

REVISTA

IPT

Tecnologia
e inovação

16

ipt
INSTITUTO DE
PESQUISAS
TECNOLÓGICAS

Abril/2021



ENERGIAS RENOVÁVEIS

Avaliação de viabilidade técnica de três diferentes biomassas

NANOMETROLOGIA

Panorama da situação no Brasil e no mundo

TRANSPORTE REFRIGERADO

Rota do salmão em rodovias desde o Chile até o Brasil



REVISTA IPT | Tecnologia e Inovação

v.5, n.16, abril, 2021

Quadrimestral

Editores-chefes

Eduardo Luiz Machado

Andreia Longuinho da Silva

Conselho Editorial

Eduardo Luiz Machado

Silas Derenzo

Assistentes Editoriais

Augusto Max Colin

Bruno D. Francisco da Silva

Ester Garcia Ferreira da Silva

Hamilton Lelis Ito

João Antonio Rodrigues Garcia

Luiz Silvano

Maria Natalina Martins

ISSN 2526-5830

Copyright© IPT. Todos os direitos reservados. Todos os textos, imagens, gráficos, e outros materiais são protegidos por direitos autorais e outros direitos de propriedade intelectual pertencentes ao IPT. A reprodução dos textos da Revista IPT somente será permitida para fins didáticos e de pesquisa, desde que com a citação deste material. Proibida a reprodução total ou parcial, com intuito de lucro direto ou indireto, por qualquer meio ou processo.

Créditos técnicos

DIAGRAMAÇÃO E ARTE:
Luiz Silviano

REVISÃO:
Eduardo Luiz Machado

Av. Prof. Almeida Prado, 532 - Cidade Universitária - Butantã
05508-901 - São Paulo - SP

ISSN 2526-5830

#16

Revista IPT:
Tecnologia
e inovação



SUMÁRIO

Artigos técnicos
e de opinião

p.06

Biomassa e tecnologias de adensamento para aplicação energética

Autores: Dafne Pereira da Silva, Marcos Alexandre Contri,
Samantha Custodio de Faria, Sandra Lúcia de Moraes

p.38

Desempenho térmico de veículos refrigerados na distribuição
de salmão fresco: na rota de longa distância do Chile ao Brasil

Autores: Carlos Vieira Leite, Eduardo Luiz Machado

p.66

Um panorama da nanometrologia no Brasil e no mundo

Autor: Fabrício Torres

p.86

Manual do proprietário: a importância para o usuário
de um imóvel residencial

Autores: Áureo da Silva Santos, Felipe Augusto Zaganini Bento,
Daniel Rodrigues Rezende Neves

p.95

Inovação em arte, ciência e tecnologia

Autor: Caio Pompeu Cavalhieri

TECNOLOGIA VERSÁTIL, PRÁTICA E CRIATIVA



Jefferson de Oliveira Gomes
Diretor-Presidente do IPT

Está disponível para pesquisadores, técnicos e gestores públicos e privados a décima sexta edição da 'Revista IPT, Tecnologia e Inovação'. Cinco artigos técnicos selecionados dão uma mostra da versatilidade tecnológica das equipes de profissionais do Instituto e seus parceiros. Criatividade, rigor e competência técnica, mais uma vez, dão o tom ao conhecimento. Confira.

Esta edição começa com o artigo intitulado "Biomassa e tecnologias de adensamento para aplicação energética". Seus autores são Dafne Pereira da Silva, do Laboratório de Processos Metalúrgicos do IPT; Marcos Alexandre Contri e Samantha Custodio de Faria, do Mestrado Profissional IPT - Processos Industriais; e Sandra Lúcia de Moraes, da Unidade de Negócios em Materiais Avançados do IPT. Discutem-se vantagens de biomassas adensadas para fins energéticos, em substituição a combustíveis fósseis.

Semanalmente chega ao Brasil o equivalente a 70 carretas de salmão fresco, informam os autores. Em "Desempenho térmico de veículos refrigerados na distribuição de salmão fresco: na rota de longa distância do Chile ao Brasil", a distribuição de temperatura no transporte refrigerado do produto foi mapeada para reduzir riscos decorrentes de possíveis variações. A autoria é de Carlos Vieira Leite e Eduardo Luiz Machado, respectivamente, mestre e docente do Mestrado Profissional do IPT em Processos Industriais. Machado também é coordenador de Ensino Tecnológico no Instituto.

Segue-se o artigo "Um Panorama da nanometrologia no Brasil e no mundo", de Fabrício Torres, do Laboratório de Metrologia Elétrica do IPT. O autor discute o avanço exponencial e global da nanotecnologia nas últimas décadas, exigindo grande empenho dos Laboratórios Nacionais de Metrologia para garantir a rastreabilidade metrológica demandada pela área.

"Manual do proprietário: a importância para o usuário de um imóvel residencial" é o título do artigo de Áureo da Silva Santos, do IPT; Instituto Federal do Norte de Minas Gerais; e aluno do Mestrado Profissional em Habitação: Planejamento e Tecnologia; Felipe Augusto Zaganini Bento, do IPT e aluno do Mestrado Profissional em Habitação: Planejamento e Tecnologia; e Daniel Rodrigues Rezende Neves, professor do Curso de Especialização em Avaliações e Perícias de Engenharia da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. O objetivo dos autores é a conscientização sobre a importância do 'Manual do Proprietário' como ferramenta fundamental para uma mudança na cultura no país, quanto à falta de cuidados e atenção rotineiros com aspectos como materiais e processos construtivos numa edificação.

O artigo "Inovação em arte, ciência e tecnologia" fecha esta edição, com mais uma mostra de versatilidade criativa. Seu autor é Caio Pompeu Cavalhieri, da unidade Cidades, Infraestrutura e Meio Ambiente do IPT. Nele o autor discute o conceito de inovação e estabelece paralelos com noções de produto, mercado e o trabalho de artistas que misturam elementos da arte, da ciência e da tecnologia em seus trabalhos.

Boa leitura!

Artigo técnico

Biomassa e tecnologias de adensamento para aplicação energética

*Biomass and densification technologies for energy application*Dafne Pereira da Silva^a, Marcos Alexandre Contri^b, Samantha Custodio de Faria^b, Sandra Lúcia de Moraes^{a,c}

^a Laboratório de Processos Metalúrgicos, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil.

^b Mestrado Profissional IPT: Processos Industriais.

^c Unidade de Negócios em Materiais Avançados, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil.

E-mail: sandralm@ipt.br

Palavras-chave:

adensamento; energia; biomassa; processo, densidade energética.

Keywords:

biomass; densification; energy; biomass; process, energy density.

Resumo

A mitigação dos impactos ambientais causados pelo uso expressivo de combustíveis fósseis tem se tornado cada vez mais urgente, e sua substituição inevitável. A biomassa se apresenta como uma promissora fonte renovável de energia, o que é demonstrado pelo percentual de participação da biomassa na matriz energética brasileira, da ordem de 9 % do total de cerca de 83 %. Isso representa 15.118 MW produzidos por 572 usinas de biomassa, com destaque para o uso de bagaço de cana-de-açúcar. Porém, em função da sua heterogeneidade e baixa densidade bulk o seu uso in natura apresenta desvantagens energéticas quando comparada com o petróleo ou carvão mineral, por exemplo. Dessa forma, o presente trabalho contemplou a avaliação da viabilidade técnica de adensamento, por peletização e briquetagem, de três diferentes biomassas: serragem de madeira, bagaço de cana e poda de árvore. Os produtos adensados apresentaram maior densidade energética em relação às biomassas in natura, valores satisfatórios de durabilidade mecânica, indicando que é possível obter produtos adensados com resistência ao manuseio e alta densidade energética a partir das biomassas avaliadas. Entretanto, ficou evidenciado que fatores como granulometria e umidade têm impacto importante no tipo de tecnologia de adensamento a ser utilizado, afetando diretamente a qualidade do produto, bem como a rota de processo a ser utilizada. A escolha da melhor configuração de parâmetros de processo e das características necessárias na preparação da biomassa a ser adensada são fatores determinantes para a viabilização técnica e econômica do uso desse tipo de material como fonte energética.

Abstract

The mitigation of environmental impacts caused by the expressive use of fossil fuels has become increasingly urgent, and its replacement inevitable. Biomass presents itself as a promising renewable source of energy, which is demonstrated by the percentage of participation of biomass in the Brazilian energy matrix, in the order of 9% of the total of about 83%. This represents 15,118 MW produced by 572 biomass plants, with emphasis on the use of sugarcane bagasse. However, due to its heterogeneity and low bulk density, its use in natural state presents energy disadvantages when compared to oil or coal, for example. Thus, the present work included the assessment of the technical viability of densification, by pelletizing and briquetting, of three different biomasses: wood sawdust, cane bagasse, and tree pruning. The dense products showed higher energy density compared to biomass in the natural state, satisfactory values of mechanical durability, indicating that it is possible to obtain densified products with handling resistance and high energy density from the evaluated biomasses. However, it became evident that factors such as particle size and moisture have an important impact on the type of densification technology to be used, directly affecting the quality of the product, as well as the process route to be used. The choice of the best configuration of process parameters and the characteristics required in the preparation of the biomass to be densified are determining factors for the technical and economic viability of using this type of material as an energy source.

1 Introdução

O consumo de combustíveis fósseis se intensificou a partir do século XVIII com a Revolução Industrial, se tornando a fonte de energia mais importante durante todo o século XX. Foram por meio dele que diversos avanços tecnológicos puderam ser alcançados, entretanto, estes avanços por vezes trouxeram consequências negativas, principalmente em relação ao aspecto ambiental.

Os impactos ambientais causados pelas atividades antrópicas e o uso decorrente de combustíveis fósseis têm alavancado o interesse por fontes renováveis de energia. Essas fontes alternativas têm se tornado promissoras para reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE), e mitigar os efeitos das alterações climáticas em curso, que de acordo com Edenhofer et al. (2012) é fundamental que essas emissões sejam reduzidas na ordem de 50 % a 85 % até 2050.

Neste contexto, a biomassa surge como potencial fonte renovável de energia, como substituta para combustíveis fósseis, tais como o carvão ou produtos derivados de petróleo. No entanto, em seu estado original, a biomassa apresenta algumas desvantagens, principalmente baixa densidade energética, grande volume para transporte, granulometria heterogênea e umidade elevada. Estas características podem gerar problemas no transporte, na manipulação, no armazenamento e na combustão da biomassa.

Quando utilizada para fins energéticos, a biomassa é classificada em três categorias: florestal, agrícola e de resíduos urbanos. Segundo Cardoso (2012) o potencial energético de cada um desses grupos depende tanto da matéria-prima quanto da tecnologia utilizada no processamento para obtê-los.

1.1 Contribuição das diferentes biomassas na matriz energética brasileira

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica - Aneel (2020), as fontes renováveis representam 82,78 % da nossa matriz energética, ao passo que as não renováveis representam 17,22 %, como pode ser visualizado na Tabela 1. Tal condição coloca o Brasil em uma posição de destaque no cenário internacional, visto que a maioria dos países faz uso, em grande parte, de fontes não renováveis na sua matriz energética. De acordo com o relatório publicado pela Agência Internacional de Energia - IEA (2020), 28 % da energia consumida no mundo provêm de fontes não renováveis.

Tabela 1 - Distribuição das fontes renováveis e não renováveis na matriz energética brasileira

Renováveis			82,78%
	Quantidade	Potência (kW)	%
Biomassa	572	15.118.027,45	8,75
Hídrica	1368	109.118.715,24	63,19
Solar	3898	2.929.373,95	1,70
Eólica	646	15.793.932,86	9,15
Undi-elétrica	1	50,00	0,00003
Não Renováveis			17,22%
	Quantidade	Potência (kW)	%
Petróleo e outros	2296	9.219.184,75	5,34
Gás Natural	166	14.944.086,79	8,65
Carvão mineral	22	3.582.830,00	2,07
Nuclear	2	1.990.000,00	1,15

Fonte: adaptado de Aneel (2020)

Observa-se que, dentre as fontes renováveis, a biomassa representa 8,75 % do total da energia elétrica gerada no país em 2020, o que equivale a 15.118 MW, produzidos por 572 usinas de biomassa espalhadas pelo país.

A Figura 1 apresenta a distribuição das usinas de biomassa no Brasil. Observa-se uma grande concentração de usinas na porção centro sul do país, com destaque para o estado de São Paulo. Tal fato se deve principalmente ao grande número de usinas que utilizam o bagaço de cana-de-açúcar como a sua fonte de biomassa para a produção de energia elétrica.

Figura 1 - Distribuição das usinas de biomassa no Brasil



Fonte: Aneel (2020)

Das 572 usinas de produção energética presentes no país, 406 fazem uso do bagaço de cana-de-açúcar, conforme pode ser visualizado na Tabela 2.

Observa-se na Tabela 2 que, além do uso do bagaço de cana para a geração de energia elétrica, outras fontes também têm se destacado como a casca de arroz que hoje já conta com 13 usinas em operação, concentrada, especialmente, nos estados do sul do país. Outras 2 usinas empregam capim elefante, sendo que uma destas usinas está localizada na Bahia e outra no estado do Amapá, 14

usinas empregam o licor negro, oriundo de fábricas de papel e celulose, e 60 unidades que utilizam resíduos florestais, dentre outras fontes.

Tabela 2 - Distribuição das usinas de produção energética que utilizam biomassa em operação no Brasil

Combustível	Quantidade	Potência outorgada (kW)	Potência Outorgada (%)
Bagaço de Cana-de-Açúcar	406	11.659.341,20	76,34
Licor Negro	18	2.538.634,00	16,62
Resíduos Florestais	60	520.010,00	3,40
Biogás-RU	21	174.440,60	1,14
Gás de Alto Forno - Biomassa	12	127.705,05	0,84
Lenha	7	82.215,00	0,54
Casca de Arroz	13	53.333,00	0,35
Carvão Vegetal	8	48.197,00	0,32
Capim Elefante	2	31.700,00	0,21
Biogás - AGR	3	10.974,00	0,07
Carvão - RU	3	8.250,00	0,05
Biogás - Floresta	1	5.000,00	0,03
Biogás - RA	14	4.481,20	0,03
Óleos Vegetais	2	4.350,40	0,03
Resíduos Sólidos Urbanos - RSU	1	4.278,00	0,03
Etanol	1	320,00	0,00
Total	572	15.273.229,45	100,00

Fonte: Aneel (2020)

De acordo com a Aneel (2020), o Brasil tem mais de 46 usinas geradoras de energia elétrica que utilizam biomassa como fonte primária em construção ou com projetos já aprovados. Juntas somarão mais 2.032 MW na matriz energética brasileira, sendo que deste total, 46, 3 empregarão o capim elefante como fonte de energia, 2 de óleos vegetais e 12 de resíduos florestais. Essa informação evidencia que o país tem buscado diversificar cada vez mais as fontes de produção energética, aproveitando resíduos e outras fontes de insumos agroambientais disponíveis.

A Figura 2 apresenta a localização das futuras usinas já em fase de construção ou com projetos já aprovados pela Aneel, na qual se observa uma concentração de novos empreendimentos no norte do estado de São Paulo e sul de Minas Gerais, e algumas no norte do país.

Por ser uma potência agrícola, o Brasil também é um grande gerador de resíduos desse setor, como por exemplo, cascas, talos, raízes e folhagens. De acordo com Bellote et al. (2018), no caso do arroz, a casca representa 30 % da massa do cereal; para o coco, 60 % são resíduo. Outro potencial gerador de resíduos é o setor pecuário, no qual são geradas grandes quantidades de biomassa de esterco por cabeça de animal. Nessa mesma linha, outra fonte de biomassa atrativa são os resíduos sólidos urbanos, cujos estudos apontam uma geração média no Brasil de cerca de 1 kg/habitante/dia.

Figura 2 - Localização das futuras usinas já em fase de construção ou com projetos já aprovados.

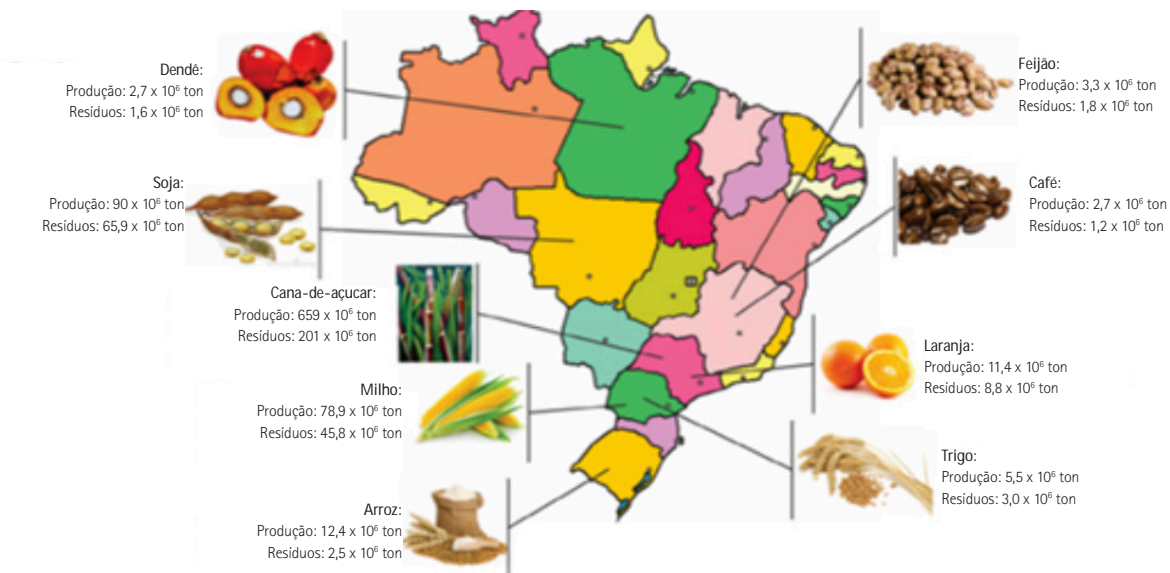


Fonte: Aneel (2020)

No caso do bagaço de cana, que é largamente usado na cogeração (calor e energia elétrica), o País produziu 121 milhões de toneladas no ano de 2016, os quais foram totalmente consumidos para gerar energia. Outro resíduo em destaque é a lixívia ou licor negro, com 16 milhões de toneladas produzidas nesse mesmo ano.

