

FIGURA 23 – Peças criadas por Hans-Peter Stange



Fonte: <http://thedesigntfiles.net/2011/06/karton/>

Os designers holandeses Joost van Bleiswijk e Alrik Koudenburg criaram um mobiliário para escritório em Amsterdã, utilizando, como conceito, apenas uma caixa de papelão. O conjunto foi inspirado em linhas fortes e clássicas. O resultado final foi um projeto inovador, composto por 1.500 peças articuláveis, utilizando 500 m² de papelão, os quais foram fixados e montados sem nenhum tipo de cola ou parafuso (Figura 24).

FIGURA 24 – Escritório dos designers Joost van Bleiswijk e Alrik Koudenburg



Fonte: www.projectjoost.com

Na Suécia, pode-se encontrar no comércio diferentes produtos que utilizam o papelão ondulado como matéria prima. A estante irregular Big Chaos é um exemplo. Essa e várias outras peças de mobiliário (Arm Chair) da mesma linha foram fabricados e comercializados pela empresa sueca Retur Design (Figura 25).

FIGURA 25 – Estante irregular e cadeira Arm Chair e Big Chaos.



Fonte: www.returdesign.com

O berço Eco Cradle, da marca Green Lullaby, é um móvel de papelão ondulado criado especialmente para atender aos primeiros meses de vida do bebê (Figura 26). Comercializado nos Estados unidos, é fácil de transportar e sua montagem não requer uso de ferramenta. A designer australiana Betul Madakbas criou a cadeira para bebê, a

Belkiz Feedaway, construída de papelão ondulado, que pode ser totalmente desmontada, ocupando menor espaço. Os dois produtos são confeccionados para atender uma demanda transitória e são totalmente recicláveis.

FIGURA 26 – Móveis infantis desmontáveis



Fonte: <http://www.idea-awards.com.au/2009-round-2/betul-madakbas-anthony-dann/>

O artista brasileiro Nido Campolongo introduziu, em São Paulo, o conceito do uso do papel reciclado no design. Iniciou seu trabalho desenvolvendo, em 2009, uma linha de produtos sofisticados como agendas, pastas e embalagens. Em 2011, juntamente com outros artistas, projetou a exposição “Brincadeira de Papel”, onde projetou a Casa do Leitor, apresentando ambientes com piso, teto, paredes, portas, divisórias, estante, cama, sofás, poltronas, mesa e cadeiras, tudo feito em papelão com durabilidade para uso real (Figura 27).

FIGURA 27 – Projetos de Nido Campolongo.



Fonte: (SOS Mata Atlântica 2009 e Casa do Leitor 2011). <http://nidocampolongo.com.br/design.swf>

Empresas e designers brasileiros tentam produzir objetos utilizando esse tipo de material. A empresa “100T Inteligente” produz objetos diversos, inclusive cadeiras, utilizando o papelão

ondulado e aposta na facilidade de montagem/desmontagem do produto, com baixo custo e design inovador (Figura 28).

FIGURA 28 – Cadeiras desmontáveis para adultos.



Fonte: www.100t.com.br

O estúdio de arquitetura e design SuperLimão desenvolveu a peça de papelão prensado (Figura 29) e buscou aprimorar e aplicar novas técnicas produtivas, ao incorporar interessantes tendências estéticas, como o acabamento em PVC expandido, de alta durabilidade, dando ao papelão um ar moderno e atraente.

FIGURA 29 - Cadeira com acabamento em PVC da Design SuperLimão



Fonte: www.superlimao.com.br

O design Domingos Totorá, natural de Maria da Fé, Minas Gerais, produz, a partir da reciclagem do papelão, móveis, vasos, tigelas e esculturas, moldando uma polpa constituída de papelão picado e água, onde a beleza é inseparável da função (Figura 30).

FIGURA 30 – Trabalhos de Domingos Totorá

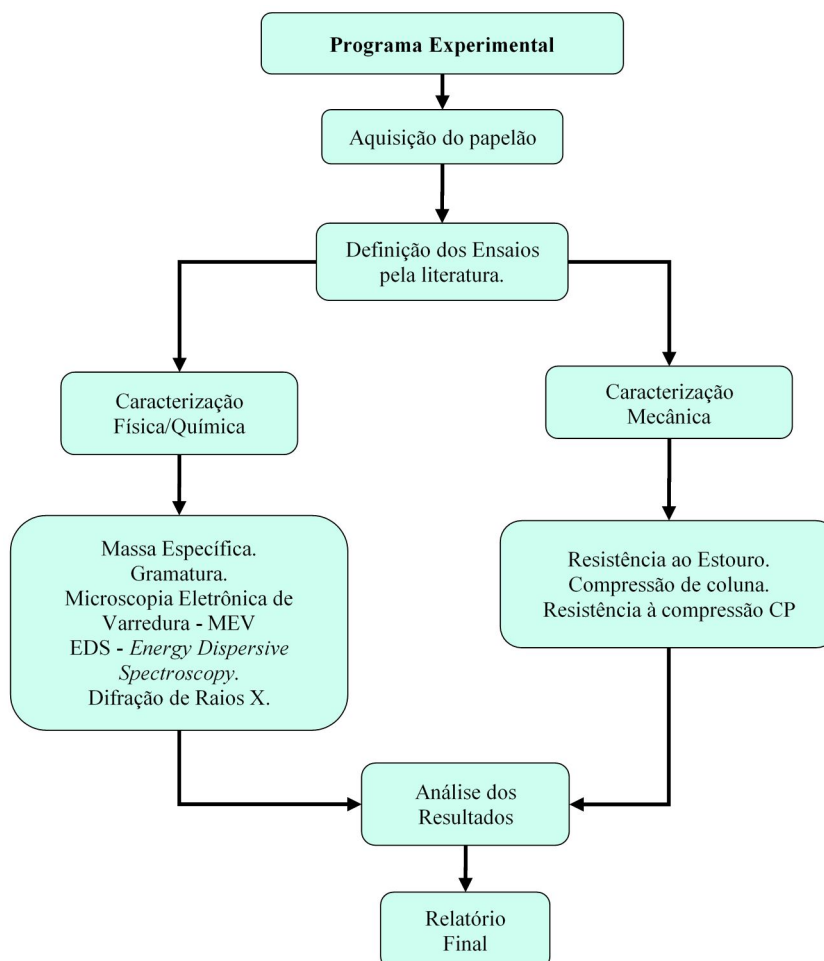


Fonte: http://www.domingostotora.com.br/pt/designs/designs_08.html

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo do papelão ondulado para fins estruturais foi de caráter experimental. Considerou-se a abordagem habitual de se avaliar as principais propriedades químicas, físicas e mecânicas. Foram realizados os ensaios de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), utilizando sonda EDS e por difração de raios X. Também foram realizados ensaios de determinação da gramatura, resistência ao estouro, determinação da resistência à compressão de coluna e resistência à compressão de corpos de prova, fabricados com geometria e configuração específica baseados na literatura. Os ensaios para determinação morfológica foram realizados no Laboratório de Materiais Nanoestruturados do Departamento de Química e no Centro de Microscopia da UFMG. Os corpos de prova, assim como os ensaios físicos/mecânicos, foram realizados no Laboratório de Ensaios Especiais da Escola de Engenharia da UFMG e no Serviço Nacional da Indústria - SENAI/FIEMG, segundo orientação de cada laboratório. As etapas do trabalho são apresentadas na Figura 31.

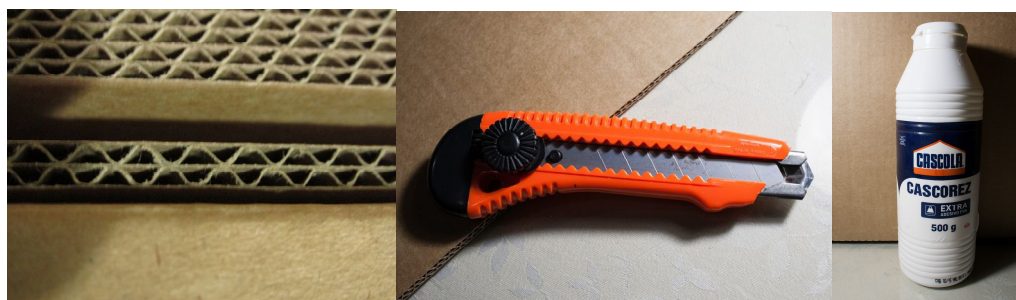
FIGURA 31 – Representação esquemática das etapas de trabalho.



3.1 MATERIAIS

Inicialmente pretendia-se trabalhar com o resíduo de papelão ondulado. No entanto, constatou-se que esses resíduos eram, comumente, contaminados por tintas, cola, restos de alimento e poeira, que poderiam interferir nos testes. De forma a se obter melhor controle das variáveis de estudo, optou-se por utilizar placas de papelão ondulado (parede dupla) com espessura de 5,90 mm, provenientes de um mesmo lote da Celulose. O material foi doado pela Indústria Irani AS por meio do Sindicato das Indústrias de Celulose, Papel e Papelão de Minas Gerais - SINPAPEL. Para o corte, utilizou-se um estilete manual e, para a união das placas, utilizou-se adesivo à base de PVA (Cola Branca Cascorez Extra), conforme mostrado na Figura 32.

FIGURA 32 – Materiais utilizados para fabricação das amostras.



3.2 MÉTODOS

A qualificação do papelão ondulado é realizada comumente por meio de diferentes ensaios (item 2.9 da revisão da literatura). No entanto, o ensaio de absorção de água não pode ser realizado em função da espessura do papelão. O material foi submetido à caracterização química/física e mecânica, seguindo as normas e em conformidade com as orientações de cada laboratório.

3.2.1 Caracterização físico-química

O papelão foi caracterizado morfológicamente por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e sua composição foi avaliada por EDS (*energy dispersive spectroscopy*). Para confirmar os resultados obtidos por EDS, o papelão foi calcinado a 600°C, com o intuito de separar os óxidos que foram adicionados ao material para dar resistência. O resíduo resultante, na forma de partículas, que corresponderia à carga, foi analisado por difração de raios X. Também foram realizados ensaios para determinação da massa específica e da gramatura.

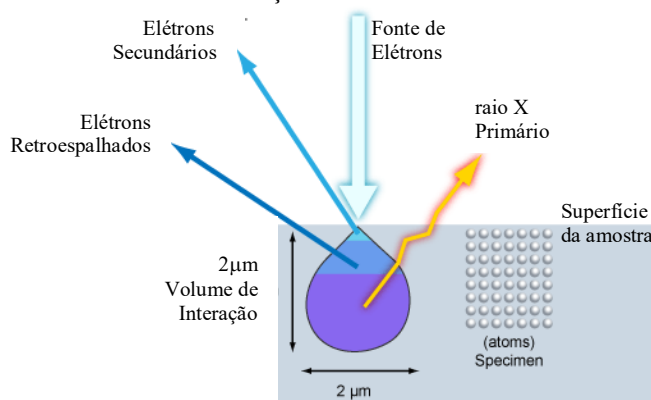
3.2.1.1 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) é uma técnica de ensaio utilizada para o estudo morfológico de materiais e fornece imagens obtidas por elétrons secundários (imagens topográficas) e pelos elétrons retroespalhados, que fornecem um contraste, devido à composição do material. Outra característica importante do MEV é a aparência tridimensional da imagem das amostras, resultado direto da grande profundidade de campo. Permite, também, o exame em pequenos aumentos e com grande profundidade de foco, o que é extremamente útil, pois a imagem eletrônica complementa a informação dada pela imagem óptica (DEDAVID, 2007). As amostras foram caracterizadas utilizando microscópio eletrônico de varredura, composto de um sistema contendo uma coluna ótico-eletrônica (canhão de elétrons e sistema de redução do diâmetro do feixe eletrônico), unidade de varredura, câmara da amostra, sistema de detectores e de visualização da imagem. As medições foram realizadas em equipamento Dual-FIB Quanta 3D - marca FEI. As amostras foram cortadas e colocadas nos *stubs*, coladas com fita dupla-face de carbono.

3.2.1.2 Microanálise por sonda EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*).

A análise qualitativa dos componentes presentes nas micropartículas do papelão foi realizada no MEV acoplado com uma sonda EDS, a partir de um bombardeamento de elétrons, onde são gerados produtos oriundos de diversos tipos de interações que ocorrem na superfície da amostra, tais como elétrons secundários, elétrons retroespalhados, raios X primários, dentre outros. A Figura 33 mostra o processo de interação possível durante a incidência de um feixe de elétrons em uma amostra.

FIGURA 33 – Processo de interação durante a incidência de um feixe de elétrons.



Fonte: <http://li155-94.members.linode.com/myscope/>

Os raios X gerados na superfície da amostra, característicos dos elementos que compõem o material estudado, podem ser identificados pelo comprimento de onda (ou energia do fóton) e intensidade das linhas em um espectro. Tanto os elementos presentes na amostra podem ser identificados, como suas concentrações estimadas. O uso de um feixe de elétrons finamente focado permite selecionar uma área muito pequena a ser analisada. Na análise semi-quantitativa, as intensidades das linhas de raios X da espécie estudada são comparadas com padrões de composição conhecida. A microanálise do papelão foi realizada por um detector EDS-Brucker, acoplado ao microscópio eletrônico de varredura.

3.2.1.3 Difração de raios X

Foi realizada a difração de raios X do papelão calcinado a 600°C por duas horas, para determinação das fases contidas no resíduo. Utilizou-se, para tanto, um difratômetro RIGAKU, modelo Geigerflex-3034, com tubo de cobre, tensão de 40Kv, corrente de 30mA, constante de tempo igual a 1s e velocidade do goniômetro de 80 2 θ /mi.

3.2.1.4 Massa específica aparente

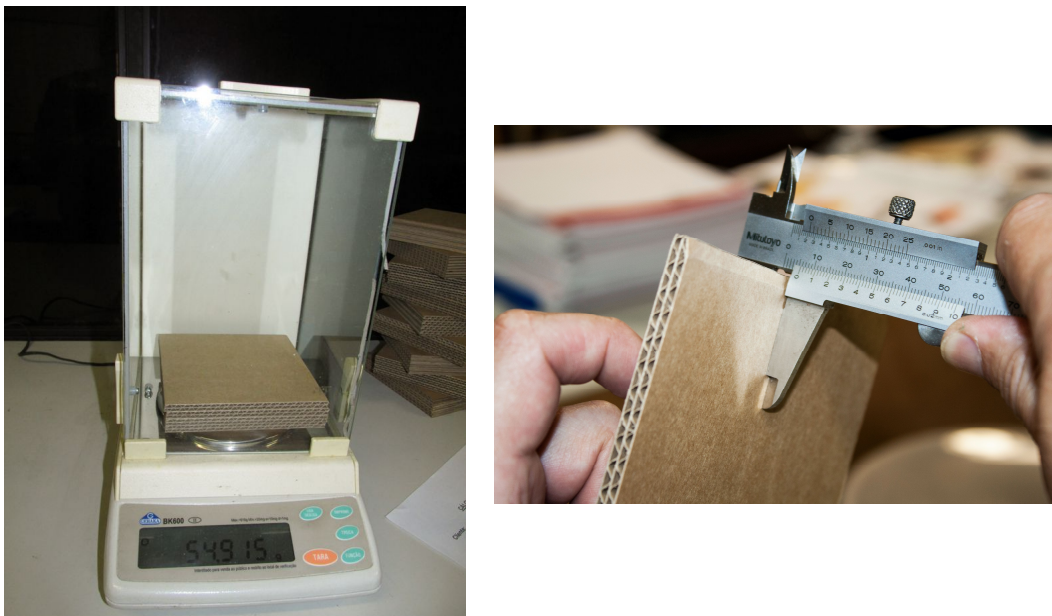
A densidade aparente (ρ_{ap}) de um material é assim denominada, por incluir no seu cálculo os espaços preenchidos por ar. É comumente utilizada para caracterizar materiais como a madeira, cuja massa específica é função das dimensões das células, espessura e composição química da parede celular e percentuais de ocupação dos variados tipos de células (Mendes et al., 2004). No caso do papelão ondulado, a presença de vazios, a variação do grau de ligação das fibras, a presença de materiais não fibrosos que preenchem os espaços vazios do papel e a calandragem justificam a determinação da massa específica aparente, no lugar da massa específica, quando se deseja avaliar as propriedades mecânicas. Assim, determinou-se a massa específica do papelão ondulado considerando-se a massa (m) de uma amostra de papelão de volume (V) conhecido, conforme Equação 1.

$$\rho_{ap} = m/V \quad (1)$$

Foram utilizadas 4 amostras de 50 x 50 x 5,9 mm. As massas foram determinadas em uma balança digital marca Gehaka modelo BK600, com um sistema de autocalibração via *firmware*, que garante a precisão da pesagem. As dimensões da amostra foram aferidas com

um paquímetro Universal de graduação 0,02mm x .001”, capacidade 150 mm/ 6”, precisão de $\pm 0,3\text{mm}$, marca Mitutoyo(Figura 34).

FIGURA 34 – Balança e paquímetro.



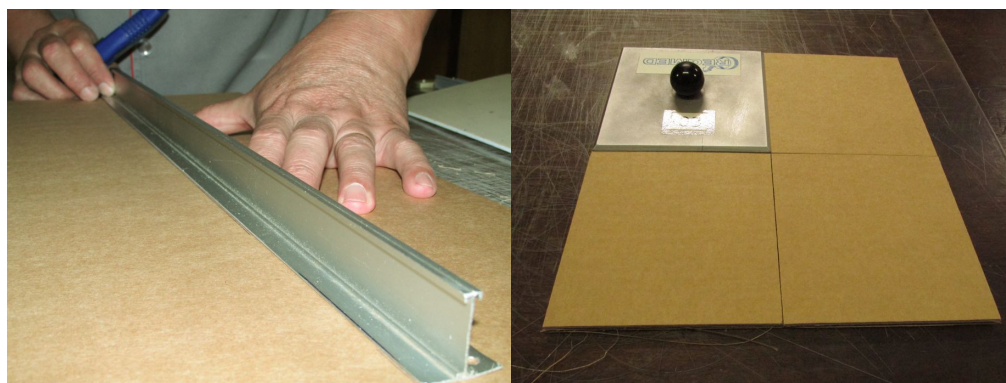
3.2.2.2 Ensaio de determinação da gramatura

O peso do papel influencia os custos produtivos e a comercialização, que normalmente é realizada com base no peso do papel. Assim, o ensaio de determinação da gramatura é empregado para qualificação do papel/papelão (PEREIRA, 2013). A gramatura, também, afeta particularmente as propriedades mecânicas e ópticas dos materiais, incluindo o papelão (ASHBY, 2005).