Na Figura 3 são apresentados vários produtos agrícolas característicos do Brasil com sua respectiva produção e resíduos gerados.

Figura 3 - Vários produtos agrícolas característicos do Brasil com sua respectiva produção e resíduos gerados



Fonte: Bellote et al. (2018)

Diante deste contexto, pode-se inferir que existe um grande potencial para se desenvolver processos de adensamento de resíduos com poder calorífico, de forma a possibilitar o aumento da geração de energia elétrica de fontes renováveis, auxiliando na preservação do meio ambiente e na geração de emprego e renda.

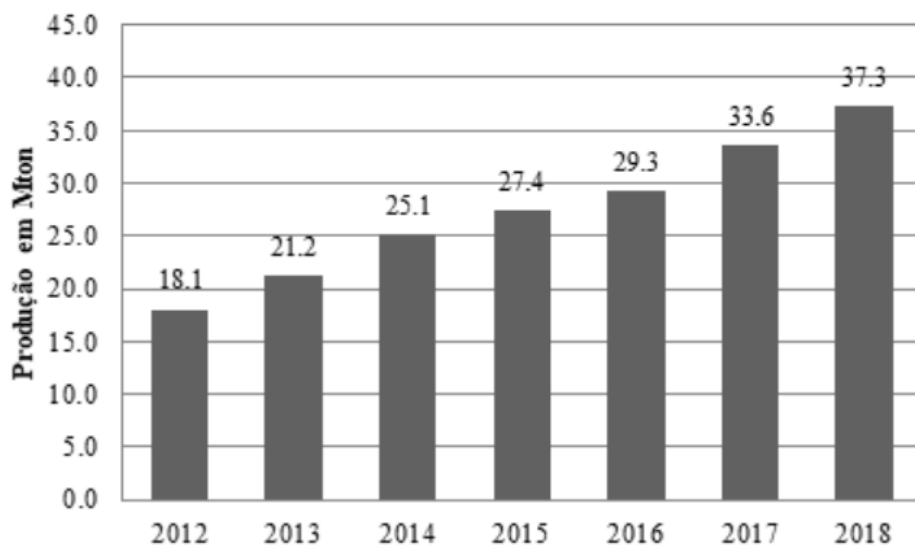
1.1.1 Evolução do mercado de pellets de madeira no Brasil e no mundo

Dentre os diversos tipos de biocombustível, existe um tipo que possui um grande mercado estabelecido e em crescimento, em especial na Europa e na Ásia, e que vem despertando cada vez mais o interesse das empresas do Brasil. Trata-se da produção de pellets de madeira que são utilizados em sistema de calefação e geração de energia.

De acordo com Kosman (2019), o mercado global de pellets de madeira atingiu em 2019 o faturamento de US\$ 8,5 bilhões e estima-se que entre 2019 e 2025 este faturamento cresça a uma taxa de 10 % ao ano. Embora o consumo seja liderado pelos países europeus, o Japão e a Coreia do Sul vêm aumentando substancialmente suas importações, sendo que entre 2016 e 2018 as importações mais do que dobraram.

A Figura 4 apresenta a evolução crescente do volume de produção mundial de 2012 a 2018 e que, de acordo com as tendências de mercado, irá continuar assim nos próximos anos.

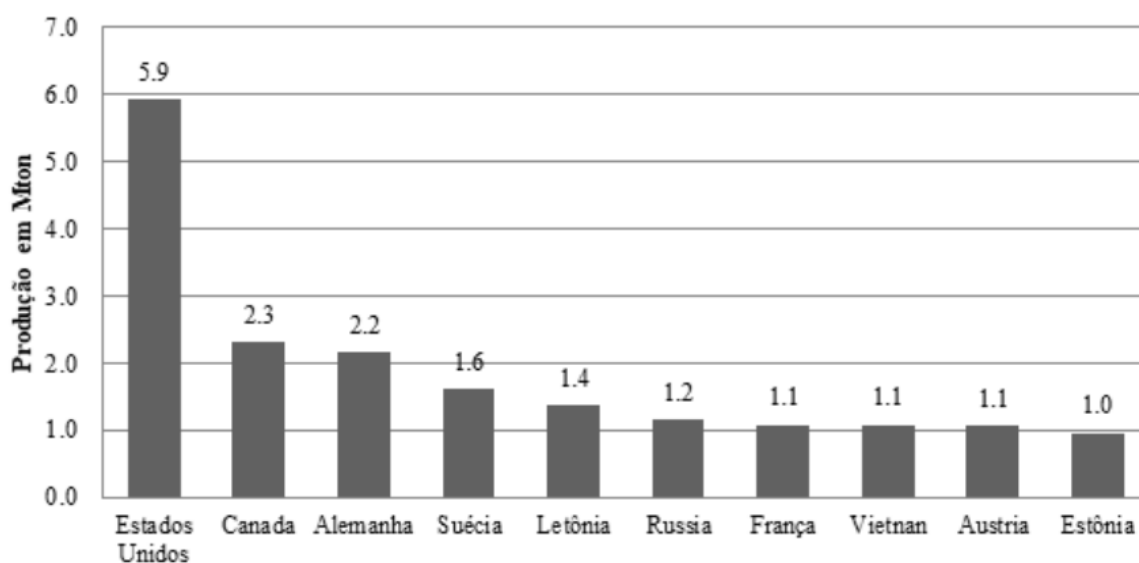
Figura 4 - Evolução do volume de produção mundial de pellets de madeira 2012 a 2018



Fonte: FAO (2020)

A Figura 5 apresenta o volume de produção dos 10 maiores produtores mundiais em 2018, sendo que os Estados Unidos produziram 15,8 % do volume global, com 5,9 milhões de toneladas.

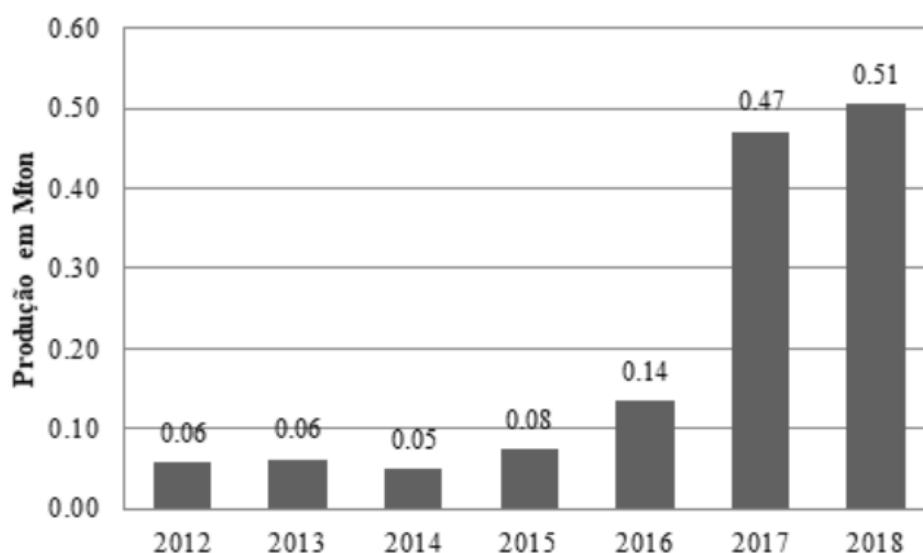
Figura 5 - Volume de produção de pellets de madeira dos 10 maiores produtores mundiais em 2018



Fonte: FAO (2020)

A Figura 6 apresenta a evolução do volume de produção brasileira de 2012 a 2018. Observa-se que entre 2016 e 2017 a produção brasileira deu um salto de 140 mil toneladas para 470 mil toneladas e a tendência é que esta indústria continue a crescer de forma significativa no país.

Figura 6 - Evolução do volume de produção brasileira de 2012 a 2018



Fonte: FAO (2020)

Segundo o Anuário de investimentos do Rio Grande do Sul (2019), um grupo brasileiro está investindo R\$ 1,4 bilhões de reais na construção de uma nova fábrica na cidade de Pinheiro Machado no estado do Rio Grande do Sul, o que evidencia o potencial desta indústria no Brasil. A expectativa é que a unidade entre em operação no início de 2022 e terá a capacidade de produzir em um primeiro momento 1,2 milhões de toneladas de pellets de madeira que serão destinados ao mercado externo, a começar pela Europa e Japão. Portanto, só com o incremento de produção desta unidade, se considerássemos a produção de 2018, o Brasil seria o quarto maior produtor mundial.

De forma majoritária, a produção de pellets de madeira no Brasil é destinada à exportação.

A Tabela 3 apresenta os principais consumidores mundiais de pellets de madeira entre 2012 e 2017, incluindo uma estimativa para 2018. A tendência é de aumento com diversos outros países passando a adquirir este produto.

Tabela 3 - Principais consumidores mundiais de pellets de madeira (Milhões de toneladas)

Ano Calendário	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018 ^e
Reino Unido	1,40	3,70	4,90	6,70	7,30	7,40	8,00
Itália	2,20	2,50	3,40	3,30	3,20	3,45	3,75
Dinamarca	2,10	2,40	2,45	2,50	2,57	3,26	3,50
Alemanha	1,70	2,08	1,84	1,76	2,00	2,10	2,19
Suécia	1,70	1,86	1,65	1,65	1,61	1,53	1,79
França	0,55	0,74	0,90	0,95	1,20	1,45	1,50
Bélgica	1,70	1,50	1,20	1,60	1,35	1,38	1,38
Áustria	0,79	0,88	0,82	0,85	0,90	0,96	0,95
Espanha	0,25	0,38	0,43	0,45	0,48	0,48	0,60
Holanda	1,25	1,20	0,50	0,12	0,19	0,35	0,40
Polônia	0,39	0,50	0,49	0,35	0,30	0,34	0,35
Total	14,03	17,74	18,57	20,23	21,08	22,69	24,40

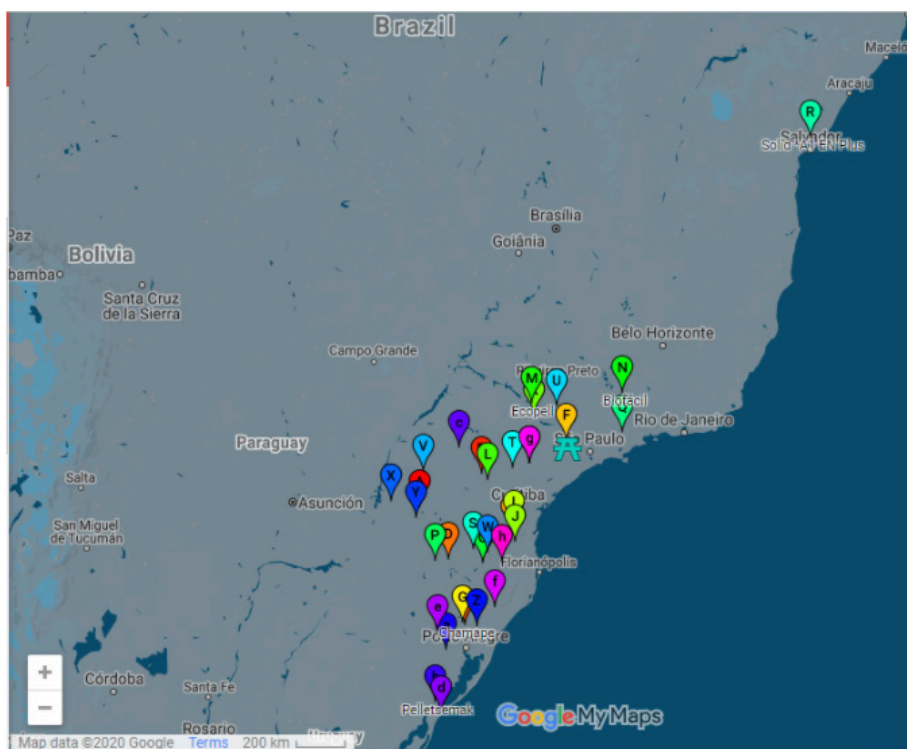
Fonte: Voengele (2019)

Para facilitar a exportação do pellet de madeira, em especial para a Europa e Japão, que são os grandes mercados consumidores, as empresas buscam obter o certificado internacional de origem e qualidade do material. Os requisitos são baseados na norma internacional ISO 17225-2 (2014), que garante a qualidade em toda a cadeia de produção.

De acordo com o site da EnPlus®, em 2020 o Brasil contava com 12 empresas certificadas e a tendência é que mais empresas busquem a certificação, visando facilitar o atendimento às exigências do mercado externo.

Garcia et al. (2018) prepararam um mapa dos produtores de pellets de madeira no Brasil. A Figura 7 apresenta o mapa dos produtores de pellets de madeira no Brasil em 2020.

Figura 7 - Mapa dos produtores de pellets de madeira no Brasil em 2020



Fonte: Garcia et al. (2020)

1.2 Biomassa como combustível

Além dos benefícios ambientais, a biomassa vem se tornando cada vez mais competitiva no âmbito financeiro frente a combustíveis como o gás liquefeito de petróleo (GLP), por exemplo. A Tabela 4 traz um comparativo econômico com as informações de duas fontes de biomassa com o GLP.

Tabela 4 - Comparativo de valores de fontes de energia para produção de 1 tonelada de vapor

Material	Quantidade (kg) de combustível para 1 ton de vapor	Valor de compra (R\$/ton)	R\$ combustível / ton vapor	Redução
GLP (m ³)*	56,6	4000,0	226,4	-
Pellets de eucalipto (kg)**	152,3	797,0	121,4	46 %
Cavaco***	246,3	150,0	37,0	84 %

Fonte: Copergas (2020)*; Pelletbraz (2020)**; Pallebras (2019)***

É possível observar que o emprego de biomassa promove uma redução de custo significativa em relação ao uso de GLP. Para o uso de biomassa também são necessárias outras análises como, por exemplo, o local disponível para estocagem de matéria-prima, ou o tamanho da câmara de combustão. Como se observa na **Tabela 4**, o cavaco parece muito mais vantajoso em relação aos pellets, mas a densidade do cavaco é muito inferior à densidade dos pellets, sendo 380 kg/m³ a densidade média do cavaco e 657 kg/m³ a densidade média de pellets. Dessa forma, o local para estocagem da matéria-prima seria aproximadamente 2 vezes maior em relação a área de estocagem necessária para os pellets. Além de facilidade de manuseio dos pellets, a umidade também varia bastante, podendo chegar a até 40 % no cavaco e 6 % nos pellets, dependendo do fornecedor, dentre outros benefícios.

Os valores de venda apresentados na **Tabela 4** referem-se a valores atualizados de 2020 com fontes de biomassa mais difundidas no momento, como o cavaco de madeira e pellets de pinus e de eucalipto. Outras fontes de biomassa ainda não são encontradas facilmente para fornecimento industrial, onde a demanda é relativamente alta, frente a pequenos comércios. Segundo mapeamento realizado pela ABIPEL, Associação Brasileira das Indústrias de Pellets (GARCIA et al. 2020), a maior disponibilidade de fornecedores está concentrada nos estados de São Paulo, Santa Catarina e Paraná.

Além dos pellets madeira, outras fontes provenientes da agricultura possuem grande potencial energético, como casca de coco, casca de café, semente de girassol, capim elefante, dentre outros. A **Tabela 5** mostra algumas fontes de biomassa e seu respectivo poder calorífico, em comparação com o GLP. É possível observar que o potencial energético de cada uma das fontes de resíduos é bem próximo, da ordem de 150 kg de combustível/ton de vapor, com exceção do cavaco de madeira, cujo valor é 246,3 kg de combustível/ton de vapor.

Tabela 5 - Poder calorífico de fontes de biomassa

Material	PCS (kcal/kg)	Massa (kg) de combustível para 1 ton de vapor
GLP	11750,0	56,6
Madeira de pinus	4745,9	140,1
Ponteira de eucalipto	4523,7	147,0
Resíduos de algodoeiro	4433,0	150,0
Pellets de eucalipto	4366,1	152,3
Bagaço de cana de açúcar	4366,1	152,3
Casca de eucalipto	4356,5	152,7
Capim elefante	4241,9	156,8
Palha de arroz	3924,2	169,5
Cavaco	2700,0	246,3

Fonte: Pereira (2014)

Há diversas fontes renováveis que estão sendo cada vez mais exploradas para fins energéticos. A dificuldade no momento é encontrar fornecedores em escala industrial para os diferentes tipos de combustíveis sólidos.

Diante do exposto, o adensamento de biomassa pode ser visto como uma solução promissora, transformando a biomassa in natura em um produto mais adequado para o transporte e em um combustível mais eficiente. Os processos de conversão energética da biomassa podem ser classificados como: processos físicos (adensamento e processamento mecânico), termoquímicos (combustão direta; pirólise e gaseificação) e biológicos (fermentação alcoólica e digestão anaeróbia) (NOGUERIA e LORA, 2003; BOYLE, 2004; e CORTEZ, 2011).

Neste contexto, o presente trabalho visou verificar a influência das propriedades físicas de biomassas (granulometria e umidade) e tipos de tecnologias de adensamento nos mecanismos de aglomeração de briquetes e pellets de madeira, bagaço de cana e poda de árvore.

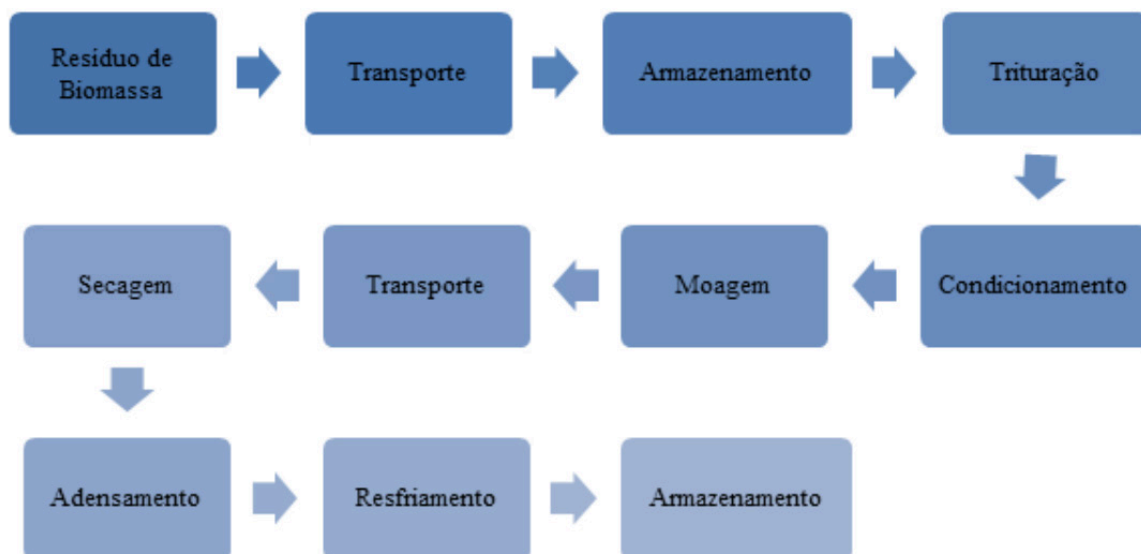
1.3 Beneficiamento de biomassa

O beneficiamento de biomassa tem como objetivo adequar a biomassa in natura para uma determinada finalidade, seja para o transporte ou para a conversão energética. Neste contexto, os processos físicos se encaixam em ambas as finalidades.