3.2.1.5 Determinação da gramatura

A determinação da gramatura do papelão ondulado foi realizada utilizando-se as normas NBR NM ISO 536/2000 e NBR ISO 3034/2012, que determina a espessura do papelão ondulado. Para os testes foram selecionadas placas de papelão com 5,90 mm de espessura, livres de áreas com sujidade, esmagamento ou deformação. As placas foram alinhadas com um instrumento balizador, para que fosse realizado o corte (Figura 35a). O corte seguiu a orientação da linha de cola presente na parte ondulada do papelão. Foram preparadas 20 amostras com medidas de 250 mm x 250 mm, utilizando-se um gabarito calibrado da Regmed BK600, segundo especificação técnica, com as mesmas dimensões das amostras (Figura 35b).

FIGURA 35 – Preparação das amostras para os ensaios de gramatura.



(a) Alinhamento do papelão.

(b) Gabarito calibrado.

Para a pesagem dos corpos de prova utilizou-se a mesma balança empregada na determinação da massa específica (Figura 33). Foram realizadas pesagens individuais em cada um dos 20 corpos de prova. Segundo Symposium, 1992 e Jönson, 1999, os ensaios realizados em condições padronizadas de temperatura e umidade relativas, muitas vezes não são adequados para avaliar o real desempenho do papelão ondulado, em função das mudanças climáticas as quais ele é naturalmente submetido. Nesse estudo os ensaios foram realizados em laboratório credenciado, com temperatura de 22°C e umidade relativa do ar 60,4%. A gramatura do papelão (G) foi calculada utilizando-se a Fórmula 1:

$$G = e \cdot \rho \quad (1)$$

onde, e é a espessura e ρ é a densidade. Foram realizadas 20 determinações.

3.2.2 Caracterização mecânica

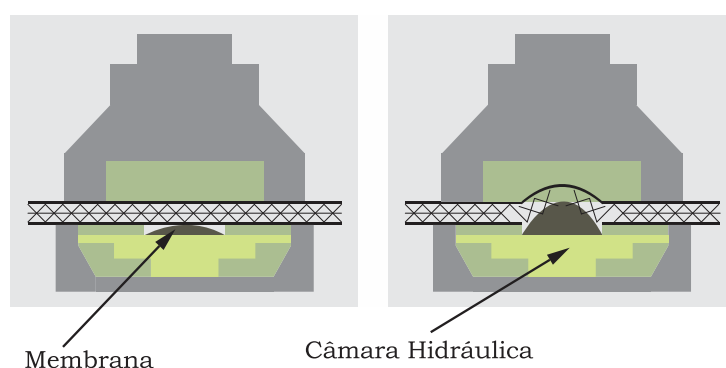
Para caracterização mecânica do papelão, foram realizados os ensaios de resistência ao estouro, determinação da resistência à compressão de coluna e resistência à compressão de corpos de prova, fabricados com base na direção da onda.

3.2.2.1 Ensaio de resistência ao estouro ou ao arrebatamento

A resistência ao estouro ou ao arrebatamento está diretamente relacionada ao refinamento das fibras, aditivos utilizados, variações na gramatura/espessura, conforme relatado por Samistraro, *at al*, (2009). O ensaio de resistência ao estouro ou ao arrebatamento é definido como a pressão necessária para produzir o arrebatamento do material ao se aplicar uma pressão uniformemente crescente, transmitida por um diafragma elástico de área circular, igual 962 mm². Para tal o corpo de prova é fixado em uma prensa em forma de anel. Por

intermédio de um dispositivo de pressão hidráulica, uma membrana de borracha atua na superfície do papelão, até haver a ruptura do mesmo, conforme mostrado esquematicamente na Figura 36. O teste envolve a aferição das capas internas e externas do papelão, onde existem linhas de cola e o arrebentamento acontece quando o papelão é submetido à pressão crescente, dentro de uma faixa que varia de 350 KPa a 5500 KPa. Para os testes, foram utilizadas as normas NBR NM - ISO 2758 - Determinação da resistência ao arrebentamento do papel (ABNT, 2007a), e NBR NM - ISO 2759 - Determinação da resistência ao arrebentamento do cartão (ABNT, 2007b). O ensaio foi realizado em laboratório credenciado, onde a temperatura ambiente foi controlada em 21,4°C e a umidade relativa do ar em 66,4%.

FIGURA 36 – Resistência ao estouro/arrebentamento.



Utilizou-se o mesmo procedimento de corte e preparo do ensaio anterior. Para aferir a resistência ao estouro da capa interna, foram preparadas 10 amostras medindo 250 mm x 250 mm de papelão ondulado de 5,90 mm de espessura e 10 amostras para a capa externa. O aparelho utilizado foi o Mullentester MTA-2000, da Regmed (Figura 37).

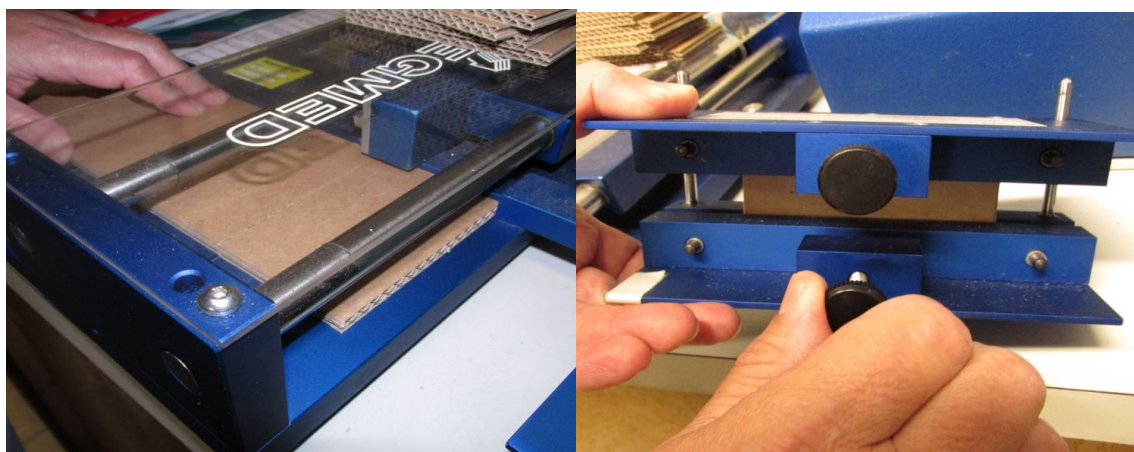
FIGURA 37 – Equipamento de aferição da resistência ao estouro/arrebentamento.



3.2.2.2 Determinação da resistência à compressão de coluna

A resistência de coluna é considerada a melhor referência para “qualificar” a chapa de papelão ondulado (PEREIRA, 2012). Com base nesta propriedade, pode-se avaliar o desempenho das caixas durante o seu uso normal, isto é, desde o momento do posicionamento do conteúdo até a entrega do produto ao seu consumidor final. A embalagem apresenta sua maior resistência nas chamadas colunas ou aresta, que são responsáveis por 2/3 de sua capacidade de suportar cargas de empilhamento (ABPO, 2015). Um relacionamento entre as características de resistência ao estouro e compressão de coluna (a primeira referente à aferição das capas internas/externas, e a segunda, à chapa de papelão ondulado) é importante para avaliar, com certo grau de confiabilidade, a resistência em serviço da chapa de papelão ondulado. Os procedimentos experimentais seguiram a NBR 6737 (ABNT, 2009) e o resultado foi expresso em kgf/cm ou KN/m. Para os ensaios foram fabricados 10 corpos de prova, de dimensões de 100 x 63 mm, recortados em uma guilhotina pneumática marca Regmed - CAP-21 (Figura 38a). Utilizou-se um dispositivo CT-CC, para manter os corpos de prova na vertical, durante a aplicação da força (Figura 38b).

FIGURA 38 – Equipamentos para determinação da resistência compressão de coluna.



(a) Guilhotina de corte.

(b) Dispositivo CT-CC.

Para o ensaio, a temperatura ambiente do laboratório foi controlada em 21,6° C e a umidade relativa do ar em 64,5%. O teste foi realizado diretamente na chapa de papelão ondulado e em seus componentes (miolos e capas), unidos por cola. O cálculo foi realizado a partir da compressão exercida sobre cada corpo de prova, posicionado em uma prensa de laboratório tipo Crush Tester CT-1000, marca Regmed (Figura 39), aplicando-se uma força perpendicular à peça. As amostras foram posicionadas de tal forma que a onda do papelão ficasse

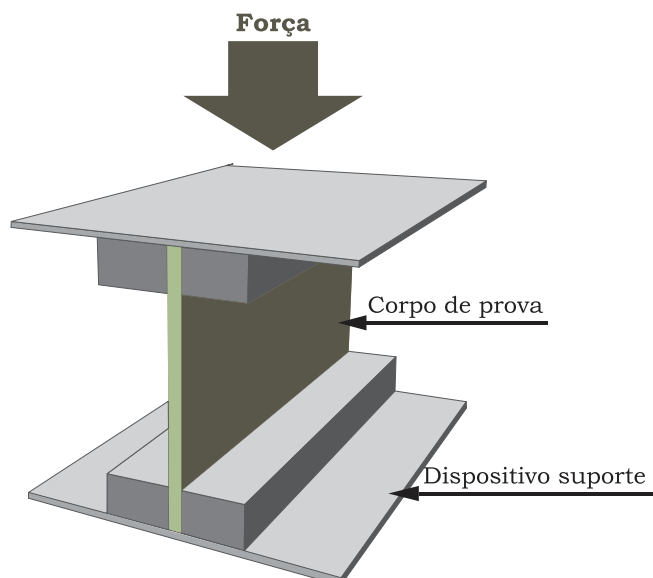
perpendicular à superfície da placa compressora, e foram submetidos a uma força de compressão, até que o material entrasse em colapso (PEREIRA, 2011).

FIGURA 39 – Equipamento Crush Tester



A força máxima suportada pelo corpo de prova de papelão ondulado foi aferida, mantendo-se a amostra fixada no suporte e posicionada entre as placas do aparelho de compressão, conforme mostrado esquematicamente na (Figura 40).

FIGURA 40 – Teste de determinação da resistência à compressão de coluna.



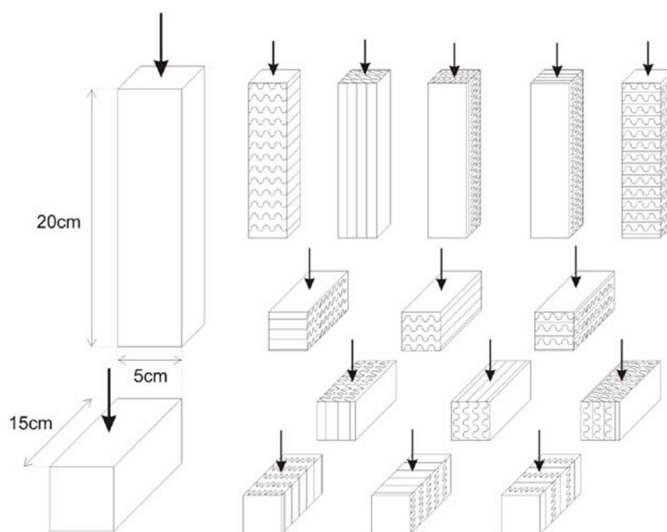
3.2.2.3 Determinação da resistência à compressão perpendicular e paralela

O objetivo da determinação da resistência à compressão perpendicular e paralela foi de se avaliar de forma mais geral o desempenho do papelão ondulado, frente a esforços de

compressão, e em situações em que são utilizadas diferentes chapas coladas. Retomou-se os ideais de Frank Gehry que, nos anos de 1969/1973, criou uma linha de mobiliário a partir do papelão ondulado.

Foram realizados ensaio de compressão, variando-se a posição das ondas em relação à aplicação de força perpendicular e paralela, em corpos de prova com diferentes montagens e duas geometrias. Uma vez que não foram encontradas normas para esse tipo de ensaio, em papelão ondulado, a determinação da resistência à compressão foi realizada com base nos estudos de Lago e colaboradores, realizados em 2009, e na norma para ensaios da madeira maciça NBR 7190 (ABNT, 1997). A autora construiu corpos de prova montados conforme geometria sugerida pela norma para madeira maciça, porém seguindo diferentes sentidos da onda para colagem do papelão. Em seguida submeteu-se os corpos de prova a testes de resistência a compressão perpendicular e paralela. A variação da direção das ondas é mostrada no esquema da Figura 41.

FIGURA 41 – Configuração estrutural dos corpos de prova de papelão ondulado.



Fonte: LAGO *et al.*, (2009).

Neste estudo, a estratégia teve a finalidade de investigar a melhor forma de uso do material, a partir da determinação de sua resistência. Foram confeccionados corpos de prova com 14 configurações estruturais distintas (variou-se o comprimento do CP e manteve-se as outras 2 dimensões), sendo 2 amostras para cada configuração. Para a realização do ensaio de resistência à compressão paralela, foram confeccionados 10 CPs, medindo 20 x 5 x 5 cm e 18, medindo 15 x 5 x 5 cm, para ensaio de resistência à compressão perpendicular, num total de 28 amostras. O primeiro ensaio determina o módulo de elasticidade, e o segundo, a resistência

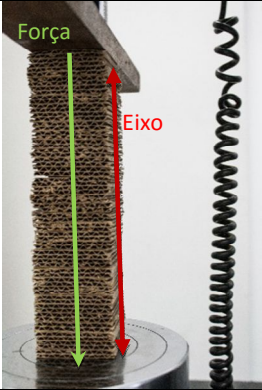
máxima à compressão. Para construção dos corpos de prova, as placas de papelão ondulado foram cortadas com o auxílio de um estilete, e posteriormente as partes foram unidas com um adesivo à base de PVA (Cola Branca Cascorez Extra), conforme mostrado na Figura 42.

FIGURA 42 – Preparação dos corpos de prova



A descrição da montagem dos corpos de prova e sentido da força exercida durante o ensaio são mostrados nas Tabelas 5 e 6.

TABELA 5 - Corpos de prova (força perpendicular).

Corpo de prova	Sentido da força perpendicular ao eixo longitudinal da amostra	Montagem do corpo de prova
CP-1		As placas foram cortadas no tamanho de 50 x 50 mm e coladas com as ondas paralelas entre si, até atingir a altura de 200 mm. A força de compressão foi exercida na crista das ondas.
CP-2		As placas foram cortadas no tamanho de 50 x 200 mm e coladas com as ondas no mesmo sentido paralelas, até atingir a largura de 50 mm. A força de compressão foi exercida no topo da onda.

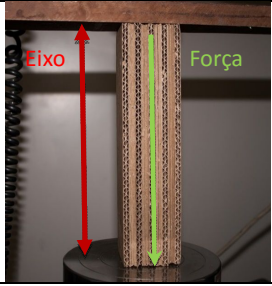
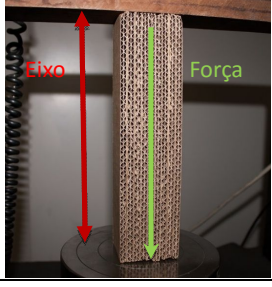
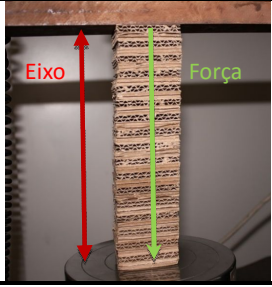
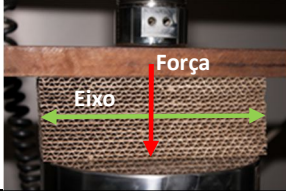
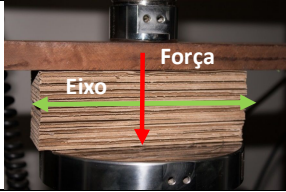
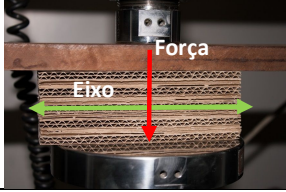
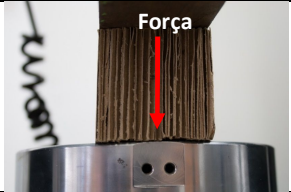
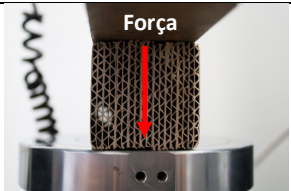
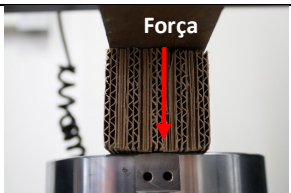
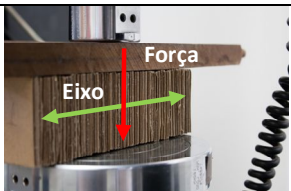
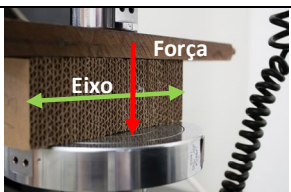
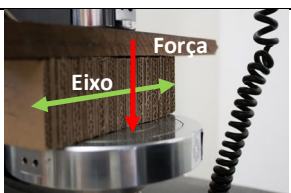
CP-3		As placas foram cortadas no tamanho de 50 x 200 mm e coladas com as ondas no sentido inverso cruzado da onda, até atingir a largura de 50 mm. A força de compressão foi exercida na lateral e no topo da onda.
CP-4		As placas foram cortadas no tamanho de 50 x 200 mm e coladas com as ondas paralelas, até atingir a largura de 50 mm. A força de compressão foi exercida na lateral da onda.
CP-5		As placas foram cortadas no tamanho de 50 x 50 mm e coladas com as ondas no sentido inverso cruzadas entre si, até atingir a altura de 200 mm. A força de compressão foi exercida na crista das ondas.

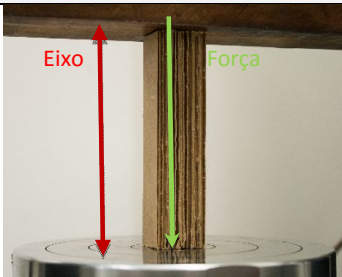
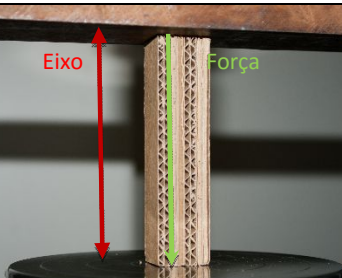
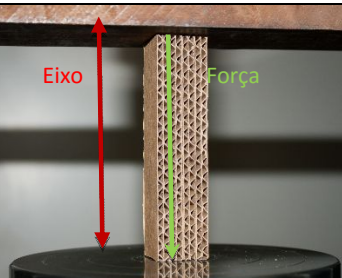
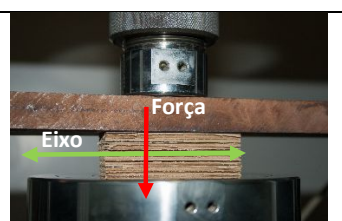
TABELA 6 - Corpos de prova (força paralela)

Corpo de prova	Sentido da força perpendicular ao eixo transversal da amostra	Montagem do corpo de prova
CP-6		As placas foram cortadas no tamanho de 150 x 50 mm e coladas com as ondas no mesmo sentido paralelas, até atingir a altura de 50 mm. O sentido da onda seguiu a menor dimensão (50 mm). A força de compressão foi exercida na crista das ondas.
CP-7		As placas foram cortadas no tamanho de 50 x 150 mm e coladas com as ondas no mesmo sentido paralelas, até atingir a altura de 50 mm. O sentido da onda seguiu a maior dimensão (150 mm) e a força foi exercida na crista das ondas.
CP-8		As placas foram cortadas no tamanho de 50 x 150 mm e coladas com as ondas no sentido inverso cruzado, até atingirem a altura de 50 mm. O sentido da onda seguiu a maior e menor dimensão e a força foi exercida na crista das ondas.

CP-9		As placas foram cortadas no tamanho de 50 x 150 mm e coladas com as ondas no mesmo sentido paralelas, até atingir a largura de 50 mm. O sentido da onda seguiu a menor dimensão e a força foi exercida no topo das ondas.
CP-10		As placas foram cortadas no tamanho de 50 x 150 mm e coladas com as ondas no mesmo sentido paralelas, até atingir a largura de 50 mm. O sentido da onda seguiu a maior dimensão e a força foi exercida na lateral das ondas.
CP-11		As placas foram cortadas no tamanho de 50 x 150 mm e coladas com as ondas no sentido inverso cruzado, até atingir a largura de 50 mm. O sentido da onda seguiu a maior e menor dimensão e a força foi exercida na lateral e no topo das ondas cruzadas.
CP-12		As placas foram cortadas no tamanho de 50 x 50 mm e coladas com as ondas no mesmo sentido paralelas, até atingir a largura de 150 mm. A força de compressão foi exercida no topo das ondas.
CP-13		As placas foram cortadas no tamanho de 50 x 50 mm e coladas com as ondas no mesmo sentido paralelas, até atingir a largura de 150 mm. A força de compressão foi exercida na lateral das ondas.
CP-14		As placas foram cortadas no tamanho de 50 x 50 mm e coladas com as ondas no sentido inverso cruzado, até atingir a largura de 150 mm. A força de compressão foi exercida na lateral e no topo das ondas cruzadas.

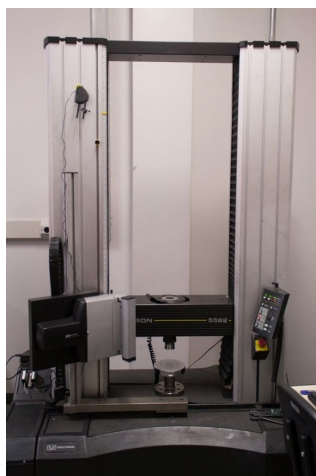
Com base nos resultados obtidos nos primeiros ensaios, foram selecionadas as 4 montagens que suportaram maior carga (acima de 100 N/m^2), quais sejam, CPs 2, 3, 4 e 7. Com estas montagens foram confeccionados novos corpos de prova com 50% de redução em relação às medidas originais. Foram fabricadas 3 amostras para cada situação, totalizando 12 novos corpos de provas, sendo 9 CPs medindo $10 \times 2,5 \times 2,5 \text{ cm}$, para ensaio de resistência à compressão paralela - Cp 2R, 3R e 4R (correspondente aos CPs 2, 3 e 4) e, para o ensaio de compressão perpendicular 3 CPs medindo $7,5 \times 2,5 \times 2,5 \text{ cm}$ - Cp 7R (relativo ao CP 7). A descrição da montagem dos corpos de prova e sentido da força exercida durante o ensaio é mostrada na Tabela 7.

TABELA 7 - Corpos de prova com redução de 50%(força perpendicular e paralela)

Corpo de prova	Sentido da força Perpendicular ao eixo longitudinal da amostra	Montagem do corpo de prova
CP-2R		Do CP original (200 x 50 x 50 mm) reduziu-se 50% das medidas. As placas foram cortadas com 100 x 25 x 25 mm e coladas paralelas com as ondas no mesmo sentido. A força de compressão foi perpendicular no topo da onda.
CP-3R		Do CP original (200 x 50 x 50 mm) reduziu-se 50% das medidas. As placas foram cortadas com 100 x 25 x 25 mm e coladas com as ondas no sentido inverso cruzado da onda. A força de compressão foi perpendicular e exercida na lateral e no topo da onda.
CP-4R		Do CP original (200 x 50 x 50 mm) reduziu-se 50% das medidas. As placas foram cortadas com 100 x 25 x 25 mm e coladas com as ondas paralelas. A força de compressão foi perpendicular e exercida na lateral da onda.
CP-7R		Do CP original (150 x 50 x 50 mm) reduziu-se 50% das medidas. As placas foram cortadas com 75 x 25 x 25 mm e coladas paralelas com as ondas no mesmo sentido. O sentido da onda seguiu a maior dimensão (75 mm) e a força foi paralela exercida na crista das ondas.

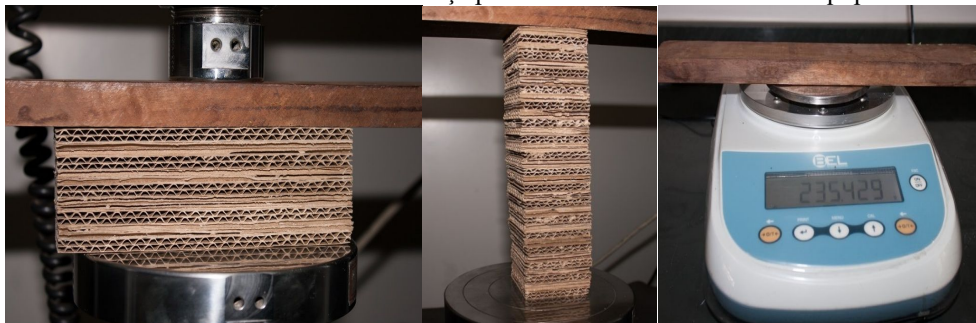
O aparelho utilizado na execução dos ensaios foi uma máquina de ensaios universais, Instron 5582, com capacidade de 100 Kn (Figura 43). A taxa de compressão utilizada foi de 0,7 Kn/min, para aplicação da carga foi determinado que os corpos de prova seriam comprimidos até atingirem uma taxa de deformação de aproximadamente 5mm.

FIGURA 43 – Máquina de Ensaios Universais.



Para estabilizar o corpo de prova no equipamento e garantir a equivalência das medidas utilizou-se uma base de madeira maciça com dimensões compatíveis com o corpo de prova, conforme mostrado na Figura 44. A placa foi pesada e adaptada ao equipamento e seu peso foi desprezado na execução dos ensaios.

FIGURA 44 – Placa de madeira maciça para estabilizar as amostras no equipamento.



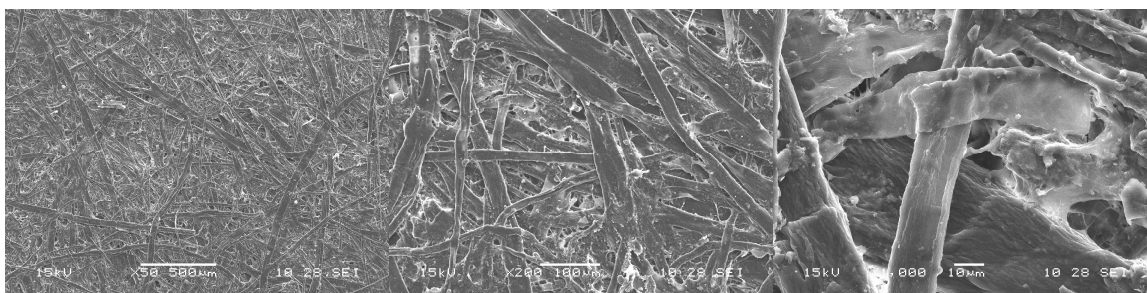
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados são apresentados em consonância com os métodos adotados nesta pesquisa, ou seja, com a caracterização físico-química.

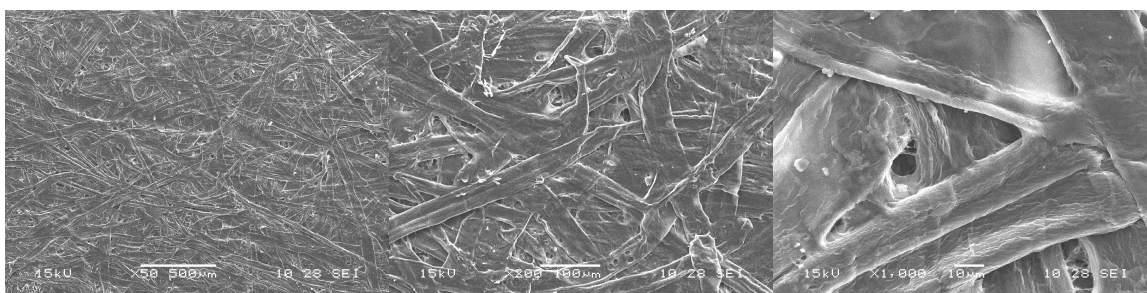
4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO/QUÍMICA

As imagens obtidas por MEV em 3 regiões distintas (superfície externa, interna e parte ondulada) do papelão são apresentadas na Figura 45, com ampliações de 50, 200 e 1.000 X. Em todas elas se observa a presença de fibras entrelaçadas com comprimentos diversos e variações na espessura da parede das mesmas.

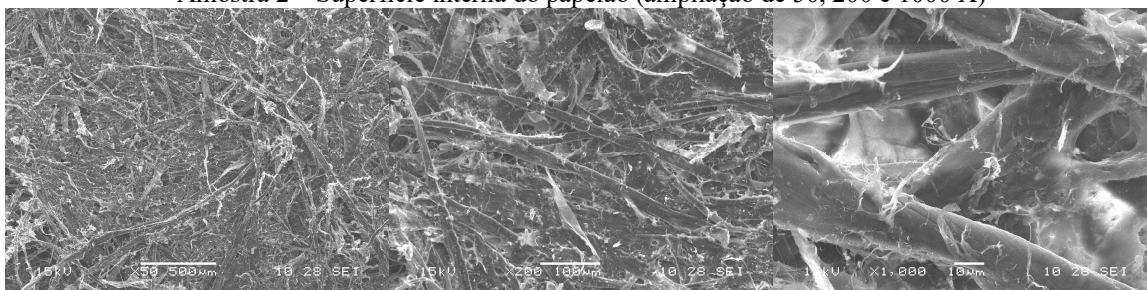
FIGURA 45 – Microscopia Eletrônica de Varredura MEV do papelão



Amostra 1 – Superfície externa do papelão (ampliação de 50, 200 e 1000 X)



Amostra 2 – Superfície interna do papelão (ampliação de 50, 200 e 1000 X)

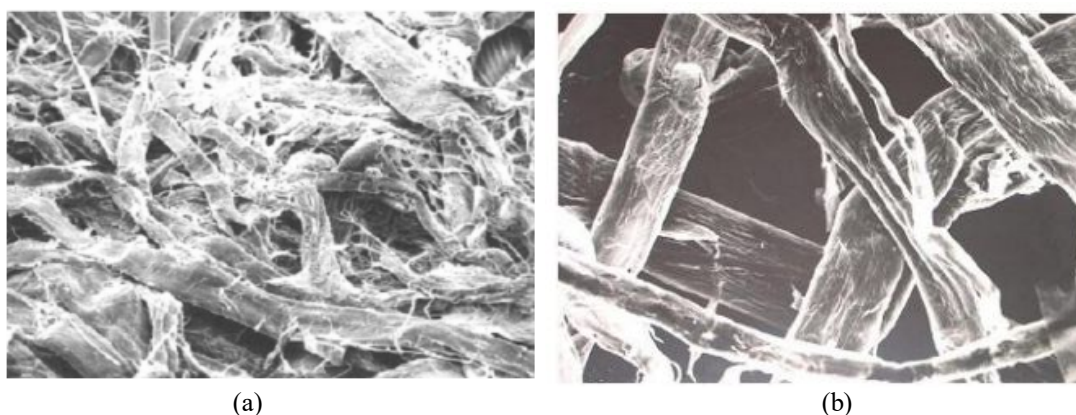


Amostra 3 – Parte ondulada do papelão (ampliação de 50, 200 e 1000 X)

A morfologia e integridade das fibras do papelão depende dos processos a que foram submetidos durante seu processamento (bombeamento, mistura dinâmica, prensagem, refinação, etc.), o que influencia na sua qualidade. Assim, foi feita uma análise de caráter

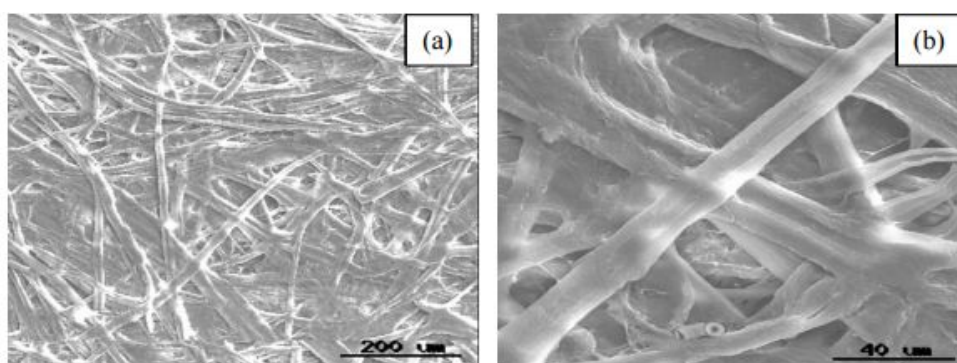
exploratório, do material em estudo, comparativamente com as imagens de MEV apresentadas na literatura. Segundo o relatório de Foekel (2009), para a Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel – ABTCP, as morfologias de fibras apresentadas nas imagens da Figura 46 (a) e (b) correspondem a um material com boas propriedades papeladeiras, visto que as fibras de celulose apresentam comprimentos e espessuras distintas de paredes. Isso favorece a ligação entre as fibras de celulose, seu entrelaçamento de forma uniforme, o que permite a interligação das fibras. No estudo o autor não especifica a ampliação das imagens.

FIGURA 46 – Microscopia Eletrônica de Varredura MEV do papelão (Foekel, 2009).



No estudo desenvolvido por Andrade em 2011, a Figura 47 mostra a microestrutura (MEV) do papelão utilizado para recobrimento de quitosana. Foi observada uma malha de fibras com alto relevo e grande porosidade, e percebe-se perfeitamente o emaranhado das fibras com seus vazios definidos. O autor informa uma ampliação 100 X, (a) e de 500 X, (b).

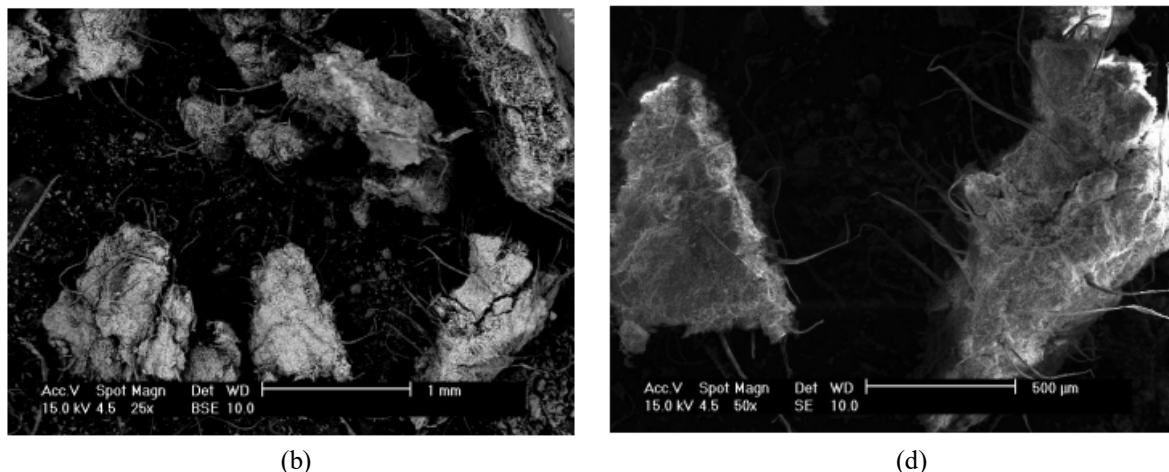
FIGURA 47 – Microscopia Eletrônica de Varredura MEV do papelão (Andrade, 2011).



Segundo estudo desenvolvido por Cavalca, em 2010, a morfologia das fibras apresentadas nas Figura 48 (com ampliação de 25 e 50 vezes), correspondem a um material com pouca

quantidade de fibras e sem entrelaçamento, sendo sua qualidade insuficiente para retornar ao processo produtivo.

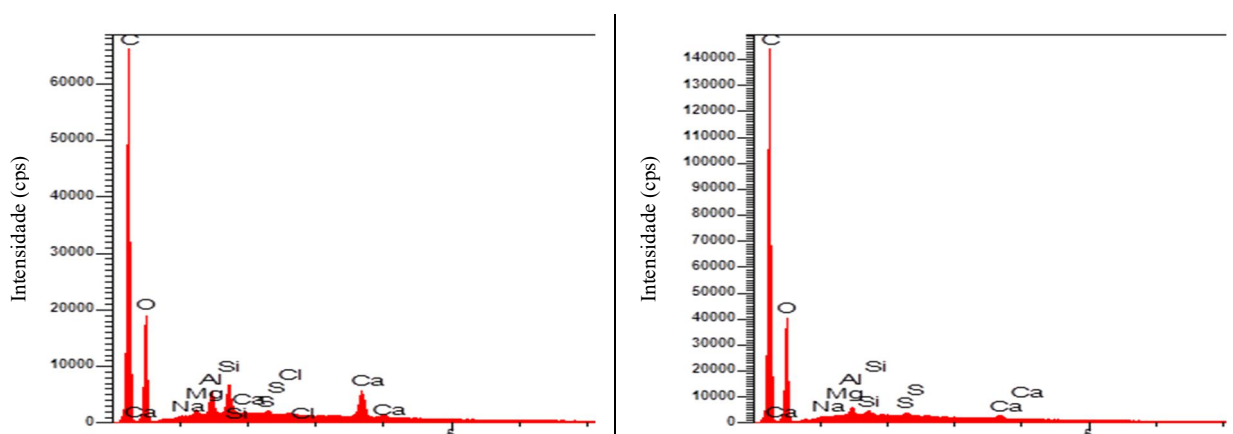
FIGURA 48 – Microscopia Eletrônica de Varredura MEV do papelão (Cavalca, 2010).



A análise comparativa das figuras indica que o papelão aqui estudado apresenta fibras similares às descritas por Foekel, (2009) e microestrutura substancialmente diferente da descrita por Cavalca (2010). Isto indicaria que o papelão analisado é de qualidade, no que diz respeito à morfologia e distribuição das fibras.