O processo físico de adensamento envolve o uso de pressão mecânica, com ou sem a presença de agente aglomerante, capaz de reduzir o volume da matéria-prima e aumentar seu conteúdo energético por unidade de volume. Em se tratando de um resíduo volumoso, pouco denso e heterogêneo, o processo físico de adensamento pode ser bastante vantajoso para a utilização da biomassa em termos econômicos, sociais e ambientais.

Antes de ser submetida ao adensamento, a biomassa deve passar por um pré-processamento. A **Figura 8** apresenta as etapas que compõem o processo de adensamento de biomassa: secagem, cominuição para adequação das dimensões das partículas, eventual tratamento térmico, e pressão mecânica para reduzir o volume; porém, dependendo de características específicas da biomassa considerada, nem todas as etapas são necessárias.

Figura 8 - Etapas do processo de adensamento dos resíduos de biomassa



Fonte: elaborado pelos autores

No processo de adensamento, os mecanismos de interação podem ser definidos como forças de atração entre partículas; forças interfaciais e de pressão capilar em superfícies líquidas móveis e forças de adesão e de coesão. Os mecanismos de compactação requeridos são distintos para cada tipo de biomassa (RUMPF, 1962 apud STELTE et al, 2011; PIETSCH, 2002), pois deve-se levar em consideração as propriedades químicas (análise elementar e poder calorífico) e físicas (teor de umidade, tamanho de partícula, densidade, volume de vazios e propriedades térmicas) de cada tipo de biomassa. O mecanismo de compactação escolhido determina a densidade, a estabilidade e a durabilidade do produto adensado na maioria de casos.

Durante o adensamento, as partículas originais retêm a maioria de suas propriedades, embora a energia seja dissipada devido à fricção entre partículas e partícula-parede. Em altas pressões, as partículas são forçadas umas contra as outras e são submetidas à deformação elástica e plástica, aumentando desse modo o contato entre partículas. Além disso, sob tensão, as partículas frágeis podem sofrer fatura.

Em geral, nenhum aditivo é utilizado para promover a ligação entre partículas de biomassa. A coesão, que ocorre internamente entre partículas, é causada pelo calor gerado pela compressão, que amacia e reorganiza a lignina entre as fibras, ligando-as naturalmente após seu resfriamento. Esta lignina solidificada na superfície faz com que os produtos adensados possam resistir à umidade. Dependendo da composição química e condições físico-químicas dos resíduos de biomassa, eles devem passar por diversos tratamentos até a produção de aglomerados.

Os seguintes fatores influenciam a compactação sem aglomerantes em experimentos utilizando equipamentos com um êmbolo-matriz:

- variáveis de processo: são os fatores que não são específicos do material, isto é, que são um conjunto de condições impostas à biomassa pelos equipamentos mecânicos de densificação, dentre eles temperatura; pressão e taxa de aplicação da pressão (velocidade de compressão); tempo de residência, geometria da matriz; e,
- variáveis do material: são os fatores característicos de uma dada biomassa como teor de umidade; tamanho, forma e distribuição das partículas; características bioquímicas e o pré-processamento.

O pré-processamento da biomassa antes da densificação é um método potencial para alterar a estrutura física e a estrutura dos constituintes químicos, em uma tentativa de reforçar as características de ligação. O pré-processamento pode ser físico-mecânico e químico.

Segundo Kaliyan e Morey (2009) a água presente na biomassa tem um importante papel na interação das partículas durante o processo de adensamento, visto que a água aumenta a área de contato entre elas, favorecendo a atuação das forças de van der Waals. Além disso, a água facilita a solubilização de fibras, açúcar, fosfato de sódio, sais de potássio, os quais ajudam no processo de adensamento. Entretanto, se por um lado a água facilita a compactação, em excesso pode levar à compactação e entupimento na saída do equipamento.

A utilização de água quente ou de vapor é outra abordagem que irá também aumentar a porosidade do material. Postula-se que a compressão e compactação de uma biomassa podem ser melhoradas pela ruptura do material lignocelulósico, por meio de pré-processamento por explosão a vapor, embora seja um método mais aplicado na preparação de biomassa para hidrólise enzimática (MACIEJEWSKA et al, 2006).

Na composição da biomassa são encontrados também materiais inorgânicos, que quando presentes em grandes quantidades aumentam o desgaste dos equipamentos utilizados no processo de adensamento, bem como resultam em emissão de particulados durante a queima. Essa matéria inorgânica é medida através do teor de cinzas, e pode ter duas fontes de origem: elementos inorgânicos que compõe as fibras da biomassa, e são inerentes a região onde é plantada e as condições de adubagem do solo; ou partículas inorgânicas (areias e argilas) provenientes do seu manuseio. Fredericci et al. (2012) concluiu que o produto proveniente da queima dos bagaços de cana-de-açúcar analisados no seu estudo é uma mistura do material inorgânico que compõe o bagaço mais o quartzo proveniente da areia do manuseio.

O tamanho das partículas tem influência direta na durabilidade mecânica do produto adensado, pois partículas maiores favorecem a ocorrência de pontos de ruptura. Entretanto, se a quantidade de finos originários do pré-processamento for elevada, provavelmente o custo do produto será maior, de forma que uma mistura de diferentes tamanhos de partículas pode gerar produtos de boa qualidade e economicamente viáveis. Para a adequação no tamanho das partículas podem ser usados

picadores, trituradores ou moinhos, sendo que o moinho só será usado quando houver necessidade de partículas menores.

A compactação de resíduos lignocelulósicos resulta em produtos adensados com diâmetros variando entre 4 mm e 16 mm, no caso dos pellets, ou diâmetros superiores a 50 mm (briquetes e extrudados), os quais são utilizados na geração de energia na forma de calor ou eletricidade.

Os equipamentos de compactação mais comuns têm sido adaptados de processos industriais existentes nas áreas de alimentação animal, de farmácia e de beneficiamento de resíduos finos de minérios. No entanto, a grande diversidade da composição da biomassa e a complexidade do material demandam muitas adaptações.

Samson et al. (2005) reportam que, em geral, pellets são comumente utilizados em usos finais mecanizados de pequena escala, enquanto os briquetes são usados em sistemas de combustão de biomassa de grande escala. Os briquetes foram considerados pelo autor mais apropriados para alimentação manual para aquecimento ou para cocção em países em desenvolvimento. Entretanto, é importante ressaltar que durante a queima dos combustíveis sólidos em locais fechados, devem-se analisar os teores de cloreto e sulfato existentes na biomassa, devido a possibilidade de geração de gases tóxicos na queima.

Os processos de adensamento aumentam a densidade energética da biomassa, dada pela quantidade de energia presente em um metro cúbico de material, entretanto, não altera o poder calorífico da biomassa em questão.

A seguir serão descritos os métodos de adensamento, bem como principais equipamentos utilizados em cada método.

1.4 Métodos de adensamento e principais equipamentos empregados

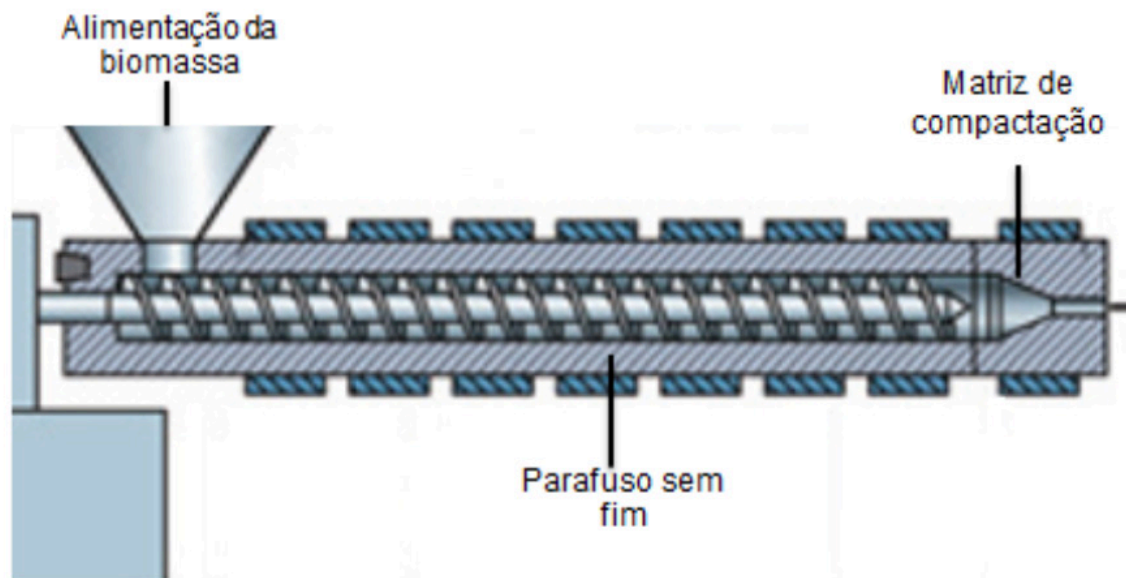
Existem vários métodos disponíveis para realizar a densificação de biomassa. Os processos convencionais de adensamento de biomassa podem ser classificados em três tipos: extrusão, briquetagem e peletização.

1.4.1 Extrusão

O processo de extrusão consiste na aplicação de pressão em uma massa de partículas dispersas com o objetivo de torná-las um sólido geométrico compacto de alta densidade (FILIPPETTO, 2008). O processo de adensamento por extrusão é realizado em prensa de parafuso sem-fim, a qual transporta e empurra a matéria-prima com um parafuso através de uma matriz, onde sofre a extrusão dentro de um molde.

Todo o processo de adensamento é auxiliado pelo aumento de temperatura que ocorre dentro da câmara devido à combinação de velocidade de rotação interna do parafuso com a existência de atrito no processo (SAMSON et al., 2005). A Figura 9 exemplifica um dos tipos de prensa de parafuso sem-fim.

Figura 9 - Extrusora de parafuso sem fim



Fonte: Bhattacharya et al. (1989)

1.4.2 Briquetagem

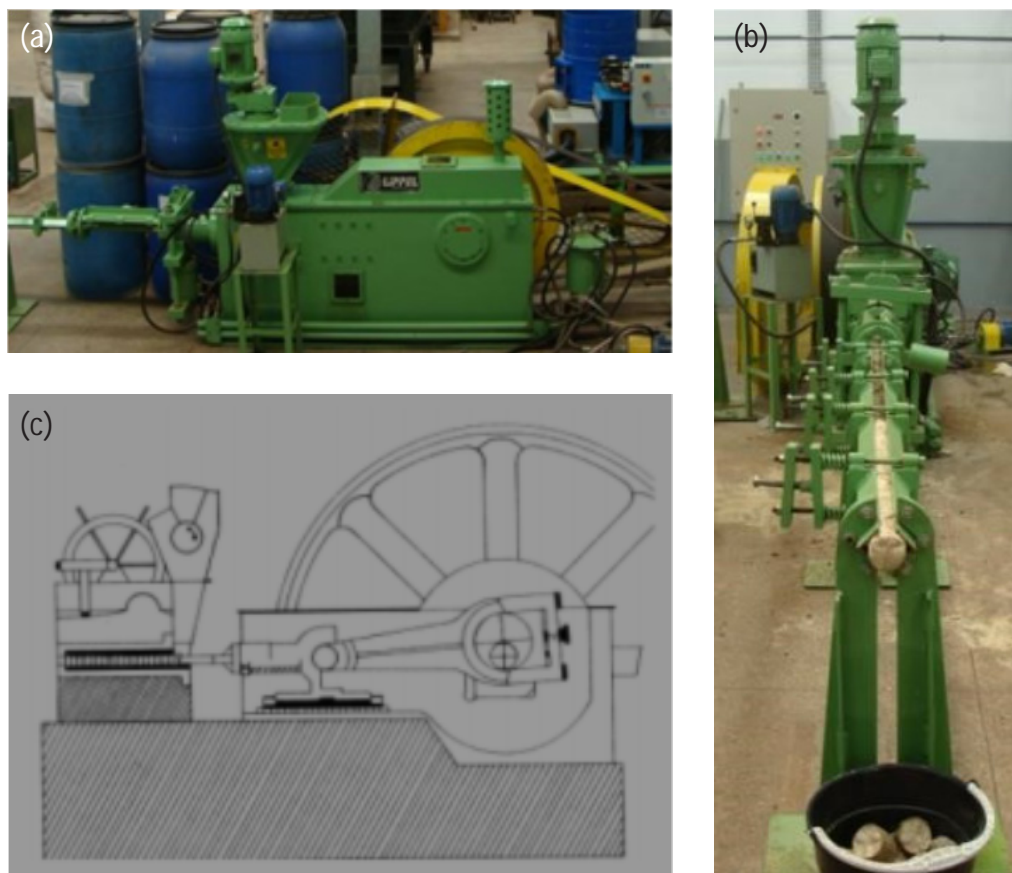
A briquetagem é um processo antigo que teve início em 1.848 nos Estados Unidos, visando à compactação de carvão moído (SAMPAIO et al 2007). Segundo Tumuluru et al. (2010) a briquetagem é geralmente realizada usando uma prensa de pistão mecânico ou hidráulico, ou uma prensa de rolos.

a. Prensa de pistão mecânico

Neste tipo de equipamento a matéria-prima é alimentada e compactada em uma matriz por meio de um pistão ligado excêntricamente a um grande volante que força e se movimenta alternadamente, gerando os briquetes (Figura 10).

A matriz é constituída por um duto afunilado de seção circular que serve para compactar a biomassa na forma de briquetes. A pressão gerada durante o processo acarreta o aumento de temperatura do sistema, favorecendo a fluidização da lignina contida na biomassa, a qual age como um ligante entre as partículas. A temperatura no processo pode variar de 150 °C a 300 °C.

Figura 10 - Prensa de pistão mecânico



Fonte: (a) e (b) Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, (c) Quirino (1991)

O resfriamento é uma das etapas indispensáveis para a produção de briquetes, visto que está intrinsicamente relacionado com a qualidade do produto. É durante o resfriamento que ocorre a condensação do vapor, caso contrário, a pressão do vapor pode provocar fissuras superficiais que fragilizam os briquetes formados.

b. Prensa de pistão hidráulico

A prensa de pistão hidráulico apresenta um mecanismo semelhante ao pistão mecânico. Entretanto, neste caso a compactação é realizada com pressões e temperaturas mais baixas.

O sistema hidráulico de óleo a alta pressão é o responsável por transmitir energia ao pistão, via motor elétrico. Este tipo de prensa possui um cilindro hidráulico, o qual libera o briquete comprimido quando atinge a pressão desejada (Figura 11).

Figura 11 - Prensa de pistão hidráulico

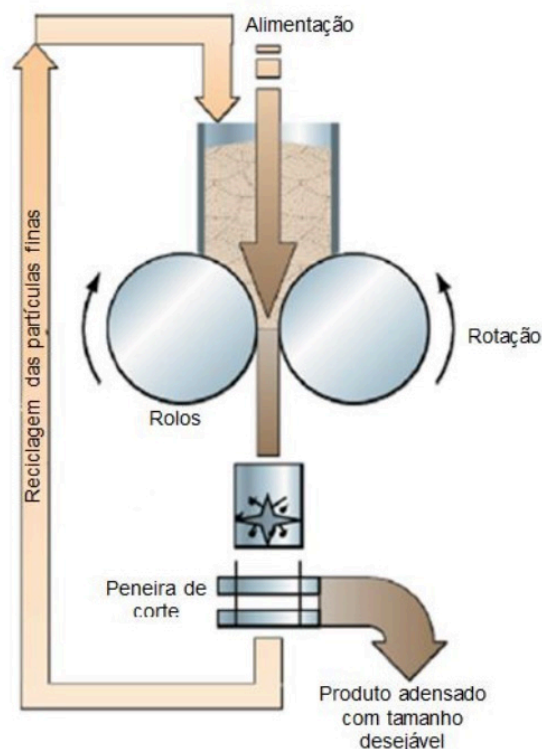


Fonte: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

c. Prensa de rolos

A prensa de rolos direciona a matéria-prima contra um par de rolos que giram em sentidos opostos (Figura 12). O material é comprimido no espaço entre os rolos produzindo um briquete cuja forma é moldada pelas cavidades presentes nas superfícies dos rolos.