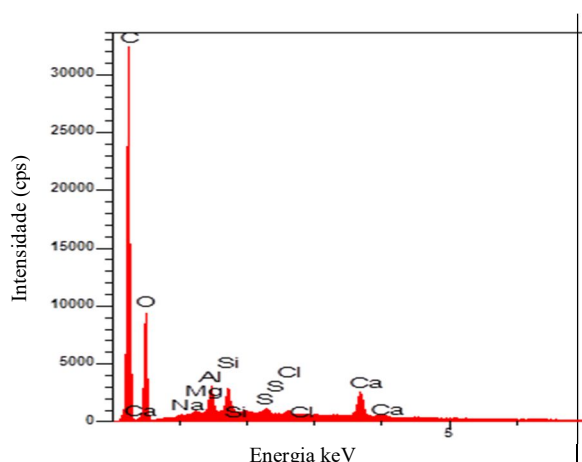
As análises realizadas por EDS possibilitaram identificar os elementos químicos presentes no papelão (celulose + carga). Nos espectros das três amostras apresentadas na Figura 49 percebe-se uma semelhança nos resultados, sendo possível identificar, de forma qualitativa, cada sinal na forma de pico com intensidades variadas. A partir dos picos de maior intensidade, e com o auxílio de uma “Tabela representativa das energias características dos elementos da tabela periódica” (apêndices), é possível identificar as energias características para cada elemento.

FIGURA 49 –Espectro *Energy Dispersive Spectroscopy* –EDS (Amostra 1,2 e 3).



Energia keV

Energia keV



Normalmente, os elementos em maior quantidade na amostra são identificados com facilidade na análise qualitativa, mas, quando estão em pequenas quantidades ou apenas traços, podem ocorrer erros de interpretação. Na análise por EDS, considera-se que acima de 10% em peso um elemento esteja presente em grande quantidade, entre 1 e 10%, em pequena quantidade e menor que 1%, apenas traços. Como os picos de interesse para análise da amostra podem estar sobrepostos com a radiação de fundo, o que limita a detecção de elementos vestigiais na análise qualitativa, foi feita uma análise semi-quantitativa, para uma completa identificação e caracterização da amostra. No espectro, o elemento carbono foi desconsiderado dos cálculos. Isso porque a amostra foi depositada em uma fita de carbono para ser analisada. Dessa forma, os elementos presentes no papelão seriam: Ca, Al e Si.

Para refinar os resultados acima obtidos, foi realizada a difração de raio X em amostras de papelão calcinadas a 600°C (Figura 50). A análise do material residual permitiu estimar o percentual de carga (aditivos) utilizada para dar resistência às fibras de celulose de 5,5%. A análise do difratograma mostra picos característicos de uma argila contendo Alumina, Sílica e Óxido de Cálcio, como principais componentes, o que sugere que a carga é formada por uma rocha sedimentar ou produto similar, que contém CaO , Al_2O_3 , SiO_2 , MgO , Na_2O , além de traços de TiO_2 , P_2O_5 e Fe_2O_3 . As amostras apresentam também pequenas quantidades de enxofre e cloro. Salienta-se que nesta análise pode ocorrer um erro em torno de até 10%. A identificação dessas fases por difração de raios X, juntamente com a análise por EDS, norteou a análise química do papelão, apresentada na Tabela 8.

FIGURA 50 – Difração de raios X do pó.

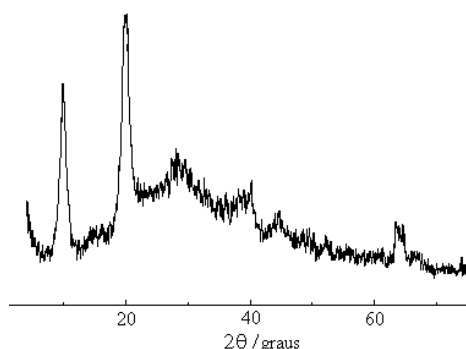


TABELA 8 – Elementos químicos encontrados na carga do papelão.

Elemento químico	Porcentual em peso (%)
O	67,1
Ca	8,6
Al	8,3
Si	6,4
Na	2,8
Mg	2,4
S	1,5
P	<1
Cl	<1
Ti	<1
Fe	<1

Os dados para cálculo da massa específica aparente são apresentados na Tabela 9. A média foi de $152,5 \text{ kg/m}^3$, com desvio padrão de 1,4. De acordo com Hamada (2003) a massa específica do papelão varia de 42 a 80 kg/m^3 . Considerando que o papelão analisado é de parede dupla, é de se esperar que sua massa específica seja maior.

TABELA 9 - Massa específica aparente do papelão

Corpo de prova	Massa (kg)	Volume (m^3)	Massa específica (kg/m^3)
1	$2,246 \times 10^{-3}$	$14,6 \times 10^{-6}$	153,8
2	$2,209 \times 10^{-3}$	$14,6 \times 10^{-6}$	151,3
3	$2,228 \times 10^{-3}$	$14,6 \times 10^{-6}$	152,6
4	$2,220 \times 10^{-3}$	$14,6 \times 10^{-6}$	152,1

A gramatura média do papelão ondulado estudado, calculada pela média aritmética dos ensaios realizados em 20 corpos de prova, foi de 877 g/m^2 , com um desvio padrão de 3,42, conforme laudo do Apêndice I. De acordo com Associação Brasileira do Papelão Ondulado – ABPO, um papelão ondulado de paredes simples fabricado com onda tipo C apresenta gramatura total de 592 g/m^2 (PEREIRA, 2013). A tendência mundial é a fabricação de chapas

de papelão ondulado cada vez mais leves, mantendo-se elevada resistência mecânica. Considerando que o papelão estudado apresenta parede dupla, é de supor que apresente uma gramatura maior. Deve ser observado que, nas últimas duas décadas, uma chapa de papelão (onda C) possuía uma gramatura média de 440g. Atualmente, são produzidas com uma gramatura média de 380g, sem nenhuma perda de qualidade e resistência (ONDUFLEX, 2015). Provavelmente o material que compõe o papelão analisado deve apresentar uma resistência mecânica inferior a esses papelões atuais, por isto são fabricados com gramatura maior.

4.2 CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA

Os valores médios referentes ao ensaio de resistência ao estouro ou ao arrebentamento de 20 amostras (10 para capa externa e 10 para capa interna) e os desvios padrões, são apresentados na Tabela 10 e conforme laudo apresentado no Apêndice II.

TABELA 10 - Resistência ao estouro ou ao arrebentamento.

Lado da capa	Pressão média (kPa)	Coefficiente de variação (%)	Índice de arrebentamento (kPa m ² /g)	Resistência ao estouro (kPa)	Densidade (kg/m ²)	Desvio Padrão (kPa)
Externa	1349,33	6,64	1,54	1349,33	148,64	89,61
Interna	1357,70	5,90	1,55	1357,70	148,64	80,07

O alto desvio padrão dos resultados poderia indicar uma heterogeneidade do material (ASHBY, 2005). A resistência ao estouro e o índice de arrebentamento das duas capas são similares. Não foram encontrados valores de referência para o papelão parede dupla (PEREIRA, 2012). De acordo com Associação Brasileira do Papelão Ondulado – ABPO o papelão pode apresentar resistências ao arrebentamento de 200 lb/pol², o que equivale a aproximadamente 1379 kPa. De acordo com a mesma associação é sempre sugerido aos fabricantes que levantem, eles próprios, suas fórmulas de relacionamento, com base nos elementos de controle que têm.

A resistência à compressão de coluna foi determinada a partir da média obtida de 10 corpos de prova medindo 100 x 63 mm. Os corpos de prova suportaram uma força média 1346,10 N, que corresponde a 13,46 kN/m. O desvio padrão foi 23,83 N e o coeficiente de variação de 1,77N. Percebe-se que o desvio padrão foi relativamente baixo. No relato de Pereira (2011) a resistência do papelão ondulado varia de 9,96 a 12,21 kN/m. Tal informação indica que a resistência do material analisado se encontra levemente acima do usual.

Nas Figuras 51 a 64 são apresentados os resultados dos ensaios de resistência à compressão dos corpos de prova. Optou-se por fazer o ensaio até o deslocamento de 5 mm, pois, a partir desse valor, para todas as situações, inicia-se uma deformação heterogênea no material, que se traduz por oscilações na carga aplicada. Os dados mostram, para todas as situações, que com o aumento da tensão ocorre uma maior redução de altura do corpo de prova (extensão compressiva). No entanto, essa variação não é linear. Observa-se, de modo geral, uma reprodutibilidade dos resultados (com exceção do corpo de prova 2). Percebe-se que a disposição das chapas de papelão afeta fortemente a carga suportada pelo material para uma extensão compressiva de 5 mm (varia de 50 N/m² a 1500 N/m²), assim como influencia a extensão compressiva suportada pelo material (varia de ~1 a 5 mm). As disposições das placas de papelão nas formas dos corpos de provas 2, 3, 4 e 7 suportaram maior carga (acima de 100 N/m²). Não foi possível comparar os dados obtidos com os da literatura, pois o trabalho no qual se baseou este ensaio não descreve os resultados obtidos, apenas informa que a pesquisa se encontra em andamento. Não foram encontradas novas publicações da autora que apresente os resultados finais dessa pesquisa. Contudo, ela afirma que o papelão ondulado se mostrou como um material de grande viabilidade e trabalhabilidade para ser aplicado no design de móveis (LAGO, 2009).

FIGURA 51 – Resistência à compressão de coluna CP-1.

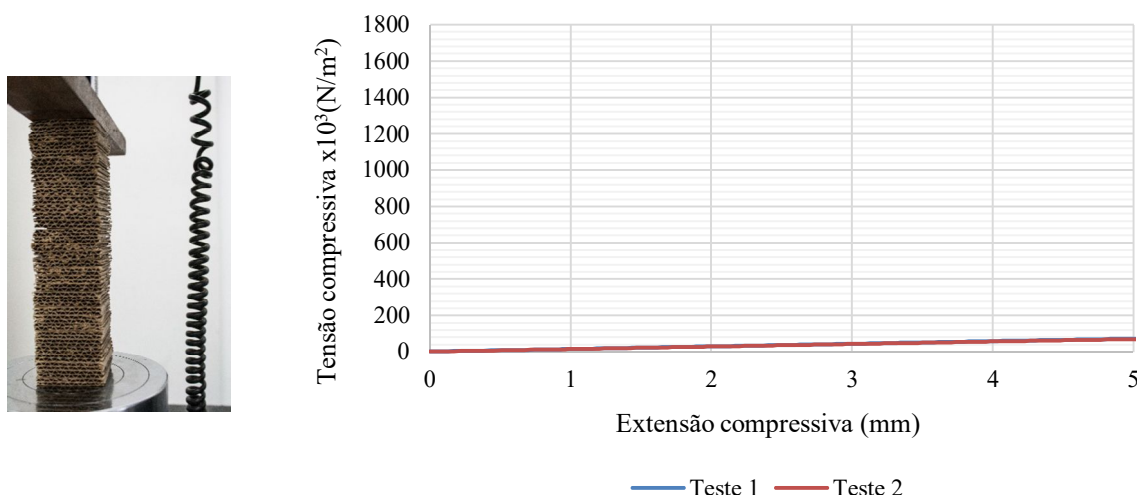


FIGURA 52 – Resistência à compressão de coluna CP-2.

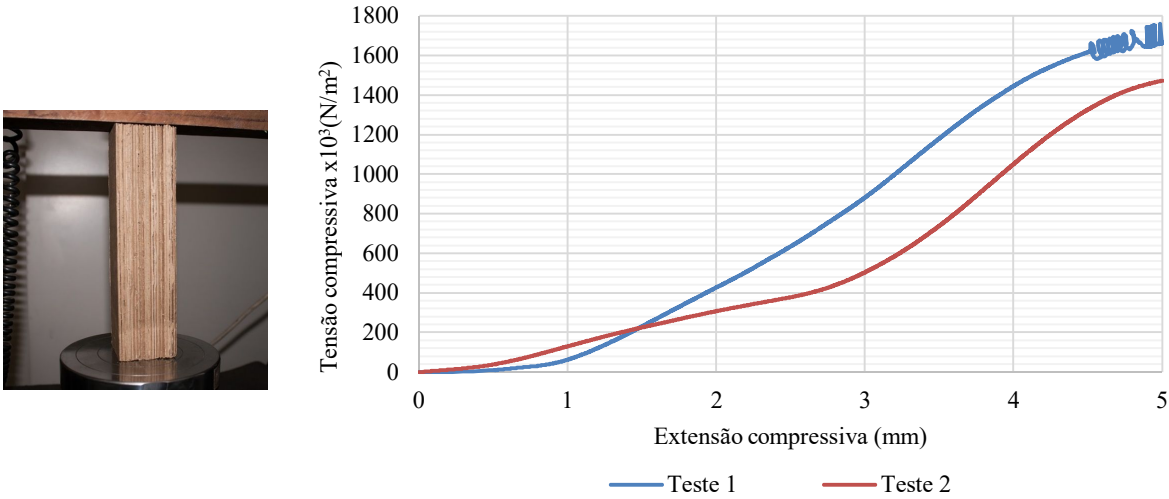


FIGURA 53 – Resistência à compressão de coluna CP-3.

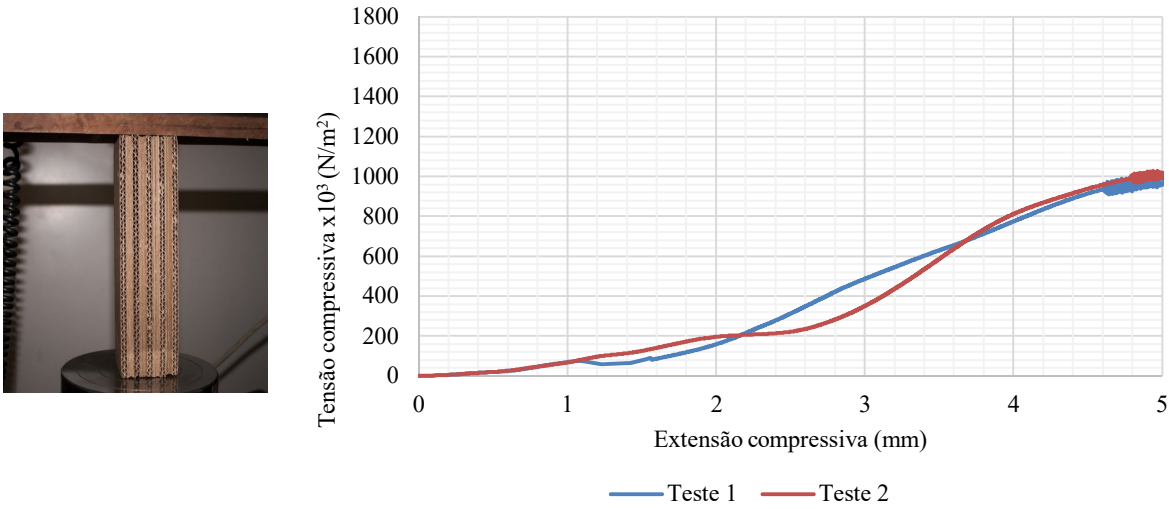


FIGURA 54 – Resistência a compressão de coluna CP-4.

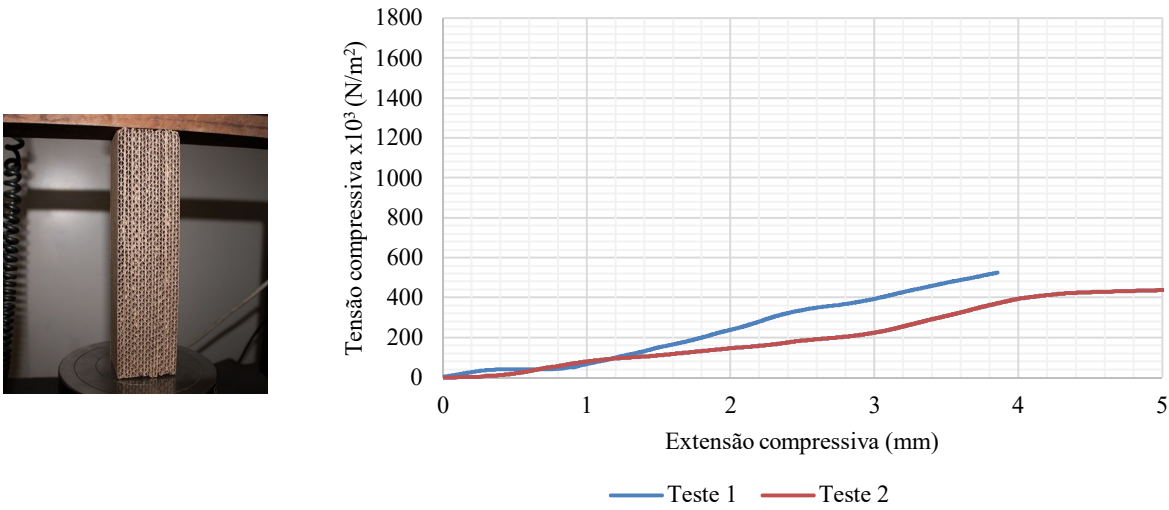


FIGURA 55 – Resistência à compressão de coluna CP-5.

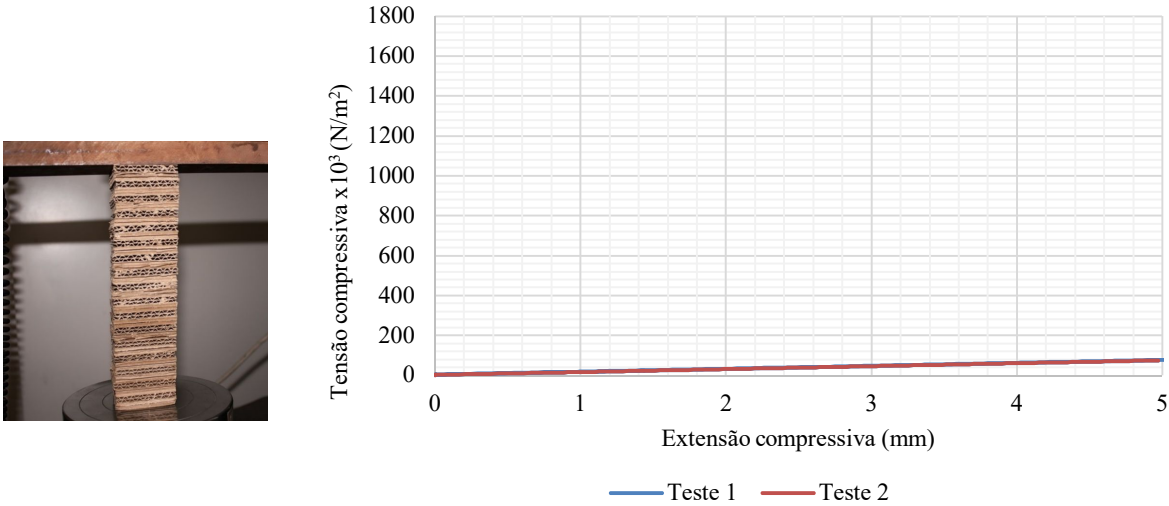


FIGURA 56 – Resistência à compressão de coluna CP-6.

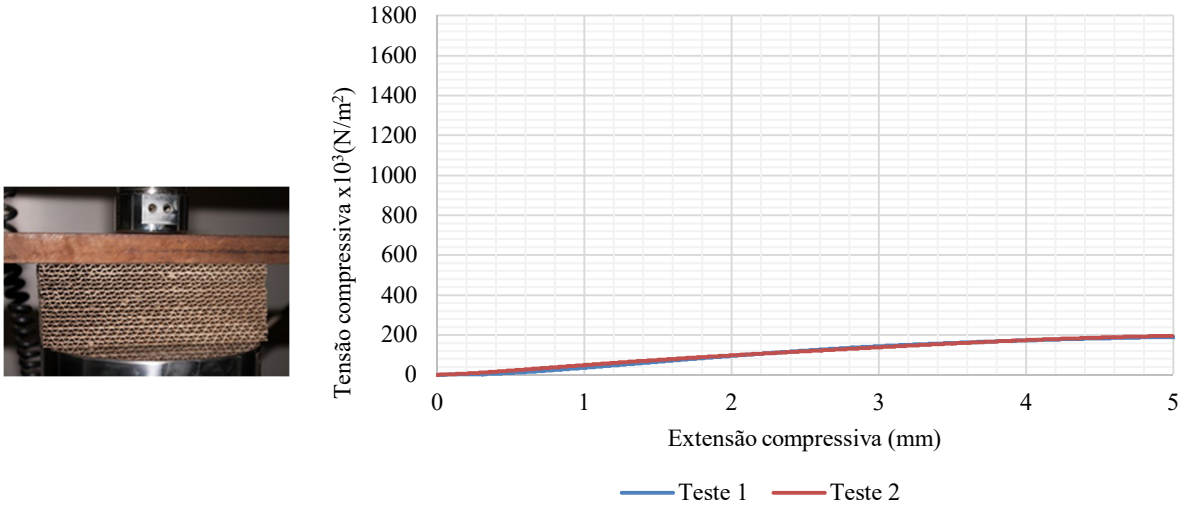


FIGURA 57 – Resistência à compressão de coluna CP-7.

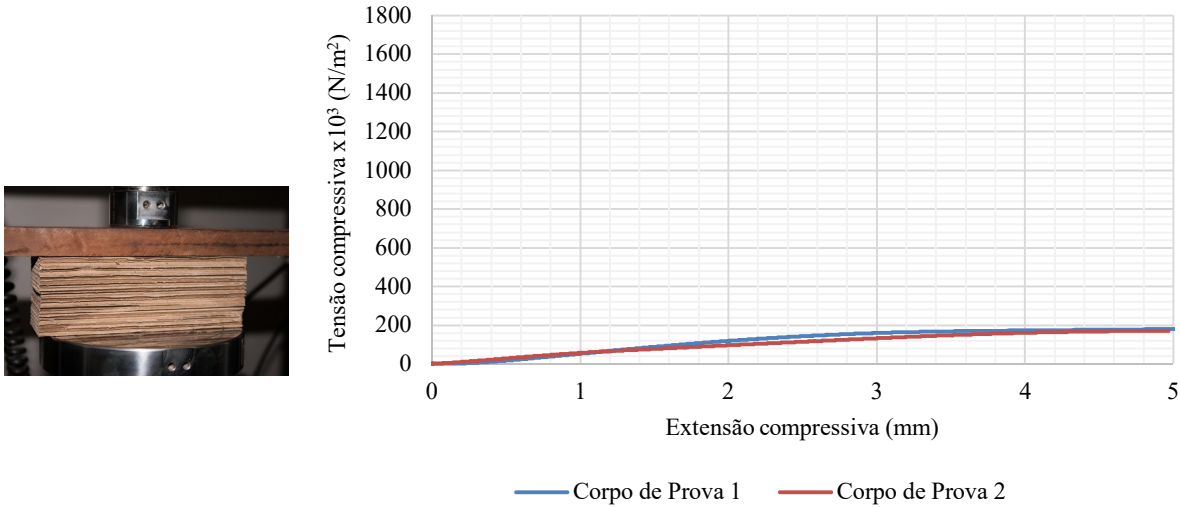


FIGURA 58 – Resistência à compressão de coluna CP-8.

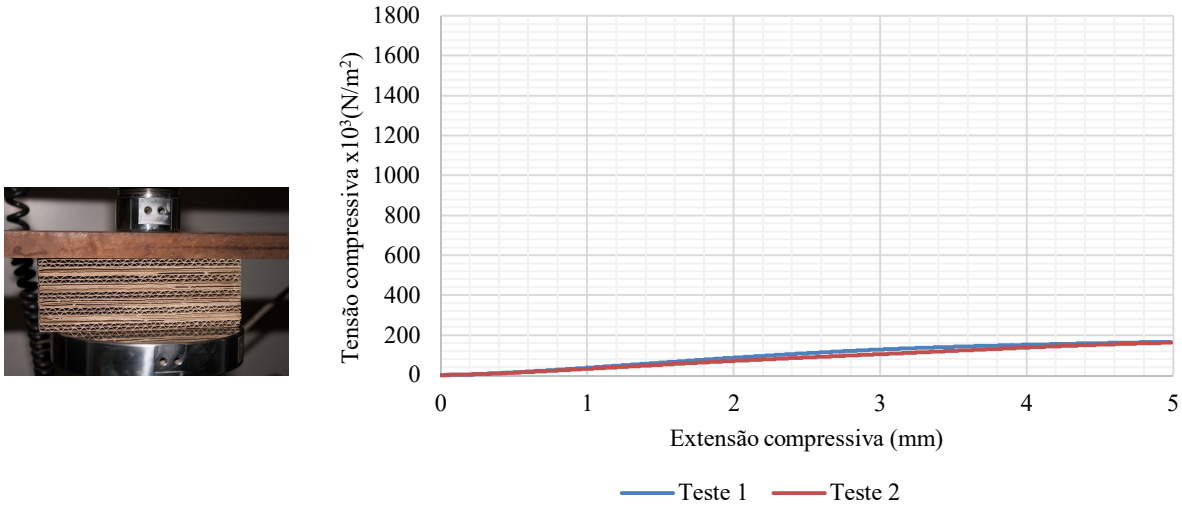


FIGURA 59 – Resistência à compressão de coluna CP-9.

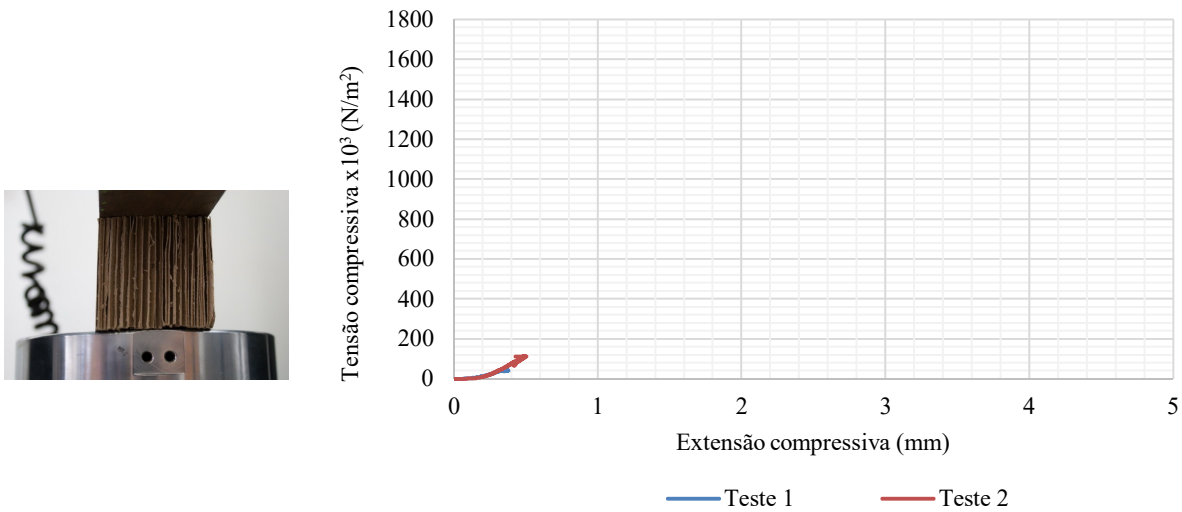


FIGURA 6046 – Resistência à compressão de coluna CP-10.

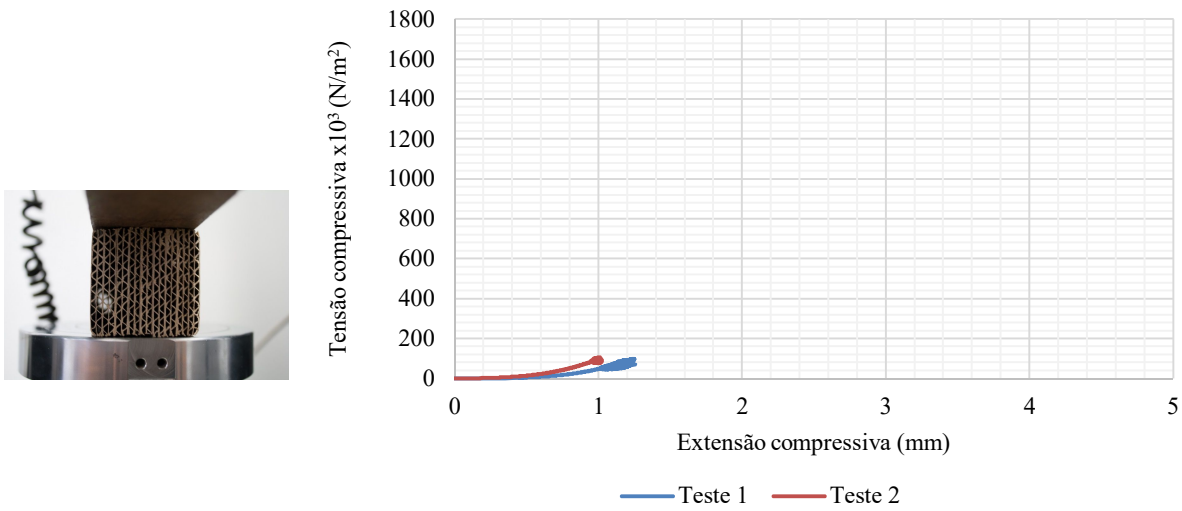


FIGURA 61 – Resistência à compressão de coluna CP-11.

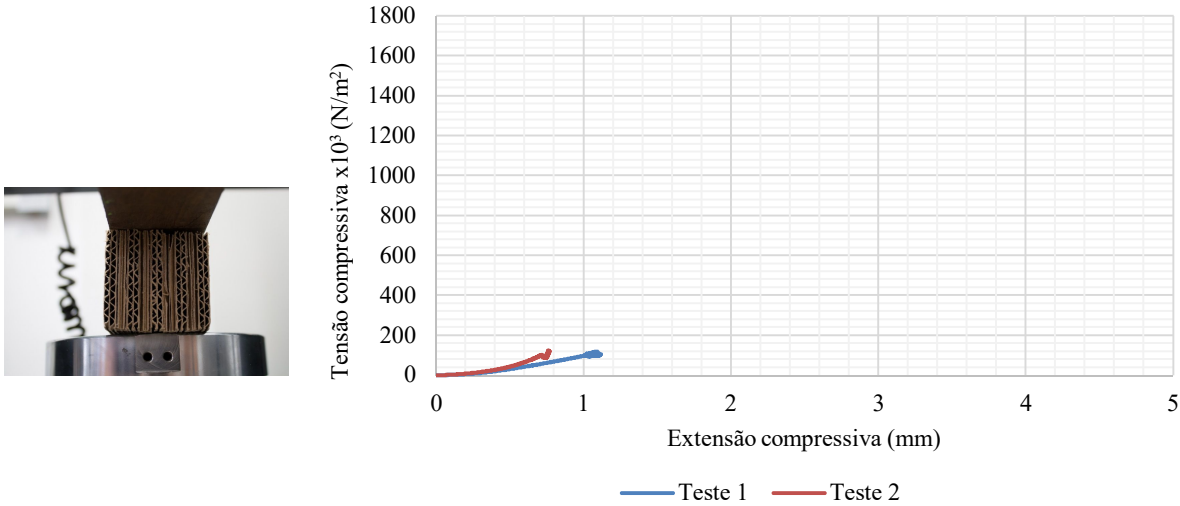


FIGURA 62 – Resistência à compressão de coluna CP-12.

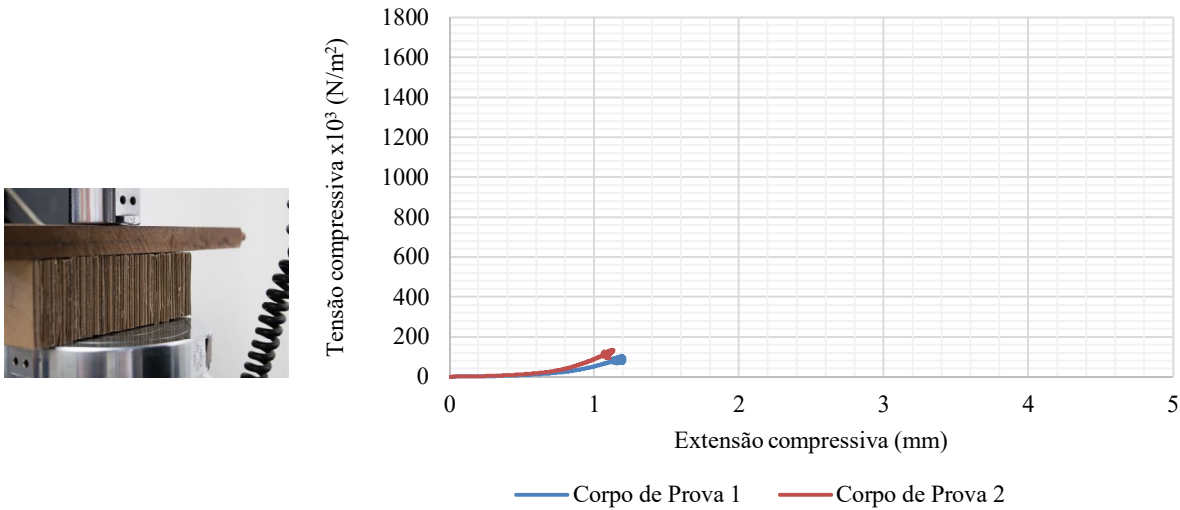


FIGURA 63 – Resistência à compressão de coluna CP-13.

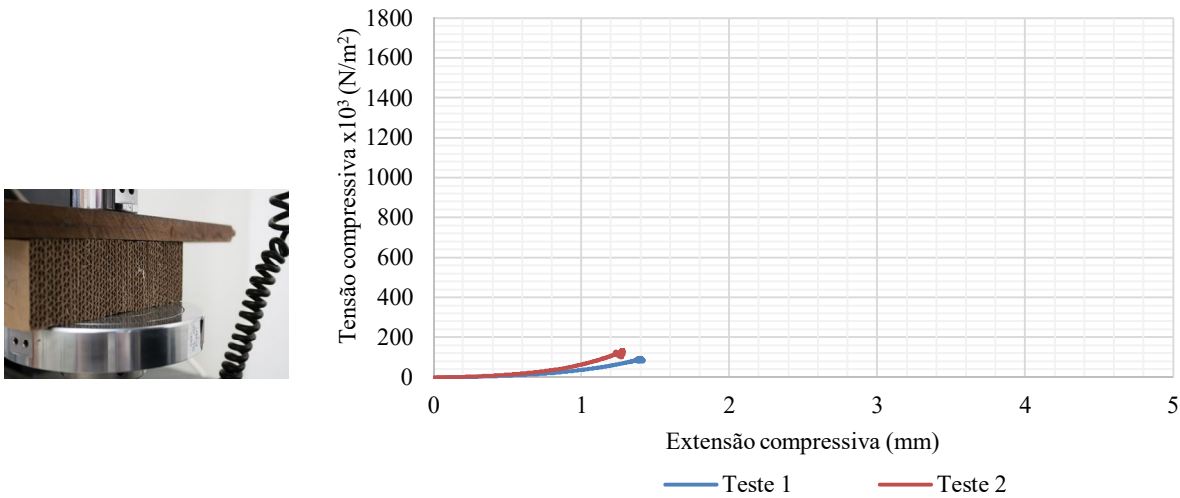
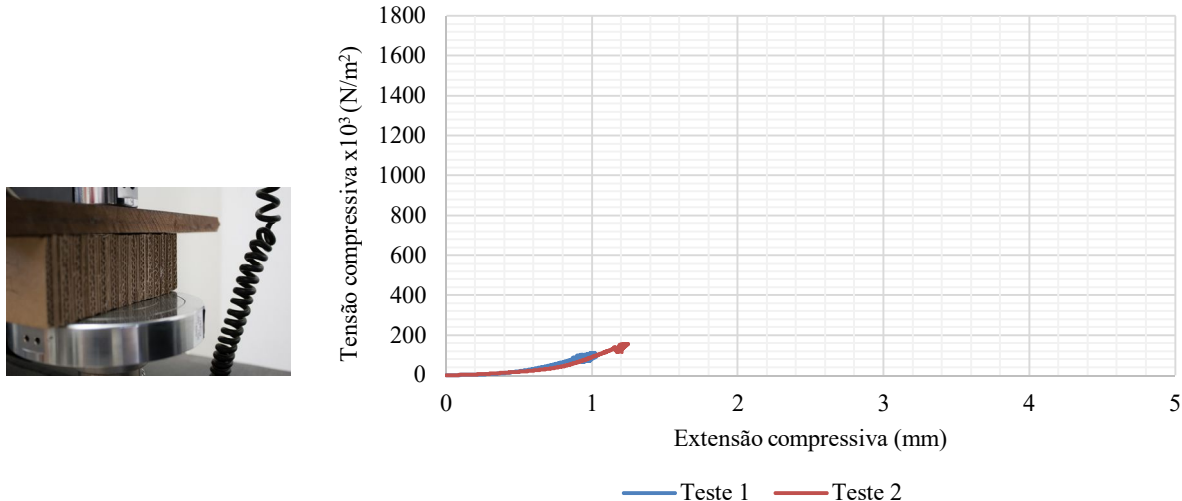


FIGURA 64 – Resistência à compressão de coluna CP-14.



Na Tabela 11 pode-se visualizar a tensão suportada pelos corpos de prova, para uma extensão compressiva de 2 mm.

TABELA 11 - Tensão compressiva - 2 mm.

Corpo de Prova	Tensão referente à extensão compressiva de 2 mm (N/m ²)		Tensão Média (N/m ²)
	Teste 1	Teste 2	
1	31,12	30,39	30,76
2	428,20	309,17	368,69
3	160,71	197,92	179,32
4	240,03	147,63	193,83
5	33,11	31,37	32,24
6	95,67	98,09	96,88
7	119,38	96,96	108,17
8	88,90	72,44	80,67

Nota: Os corpos de prova de 9 a 14 apresentaram tensão compressiva inferior a 2mm.