Figura 12 - Prensa de rolos



Tumuluru et al. (2010)

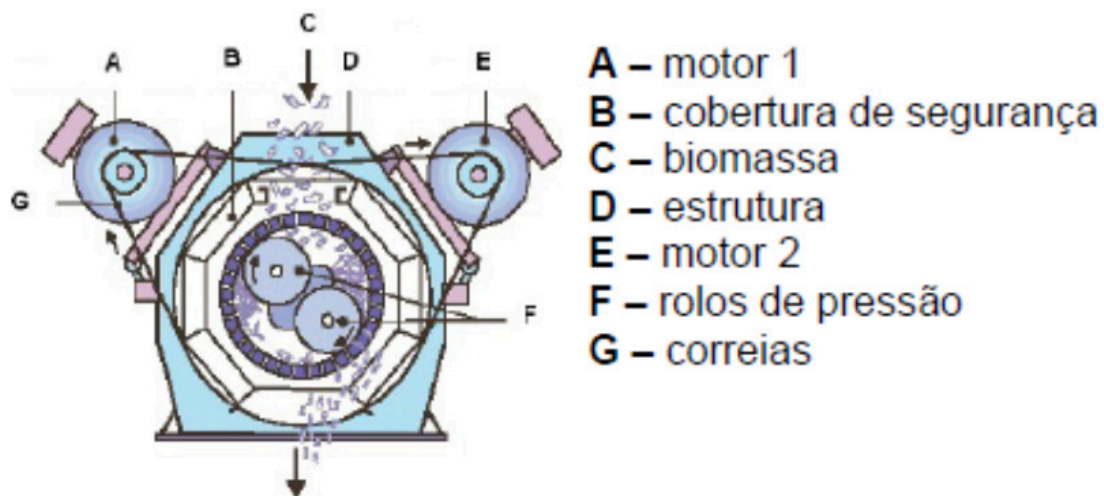
1.4.3 Peletização

Segundo Lethikangas (2001), durante o processo de adensamento por peletização, a pressão exercida entre os componentes causa uma força de fricção que aquece e pressiona o material através de perfurações da matriz. Loução (2008) reporta que o processo de adensamento por peletização pode ser realizado de duas formas:

a. Matriz do tipo cilíndrica vertical

Neste tipo de sistema o material é alimentado dentro de uma câmara entre a matriz e os rolos, de forma que ele é distribuído e esmagado entre as perfurações pela força dos rolos de pressão, percorrendo o diâmetro interno da matriz em sentido contrário à rotação (Figura 13).

Figura 13 - Matriz do tipo cilíndrica vertical, vista frontal

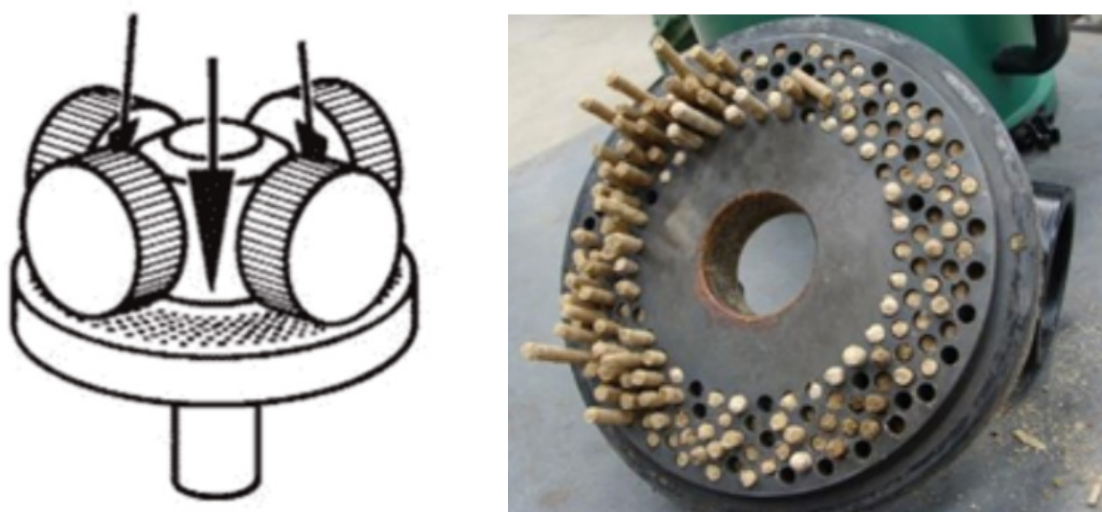


Fonte: Loução (2008)

b. Matriz do tipo plana (disco)

O mecanismo de compressão baseia-se numa matriz plana e redonda equipada com rolos de pressão sobre a superfície. O número de rolos varia entre 1 e 6, dependendo do tamanho da máquina. Em alguns modelos a matriz gira e os rolos mantêm-se estacionários, enquanto em outros a matriz se mantém estacionária e os rolos se movem (Figura 14).

Figura 14 - Matriz do tipo plana



Fonte: Gaviria (2007) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

2 Procedimento metodológico

Para análise do desempenho de cada equipamento em função da biomassa utilizada foram selecionados dois parâmetros: teor de umidade e granulometria da partícula de alimentação. O teor de umidade foi ajustado em três valores aproximados: 8 %, 10 % e 12 % de umidade (base úmida).

A serragem foi seca em estufa, visto que a umidade inicial, no momento do ensaio, estava em torno de 17 % (base úmida). Entretanto, foram enfrentados alguns problemas durante o processo de ajuste de umidade, pois caso a serragem não estivesse totalmente seca e fria ela poderia reabsorver a água rapidamente, aumentando o teor de umidade mais do que o esperado. Neste caso, decidiu-se secar a serragem até um teor de umidade de aproximadamente 5 % e depois ajustar até o valor desejado.

A secagem do bagaço de cana foi realizada no secador rotativo, em dois passes em função do seu alto teor de umidade (>50 %), de forma a obter umidade em torno de 8 %.

A poda de árvore utilizada no estudo estava armazenada em local aberto, o que favoreceu sua secagem natural, não havendo necessidade de secá-la para alguns ensaios.

A etapa de adequação granulométrica das biomassas foi realizada em moinho de facas, e posteriormente foi utilizado o peneirador vibratório para a classificação do material em totalmente passante nas malhas: 12,5 mm, 4,0 mm e 1,7 mm. O tamanho das partículas foi definido de acordo com a limitação de cada técnica de adensamento empregada.

O estudo de adensamento das biomassas foi realizado empregando-se a técnica de peletização e a briquetagem. Em função do diâmetro das cavidades da matriz da peletizadora (6 mm) foram utilizadas biomassas com a granulometria abaixo de 4,0 mm (serragem e bagaço de cana) e 1,7 mm (poda de árvore).

Nos ensaios realizados com a briquetadeira hidráulica foram utilizadas biomassas com partículas menores que 12,5 mm e partículas menores que 4,0 mm, nos três teores de umidade previamente escolhidos, 8 %, 10 % e 12 % (base úmida).

As biomassas in natura foram caracterizadas quanto a distribuição granulométrica; o teor de umidade; densidade bulk; análise imediata; teor de enxofre total; e teores de carbono, hidrogênio, nitrogênio, oxigênio, cloreto e sulfato. Já os produtos obtidos nos processos de adensamento foram caracterizados quanto a durabilidade mecânica e densidade bulk.

O ensaio de durabilidade mecânica determina a capacidade dos pellets e briquetes resistirem ao manuseio e ao transporte. A densidade bulk é um parâmetro importante para o transporte de combustíveis sólidos e quando analisado juntamente com o poder calorífico e umidade é possível calcular a densidade energética do combustível.

A densidade energética do produto adensado é calculada por meio da Equação 1, utilizando os valores de densidade bulk, umidade e poder calorífico inferior (PCI), encontrados para os produtos adensados. Este último pode ser calculado a partir da Equação 2.

$$\text{Densidade energética} \left(\frac{\text{kcal}}{\text{m}^3} \right) = \text{PCI} \left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right) \cdot \text{DB} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \quad (1)$$

$$\text{PCI} = (1 - a) \cdot \text{PCS} - 9(1 - a) \cdot h \cdot \text{hlv}(25^\circ\text{C}) - a \cdot \text{hlv}(25^\circ\text{C}) \quad (2)$$

Onde:

PCI – Poder Calorífico Inferior (kcal/kg)

PCS – Poder Calorífico Superior da biomassa in natura (kcal/kg)

DB – Densidade bulk (kg/m³)

a – Umidade base úmida (%)

h – Percentual de hidrogênio do material seco (%)

hlv – Entalpia de vaporização da água a 25°C (kcal/kg), igual a 583,58 kcal/kg

Os processos de adensamento aumentam a densidade energética da biomassa, dada pela quantidade de energia presente em um metro cúbico de material, entretanto, não altera o poder calorífico da biomassa em questão. Como exemplo, Werther et al. (2000) relatam que a densidade bulk de produtos adensados de bagaço de cana varia entre 450 kg/m³ a 650 kg/m³, ou seja, 5 a 10 vezes maior que a da matéria-prima, enquanto que sua densidade energética aumenta de 6 a 9 vezes, de 1,08 GJ/m³ para 6,48 GJ/m³ a 10,08 GJ/m³ devido ao adensamento.

3 Resultados e discussão

A Tabela 6 apresenta os resultados de caracterização química das biomassas in natura.

Tabela 6 - Caracterização das biomassas

Ensaio	Normas	Resultados			
		Serragem	Bagaço de cana	Poda de árvore	
Material Seco	Carbono fixo - % massa	ABNT NBR 8112/86	21,0	-	-
	Carbono - % massa	DIN EN 15104-05	49,1	34,63	46,8
	Hidrogênio - % massa	DIN EN 15104-05	5,62	4,83	5,69
	Nitrogênio - % massa	DIN EN 15104-05	0,3	0,4	1,2
	Teor de cinzas - % massa	ASTM D1102-84	5,3 ± 0,8	35,2 ± 4,2	9,1 ± 1,6
	Enxofre - % massa	ASTM D4239	< 0,1	<0,1	<0,1
	Teor de voláteis - % massa	ASTM D1762-84	73,7 ± 1,1	55,8 ± 1,1	71,6 ± 1,1
	Oxigênio - % massa	ASTM D3176-09	39,68	24,97	37,21
	Poder calorífico (MJ/kg)	DIN EN 14918-10	Superior: 20,02 ± 0,11 Inferior: 18,81	Superior: 12,51 Inferior: 11,47	Superior: 18,76 Inferior: 17,53
Tal qual	Teor de Umidade* - % massa	DIN EM 14774-3/10	12,8	5,9	10,3
	Poder calorífico (MJ/kg)	DIN EN 14918-10	Superior: 17,46 Inferior: 16,09	Superior: 11,77 Inferior: 10,65	Superior: 16,83 Inferior: 15,48
	Cloreto (Cl ⁻) - % massa	DIN 51727/11	0,030 ± 0,002	0,010 ± 0,001	0,025 ± 0,001
	Sulfato (SO ₄ ²⁻) - % massa	DIN 15289/11	0,051 ± 0,004	0,074 ± 0,003	0,25 ± 0,010
	S (enxofre total) - % em massa	DIN 15289/11	0,017 ± 0,001	0,025 ± 0,001	0,083 ± 0,003

Fonte: Moraes et al. (2016)

*após ajuste de umidade.

Os valores obtidos na caracterização das biomassas demonstram o alto poder calorífico da serragem e da poda de árvore, 20,02 MJ/kg e 18,76 MJ/kg, respectivamente, quando comparado com o bagaço de cana, 12,51 MJ/kg. Por se tratarem de resíduos madeiros, a poda e a serragem contêm maior quantidade de carbono e oxigênio em comparação com o bagaço de cana, uma vez que, as quantidades destes elementos estão relacionadas com o poder calorífico dos materiais.

Conforme mencionado na revisão da literatura, o teor de cinzas corresponde à matéria inorgânica presente na biomassa, seja da composição da biomassa ou de origem externa (areia e argila). O valor encontrado para a amostra de bagaço de cana no presente estudo (35,2 % de cinzas) é bastante expressivo e diferente dos valores encontrados na literatura, que variam de 4 % a 10 % (FREDERICCI et al., 2012; STELTE et al., 2012).

O bagaço de cana tem menores características comburentes que os resíduos madeireiros, corroborando os valores encontrados de poder calorífico. Segundo Brito e Barrichelo (1978) o teor de voláteis no combustível influencia diretamente nas características de queima do material, uma vez que os componentes voláteis, quando aquecidos, passam rapidamente para forma gasosa.

Os teores de cloreto (Cl-) das biomassas estudadas variaram de 0,01 % a 0,03 %, enquanto os teores de enxofre total (S) variaram de 0,017 % a 0,083 %. O teor destes elementos tem influência na comercialização de materiais adensados. A norma europeia ISO 17225-2 (2014), por exemplo, especifica três possíveis classes de pellets de madeira baseadas em seu uso, sendo A1, A2 e B para usos domésticos e I1, I2 e I3 para usos industriais, com base nos valores aceitáveis para Cl e S, conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 - Valores aceitáveis de Cl e S para uso doméstico e industrial

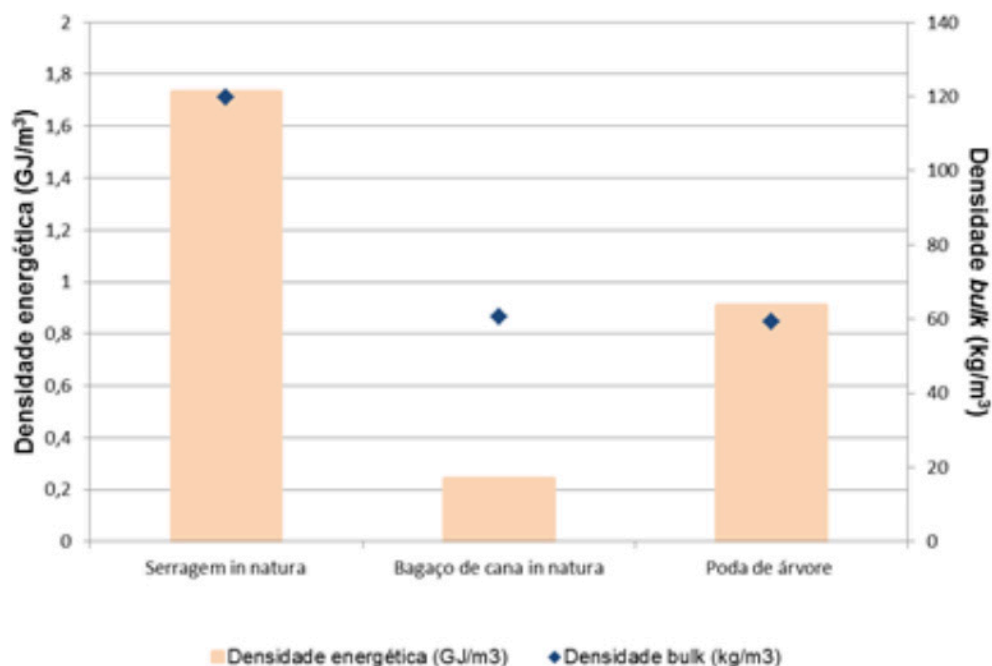
Uso doméstico	Propriedade	A1	A2	A3
	Cl (% - massa)	≤ 0,02	≤ 0,02	≤ 0,03
	S (% - massa)	≤ 0,04	≤ 0,05	≤ 0,05
Uso industrial	Propriedade	I1	I2	I3
	Cl (% - massa)	≤ 0,03	≤ 0,05	≤ 0,06
	S (% - massa)	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05

Fonte: ISO 17225-2 (2014)

De acordo com os valores apresentados na Tabela 7 e os dados obtidos nos ensaios de caracterização química das biomassas (serragem e poda de árvore), verifica-se que os pellets produzidos com resíduos de serragem poderiam ser classificados como B para usos domésticos e I1 para industrial. No caso dos pellets produzidos com resíduos de poda urbana, observa-se que eles se enquadrariam nas classificações se dependesse apenas do cloro; entretanto, o teor de enxofre ultrapassa em aproximadamente uma vez e meia o valor permitido. O alto teor de enxofre implica na emissão de gases poluentes durante a queima do combustível.

Na Figura 15 são apresentados os resultados de densidade energética e densidade bulk obtidos de acordo com a biomassa in natura estudada. Destaca-se que as dimensões dos galhos de árvore podados eram maiores que o recipiente para a realização do ensaio, inviabilizando tecnicamente a determinação da densidade bulk da poda de árvore baseada na norma DIN EN 15103:2010-04. Por esta razão, no caso específico da poda de árvore, a densidade bulk foi estimada em função da massa da biomassa coletada e do volume ocupado por ela no big bag de dimensões conhecidas.

Figura 15 - Resultados da densidade bulk e densidade energética das biomassas



Fonte: Moraes et al. (2016)

Conforme se observa na Figura 15, a serragem in natura é o material mais denso (119,83 kg/m³) dentre as biomassas estudadas, enquanto que o resíduo de poda de árvore in natura e o bagaço de cana-de-açúcar in natura apresentam densidades equivalentes, respectivamente, 59,14 kg/m³ e 60,54 kg/m³.

A serragem apresenta o maior valor de densidade energética (1,73 GJ/m³). Tal fato era esperado, em virtude do seu elevado poder calorífico superior e elevada densidade bulk. Embora a poda in natura apresente um poder calorífico superior semelhante ao da serragem, sua densidade energética é cerca de 50 % menor (0,91 GJ/m³), decorrente principalmente do menor valor de densidade bulk da poda.

A densidade energética do bagaço in natura é de apenas 0,24 GJ/m³, o que pode ser explicado por seu baixo poder calorífico superior, sua baixa densidade bulk e sua alta umidade (>50 % antes do ajuste de umidade).

3.1 Melhores condições de adensamento de biomassa

A Tabela 8 apresenta os melhores resultados dos ensaios de peletização e briquetagem como técnicas de adensamentos das três biomassas estudadas, de acordo com os parâmetros de durabilidade mecânica e densidade energética.

Tabela 8 - Melhores resultados obtidos pelo emprego da tecnologia de peletização e briquetagem para cada biomassa avaliada

Ensaio	Serragem		Bagaço de cana		Poda de árvore	
	Pellet	Briquete	Pellet	Briquete	Pellet	Briquete
Granulometria da biomassa (mm)	< 4,0	<12,5	<4,0	<12,5	<1,7	<4,0
Teor de Umidade ¹ da biomassa (%)	10,96	12,42	12,12	12,27	11,96	11,93
Teor de Umidade do adensado (%)	8,70	11,82	6,89	11,53	8,38	11,93
PCI do produto adensado (MJ/kg)	16,93	16,27	10,49	9,85	15,83	15,31
Densidade bulk (kg/m ³)	490,00	370,00	470,00	396,09	524,77	362,35
Densidade energética produto adensado (GJ/m ³)	8,30	6,02	4,93	3,90	8,31	5,55
Fator K	4,80	3,48	20,54	16,25	9,09	6,07
Durabilidade (%)	85,93	58,71	80,39	89,26	83,64	30,27

Fonte: Moraes et al. (2016)

¹umidade em base úmida

Conforme se observa na Tabela 8, nas condições estudadas, ambas as tecnologias de adensamento podem ser aplicadas as biomassas em questão. No entanto, o processo de peletização permitiu um maior aumento na densidade energética, bem como bons resultados de durabilidade mecânica para as três biomassas.