Considerando-se que uma pessoa de massa (m) esteja sentada em um tamborete de 3 pés, que possui área de contato com o seu corpo (A), a tensão média (T) exercida no assento da cadeira seria de:

$$T = p / A \quad (2)$$

onde p é o peso da pessoa dado por:

$$p = m * 9,8m/s^2 \quad (3)$$

Das equações 2 e 3 calculou-se que uma pessoa de 100 kg, com uma área de contato (quadril) com a cadeira de 30 x 30 cm, exerceria uma pressão em torno de 10.890 N/m² ($10,890 \times 10^3$

N/m^2). A tensão suportada por cada um dos pés seria 3.630 N/m^2 . Supondo uma altura de 20 cm para os pés, se ele fosse feito de papelão ondulado, as configurações mais adequadas seriam as do Cps 2, 3 e 4, para uma deflexão máxima de 1mm. Para o cálculo da configuração do assento foram necessários ensaios com corpos de prova na espessura de 7,5 e 10 cm.

Nas Figuras de 65 a 68 são apresentados os resultados do segundo ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova 2R, 3R, 4R e 7R, com redução de 50% das medidas iniciais. O ensaio foi realizado até o deslocamento de 5 mm, momento onde acontece a deformação do material e surgem as oscilações da carga aplicada. Os dados mostram que, para todas as situações, com o aumento da tensão ocorre uma maior redução de altura do corpo de prova (extensão compressiva). No entanto essa variação não é linear. Observa-se, de modo geral, uma produtividade dos resultados (com exceção do corpo de prova 4R). Percebe-se que a disposição das chapas de papelão afeta fortemente a carga suportada pelo material para uma extensão compressiva de 5 mm (varia de $\sim 260 \text{ N/m}^2$ a $\sim 700 \text{ N/m}^2$), assim como influencia a extensão compressiva suportada pelo material (varia de ~ 3 a 5 mm). As disposições das placas de papelão nas formas dos corpos de provas 2 e 3 suportaram maior carga.

FIGURA 65 – Resistência à compressão de coluna - segundo ensaio - CP-2R.

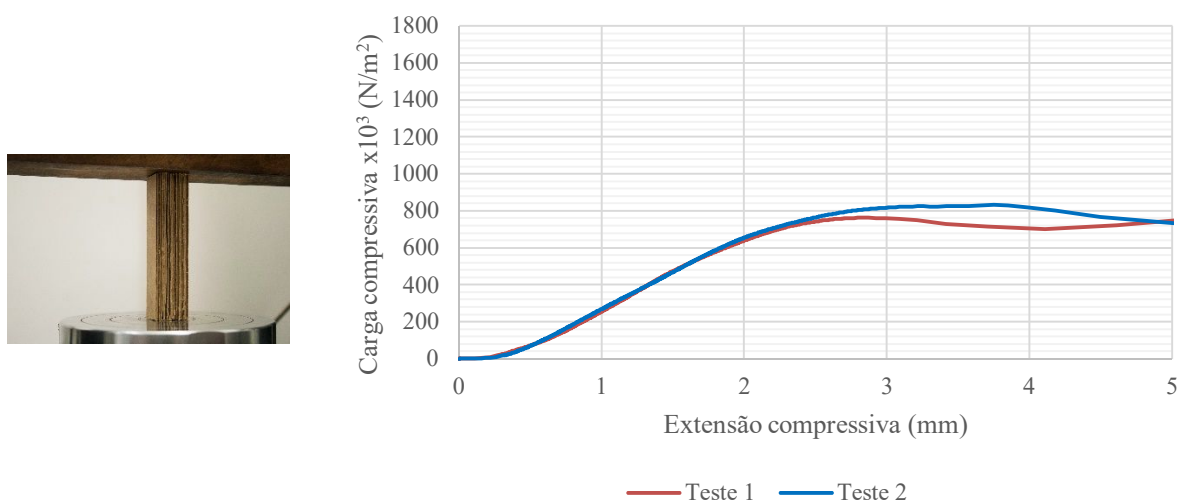


FIGURA 66 – Resistência à compressão de coluna - segundo ensaio - CP-3R.

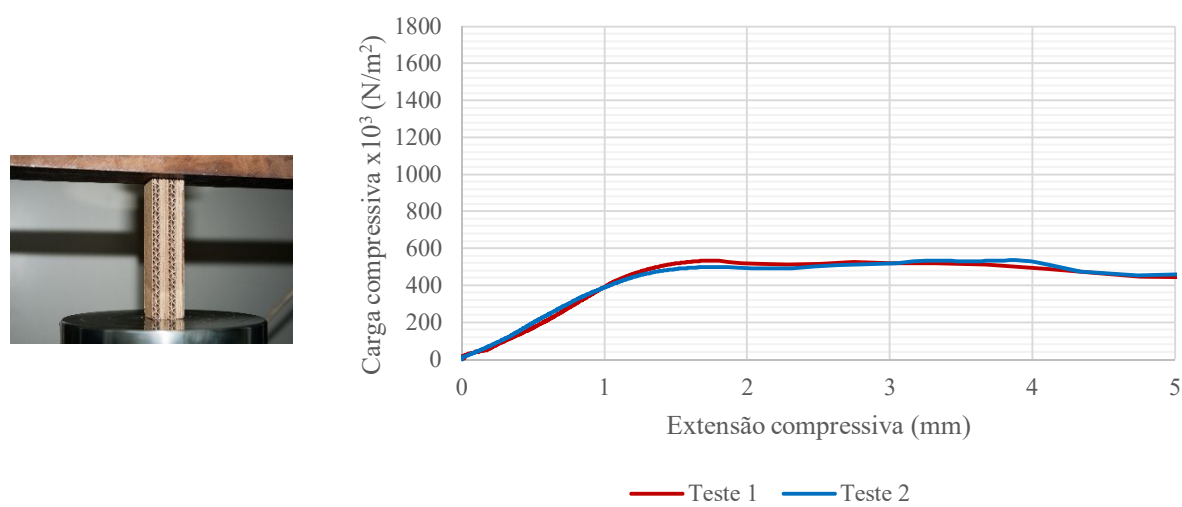


FIGURA 67 – Resistência à compressão de coluna - segundo ensaio - CP-4R.

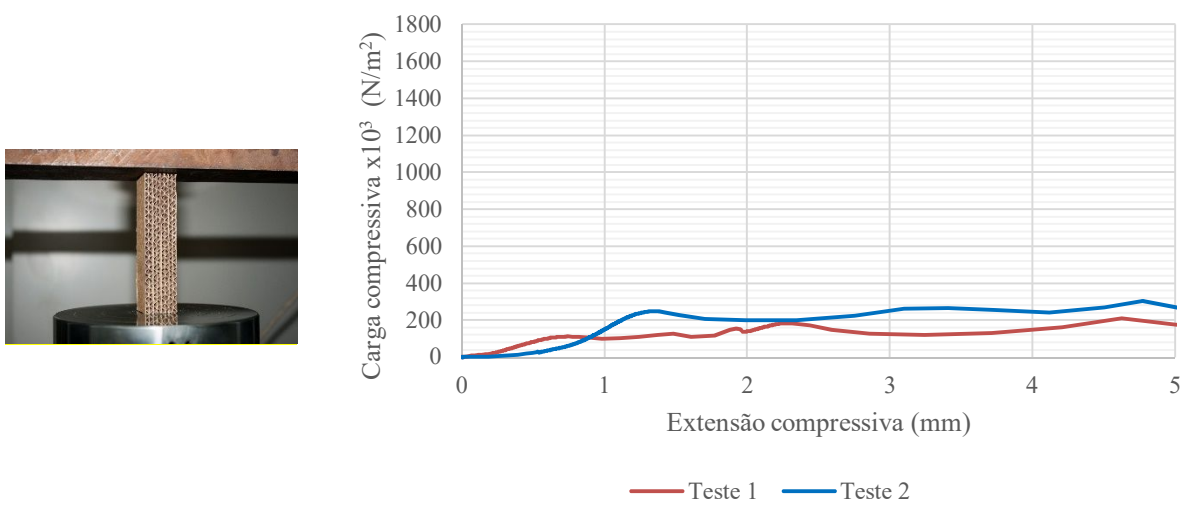
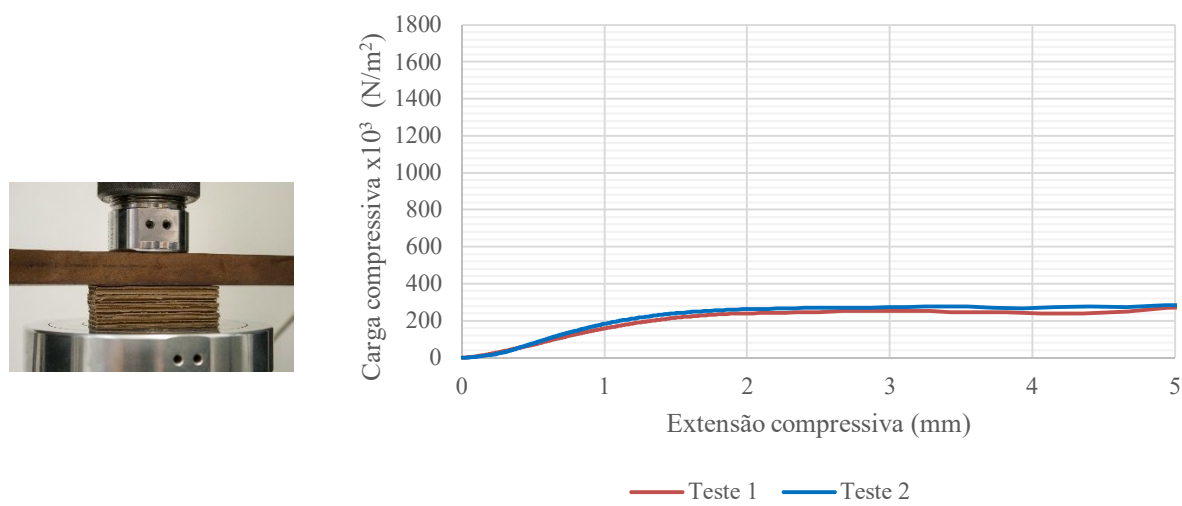


FIGURA 68 – Resistência à compressão de coluna - segundo ensaio - CP-7.



Na Tabela 12 pode-se visualizar a tensão suportada pelos corpos de prova, para uma extensão compressiva de 2 mm.

TABELA 12 - Tensão compressiva - 2mm.

Corpo de Prova	Tensão referente à extensão compressiva de 2 mm (N/m ²)		Tensão Média (N/m ²)
	Teste 1	Teste 2	
2R	651,21	657,75	654,48
3R	516,17	548,27	532,22
4R	201,18	141,87	171,52
7R	263,08	241,48	252,28

Considerando os cálculos para uma pessoa de 100kg e utilizando-se as equações 2 e 3, conclui-se que a pressão exercida no assento é em torno de 10.890 N/m² (10,890 x 10³ N/m²). Considerando que o arranjo da estrutura de papelão afeta a resistência mecânica do produto, e que um alongamento de -2 mm seja aceitável para assentos de papelão, a banquetta poderia ser feita com qualquer dos arranjos dos CPs 2R, 3R, 4R e 7R, variando-se apenas a espessura, o que afetaria a massa específica do assento.

5 CONCLUSÕES

O levantamento realizado sobre a aplicação do papelão ondulado como material para fabricação de móveis permite concluir que:

- a calcinação em forno a 600°C indica que o papelão analisado foi produzido com 5,5% de adições, para dar resistência às fibras de celulose;

os elementos químicos e fases, presentes no papelão sugerem que a carga (adição) do papelão ondulado é formada por uma espécie de argila ou produto similar;

- o material estudado, no que se refere à resistência ao arrebentamento, apresenta valores similares aos da literatura (em torno de 1379 kPa);
- o material estudado, no que se refere à resistência de coluna, se encontra levemente acima dos padrões usuais (9,96 a 12,21 kN/m), suportando uma tensão média de 13,46 kN/m;

- nos ensaios de resistência a compressão, em todas as situações, o aumento da tensão (extensão compressiva) provocou uma redução de altura não linear dos corpos de prova.
- a disposição das chapas de papelão afeta fortemente a carga suportada pelo papelão e influencia a extensão compressiva suportada (varia de ~1 a 5 mm);
- dependendo da disposições das placas de papelão ondulado, pode-se obter maior resistência com cargas acima de 100N/m².
- o papelão analisado apresenta potencial para ser aplicado ao design de móveis, do ponto de vista estrutural.

6 REFERÊNCIAS

ABOURA, Z.; TALBI, N.; ALLAOUI, S.; BENZEGGAGH, M.L. Elastic Behavior of Corrugated Cardboard: Experiments and Modeling. *Composite Structures* 63 (2004) 53–62.

ABPO - Associação Brasileira de Papelão Ondulado. Disponível em: <<http://www.abpo.org.br>>. Acesso em: maio de 2015.

ABRE - Associação Brasileira de Embalagem - São Paulo. Disponível em: <<http://www.abre.org.br>>. Acesso em: maio 2015.

ABREU, I. de; AQUINO, A. R.; ALMEIDA, J. R. *Análise de Sistema de Gestão Ambiental*. Rio de Janeiro, Thex Editora, 2008.

ALLAOUI, S.; ABOURA, Z.; BENZEGGAGH, M.L. Contribution to the modelling of the corrugated cardboard behaviour. 13th European Conference on Composite Materials, Jun 2011, Stockholm, Sweden. pp.ID0232. hal-00634673.

ALLAOUI, S.; ABOURA, Z.; BENZEGGAGH, M.L. Phenomena governing uni-axial tensile behaviour of paperboard and corrugated cardboard. *Composite Structures* 87 (2009) 80–92.

ANDRADE M. J. F. Avaliação da quitosana como recobrimento para papelão ondulado. Dissertação de Mestrado. Curso de pós-graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas. UFMG. 2011.

ASHBY, M. F. *Materials Selection in Mechanical Design*. 3ª edição. Oxford: Elsevier, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL – BRACELPA. Setor de celulose e papel do Brasil é referência mundial. Disponível em: <http://bracelpa.org.br>. Acesso em 14 de set, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMBALAGEM - ABRE - São Paulo. Disponível em: <<http://www.abre.org.br>>. Acesso em: setembro de 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5985. Embalagem de papelão ondulado - Terminologia. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14001: Sistemas da gestão ambiental - Requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14040. Gestão Ambiental – Avaliação de ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14062: Gestão ambiental – Integração de aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento do produto. Rio de Janeiro, 2004.

BALLOU, R. H. Logística empresarial: transportes, administração de materiais e distribuição física. São Paulo: Atlas, 2011.

BARACUHY, José Geraldo de Vasconcelos. Técnicas agrícolas para contenção de solo e água. Campina Grande: Impressos Adilson, 2007. 43 p.

BARBIERI, J.C. Gestão Ambiental Empresarial: conceitos, modelos e instrumentos. 2ª Ed. Atual e ampliada. São Paulo: Editora Saraiva, 2007.

BARTSCH H Untersuchungen zur Herstellung von dünnen Faserplatten mit kartonähnlichen Eigenschaften im Trockenverfahren. Bachelor Thesis, Berufsakademie Dresden, 2012.

BAUM G. A. AND HABEGER C. C. On-line measurement of paper mechanical properties. The Institute of Paper Chemistry, Appleton, Wisconsin. IPC - Technical Paper Series, number 91. Jan, 1980.

BAUMAN, Z., 1925 – Vida para o consumo: a transformação das pessoas em mercadoria; tradução Carlos Alberto Medeiros. – Rio de Janeiro: Zahar, 2008. ISBN 978-85-378-0066-9.

BAXTER, M. Projeto de Produto: Guia Prático para o Design de Novos Produtos. São Paulo: Edgar Blücher, 1998.

BLAZUS, A.; HORA, A. B.; LEITE, B. G. P. O potencial de investimento nos setores florestal, de celulose e de papel. PERSPECTIVAS DO INVESTIMENTO 2010-2013. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br>> Visitado 2m Set. 2014.

BNDES. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. Disponível em <http://www.bndes.gov.br>. Acesso em set 2015.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente - MMA. Agenda 21 Brasileiras – Bases para discussão: comissão de políticas de desenvolvimento sustentável e da Agenda 21. Nacional.

Washington Novaes (Coord.) Otto Ribas e Pedro da Costa Novaes. Brasília: MMA/PNUD, 2000.

BRIAN, Edwards. O guia básico para a sustentabilidade. Barcelona: Gráficas 92, 2008.

BRUNETTI, M.; SANT'ANNA, F. Ecodesign e a Revisão do Design Industrial para a Criação de Produtos de Baixo Impacto Ambiental. 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Joinville, set. 2003.

CARDOSO, R. Design para um mundo complexo. São Paulo: Cosac Naify, 2012. ISBN: 978-85-405-0098-3.

CARDOSO, R. Uma introdução à história do design. São Paulo: Editora Blucher, 2008. ISBN: 978-85-212-0456-5.

CEMPRE. Compromisso empresarial para reciclagem. Agora é lei. São Paulo: Política Nacional de Resíduos Sólidos, 2010. Disponível em: <www.cempre.org.br>. Acesso em: maio 2015.

CHEHEBE, J.R.B. Análise do Ciclo de Vida de Produtos. Rio de Janeiro. Qualitymark Ed. 1997. 104p.

CLAUDINO, E. S.; TALAMINI, E. Análise do Ciclo de Vida (ACV) aplicada ao agronegócio - Uma revisão de literatura. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental Vol.17 nº 1 Campina Grande Janeiro 2013.

CÔRTE-REAL, N. O uso do Papelão no Design de Interiores. Propostas dos Educadores. Realizada na exposição "Zoom". MAB FAAP, Museu de Artes Brasileira. Fundação Armando Alvares Penteado. Disponível em <http://www.faap.br/museu/uso-papelao.asp>. Visitado em maio 2015.

D'ALMEIDA, M.L. e ZANUTTINI, M. Controle da qualidade de papéis com fibras recicladas. In Livro: Reciclado Celulósico. Editor Miguel Zanuttini. p (229-261) 2012. ISBN 978-987-33-3070-4.

DAHER, C; SILVA, E. E FONSECA A. Logística Reversa: Oportunidade para redução de custos através do gerenciamento da cadeia integrada de valor. BBR Brazilian Business Review. Vol. 3, Nº 1 Vitória - ES, Brasil – Jan/Jun 2006. pp. 58-73 ISSN 1807-734X

DAMATTY, A.A. E.; MIKHAIL, A. AWAD, A.A. Finite element modeling and analysis of a cardboard shelter. *Thin-Walled Structures* 38 (2000) 145–165.

DE MORAES, D. *Análise do Design Brasileiro*. São Paulo: Editora Blucher, 2006.

DE MORAES, Dijon. *Metaprojeto: o design do design*. São Paulo, SP: Blücher. 2010. 228p.

DEDAVID, B. A.; GOMES C. I.; MACHADO, G. *Microscopia eletrônica de varredura*. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul Porto Alegre. EDIPUCRS, 2007.