Os ensaios realizados com o bagaço de cana apresentaram produtos com alta durabilidade mecânica (> 80 %) e um aumento da densidade energética de aproximadamente 20 vezes em comparação com o material in natura, indicando um produto com qualidade suficiente para ser transportado e manuseado, além de ser um combustível mais homogêneo e mais eficiente energeticamente que a biomassa in natura.

A peletização da serragem de madeira e da poda de árvore apresentaram ótimos resultados de durabilidade mecânica (acima de 80 %) e um aumento energético de 4 a 9 vezes. No entanto, para atingir esse resultado a poda de árvore demandou uma redução granulométrica maior que as demais biomassas para permitir o adensamento (1,7 mm).

No processo de briquetagem de serragem de madeira e poda de árvore foram obtidos produtos com reduzida durabilidade mecânica, que pode ser explicado pela baixa pressão aplicada pela briquetadeira de pistão hidráulico, que não proporcionou o contato entre partículas e consequentemente a coesão adequada do material.

Apesar de não ter apresentado resultados satisfatórios para todas as biomassas, o uso da técnica de briquetagem possibilita utilizar a biomassa com uma maior faixa granulométrica, reduzindo ou eliminando a etapa de cominuição. Isso pôde ser evidenciado no caso do bagaço de cana que apresentou bons resultados de adensamento com o material abaixo de 12,5 mm, inclusive com valores de durabilidade mecânica maiores do que as obtidas com o pellet (material de alimentação abaixo de 4 mm).

É interessante notar que, nas condições avaliadas nesse estudo, os teores de umidade acima de 10 % favoreceram o processo de adensamento em ambas as técnicas, enquanto umidades abaixo de 8 % inviabilizaram a formação de produtos adensados. Uma possível explicação para esse resultado pode ser que 8 % de umidade sejam insuficientes para o processo, visto que parte da água presente no material é evaporada durante o adensamento, devido ao aumento de pressão, conforme se observa na diferença de umidades entre a biomassa in natura e a do produto adensado (Tabela 8).

Este estudo foi realizado com um dos objetivos de avaliar a importância da granulometria do material durante o processo de adensamento, e ficou evidente que existe uma influência importante da granulometria e do aspecto do material que será adensado. Conforme se observa na Tabela 8, os melhores resultados de briquetes para a serragem e para o bagaço de cana foram para o material na faixa granulométrica <12,5 mm, enquanto que para a poda de árvore foi para o material na faixa granulométrica <4,0 mm. Os presentes resultados são significativos para sugerir que existe uma faixa granulométrica ótima para cada tipo biomassa, por exemplo, as partículas de poda de árvore são mais rígidas dificultando a fluidização e coesão das partículas, então neste caso quanto menores as partículas, melhor a qualidade dos produtos de adensamento.

4 Conclusões

De acordo com os resultados obtidos no presente trabalho, pode-se afirmar que é possível obter materiais adensados com características satisfatórias de resistência ao manuseio e de densidade energética a partir das três biomassas selecionadas para o estudo (serragem de madeira, bagaço de cana e poda de árvore).

Nesse estudo em especial, os produtos adensados de bagaço de cana apresentaram os melhores valores em relação à durabilidade mecânica; entretanto, isso não exclui a aplicabilidade das tecnologias de adensamento para as outras duas biomassas estudadas, visto que elas apresentaram bons valores de densidade energética e de durabilidade mecânica para os pellets.

No caso do processo de briquetagem de serragem e poda de árvore ainda são necessários estudos para melhorar a compactação da biomassa, podendo ser outros teores de umidade aplicados, outras faixas granulométricas ou até mesmo o uso de aditivos.

Os resultados apresentados evidenciam que fatores como granulometria e umidade têm impacto importante no tipo de tecnologia de adensamento a ser utilizado. Esses fatores afetam diretamente a qualidade do produto e definem a rota de processo a ser utilizada, ou seja, as etapas de pré-tratamento para adequação de granulometria e secagem, por exemplo. A escolha da melhor configuração de parâmetros de processo e das características necessárias na preparação da biomassa a ser adensada são fatores determinantes para a viabilização técnica e econômica do uso desse tipo de material como fonte energética.

5 Agradecimentos

Os autores agradecem ao Governo do Estado de São Paulo e à Fundação de Apoio do IPT pelo financiamento do Projeto de Capacitação "Viabilização do uso de biomassa como fonte energética: estudo do pré-tratamento físico de biomassa", registrado sob número 8811.01 no IPT.

6 Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Sistema de Informações de Geração da Aneel – SIGA. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/siga>. Acesso em: 01 ago. 2020.

ANUÁRIO DE INVESTIMENTOS NO RIO GRANDE DO SUL. Braspell Bioenergia investe R\$ 1,4 bi em nova fábrica. *Jornal do Comércio*, Porto Alegre, Brasil, 29 nov. 2019. Disponível em: https://www.jornal-docomercio.com/_conteudo/especiais/anuario_de_investimentos_2019/2019/11/714417-braspell-bioenergia-investe-r-1-4-bi-em-nova-fabrica.html. Acesso em: 01 ago. 2020.

BELLOTE, A. F. J.; ANDRADE, G. de C.; MOLINARI, H. B. C.; ROCHA, J. D.; SILVA, M. L. B. da; STEINMETZ, R. L. R.; FAVARO, S.P. Biomassa e sua participação na matriz energética brasileira..In: **ENERGIA limpa e acessível: contribuições da Embrapa**. Brasília,DF; Embrapa, 2018. p. 23 – 33.

BHATTACHARYA, S. C.; SETT, S.; SHRESHTHA, R. M. State of art for biomass densification. *Energy Sources*, Bristol, v.11, n.3, p.161-182, 1989.

BOYLE, G. *Renewable energy: power for a sustainable future*. 2.ed. Oxford: Oxford University Press, 2004.

BRITO, J.P.O.; BARRICHELO, L. E. G. Características do eucalipto como combustível: análise química imediata da madeira e da casca. *Scientia Forestalis*. Piracicaba: IFPE, n. 16, p. 63-70, 1978.

BRASPELL BIONERGIA. Consulta geral a homepage oficial. Disponível em <http://braspell.com.br/>. Acesso em: 01 ago. 2020.

CARDOSO, B. M. *Uso da biomassa como alternativa energética*. 2012. 112 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

COPERGAS. Tarifas Copergas. 2020. Disponível em: <https://www.copergas.com.br/atendimento-ao-cliente/tarifas/>. Acesso em: 10 abr. 2020.

CORTEZ, C. L. *Estudo do potencial de utilização da biomassa resultante da poda de árvores urbanas para a geração de energia: Estudo de caso: AES Eletropaulo*. 2011. 246 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

EDENHOFER, O.; PICHES-MADRUGA, R.; SOKONA, Y.; SEYBOTH, K.; MATSCHOSS, P.; KADNER, S.; ZWICKEL, T.; EICKEMEIER, P.; HANSEN, G.; SCHLOEMER, S.; VON STECHOW, C. (Ed.). *Renewable energy sources and climate change mitigation: special report of the intergovernmental panel on climate change*. Nova York: Cambridge University Press, 2012.

EN PLUS®. Consulta geral a homepage oficial. Disponível em: <https://www.enplus-pellets.eu/en-in/>. Acesso em: 01 ago. 2020.

FILIPPETTO, D. *Briquetagem de resíduos vegetais: viabilidade técnico-econômica e potencial de mercado*. 2008. 74 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2008.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. *FAOSTAT: Forestry Production and Trade*. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FO/visualize>. Acesso em: 01 ago. 2020.

FREDERICCI, C.; LENZ e SILVA, G. F. B.; INDELICATO, R. L.; FERREIRA NETO, J. B.; RIBEIRO, T. R. LANDGRAF, F. J. G. In: *ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA*, 56, 2012, Curitiba. Anais[...] São Paulo: ABC. 2012.

GARCIA, D. P. et al. Mapa dos produtores brasileiros de biocombustíveis pellets. *Brazilian Journal of Biosystems Engineering*, v. 12, n. 4, p. 333-339, 2018.

GARCIA, D. P. et al. Mapa dos produtores brasileiros de biocombustíveis pellets. Disponível em: https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=14YzGlicywFgI9SC6CF579JX-J34&hl=en_US&ll=-29.21472722120234%2C-54.91353260732116&tz=6. Acesso em: 01 ago 2020.

GAVIRIA, J. C. Pelletizar madera, una forma económica y ecológica de producir combustible. 2007. Disponível em: <https://www.engormix.com/MA-balanceados/fabricacion/articulos/pelletizar-madera-forma-economica-t1778/801-p0.htm>. Acesso em: 01 dez. 2015.

KALIYAN, N.; MOREY, R. V. Densification characteristics of corn stover and switchgrass. *Transactions of the ASABE*, v.52, p. 907-920, 2009.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. *Global energy review 2020*. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2020/renewables>. Acesso em: 01 ago. 2020.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 17225-2: Solid biofuels: fuel specifications and classes - Part 2: Graded wood pellets*. Alemanha, 2014.

KOSMAN, K. Global Heating Wood Pellet Demand: Current and Projection. *Madison's Report, Vancouver, Canada*, 2019. Disponível em: <https://madisonsreport.com/2019/11/08/global-heating-wood-pellet-demand-current-and-projection/>. Acesso em: 01 ago. 2020.

LETHIKANGAS, P. Quality properties of pelletized sawdust, logging residues and bark. *Biomass and Bioenergy*, Uppsala, v.19, n.20, p.351-360, Aug. 2001.

LOUÇÃO, I. J. G. Valorização da biomassa florestal, proveniente da doença de nematódeo de pinheiro, para produção de pellets. 2008. 187 f. Dissertação (Mestrado em Bioenergia) - Faculdade de Ciências de Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2008.

MACIEJEWSKA, A.; VERINGA, H.; SANDERS, J.; PETEVES, S. D. *Co-firing of biomass with coal: constraints and role of biomass pre-treatment*. 2006. Disponível em: <http://www.canadiancleanpower-coalition.com/files/7712/8330/1763/BM2%20-%20EUR22461EN.pdf>. Acesso em: dez. 2015.

MORAES, S.L.; FERREIRA NETO, J. B.; BOCCALINI, M.. Viabilização do uso de biomassa como fonte energética - estudo do pré-tratamento físico de biomassa. São Paulo: IPT, 28 abr. 2016. (Relatório Técnico n. 146 052-205).

NOGUEIRA, L. A.; LORA, H. *Dendroenergia: fundamentos e aplicações*. 2.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.

PALLEBRAS (São Paulo). *Cotação de fornecimento*. Disponível em: <https://pallebras.com.br/>. Acesso em: 19 nov. 2019.

PEREIRA, B. L. C. *Propriedades de pellets: biomassas, aditivos e tratamento térmico*. 2014. 74 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

PELLETBRAZ. Cotação de fornecimento. 2020. Disponível em: <http://pelletbraz.com.br/>. Acesso em: 29 jul. 2020.

PIETSCH, W. *Agglomeration processes – phenomena, technologies, equipment*. Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim. Germany, 2002.

QUIRINO, W. F. *Briquetagem de resíduos lignocelulósicos*. Brasília: LPF/IBAMA, 1991. (Circular Técnica, 2).

RUMPF H. *The strength of granules and agglomerates*. Knepper WA. *Agglomeration*. 1962.

SAMPAIO, J. A.; COSTA, L. S.; ANDRADE, M. C. de. *Ensaio contínuo de briquetagem em bancada e piloto - Aglomeração*. Part, IV. Rio de Janeiro: CETEM, 2007. Cap. 22. p. 379.

SAMSON, R.; MANI, S.; BODDEY, R.; SOKHANSANJ, S.; QUESADA, D.; URQUIAGA, S.; REIS, V.; HO LEM, C. The potential of C4 perennial grasses for developing a global BIOHEAT industry. *Critical Reviews in Plant Sciences*. v.24, p.461- 495. 2005.

STELTE, W.; HOLM, J. K.; SANADI, A. R.; BARSBERG, S.; AHRENFELDT, J.; HENRIKSEN, U. B. A study of bonding and failure mechanisms in fuel pellets from different biomass resources. *Biomass e Bioenergy*, v. 35. p. 910-918, 2011.

TUMULURU, J. S.; WRIGHT, C. T.; KENNY, K. L.; HESS, J. R. *A review on biomass densification technologies for energy application*. Idaho National Laboratory of U. S. Department of Energy. 2010.

VOENGELE, E. Report: EU demand for wood pellets continues to grow. *Biomass Magazine*, Grand Forks, ND, 05 ago. 2019. Disponível em: <http://biomassmagazine.com/articles/16371/report-eu-demand-for-wood-pellets-continues-to-grow>. Acesso em: 01 ago. 2020.

WERTHER, J.; SAENGER, M.; HARTGE, E.-U.; OGADA, T.; SIAGI, Z. Combustion of agricultural residues. *Progress in Energy and Combustion Science*, v. 26. p.1-27. 2000.

DOI 10.34033/2526-5830-v5n16-1



Desempenho térmico de veículos refrigerados na distribuição de salmão fresco: na rota de longa distância do Chile ao Brasil

Thermal performance of refrigerated vehicles in the distribution of fresh salmon: in the long distance route from Chile to Brazil

Carlos Vieira Leite^{a*}, Eduardo Luiz Machado^{bc}

a Mestre pelo Mestrado Profissional em Processos Industriais;

b Docente do Mestrado Profissional em Processos Industriais

c Coordenador da Coordenadoria de Ensino Tecnológico - CET

E-mail: carlosleite@yahoo.com

Palavras-chave:

transporte; salmão fresco; refrigeração; cadeia do frio; rodovias.

Keywords:

transport; fresh salmon; refrigeration; cold chain; highway.

Resumo

Uma quantidade de salmão fresco, equivalente a 70 carretas, chegam semanalmente do Chile através das rodovias brasileiras. Como objetivo específico a distribuição de temperatura no transporte refrigerado foi mapeado, as causas prováveis da variação de temperatura foram identificadas e medidas para reduzir o risco de eventos que possam afetar a variação de temperatura foram propostos. Foi realizada uma revisão bibliográfica abordando produtos derivados do salmão, a importância da cadeia do frio e as ferramentas de qualidade com o objetivo de reduzir o risco de perda do produto (salmão fresco) decorrente da variação de temperatura durante um trajeto de longa distância em transporte rodoviário refrigerado. A metodologia de estudo utilizada foi a pesquisa - ação, em que o pesquisador amparado na revisão bibliográfica colaborou no desenvolvimento da solução de um problema real no qual está inserido, buscando apresentar resultados e, concomitantemente com a ação, construindo conhecimento científico e acadêmico aplicado. Constatou-se que o frio não é distribuído uniformemente no interior da câmara frigorífica durante o trajeto, onde o gradiente de temperatura foi quantificado. A análise crítica dos resultados obtidos no processo de transporte foi realizada. Foi construído um diagrama de Ishikawa que apresenta as causas prováveis de maior relevância, com destaque para as falhas humanas na condução dos transportes refrigerados (carreta, sistema de refrigeração e veículo refrigerado), como a causa mais provável do problema do desequilíbrio

do gradiente de temperatura. A negligência, a imperícia e a imprudência são os maiores responsáveis. Outro ponto relevante é a inexistência de um órgão regulador que obrigue a certificação periódica dos veículos e seus respectivos sistemas de refrigeração. Esse é um problema que até o presente momento parece não ter solução a curto e médio prazo. Sugestões práticas são propostas.

Abstract

A quantity of fresh salmon, equivalent to 70 carts, arrives weekly from Chile through Brazilian highways. As a specific objective the temperature distribution in the refrigerated transport was mapped, the probable causes of the temperature variation were identified and measures to reduce the risk of events that may affect the temperature variation were proposed. A bibliographic review was carried out addressing products derived from salmon, the importance of the cold chain and quality tools in order to reduce the risk of loss of the product (fresh salmon) due to temperature variation during a long distance transport journey. refrigerated road. The study methodology used was research - action, in which the researcher supported by the bibliographic review collaborated in the development of the solution to a real problem in which he is inserted, seeking to present results and, concomitantly with the action, building applied scientific and academic knowledge. It was found that the cold temperature is not evenly distributed inside the cold room during the journey, where the temperature gradient was quantified. The critical analysis of the results obtained in the transport process was carried out. An Ishikawa diagram was constructed that presents the probable causes of greatest relevance, with emphasis on human failures in the conduct of refrigerated transport (trailer, refrigeration system and refrigerated vehicle), as the most probable cause of the temperature gradient imbalance problem. Neglect, malpractice and recklessness are the most responsible. Another relevant point is the lack of a regulatory body that requires periodic certification of vehicles and their respective refrigeration systems. This is a problem that so far does not seem to have a solution in the short and medium term. Practical suggestions are proposed.

1 Introdução

A definição do problema baseia-se nos desafios rotineiros para uma empresa importadora e processadora de pescados, quanto ao potencial de risco para prejuízos financeiros relevantes na sua cadeia produtiva.

Uma vez abatido o pescado e seguidas as recomendações de armazenagem do processador, o produto mantém-se apto para o consumo humano por até 21 dias. Considerado o trajeto Chile - São Paulo, cerca de 50 a 60% deste prazo é dispendido durante o transporte.

Entre janeiro/14 e janeiro/18 a empresa importadora sofreu prejuízo financeiro de aproximadamente 1 milhão de reais provocado por dois eventos de perda total da sua carga durante o trajeto. A

causa principal para esses eventos foi falha humana. No primeiro evento, o veículo foi alvo de colisão, com posterior tombamento e saque da carga. No segundo evento, não foram observadas as recomendações de temperatura do processador, sendo a carga constatada, no seu destino, como imprópria para o consumo humano pelo Serviço de Inspeção Federal do Ministério da Agricultura (SIF/MA), em decorrência de contaminação física, química e/ou microbiológica.

Casos de perda parcial são também observados no recebimento dos embarques, como consequência da variação da temperatura. Estima-se um abatimento do preço final da ordem de 15 a 25% do preço nominal, por apresentar condições adversas às especificações de produto fresco e de primeira qualidade (Premium).

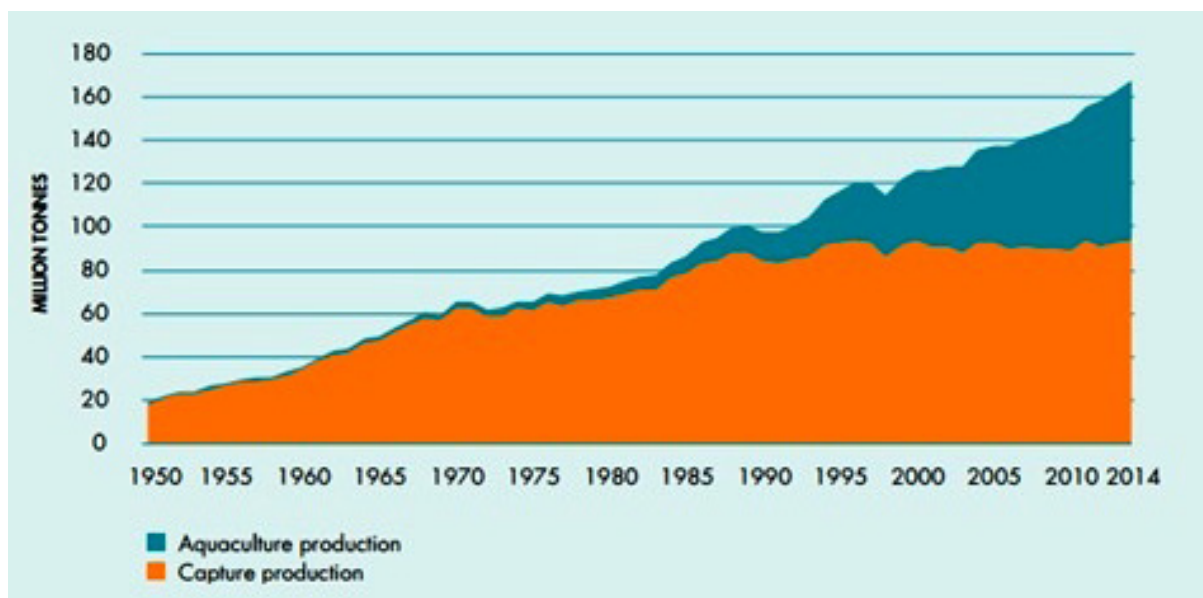
Independentemente do ponto na cadeia do frio em que ocorreu uma elevação da temperatura há redução de qualidade, sendo tal perda cumulativa, sem possibilidade de recuperação.

1.1 Produtos Salmonídeos

O mercado global de alimentos tem experimentado expansão sem precedentes e mudança nos padrões alimentares, tornando-se mais homogêneo e globalizado.

O pescado é a carne mais demandada mundialmente (SIDONIO et al., 2012), e a de maior valor de mercado. Em 2016 a Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) publicou que a captura máxima mundial de espécies aquáticas tradicionais (pesca extrativa) já atingiu os limites sustentáveis ao redor dos 100 milhões de toneladas por ano (**figura 1**). Essa tendência vem sendo observada e, atualmente, quase metade da produção de pescado já é originada da aquicultura.

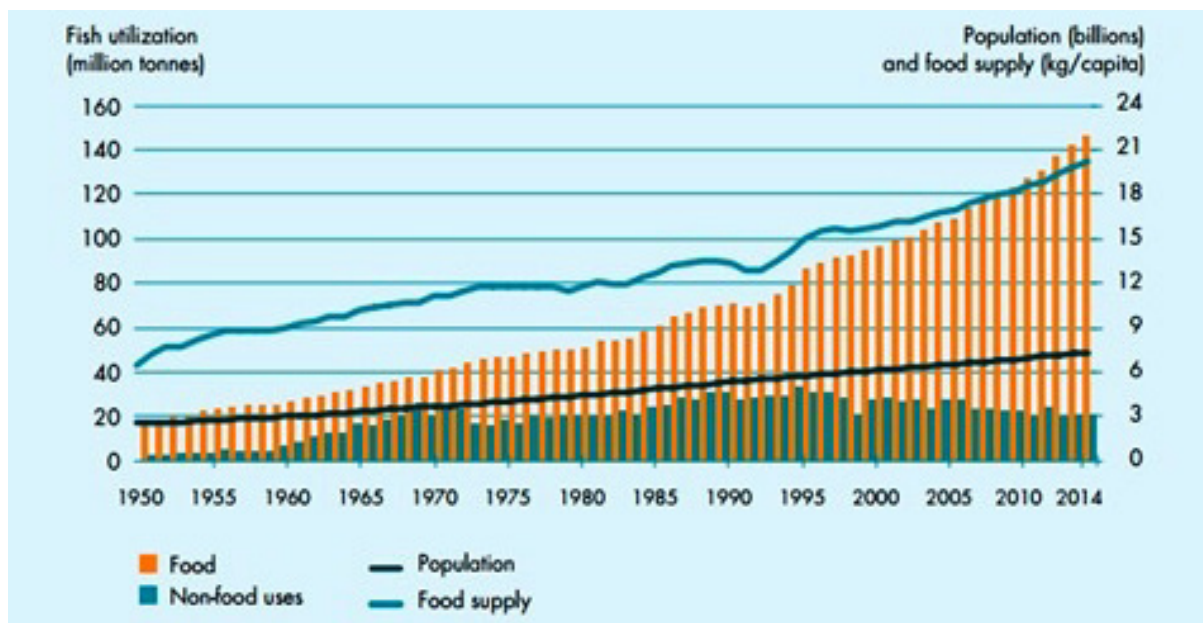
Figura 1 - Produção Mundial de Pescados – pesca extrativa e aquicultura.



Fonte: FAO - The State of World Fisheries and Aquaculture (2016)

O indicador de consumo per capita aparente (CPA) de peixe aumentou de uma média de 9,9 kg em 1960 para 20,1 kg em 2014 (figura 2) (FAO, 2016). Este aumento expressivo tem sido impulsionado por uma combinação do crescimento populacional, aumento da renda e urbanização, e facilitado pela grande expansão da produção de peixes e canais de distribuição mais eficientes.

Figura 2 - Fornecimento e utilização global de pescados.

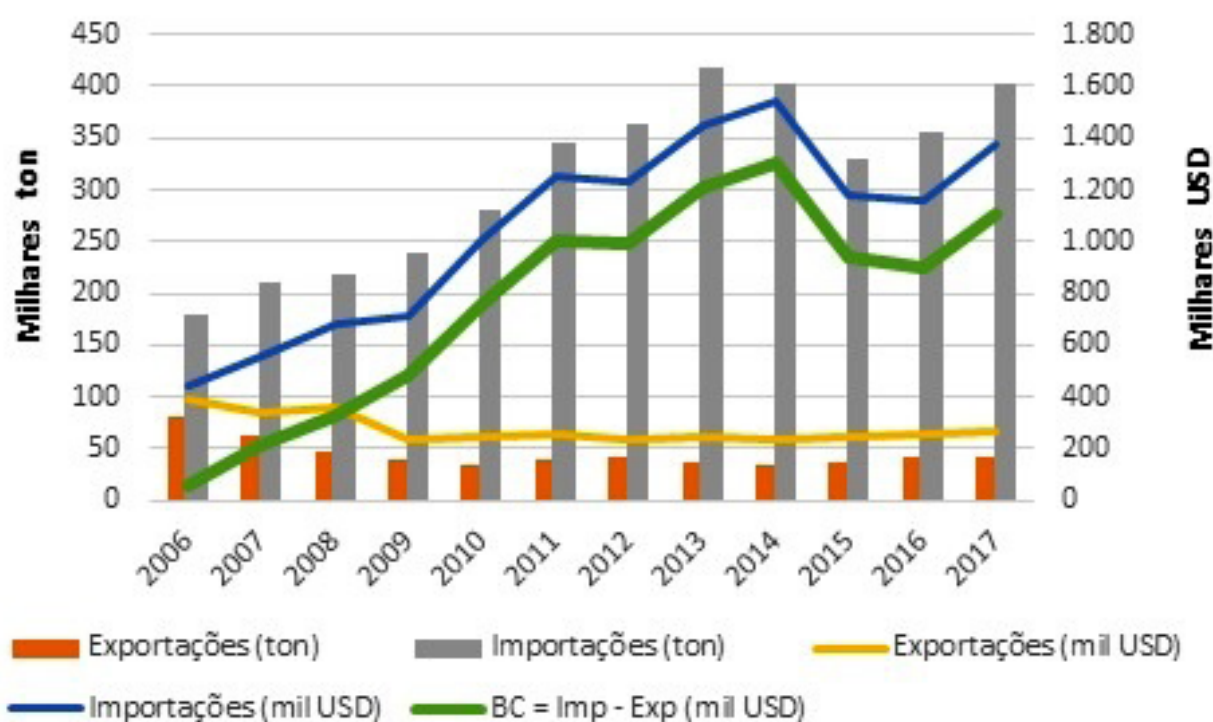


Fonte: FAO - The State of World Fisheries and Aquaculture (2016)

Desde 2009 foi disponibilizado gratuitamente através do acesso à internet o portal Aliceweb, Sistema de Análise das Informações de Comércio Exterior – Mercosul, visando a disseminação das estatísticas de comércio exterior dos quatro países membros do Mercosul: Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai. Foi desenvolvido e é mantido pela Secretaria de Comércio Exterior (SECEX), do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC). Esta é a fonte oficial para análise evolutiva do mercado brasileiro.

A balança comercial nacional de pescado encontra-se em déficit desde 2006, tanto em valores monetários quanto em volume comercializado (figura 3) (Aliceweb, 2018).

Figura 3 - Balança Comercial Brasileira do Pescado.



Fonte: Estatísticas Aliceweb (Janeiro, 2018)

Análise dos dados da Balança Comercial Brasileira de Pesca para o ano de 2017 (figura 4), onde o Chile confirma a liderança como maior fonte de importação de pescado, com 590,99 Milhões USD, representando 42,92% do valor importado (ABCC, 2018).

Neste mesmo período, a quantidade importada do Chile com a Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM) 03021400 - Salmão do Atlântico Fresco representou 85,3% deste volume (503,99 Milhões USD), com 71.703 ton. de produtos, o que equivale a uma média de 73 carretas transportando semanalmente 19.000 kg de salmão do atlântico fresco para o mercado brasileiro.

Figura 4 - Importações brasileiras de pescado por país de origem, em valor.

PAÍS	HISTÓRICO DAS IMPORTAÇÕES DE PESCADOS POR ORIGEM EM VALOR 2015-2017							
	US\$ 17	Part %	Cresc 17/16	US\$ 16	Part %	cresc 16/15	US\$ 15	Part %
CHILE	590,99	42,92%	10,37%	535,44	46,29%	12,82%	474,60	40,09%
CHINA	166,88	12,12%	12,46%	148,39	12,83%	-29,76%	211,27	17,85%
NORUEGA	120,82	8,77%	22,78%	98,41	8,51%	-18,09%	120,14	10,15%
ARGENTINA	106,18	7,71%	38,96%	76,41	6,61%	-14,98%	89,87	7,59%
VIETNA	101,73	7,39%	56,67%	64,94	5,61%	-16,05%	77,35	6,53%
PORTUGAL	87,56	6,36%	34,23%	65,23	5,64%	-7,34%	70,39	5,95%
MARROCOS	55,55	4,03%	35,49%	41,00	3,54%	473,71%	7,15	0,60%
EQUADOR	36,46	2,65%	11,56%	32,68	2,83%	-12,30%	37,26	3,15%
PERU	19,53	1,42%	55,80%	12,54	1,08%	-6,53%	13,41	1,13%
URUGUAI	17,91	1,30%	47,14%	12,17	1,05%	-9,29%	13,42	1,13%
OMA	16,18	1,18%	4,57%	15,47	1,34%	149,09%	6,21	0,52%
TAILANDIA	13,86	1,01%	2,67%	13,50	1,17%	-35,62%	20,97	1,77%
ESPAÑA	7,07	0,51%	9,80%	6,44	0,56%	-46,85%	12,12	1,02%
SUB-TOTAL	1.340,72	97,37%	19,43%	1122,61	97,05%	-2,73%	1154,17	97,50%
OUTROS	36,23	2,63%	6,29%	34,09	2,95%	15,07%	29,62	2,50%
TOTAL	1.376,95	100,00%	19,04%	1.156,70	100%	-2,29%	1.183,80	100%

Fonte: Estatísticas ABCC. Relatório Anual (Jan, 2018)

Constatando-se, portanto, a importância do Salmão Fresco rodoviário para o Mercado Brasileiro, evoluiu-se a análise para o cenário técnico, quando se visa proporcionar ao produto as melhores condições para a sua preservação.

1.2 Cadeia do Frio

O Brasil, em virtude de sua localização geográfica, mantém historicamente acordos de transporte internacional terrestre, principalmente rodoviário, com quase todos os países da América do Sul.

Com a implantação da Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT, em fevereiro de 2002, as competências para negociação e aplicação dos acordos e seus desdobramentos passaram para seu âmbito de atuação.

Segundo Silva (2010), cadeia do frio é um termo relativamente novo que surgiu na década de 80 e vem se desenvolvendo a partir dos princípios gerais da cadeia de suprimentos integrados à conservação da temperatura adequada ao ambiente. Este ambiente pode ser climatizado, refrigerado e/ou congelado. São conceitos da Cadeia do Frio:

^a O Instituto Internacional de Refrigeração (INTERNATIONAL INSTITUTE OF REFRIGERATION – IIR, 2004) descreve a cadeia de frio como todo o processo de armazenamento, conservação, transporte, distribuição e manipulação de produtos, incluindo o controle da temperatura baixa;

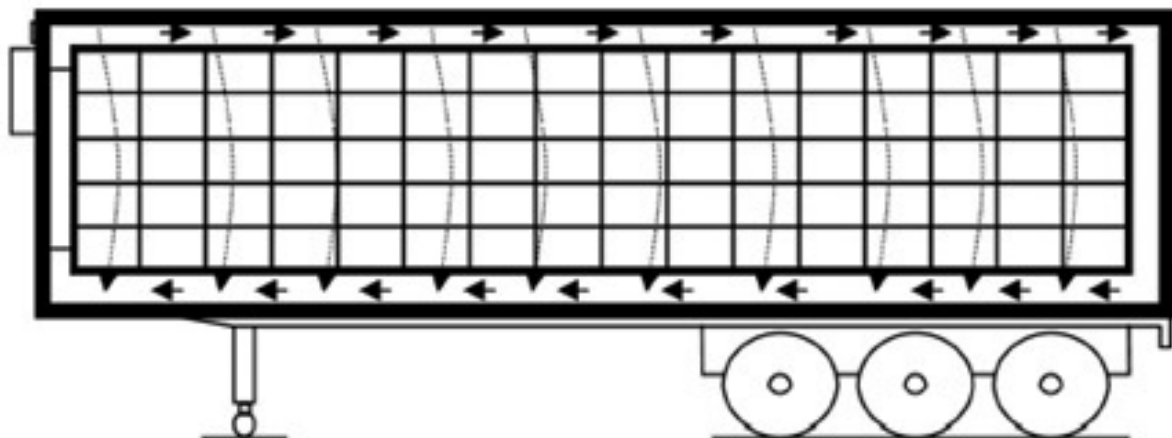
- ^a Heap (2006) define a cadeia do frio como sendo uma cadeia de transporte e armazenagem entre a sua produção inicial e o consumo final, referindo-se a produtos perecíveis que necessitem de controle de temperatura;
- ^a Lopes (2007) define a cadeia do frio como um sistema de resfriamento que controla a temperatura à qual o produto deve ser exposto, desde a sua coleta ou logo após o abate do animal, até o consumo final. Propõe o entendimento de uma rede cooperativa entre produtor, atacadista e consumidor, referente ao ambiente adequado que deve ser mantido para a mercadoria comercializada;
- ^a Pereira et al. (2010) definem cadeia do frio como uma cadeia que compreende todo processo de armazenamento, conservação, distribuição, transporte e manipulação dos produtos, porém que nestes processos ocorram o controle e a manutenção da temperatura adequada para garantir e assegurar a qualidade da carga.

O desafio da cadeia do frio é assegurar à mercadoria transportada um ambiente adequado e contínuo ao longo do seu percurso, garantindo sua qualidade durante todos os processos envolvidos como armazenamento, distribuição, transporte e manipulação dos produtos, até o consumidor final (INTERNATIONAL INSTITUTE OF REFRIGERATION – IIR, 2004). Nestes processos, as condições ambientais devem satisfazer as especificações da carga que têm como variável chave a temperatura. Dependendo do tipo de carga transportada, outros parâmetros de controle devem ser monitorados, tais como umidade, atmosfera modificada, pressão etc., a fim de preservar as características intrínsecas do produto manipulado.

A crescente procura e consumo de produtos refrigerados e congelados exige o maior controle dos processos envolvidos na cadeia do frio, sendo o transporte um dos fatores determinantes de sucesso ou não. O transporte é um processo estratégico, e passou por constantes transformações no Brasil nos últimos dez anos, quando se observou o surgimento do operador logístico, que são empresas especializadas no gerenciamento e execução de atividades logísticas, em todo ou parte da cadeia de abastecimento.

O sistema de distribuição de ar dentro da unidade de carga refrigerada (carreta) é de grande importância, pois é responsável pela distribuição de ar frio ao longo do veículo, garantindo temperaturas uniformes. De acordo com Ashby (1995, apud Baptista, 2006) a circulação superior de ar (top-air delivery) em veículos refrigerados segue o método convencional, detalhado na **figura 5**, a circulação de ar no sentido horário no interior do veículo.

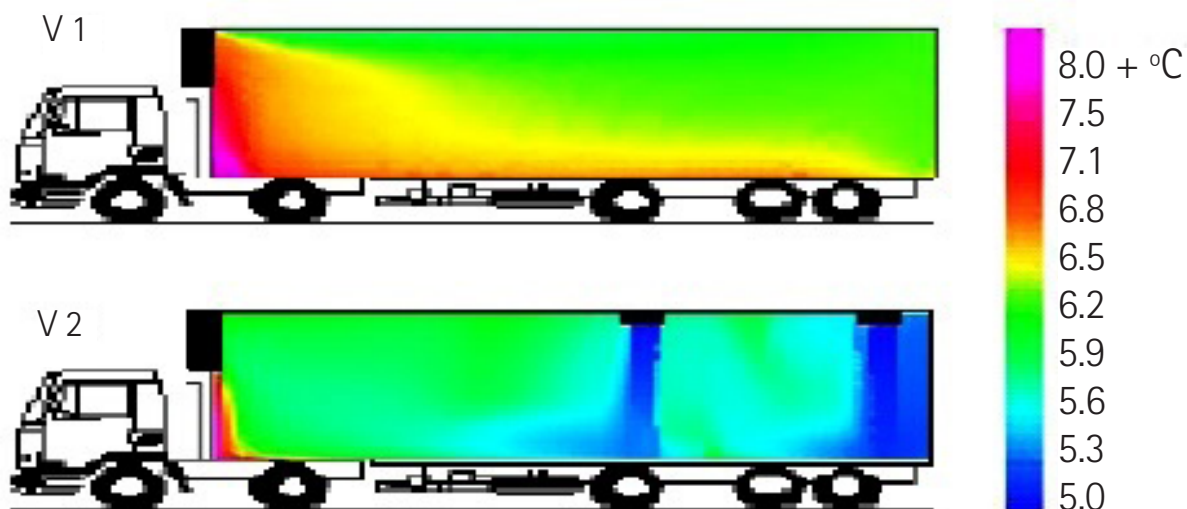
Figura 5 - Circulação de ar em veículo refrigerado, com entrada de ar pelo topo.