EHRENFELD, J.R. Industrial ecology and interdisciplinary: a new challenge for University Teaching and Research Programs. NTNU-Norwegian University of Science-and Technology. Noruega. 2001.

ELKINGTON, J. Towards the sustainable corporation: win-win-win business strategies for sustainable development. *California Management Review*, v. 36, n. 2, p. 90-100, 1994.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA Life Cycle Assessment: principles and practice. 2006. Disponível em: <<http://www.epa.gov>. Acesso em: set. 2015.

ESTADÃO. Opinião. Impasses na COP-21, artigo do editorial estadão. <http://opinioao.estadao.com.br/noticias/geral,impasses-na-cop-21,10000004419>. Acesso em: Fevereiro de 2016.

FERNANDEZ, B. P. M. Ecodesenvolvimento, Desenvolvimento Sustentável e Economia Ecológica. *Desenvolvimento e Meio. Ambiente*, n. 23, p. 109-120, jan. /jun. 2011. Editora UFPR.

FIEMG - Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais. Disponível em <http://www7.fiemg.com.br/> Acesso em: maio 2014.

FLORIANO, E.P. *Políticas de Gestão Ambiental*. 3ª Ed. Revisada. Departamento de Ciências Florestais, da Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2007.

FRANCO, A.; SALES, R.B.C.; MOHALLEM, N.D.S. Design para mobiliário ecoeficiente utilizando papelão ondulado. p. 2078-2089 . In: *Anais do 11º Congresso Brasileiro de*

Pesquisa e Desenvolvimento em Design [Blucher Design Proceedings, v. 1, n. 4]. São Paulo: Blucher, 2014. ISSN 2318-6968, DOI 10.5151/designpro-ped-01015.

FRINHANI, E. M. D. E DALTOÉ R. Comparação das propriedades físico-mecânicas de polpas celulósicas Kappa 45 e Kappa 100 destinada à fabricação de papéis para embalagens rígidas. Unoesc & Ciência – ACET, Joaçaba, v. 3, n. 1, p. 65-74, junho 2012.

FUNDAÇÃO CECIERJ. Decifra-me ou te devorarei: a crise dos anos 1970 e o nascimento do mundo em que vivemos. Módulo 4. Unidade 15. Disponível <http://cejarj.cecierj.edu.br>. Acesso em 2014.

GRIMBERG, E.; BLAUTH, P. Coleta Seletiva: reciclando materiais, Reciclando valores. Polis: estudos, formação e assessoria em políticas sociais, n.31, 1998. 104 p.

HAMADA, J. Resíduos sólidos: conceituação e caracterização. Grupo de estudos de resíduos sólidos. Faculdade de Engenharia de Bauru. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Bauru, 2003. Disponível em <<http://wwwp.feb.unesp.br/joha/cursoaterro/Aula01.pdf>>. Acesso em 15 junho de 2015.

HAUSCHILD, M.Z., JESWIET, J., ALTING, L. From Life Cycle Assessment to Sustainable Production: Status and Perspectives. In: Annals of the CIRP 54/2, 2005.

HUI, I.K.; ALAN, H.S.; PUN, K.F. A study of the Environmental Management System implementation practices (Hong Kong). Journal of Cleaner Production. v. 9, p.269–276, 2001.

ICSID (International Council of Societies of Industrial Design). Definition of Design. Disponível em: <http://www.icsid.org/about/about/articles31.htm>. Acesso em: agosto de 2014.

INCROPERA, F. P., & WITT, D. P. “Fundamentals of Heat and Mass Transfer”. John Wiley & Sons, 2006.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 14040: Environmental Management –Life Cycle Assessment – Principles and Framework. Geneva (Switzerland): European Standard, 2006.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Mudança do clima no Brasil: aspectos econômicos, sociais e regulatórios. Ronaldo Seroa da Motta et al. (ed.). Brasília: IPEA, 2011.

JAHRE, M.; HATTELAND, C. J. Packages and physical distribution: implications for integration and standardization. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, v. 34, n. 2, p. 123-139, 2004.

JAREK, J. M. Design e inovação no aproveitamento sustentável de resíduos em empresas de embalagens de papelão. Programa de Pós-Graduação em Design, do Setor de Ciências Humanas, Letras e Artes da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

JIANG, R.J.; BANSAL, P. Seeing the Need for ISO 14001. *Journal of Management Studies*. v.40, n° 4, p.1047-1067, June 2003.

JÖNSEN, G. Corrugated board packaging. *A Pira International Packaging Guide*, 2ª ed., Pira International. Leatherhead, 1999. p. 264.

KARLSSON, R., LUTTROPP, C. Ecodesign: what's happening? An overview of the subject area of Ecodesign and of the papers in this special issue. *Journal of Cleaner Production*, 1 – 8, 2006.

KAZAZIAN, T. (Org.). Haverá a idade das coisas leves: design e desenvolvimento sustentável. 2. ed. São Paulo: Ed. SENAC São Paulo, 2009

KELLEY, T.;LITTMAN,J. A Arte da Inovação. São Paulo Futura 2001.

LAGO, T. E..R.; RIBEIRO, M. R.; MELLO, C. L.; ROMANO, F. V.; BRONDANI, S. A. Estudo do papelão como material alternativo para o design de móveis. *Anais do 2º Simpósio Brasileiro de Design Sustentável*. São Paulo. Brasil - 2009. ISSN 21762384.

LAVOINE, N.; BRAS, J. E DESLOGES, I. Mechanical and Barrier Properties of Cardboard and 3D Packaging Coated with Microfibrillated Cellulose. *Wiley Periodicals, Inc. J. APPL. POLYM. SCI.* 2014.

LIMA, Marco Antônio Magalhães. *Introdução aos Materiais e Processos para Designers*. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2006. ISBN: 85-7393-420-4.

LUO, S.; SUHLING, J. C.; CONSIDINE, J. M.; LAUFENBERG, T. L. The bending stiffnesses of corrugated board. *AMD-Vol. 145/MD-Vol. 36, Mechanics of Cellulosic Materials*ASME 1992.

MAGALHÃES, P.G.; FIGUEIREDO, P.R.A.; DEDINI, F.G. Rigidez do papelão ondulado: comparação entre resultados experimentais e os obtidos por cálculo analítico. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.26, n.1, p.190-199, jan./abr. 2006.

MANZINI, E. Design: environment and social quality: from "Existenzminimum "to" quality Maximum. Design, London, v. 10, n. 1, p. 37-43, 1994.

MANZINI, E.; VEZZOLI, C. O Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis: Os requisitos ambientais dos produtos industriais. Tradução de Astrid de Carvalho. São Paulo: Edusp – Editora da Universidade de São Paulo, 2008. ISBN: 978-85-314-0731-4.

MEADOWS, D. The Limits to Growth. A report for the club of rome's project on the predicament of mankind. A Potomac Associates Book. Universe Books. New York 1972.

MENDES, LM; SILVA, JRM; TRUGILHO, PF e LIMA, JT. Variação da densidade da madeira de pinus. Universidade Federal de Lavras –MG. Revista da Madeira - Edição nº83 - agosto de 2004. Disponível em <http://www.remade.com.br>.

MOREIRA, M.S. Estratégia e Implantação do Sistema de Gestão Ambiental Modelo ISO 14000. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 2006.

MOURA, L.A.A. Qualidade e Gestão Ambiental. 4ª Ed. revista e atualizada. São Paulo: Editora Juarez de Oliveira, 2004.

MOURA, R. A., BANZATO, J. M. Embalagem, Unitização & Containerização. 6ª ed. São Paulo. Instituto IMAM, 2010.

NAIME, R. Diagnóstico Ambiental e Sistemas de Gestão Ambiental. Novo Hamburgo: Feevale, 2005.

NAIME, R.; GARCIA, A.C. de A. Percepção Ambiental e Diretrizes para Compreender a Questão do Meio Ambiente. Novo Hamburgo: Feevale, 2004.

NASCIMENTO, A.C.; MOREIRA, J. V.; MARQUES, R. G.; IAROSZ, K. C. Influência do teor de fibras recicladas nas propriedades físico/mecânicas do papel. VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica. Uberlândia, Minas Gerais, Brasil, 2009.

NASCIMENTO, F. L. Gestão Ambiental e Sustentabilidade. Departamento de Ciências da Administração / UFSC; [Brasília]: CAPES: UAB, 2012. 148p.

NAVARANJAN, N.; JONES, R. Lock-in infrared thermography for the evaluation of the structural performance of corrugated paperboard structures. *Composite Structures* 92 (2010) 2525–2531.

NETO, E.B. Estratégias de Design para os Países Periféricos. CNP-Coordenação Editorial: Brasília, 1981.

NISHITANI, K. An empirical study of the initial adoption of ISO 14001 in Japanese manufacturing firm. *Ecological Economics*. v. 68, p. 669 – 679, 2009.

NORDSTRAND, T. Analysis and testing of corrugated board panels into the post-buckling regime. *Composite Structures*, 2004, Vol.63(2), pp.189-199.

O GLOBO. Conheça os princípios e as polêmicas da Rio+20. Publicado no dia 07/06/2012. Disponível em: <globo.com>. Acesso em setembro de 2014.

OLIVEIRA, O. J.; SERRA, J. R. Benefícios e dificuldades da gestão ambiental com base na ISO 14001 em empresas industriais de São Paulo. *Produção*, v. 20, n. 3, 2010.

ONDUFLEX - Indústria de embalagens. Sustentabilidade do papel reciclado. Disponível em: <http://onduflex.com.br/papelao.html>. Acesso em novembro de 2015.

PALEOLOGOU, M. Dissolving pulps: technical challenges and opportunities. FPIinnovations. Montreal: fev. 2012.

PAPANEK, V. *Arquitetura e Design: Ecologia e Ética*. Edições 70. Lisboa, Portugal, 1995.

PAPANEK, Victor J. *Design for the real world*. Reprint: Originally published: New York: Van Nostrand Reinhold, 1984. ISBN: 0-89733-153-2.

PATEL, P.; NORDSTRAND, T.; CARLSSONB, L. A. Local buckling and collapse of corrugated board under biaxial stress. *Composite Structures* Vol. 39, No. 1-2, pp. 93-110, 1997.

PEREIRA, J. Consumo de cola (g/m²) no papelão ondulado. Assessor técnico da Associação Brasileira do Papelão Ondulado (ABPO). *Revista O Papel* - setembro 2013.

PEREIRA, J. Relacionamento RCT e resistência de coluna. Assessor técnico da Associação Brasileira do Papelão Ondulado (ABPO). Revista O Papel - junho 2012.

PEREIRA, J. Resistência de Coluna (Horizontal III). Assessor técnico da Associação Brasileira do Papelão Ondulado (ABPO). Workshop Greycon Talks. Novas tecnologias no planejamento da produção. Auditório ABTCP, maio 2011.

PICHLER, E.F. Embalagem: desenvolvimento, especificação, controle de qualidade e custos. São Paulo: IPT/LEA, 2000. 24 p.

POYRY. Dissolving Pulp – The Great Come-back. 2010. Disponível em: <<http://www.paperadvance.com/index.php/sciences-a-innovations/sciences/176-dissolving-pulp-the-great-come-back.html>>. Acesso em setembro de 2014.

PROJETO RECICLAR. Portal Projeto Reciclar- Coleta Seletiva no Brasil. Disponível em http://www.projetoreciclar.ufv.br/?area=brasil_recicla. Acesso em abril de 2015.

REBERNJAK, R. MONTHLY READS: Nomadic Furniture. The Blogazine. The Blogazine. (<http://www.theblogazine.com/2013/11/monthly-reads-nomadic-furniture/>) Nov. 2013.

RISI – The Leading Information Provider For The Global Forest Products Industry. Disponível em www.risi.com. Consultado em dezembro de 2011.

RITZÉN, S., LINDAHL, M. Selection and implementation – Key activities to successful use of Ecodesign tools. IEEE, 2001.

ROCHA, F. As três regras de ouro da evolução da sustentabilidade nas organizações. Ciência e Tecnologia. EcoDesenvolvimento.org: Sustentabilidade, Meio Ambiente, Economia, Sociedade e Mudanças Climáticas, Redação Ecod, 2014.

RODRIGUES, I.G. Antropologia do Design: o olhar antropológico do designer. Rio de Janeiro, Espaço e Tempo, 2005.

RUSS, A.; SCHWARTZ, J.; BOHÁČEK, Š.; LÜBKE H.; IHNAT, V.; PAŽITNÝ A. Reuse of old corrugated cardboard in constructional and thermal insulating boards. Pulp and Paper Research Institute. Bratislava, Slovak Republic. April Wood Research 58 (3): 2013. 505-510.

SACHS, I.. Desenvolvimento includente, sustentável, sustentado. Rio de Janeiro: Garamond, 2004.

SAMISTRARO, G.; MUNIZ G. I. B.; PERALTA-ZAMORA P.; CORDEIRO G. A. Previsão das propriedades físicas do papel 105d105el por espectroscopia. Revista Quim. Nova, Vol. 32, No. 6, 1422-1425, 2009.

SAMPAIO, Claudio Pereira de. Diretrizes para o design de embalagens em papelão ondulado movimentadas entre empresas com base em sistemas produto-serviço. 2009.

SANTOS, A. 105d 105d. Design em Papelão Ondulado – Série: Design Sustentável Brasil Curitiba: UFPR – Núcleo de Design & Sustentabilidade, ISBN 85-905660-2-1, 88 p. 2006.

SANTOS, A.; RAZERA, D.; SAMPAIO, C.P.; VASQUES, R. A.; ROCHA, V. C.; WOSCH, S.; LEINER, D.; LEINER, S.; YANO, L.; FRESSATO F.; ARAMIS; S.; NELSON L. Design em Papelão Ondulado. Curitiba: Núcleo de Design & Sustentabilidade. Livro da Série Design Sustentável Brasil, Curitiba: UFPR – Núcleo de Design & Sustentabilidade, ISBN 85-905660-2-1, 88 p. 2006.

SANTOS, L. J. C. Avaliação do Ciclo de Vida e Custeio do Ciclo de Vida de Evaporadores para Usinas de Açúcar. 2007. 225f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica de São Paulo, São Paulo, 2007.

SCURA, R. Design e novos materiais. Revista Conhecimento & Inovação. Julho / agosto de 2007. ISSN 1984-4395.

SENHORAS, E. M.; TAKEUCHI K. P.; TAKEUCHI K. P. Gestão da Inovação no Desenvolvimento de Novos Produtos. IV Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia – SEGET, Resende, RJ 2007.

SILAYOI, P.; SPEECE, M. Packaging and purchase decisions: an exploratory study on the impact of involvement level and time pressure. British Food Journal, v. 106, n. 8, p. 607-628, 2004.

STEFANO, N. M. e CASAROTTO FILLHO, N. Percepção dos consumidores: atributos considerados importantes nas embalagens. Revista Produção Online, Florianópolis, SC, v.12, n. 3, p. 657-681, set. 2012.

TALBI, N.; BATTI, A.; AYAD, R.; Y. GUO, Q. An analytical homogenization model for finite element modeling of corrugated cardboard. *Composite Structures* 88 (2009) 280–289.

THACKARA, J. Plano B: O Design e as Alternativas Viáveis em um Mundo Complexo. São Paulo: Saraiva, 2008.

SYMPOSIUM – Cyclic Humidity Effects on Paperboard Packaging. Madison. Proceeding. Madison: Forest Products Laboratory, 1992. P. 171.

VALLE, C. E. Qualidade Ambiental: ISO 14000. 4ª 106d. Revista e ampliada. São Paulo: Editora SENAC, 2002.

VERNUCCIO, M.; COZZOLINO, A.; MICHELINI, L. An exploratory study of marketing, logistics, and ethics in packaging innovation. *European Journal of Innovation Management*, v. 13, n. 3, p. 333-354, 2010.

VEZZOLI, Carlo. Design de sistemas para a sustentabilidade: teoria, métodos e ferramentas para o design sustentável de sistemas de satisfação. Salvador. EDUFBA, 2010. ISBN: 978-85-232-0722-9.

VIDAL A. C. F. O renascimento de um mercado: o setor de celulose solúvel. *Papel e Celulose BNDES Setorial* 38, 2013 p. 79-130.

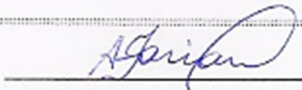
WBCSD. World Business Council For Sustainable Development Disponível em <http://www.wbcd.org/home.aspx>. (Acesso em 01 de agosto de 2014).

WILLERS C. D.; RODRIGUES, L.B.; SILVA, C.A. Avaliação do ciclo de vida no Brasil: uma investigação nas principais bases científicas nacionais. *Produção*, v. 23, n. 2, p. 436-447, abr./jun. 2013.

7 Apêndices

Ensaio de determinação da Gramatura

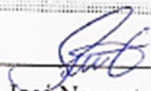
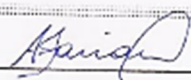
SENAI FIEMG	REVISÃO	00
	CÓDIGO	RG 510
SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE LEPE – LABORATÓRIO DE ENSAIOS EM PAPEL, PAPELÃO E EMBALAGENS. REGISTRO DA QUALIDADE		PÁGINA 1/1

RELATÓRIO DE ENSAIO	
NÚMERO DO RELATÓRIO: 12/2015	DATA: 6/5/2015
CLIENTE: Fundação de Apoio e Desenvolvimento da Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Fundação Renato Azeredo. ENDEREÇO: Rua das Tangerinas, 933 – Bairro Vila Clóris – Belo Horizonte.	
DATA RECEBIMENTO DA AMOSTRA: 30/4/2015	
MATERIAL: Chapa de papelão ondas duplas 5,90 mm Irani.	
ENSAIO REALIZADO: Determinação da gramatura	
MÉTODO/NORMA UTILIZADO: ABNT NBR NM ISO 536:2000 – Papel e cartão – Determinação da gramatura	
EQUIPAMENTO UTILIZADO: Balança Gehaka BK 600.	CONDIÇÕES AMBIENTAIS: ➤ Umidade relativa do ar: 60,4 % ➤ Temperatura: 22,0 °C
DETALHAMENTO DO ENSAIO: Foram ensaiados 20 corpos-de-prova medindo 250 x 250 mm. Os resultados são referentes apenas à amostra enviada pelo cliente.	
RESULTADOS: Gramatura média: 877 g/m ² Desvio padrão: 3,42 g/m ²	
 José Nazaret de Oliveira Responsável Técnico	 Ailton Faria Moreira Responsável da Qualidade

CECOTEG – Centro de Comunicação, Design e Tecnologia Gráfica / LEPE – Laboratório de Ensaios em Papel, Papelão e Embalagens – Rua Santo Agostinho, 1717 – Horto Florestal – CEP 31035-480
 Belo Horizonte – MG – Fone: (31) 3482-5630 – Fax: (31) 3482-5637.

Ensaio de Resistência à Compressão de Coluna

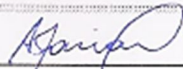
	REVISÃO	00
	CÓDIGO	RG 510
SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE LEPE – LABORATÓRIO DE ENSAIOS EM PAPEL, PAPELÃO E EMBALAGENS. REGISTRO DA QUALIDADE		PÁGINA 1/1

RELATÓRIO DE ENSAIO	
NÚMERO DO RELATÓRIO: 14/2015	DATA: 11/5/2015
CLIENTE: Fundação de Apoio e Desenvolvimento da Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Fundação Renato Azavedo. ENDEREÇO: Rua das Tangerinas, 933 – Bairro Vila Clóris – Belo Horizonte.	
DATA RECEBIMENTO DA AMOSTRA: 30/4/2015	
MATERIAL: Chapa de papelão ondas duplas 5,90 mm Irani.	
ENSAIO REALIZADO: Determinação da resistência à compressão de coluna	
MÉTODO/NORMA UTILIZADO: ABNT NBR 6737:2009 – Papelão ondulado – Determinação da resistência à compressão de coluna.	
EQUIPAMENTO UTILIZADO:	CONDIÇÕES AMBIENTAIS:
Prensa Crush-Tester Automática CT 1000 – Regmed.	> Umidade relativa do ar: 64,5 % > Temperatura: 21,6 °C
DETALHAMENTO DO ENSAIO: Foram ensaiados 10 corpos-de-prova medindo 100 x 63 mm. Os resultados são referentes apenas à amostra enviada pelo cliente.	
RESULTADOS: Força média: 1346,10 N Desvio padrão: 23,83 N Coeficiente de variação: 1,77 % Resistência à compressão de coluna: 13,46 kN/m	
 José Nazaret de Oliveira Responsável Técnico	 Ailton Faria Moreira Responsável da Qualidade

CECOTEG – Centro de Comunicação, Design e Tecnologia Gráfica / LEPE – Laboratório de Ensaio em Papel, Papelão e Embalagens – Rua Santo Agostinho, 1717 – Horto Florestal – CEP 31035-480
 Belo Horizonte – MG – Fone: (31) 3482-5630 – Fax: (31) 3482-5637.

Resistência ao Arrebetamento

SENAI FIEMG	REVISÃO	00
	CÓDIGO	RG 510
SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE LEPE – LABORATÓRIO DE ENSAIOS EM PAPEL, PAPELÃO E EMBALAGENS. REGISTRO DA QUALIDADE		PÁGINA 1/1

RELATÓRIO DE ENSAIO	
NÚMERO DO RELATÓRIO: 13/2015	DATA: 11/5/2015
CLIENTE: Fundação de Apoio e Desenvolvimento da Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Fundação Renato Azeredo.	
ENDEREÇO: Rua das Tangerinas, 933 – Bairro Vila Clóris – Belo Horizonte.	
DATA RECEBIMENTO DA AMOSTRA: 30/4/2015	
MATERIAL: Chapa de papelão ondas duplas 5,90 mm Irani.	
ENSAIO REALIZADO: Determinação da resistência ao arrebetamento	
MÉTODO/NORMA UTILIZADO: NBR NM ISO 2759:2007 – Cartão – Determinação da resistência ao arrebetamento.	
EQUIPAMENTO UTILIZADO: Müllen Tester – MTA 1000 – Regmed.	CONDIÇÕES AMBIENTAIS: > Umidade relativa do ar: 66,4 % > Temperatura: 21,4 °C
DETALHAMENTO DO ENSAIO: Foram ensaiados 20 corpos-de-prova (10 lado capa interna e 10 lado capa externa) medindo 125 x 125 mm. Os resultados são referentes apenas às amostras enviadas pelo cliente.	
RESULTADOS: Lado capa externa: Pressão média: 1349,33 kPa Desvio padrão: 89,61 kPa Coeficiente de variação: 6,64 % Resistência ao arrebetamento: 1349,33 kPa Índice de arrebetamento: 1,54 kPa.m ² /g Densidade: 148,64 kg/m ³	Lado capa interna: Pressão média: 1357,70 kPa Desvio padrão: 80,07 kPa Coeficiente de variação: 5,90 % Resistência ao arrebetamento: 1357,70 kPa Índice de arrebetamento: 1,55 kPa.m ² /g Densidade: 148,64 kg/m ³
 José Nazaret de Oliveira Responsável Técnico	 Ailton Faria Moreira Responsável da Qualidade

CECOTEG – Centro de Comunicação, Design e Tecnologia Gráfica / LEPE – Laboratório de Ensaios em Papel, Papelão e Embalagens – Rua Santo Agostinho, 1717 – Horto Florestal – CEP 31035-480
 Belo Horizonte – MG – Fone: (31) 3482-5630 – Fax: (31) 3482-5637.

Tabela representativa das energias características dos elementos da tabela periódica

	Element	Ka1	Ka2	Kβ1	Kβ2	K _{ab}	La1	La2	Lβ1	Lβ2	Ly1	L _{ab}	L _{tab}	L _{tab}	Ma	M _{γ(ab)}
1 H	Hydrogen					0.014										
2 He	Helium					0.025										
3 Li	Lithium		0.052			0.055							0.003	0.003		
4 Be	Beryllium		0.110			0.112							0.002	0.002		
5 B	Boron		0.185			0.192							0.003	0.003		
6 C	Carbon		0.277			0.283							0.002	0.002		
7 N	Nitrogen		0.392			0.400							0.006	0.006		
8 O	Oxygen		0.525			0.531							0.009	0.009		
9 F	Fluorine		0.677			0.687										
10 Ne	Neon		0.849			0.874						0.048	0.022	0.022		
11 Na	Sodium		1.041		1.067	1.072						0.055	0.034	0.034		
12 Mg	Magnesium		1.253		1.295	1.303						0.063	0.050	0.049		
13 Al	Aluminum	1.486	1.486	1.553		1.559						0.087	0.073	0.072		
14 Si	Silicon	1.740	1.739	1.832		1.840						0.118	0.099	0.098		
15 P	Phosphorus	2.014	2.014	2.136		2.142						0.153	0.129	0.128		
16 S	Sulfur	2.308	2.306	2.464		2.470						0.193	0.164	0.163		
17 Cl	Chlorine	2.622	2.621	2.815		2.820						0.238	0.203	0.202		
18 Ar	Argon	2.957	2.955	3.192		3.203						0.287	0.247	0.245		
19 K	Potassium	3.313	3.310	3.589		3.608						0.341	0.297	0.294		
20 Ca	Calcium	3.691	3.688	4.012		4.038	0.341		0.344			0.399	0.352	0.349		
21 Sc	Scandium	4.091	4.085	4.460		4.496	0.395		0.399			0.462	0.411	0.406		
22 Ti	Titanium	4.510	4.504	4.931		4.964	0.452		0.458			0.530	0.460	0.454		
23 V	Vanadium	4.9452	4.944	5.427		5.464	0.511		0.519			0.604	0.519	0.512		
24 Cr	Chromium	5.414	5.405	5.946		5.9887	0.573		0.581			0.679	0.583	0.574		
25 Mn	Manganese	5.898	5.877	6.490		6.537	0.637		0.647			0.762	0.650	0.639		
26 Fe	Iron	6.403	6.390	7.067		7.111	0.705		0.717			0.849	0.721	0.708		
27 Co	Cobalt	6.930	6.915	7.649		7.709	0.776		0.790			0.929	0.794	0.779		
28 Ni	Nickel	7.477	7.460	8.264	8.328	8.331	0.851		0.866			1.015	0.871	0.853		
29 Cu	Copper	8.047	8.027	8.904	8.976	8.980	0.930		0.948			1.100	0.953	0.933		
30 Zn	Zinc	8.638	8.615	9.571	9.657	9.661	1.012		1.032			1.200	1.045	1.022		
31 Ga	Gallium	9.251	9.234	10.263	10.365	10.368	1.098		1.122			1.30	1.134	1.117		
32 Ge	Germanium	9.885	9.854	10.981	11.100	11.103	1.188		1.216			1.42	1.248	1.217		
33 As	Arsenic	10.543	10.507	11.725	11.863	11.867	1.282		1.317			1.529	1.359	1.323		
34 Se	Selenium	11.221	11.181	12.495	12.651	12.657	1.379		1.419			1.652	1.475	1.434		
35 Br	Bromine	11.923	11.877	13.290	13.465	13.475	1.480		1.525			1.794	1.599	1.552		
36 Kr	Krypton	12.649	12.597	14.112	14.313	14.323			1.638			1.931	1.727	1.675		
37 Rb	Rubidium	13.394	13.335	14.960	15.184	15.201	1.694	1.692	1.752			2.067	1.866	1.806		
38 Sr	Strontium	14.164	14.097	15.834	16.083	16.106	1.805	1.805	1.872			2.221	2.008	1.941		
39 Y	Yttrium	14.957	14.882	16.736	17.011	17.037	1.922	1.920	1.996			2.369	2.154	2.079		
40 Zr	Zirconium	15.774	15.690	17.665	17.969	17.996	2.042	2.040	2.124	2.219	2.302	2.547	2.305	2.220		
41 Nb	Niobium	16.614	16.520	18.614	18.951	18.989	2.166	2.163	2.257	2.367	2.462	2.706	2.467	2.374		
42 Mo	Molybdenum	17.478	17.373	19.600	19.964	20.002	2.293	2.290	2.395	2.518	2.623	2.884	2.627	2.523		
43 Tc	Technetium	18.410	18.328	20.608	21.012	21.054	2.424	2.420	2.538	2.674	2.792	3.054	2.795	2.677		
44 Ru	Ruthenium	19.278	19.149	21.646	22.072	22.117	2.558	2.554	2.683	2.836	2.964	3.236	2.966	2.837		
45 Rh	Rhodium	20.214	20.072	22.712	23.169	23.224	2.696	2.692	2.834	3.001	3.144	3.419	3.145	3.002		
46 Pd	Palladium	21.175	21.018	23.816	24.297	24.347	2.838	2.833	2.990	3.172	3.328	3.617	3.329	3.172		
47 Ag	Silver	22.162	21.988	25.542	26.042	26.097	2.984	2.978	3.151	3.348	3.519	3.810	3.528	3.352		
48 Cd	Cadmium	23.172	22.982	26.093	26.641	26.712	3.133	3.127	3.316	3.528	3.716	4.019	3.727	3.538		
49 In	Indium	24.207	24.000	27.274	27.859	27.937	3.287	3.279	3.487	3.713	3.920	4.237	3.939	3.729		
50 Sn	Tin	25.270	25.042	28.483	29.106	29.190	3.444	3.435	3.662	3.904	4.131	4.464	4.157	3.928		

Fonte: Ascenso, Raquel Costa - Fluorescência de raios-X no controle da qualidade de amostras sólidas. Coimbra, 2011

	Element	Ka1	Ka2	Kβ1	Kβ2	Kα _{ab}	La1	La2	Lβ1	Lβ2	Ly1	L _{αab}	L _{αab}	L _{αab}	Ma	M _(Fe)
51 Sb	Antimony	26.357	26.109	29.723	30.387	30.491	3.605	3.595	3.843	4.100	4.347	4.697	4.381	4.132		
52 Te	Tellurium	27.471	27.200	30.993	31.668	31.809	3.769	3.758	4.029	4.301	4.570	4.934	4.613	4.341		
53 I	Iodine	28.610	28.315	32.292	33.016	33.170	3.937	3.926	4.220	4.507	4.800	5.190	4.856	4.559		
54 Xe	Xenon	29.802	29.485	33.644	34.446	34.579	4.111	4.098	4.422	4.720	5.036	5.452	5.104	4.782		
55 Cs	Cesium	30.8970	30.623	34.984	35.819	35.983	4.286	4.272	4.620	4.936	5.280	5.720	5.358	5.011		
56 Ba	Barium	32.191	31.815	36.376	37.255	37.443	4.467	4.451	4.828	5.156	5.531	5.996	5.623	5.247		
57 La	Lanthanum	33.440	33.033	37.799	38.728	38.932	4.651	4.635	5.043	5.384	5.789	6.283	5.894	5.489		
58 Ce	Cerium	34.717	34.276	39.255	40.231	40.440	4.840	4.823	5.262	5.613	6.052	6.561	6.165	5.729	0.833	
59 Pr	Praseodymium	36.023	35.548	40.746	41.772	41.998	5.034	5.014	5.489	5.850	6.322	6.846	6.443	5.968	0.883	
60 Nd	Neodymium	37.359	36.845	42.269	43.298	43.571	5.230	5.206	5.722	6.090	6.602	7.144	6.727	6.215	0.929	
61 Pm	Promethium	38.687	38.160	43.945	44.965	45.207	5.431	5.408	5.956	6.336	6.891	7.448	7.018	6.466	0.978	
62 Sm	Samarium	40.124	39.523	45.400	46.553	46.846	5.636	5.609	6.206	6.587	7.180	7.754	7.281	6.721		
63 Eu	Europium	41.529	40.877	47.027	48.241	48.515	5.846	5.816	6.456	6.842	7.478	8.069	7.624	6.983	1.061	
64 Gd	Gadolinium	42.983	42.280	48.718	49.961	50.228	6.059	6.027	6.714	7.102	7.788	8.393	7.940	7.252	1.131	
65 Tb	Terbium	44.470	43.737	50.391	51.737	51.998	6.275	6.241	6.979	7.368	8.104	8.724	8.258	7.519	1.185	
66 Dy	Dysprosium	45.985	45.193	52.178	53.491	53.789	6.495	6.457	7.249	7.638	8.418	9.083	8.621	7.850	1.340	
67 Ho	Holmium	47.528	46.686	53.934	55.292	55.615	6.720	6.680	7.528	7.912	8.748	9.411	8.920	8.074	1.293	
68 Er	Erbium	49.099	48.205	55.690	57.068	57.483	6.948	6.904	7.810	8.188	9.069	9.776	9.263	8.364	1.347	
69 Tm	Thulium	50.730	49.762	57.576	58.969	59.376	7.181	7.135	8.102	8.472	9.424	10.144	9.628	8.652	1.405	
70 Yb	Ytterbium	52.360	51.236	59.352	60.769	61.133	7.414	7.367	8.401	8.758	9.779	10.486	9.977	8.943	1.462	
71 Lu	Lutetium	54.003	52.959	61.282	62.746	63.106	7.654	7.604	8.708	9.048	10.142	10.867	10.345	9.241	1.521	
72 Hf	Hafnium	55.757	54.579	63.209	64.736	65.133	7.898	7.843	9.021	9.346	10.514	11.264	10.734	9.556	1.581	
73 Ta	Tantalum	57.524	56.270	65.210	66.799	67.200	8.145	8.087	9.341	9.649	10.892	11.676	10.130	9.876	1.644	
74 W	Tungsten	59.310	57.973	67.233	68.900	69.308	8.396	8.333	9.670	9.959	11.283	12.090	11.535	10.198	1.709	1.809
75 Re	Rhenium	61.131	59.707	69.296	71.020	71.462	8.651	8.584	10.006	10.273	11.684	12.522	11.965	10.531	1.774	
76 Os	Osmium	62.991	61.477	71.404	73.263	73.660	8.910	8.840	10.354	10.596	12.093	12.965	12.383	10.869	1.842	
77 Ir	Iridium	64.886	63.278	73.549	75.505	75.908	9.173	9.098	10.706	10.918	12.509	13.413	12.819	11.211	1.914	2.041
78 Pt	Platinum	66.820	65.111	75.736	77.766	78.179	9.441	9.360	11.069	11.249	12.939	13.873	13.268	11.559	1.978	2.122
79 Au	Gold	68.794	66.980	77.668	80.165	80.573	9.711	9.625	11.439	11.582	13.379	14.353	13.733	11.919	2.048	2.206
80 Hg	Mercury	70.821	68.894	80.282	82.826	83.113	9.987	9.896	11.823	11.923	13.828	14.841	14.212	12.285	2.120	2.296
81 Tl	Thallium	72.860	70.820	82.558	84.904	85.229	10.266	10.170	12.210	12.268	14.288	15.346	14.697	12.657	2.195	2.389
82 Pb	Lead	74.957	72.794	84.922	87.343	88.014	10.549	10.448	12.611	12.620	14.762	15.870	15.207	13.044	2.268	2.484
83 Bi	Bismuth	77.097	74.805	87.335	89.833	90.521	10.836	10.729	13.021	12.977	15.244	16.393	15.716	13.424	2.342	2.579
84 Po	Polonium	79.296	76.868	89.809	92.386	93.112	11.128	11.014	13.441	13.338	15.740	16.935	16.244	13.817	2.418	
85 As	Astatine	81.525	78.596	92.319	94.976	95.740	11.424	11.304	13.873	13.705	16.248	17.490	16.784	14.214		
86 Rn	Radon	83.800	81.880	94.877	97.616	98.418	11.724	11.597	14.316	14.077	16.768	18.058	17.337	14.618		
87 Fr	Francium	86.119	83.243	97.483	100.305	101.147	12.029	11.894	14.770	14.459	17.301	18.638	17.904	15.028		
88 Ra	Radium	88.485	85.466	100.136	103.048	103.927	12.338	12.194	15.223	14.839	17.845	19.233	18.481	15.442		
89 Ac	Actinium	90.894	87.681	102.846	105.838	106.799	12.650	12.499	15.712	15.227	18.405	19.842	19.078	15.865		
90 Th	Thorium	93.334	89.942	105.592	108.671	109.630	12.966	12.809	16.200	15.620	18.977	20.460	19.688	16.296	2.991	3.332
91 Pa	Protactinium	95.851	92.271	108.408	111.575	112.581	13.291	13.120	16.700	16.022	19.559	21.102	20.311	16.731	3.077	
92 U	Uranium	98.428	94.648	111.289	114.549	115.591	13.613	13.438	17.218	16.425	20.163	21.753	20.941	17.163	3.165	3.552
93 Np	Neptunium	101.005	97.023	114.181	117.533	118.619	13.945	13.758	17.740	16.837	20.774	22.417	21.596	17.614		
94 Pu	Plutonium	103.653	99.457	117.146	120.592	121.720	14.279	14.082	18.278	17.254	21.401	23.097	22.262	18.066		
95 Am	Americium	106.351	101.932	120.163	123.706	124.876	14.618	14.411	18.829	17.677	22.042	23.793	22.944	18.525		
96 Cm	Curium	109.098	104.447	123.235	126.875	128.088	14.961	14.743	19.393	18.106	22.599	24.503	23.640	18.960		
97 Bk	Berkelium	111.906	107.023	126.362	130.101	131.357	15.309	15.079	19.971	18.540	23.370	25.230	24.352	19.461		
98 Cf	Californium	114.745	109.603	129.544	133.383	134.683	15.661	15.420	20.562	18.980	24.056	25.971	25.080	19.938		
99 Es	Einsteinium	117.646	112.244	132.781	136.724	138.067	16.018	15.764	21.165	19.426	24.758	26.729	25.824	20.422		
100 Fm	Fermium	120.598	114.926	136.075	140.122	141.51	16.379	16.113	21.785	19.879	25.475	27.503	26.584	20.912		