Fonte: Baptista (2006)

Um estudo realizado por Cruz (2009) objetivou acompanhar e analisar os processos necessários à certificação de veículos destinados ao transporte de produtos perecíveis. O estudo realizou dois ensaios simulados em laboratórios para classificar e certificar dois veículos. Os resultados foram comparados, visando análises de viabilidade: Sistema V1 convencional, e Sistema V2 com duas aberturas de insuflação (figura 6). Segundo análise de Cruz (2009), o Sistema V2 mostrou-se mais eficaz ao garantir níveis mais admissíveis da velocidade do ar na zona útil do veículo. Esse sistema apresentou temperatura mais uniforme, sem conseguir melhorar a distribuição da temperatura na zona crítica descrita.

Figura 6 - Desempenho térmico de veículo refrigerado com variação de sistemas - V₁ Veículo Convencional e V₂ Veículo com duas aberturas de insuflação.



Fonte: Cruz (2009)

1.3 Ferramentas de Qualidade

Miguel (2006) propõe a utilização das ferramentas da Qualidade, como suporte ao desenvolvimento da qualidade ou ao apoio à decisão na análise de determinado problema. Mata-Lima (1999) completa afirmando que o grande potencial delas, ocorre quando são utilizadas para a identificação das raízes dos problemas e para a solução destes.

O diagrama de causa-efeito foi a ferramenta escolhida para o desenvolvimento deste trabalho. A ferramenta consiste em uma forma gráfica usada como metodologia de análise para representar fatores de influência (causas) sobre um determinado problema (efeito). Também é denominada de Diagrama de Ishikawa, devido ao seu criador, ou Diagrama Espinha de Peixe, devido à sua forma (MIGUEL, 2006). O diagrama de causa-efeito pode ser elaborado perante os seguintes passos:

- Determinar o problema a ser estudado (identificação do efeito);
- Relatar sobre as possíveis causas e registrá-las no diagrama;
- Construir o diagrama agrupando as causas em "6M" (mão-de-obra, método, matéria-prima, máquinas, medida e meio-ambiente);
- Analisar o diagrama, a fim de identificar as causas verdadeiras;
- Correção do problema.

O ambiente de elevada competição visando a maior eficiência e o menor custo do produto vendido, desafia a criatividade dos profissionais das empresas de processamento e de logística. Estes, por sua vez, provocam o desenvolvimento de novas ferramentas e tecnologias visando manter a liderança e a sustentabilidade no mercado.

2 Objetivos

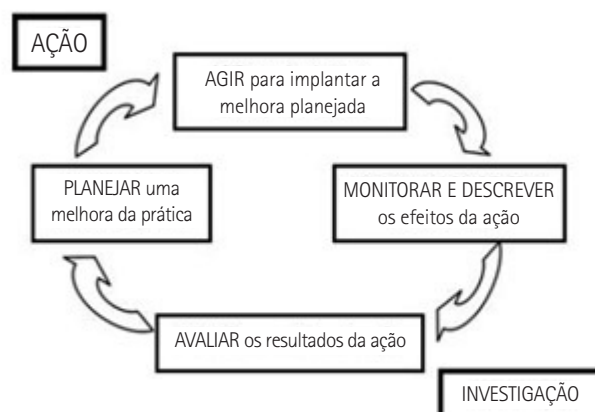
Este trabalho tem como objetivo reduzir o risco de perda de produto (salmão fresco), decorrente de modificações provocadas pelas variações de temperatura durante um trajeto de longa distância, em transporte rodoviário refrigerado. Medidas para diminuir o risco de ocorrência de eventos que possam afetar a variação de temperatura são sugeridas ou implementadas.

3 Método

A metodologia de estudo utilizada neste trabalho foi a pesquisa - ação, onde o pesquisador amparado por revisão bibliográfica colaborou no desenvolvimento da solução de um problema real no qual está inserido, onde buscou apresentar resultados e, concomitantemente com a ação, construindo conhecimento científico e acadêmico aplicado.

Trippe (2005) afirma que aplicações e desenvolvimentos diferentes do ciclo básico da pesquisa - ação exigem ações diferentes em cada fase e iniciam em diferentes lugares. Ele identifica elementos similares na construção de diversos desenvolvimentos do processo básico de pesquisa - ação conhecidos, como a pesquisa - ação, a aprendizagem - ação, a prática reflexiva, o projeto - ação, a aprendizagem experimental, os ciclos PDCA / PAR / PAD / PALM / PRA1 e outros, a prática deliberativa, a pesquisa práxis, a investigação apreciativa, a prática diagnóstica (genérica em medicina, ensino corretivo etc.), a avaliação-ação, a metodologia de sistemas flexíveis e a aprendizagem transformacional. O ponto importante é que o tipo de investigação - ação utilizado seja adequado aos objetivos, práticas, participantes, e situação (e seus facilitadores e restrições). **Figura 7.**

Figura 7 - Representação em quatro fases do ciclo básico da investigação-ação.



Fonte: Trippe (2005)

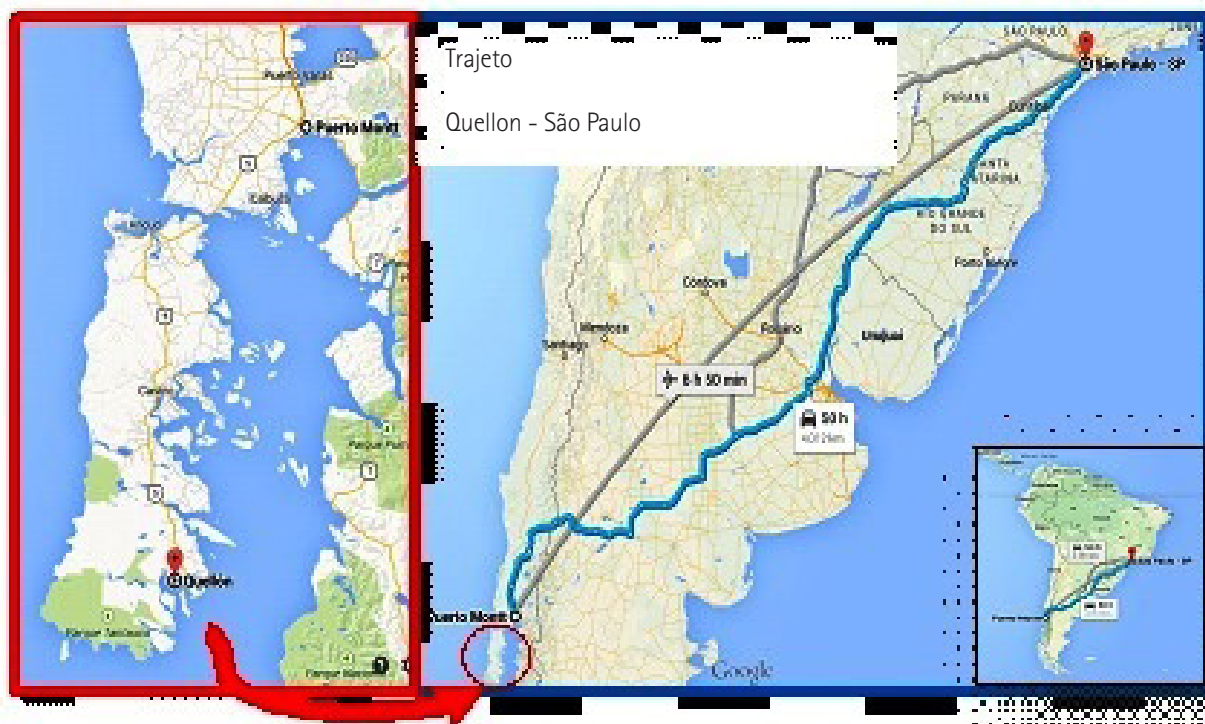
Partindo-se da visão ampla do problema da variação da temperatura no processo de transporte de salmão fresco, definiu-se um método para mapear como se comporta o produto alimentício perecível sob a ótica da temperatura durante o trajeto rodoviário internacional.

Os veículos da transportadora são monitorados via satélite por meio de rastreador "Autotrac", 24 horas por dia, de segunda a domingo. O monitoramento é realizado por empresa terceirizada e homologada pela seguradora para prestar serviços de rastreamento e monitoramento dos para veículos da empresa.

As condições do transporte foram monitoradas durante todo o trajeto de pouco mais de 4 mil km, de 12/03/15 à 23/03/15, perfazendo um roteiro de 11 dias desde a planta produtora exportadora

localizada em Quellon – Chile até a planta processadora importadora localizada em Osasco – SP, Brasil. O trajeto é representativo e prevê a passagem nas fronteiras Chile / Argentina e Argentina / Brasil, onde ocorre o processo aduaneiro (figura 8).

Figura 8 - Trajeto Quellon-Chile a São Paulo-Brasil.



Fonte: Google

Analisa-se o cenário típico para o trajeto do transporte rodoviário do salmão inteiro fresco. A estação do ano escolhida foi o verão, que no hemisfério sul ocorre de 21 de dezembro a 20 de março do ano seguinte, com umidade relativa em torno dos 70%, nuvens e cobertura de 40% (períodos de sol), com estimativa de temperatura ambiente mínima de 18° C e máxima de 28° C.

O veículo convencional de transporte utilizado foi uma carreta da marca Scania, modelo G 380 A6x2, movido a diesel, acompanhado por uma câmara frigorífica da marca Randon, modelo SR Frigorífico Duralumínio, de dimensões externas com 14,70 m de comprimento, 2,60 m de largura e 4,24 m de altura desde o chão.

O equipamento de refrigeração que compunha o sistema de refrigeração da câmara frigorífica é da marca Thermo King, modelo SB-200 Whisper Edition.

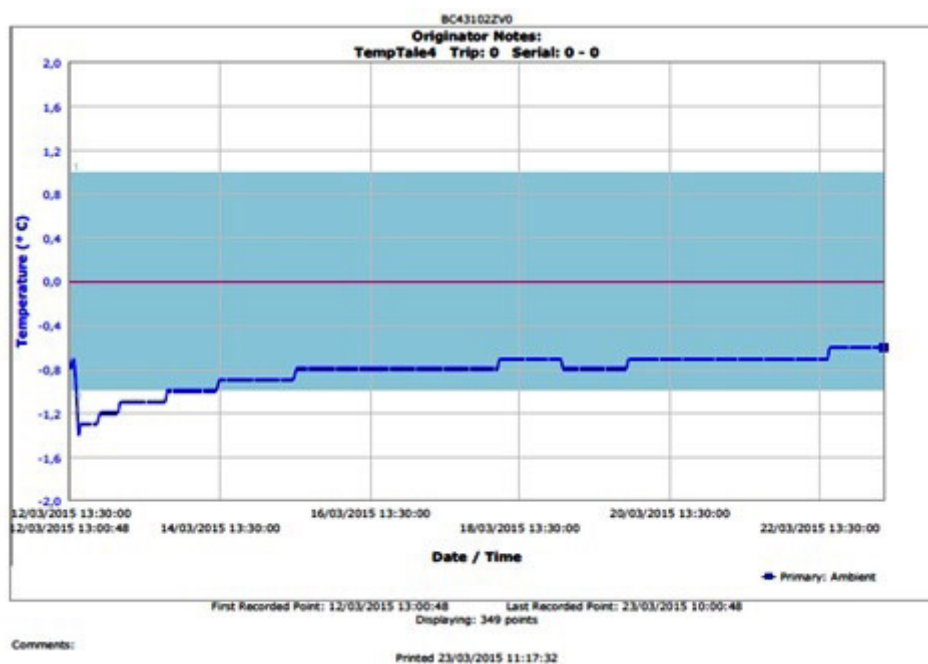
A carga refrigerada selecionada para o transporte foi o Salmão Eviscerado Premium Com Cabeça. O veículo foi abastecido com o volume líquido de 19.000 kg, perfazendo um total de 668 caixas de produtos distribuídos de forma homogênea, permitindo uma boa circulação de frio.

O produto Salmão Atlântico Inteiro Fresco Premium Eviscerado com Cabeça foi envolto em folha plástica, sendo adicionado um volume de gelo em torno dos 5,0 kg, sendo acondicionado em embalagem primária de isopor com peso líquido médio de 30 kg e com as seguintes medidas: 2,5 cm de espessura e 25 x 89 x 42 cm (altura x largura x profundidade).

Já é rotina o envio de um sensor de temperatura (termógrafo) interno à embalagem primária, de forma a registrar a evolução de temperatura do produto no decorrer do transporte. Este sensor é posicionado no centro da embalagem primária.

O modelo TempTale4, da marca Sensitech, possui carcaça resistente a água, capacidade de armazenamento de até 920 dados, podendo operar dentro da faixa de -30 a +70 oC, com temperatura alvo pré-programada para -1 a +1 oC e com intervalo de amostra pré-programada para 45 minutos. Um relatório gerencial é emitido ao final do trajeto. Figura 9.

Figura 9 - Relatório gerencial TempTale 4.



Fonte: Leitura do Termógrafo BC431022V0

Os dados de temperatura do produto durante o trajeto serão analisados inicialmente de forma comparativa, considerando o seu respectivo posicionamento no interior do veículo refrigerado.

A partir dos dados obtidos nos termógrafos, constrói-se um diagrama de causa - efeito, de forma a representar graficamente os fatores de influência (causas) sobre um determinado problema (efeito).

Analisado o diagrama construído, espera-se a proposição de alternativas para a sua respectiva correção.

4 Resultados e discussões

O resultado é descrito com base nos atributos previamente mencionados: origem, destino e roteiro de transporte; região e clima; veículo de transporte; equipamento de refrigeração, carga transportada, sensores de temperatura, sensor de posicionamento e embalagem primária.

4.1 Análise dos dados de temperatura

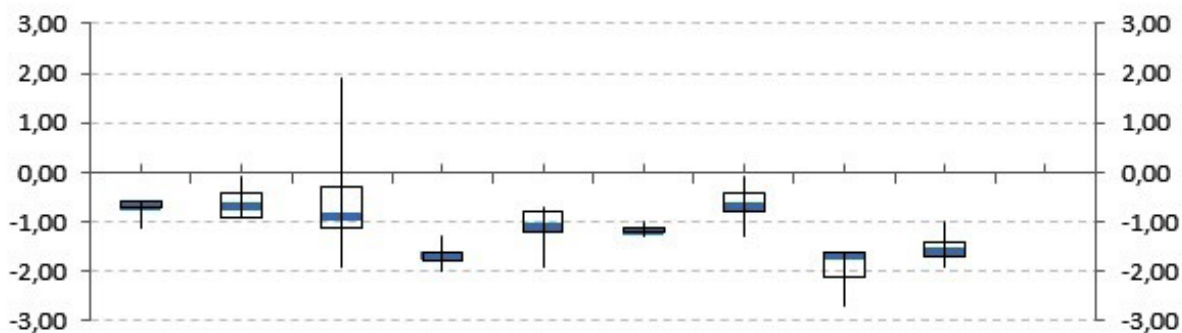
O Box Plot permite avaliar a simetria dos dados, sua dispersão e a existência ou não de outliers nos mesmos, sendo especialmente adequado para a comparação de dois ou mais conjuntos de dados correspondentes às categorias de uma variável qualitativa.

Cumprindo o procedimento adotado pelo exportador em seus programas de Garantia da Qualidade, um termógrafo é colocado dentro da caixa de isopor em contato com o produto, sendo identificada e posicionada juntamente com outras centenas de caixas no interior da câmara frigorífica. O seu conteúdo é reconhecido pelos agentes do mercado securitário e transportadores como "puxa-saco" ou "dedo duro", uma vez que registra a evolução da temperatura durante todo o trajeto, sendo frequentemente utilizado como contraprova para os casos de evidências de perda de frio ou em casos de sinistro.

Na **figura 10** compara-se os cenários de diferentes embarques, utilizando-se a ferramenta gráfica Box Plot. Analisando os resultados obtidos a partir da leitura dos termógrafos de embarques anteriores 20140822 (leia-se 22/08/2014), 20141003, 20141007, 20141029, 20141107, 20141122, 20141125 e 20150205 com o embarque atual (AGV1107J10), confirma-se o valor da ferramenta para comparar e qualificar a temperatura média do produto durante o trajeto e a sua respectiva estabilidade.

Figura 10 - Gráfico Box Plot contribui na análise comparativa.

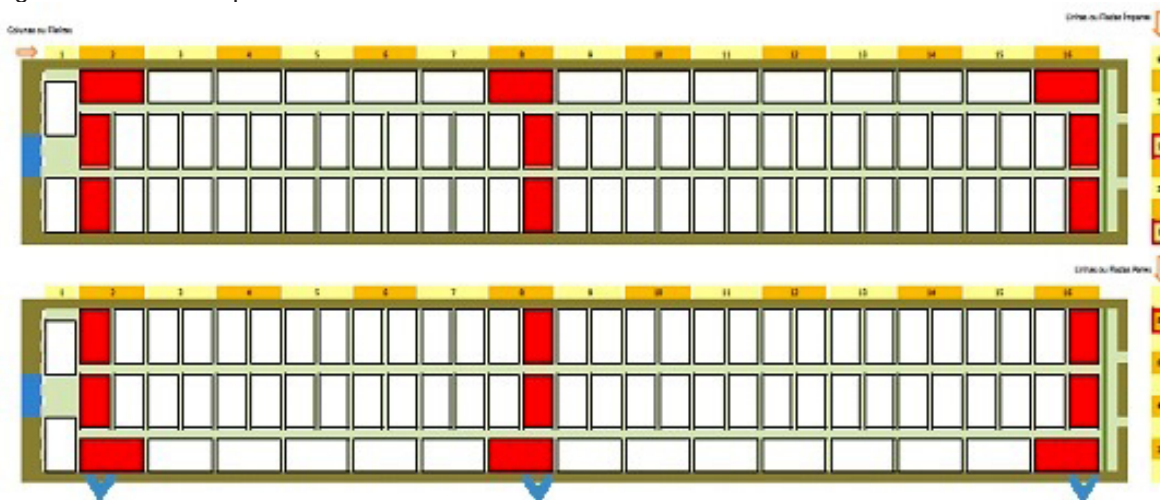
Embarque	20140822	20141003	20141007	20141029	20141107	20141122	20141125	20150205	AGV1107110
Pontos Amostrados	303	355	341	376	414	341	320	403	346
Pontos T > 1 °C, LSC	0	0	19	0	0	0	0	0	0
Pontos T < -1 °C, LIC	1	0	114	376	234	309	3	403	344
Dias de Viagem	9,5	11,1	10,7	11,8	12,9	10,7	10,0	12,6	10,8
Minutos T > 1 °C	0	0	855	0	0	0	0	0	0
Minutos T < -1 °C	45	0	5130	16920	10530	13905	135	18135	15480
Máxima	-0,60	-0,10	1,90	-1,30	-0,70	-1,00	-0,10	-1,60	-1,00
3º Quartil (75%)	-0,60	-0,40	-0,30	-1,60	-0,80	-1,10	-0,40	-1,60	-1,40
2º Quartil (50%)	-0,70	-0,70	-0,90	-1,70	-1,10	-1,20	-0,70	-1,70	-1,60
1º Quartil (25%)	-0,70	-0,90	-1,10	-1,80	-1,20	-1,20	-0,80	-2,10	-1,70
Mínima	-1,10	-0,90	-1,90	-2,00	-1,90	-1,30	-1,30	-2,70	-1,90
Media	-0,67	-0,62	-0,57	-1,70	-1,03	-1,15	-0,61	-1,88	-1,57
Desvio Padrão	0,060	0,252	0,800	0,159	0,231	0,072	0,253	0,312	0,170



Fonte: elaborado pelo autor

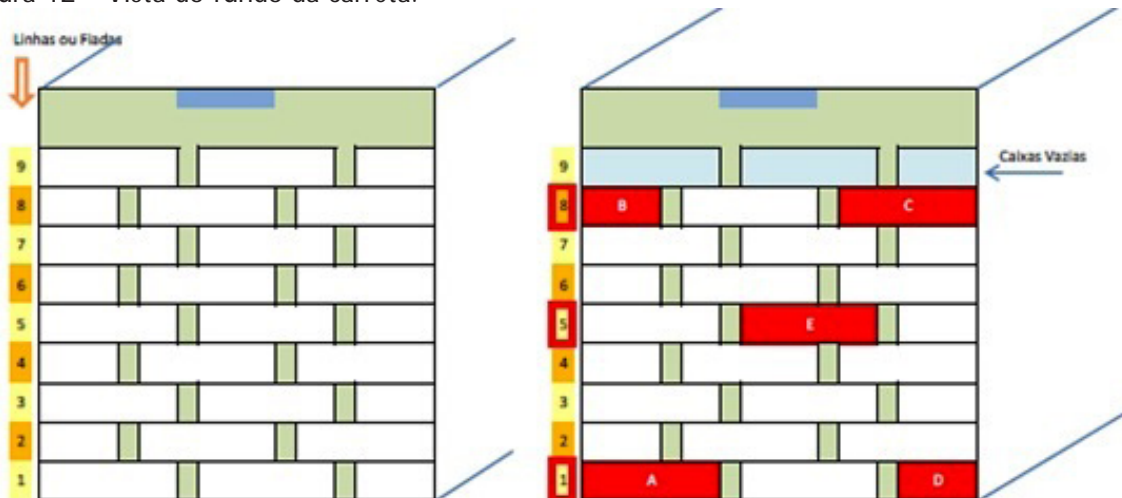
Os dispositivos internos foram posicionados conforme figuras 11 e 12, perfazendo um total de 15 caixas preparadas para registrar o histórico de temperatura do produto desde o carregamento na origem até o respectivo descarregamento no destino.

Figura 11 - Vista Superior da carreta.



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 12 - Vista do fundo da carreta.



Fonte: elaborado pelo autor

Nos termógrafos externos foram posicionados 2 sensores de temperatura, sendo um do lado esquerdo e outro do lado direito da carroceria, onde foram apontados 680 registros de temperatura coletados durante o trajeto. A temperatura máxima registrada no percurso foi de 47,4 Co e a mínima de 3,2 Co, o que demonstra que os sistemas de refrigeração enfrentam grandes desafios para a manutenção da estabilidade da temperatura recomendada no interior das câmaras frigoríficas.

Visando garantir a manutenção das características do produto durante o processo de transporte, constata-se que o exportador executou o carregamento do veículo de forma a permitir uma adequada circulação do ar. Todavia, a carga chegou ao seu destino final em condições que contrariam esta expectativa. Figuras 13 e 14.

Figura 13 - Embarque.



Fonte: Registro del Sistema Integrado de Gestion. Anexo C.

Figura 14 - Desembarque.

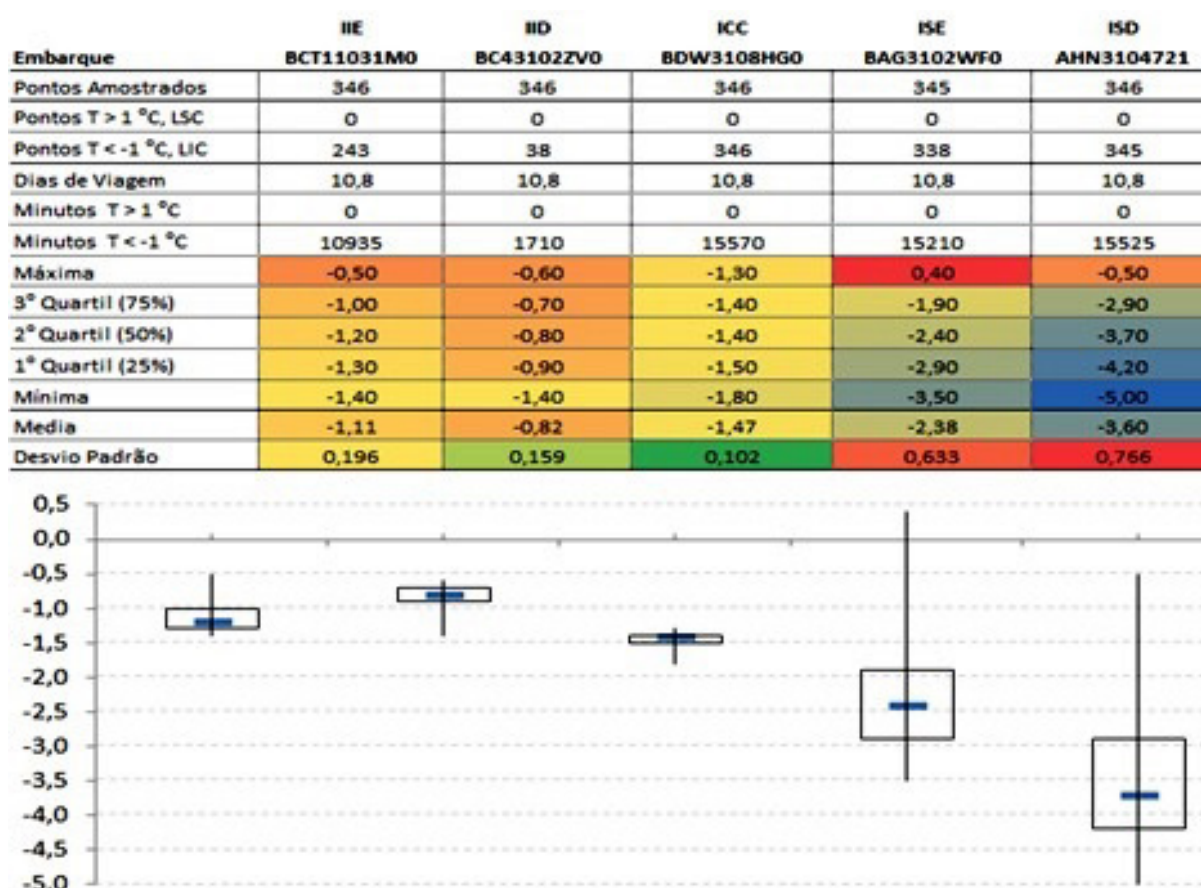


Fonte: fotografia do autor.

Registra-se a falta de 4 caixas quando do processo de recebimento no cliente importador. Confrontadas com a lista de caixas embarcadas, identificou-se 2 caixas que continham termógrafos posicionados na última fileira próximo à porta do baú frigorificado - BDW3108HT0 (FSE – Final da Carreta, Superior Esquerda) e BC331031N0 (FSD – Final da Carreta, Superior Direita). Este fato não compromete o experimento, uma vez que foi obtida a medição de outras 3 caixas posicionadas na última fileira, todavia lamenta-se a sua ocorrência.

Aplica-se a ferramenta de análise comparativa Box Plot para os dados coletados nos dispositivos BCT11031M0, BC43102ZV0, BDW3108HGO, BAG3102WFO e AHN3104721, posicionados juntamente ao produto e localizados em embalagens embarcadas nas posições iniciais, ou seja, na frente do veículo e mais próximos do equipamento de frio. Registra-se como ponto importante a quantidade de medições de temperatura abaixo do limite inferior recomendado pelo produtor (-1 oC e 1 oC), demonstrando a tendência de excesso de frio oferecido pelo sistema. Ainda, o posicionamento de maior temperatura média na posição inicial inferior direita (IID): -0,82 oC. Figura 15.

Figura 15 - Termógrafos Internos. Seção transversal na parte frontal da carreta.



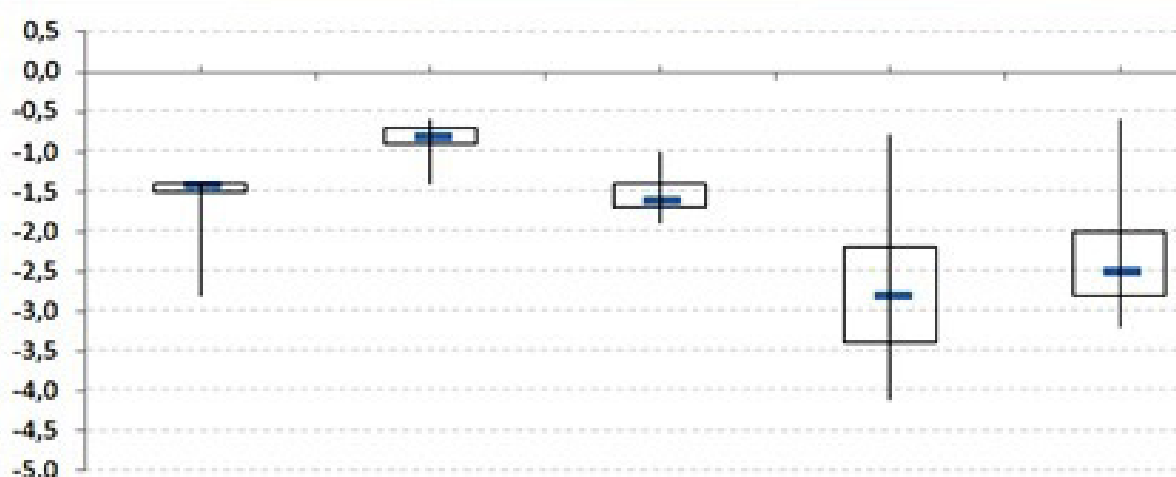
Fonte: elaborado pelo autor

Analisadas as três seções transversais do início (figura 15), centro (figura 16) e final da carreta (figura 17), observa-se que os sensores de temperatura dos produtos posicionados mais elevados têm uma menor temperatura e um maior desvio padrão. De forma complementar, pode-se observar que há uma maior estabilidade de temperatura quanto mais inferior for o posicionamento do produto na carreta.

Os produtos embarcados do centro (Figura 16) para o final (Figura 17) da carreta confirmaram a tendência de temperatura menor que a recomendada pelo processador. Consta-se na inspeção de recebimento, que os produtos se evidenciavam com rigidez e com uma fina camada de gelo na sua superfície, característicos de pré-congelamento.

Figura 16 - Termógrafos Internos. Seção transversal no centro da carreta.

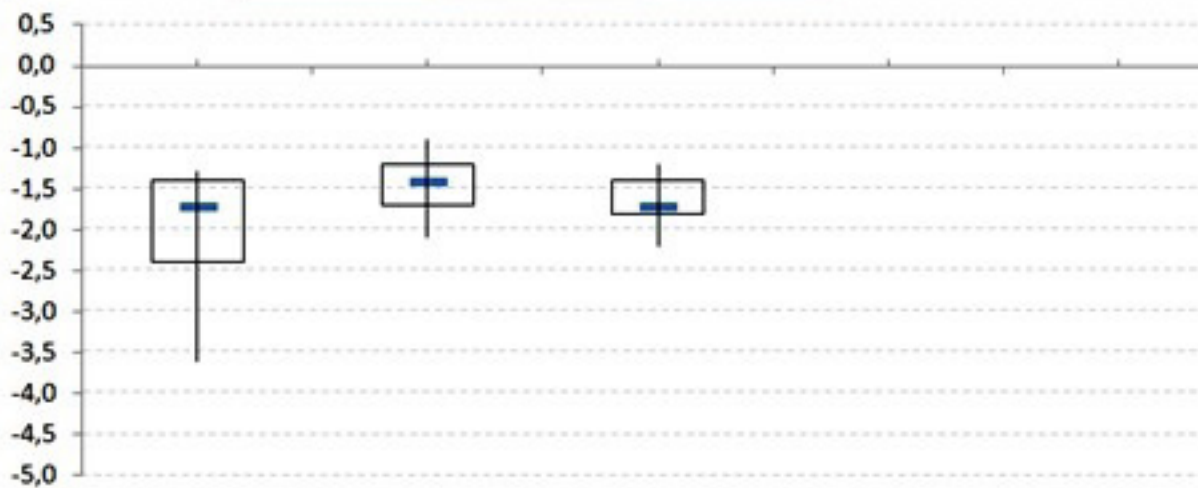
	CIE	CID	CCC	CSE	CSD
Embarque	AKV3106C90	BCM3100TC0	AGV1107J10	AM83106880	BDW310A810
Pontos Amostrados	346	346	346	346	347
Pontos T > 1 °C, LSC	0	0	0	0	0
Pontos T < -1 °C, LIC	346	28	344	344	339
Dias de Viagem	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8
Minutos T > 1 °C	0	0	0	0	0
Minutos T < -1 °C	15570	1260	15480	15480	15255
Máxima	-1,40	-0,60	-1,00	-0,80	-0,60
3º Quartil (75%)	-1,40	-0,70	-1,40	-2,20	-2,00
2º Quartil (50%)	-1,40	-0,80	-1,60	-2,80	-2,50
1º Quartil (25%)	-1,50	-0,90	-1,70	-3,40	-2,80
Mínima	-2,80	-1,40	-1,90	-4,10	-3,20
Media	-1,48	-0,82	-1,57	-2,76	-2,42
Desvio Padrão	0,180	0,138	0,170	0,723	0,532



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 17 - Termógrafos Internos. Seção transversal no final da carreta.

	FIE	FID	FCC
Embarque	BDW310A650	BCM3100SC0	AHN3106A41
Pontos Amostrados	347	347	346
Pontos T > 1 °C, LSC	0	0	0
Dias de Viagem	10,8	10,8	10,8
Minutos T > 1 °C	0	0	0
Máxima	-1,30	-0,90	-1,20
3º Quartil (75%)	-1,40	-1,20	-1,40
2º Quartil (50%)	-1,70	-1,40	-1,70
1º Quartil (25%)	-2,40	-1,70	-1,80
Mínima	-3,60	-2,10	-2,20
Media	-1,97	-1,46	-1,66
Desvio Padrão	0,633	0,295	0,253



Fonte: elaborado pelo autor

O painel da figura 18 apresenta a diferença média de temperatura para cada dia de viagem, tendo-se como base de referência o centro gravitacional da carga (CGC).

Figura 18 - Gradiente de Temperatura (referência do centro gravitacional da carga).

	AGV1107J10	BAG3102WFO	AHN3104721	BDW3108HGC	BCT11031MD	BC43102ZVO	AM83106880	BDW310A810	AGV1107J10	AKV3106C90	BCM3100TCO	BDW3108HTO	BC331031NO	AHN3106A41	BDW310A6SO	BCM3100SCO
Data	CCC	ISE	ISD	ICC	IIE	IID	CSE	CSD	CCC	CIE	CID	FSE	FSD	FCC	FIE	FID
12/03 qui	-1,25	0,33	-0,75	-0,34	0,46	0,10	-0,23	-0,01	0,00	-0,90	0,24	N/A	N/A	0,11	-0,26	0,11
13/03 sex	-1,40	-0,22	-1,38	-0,04	0,64	0,29	-0,43	-0,40	0,00	-0,23	0,33	N/A	N/A	0,24	0,07	0,24
14/03 sáb	-1,38	-0,39	-1,43	-0,01	0,49	0,43	-0,56	-0,47	0,00	-0,02	0,45	N/A	N/A	0,22	0,05	0,22
15/03 dom	-1,40	-0,60	-1,65	0,04	0,38	0,54	-0,85	-0,71	0,00	0,00	0,50	N/A	N/A	0,18	-0,04	0,18
16/03 seg	-1,51	-0,74	-1,88	0,10	0,42	0,71	-1,03	-0,80	0,00	0,11	0,68	N/A	N/A	0,24	-0,07	0,24
17/03 ter	-1,66	-0,80	-2,04	0,18	0,49	0,86	-1,16	-0,85	0,00	0,26	0,86	N/A	N/A	0,30	-0,03	0,30
18/03 qua	-1,65	-0,74	-1,94	0,17	0,44	0,93	-1,12	-0,78	0,00	0,25	0,85	N/A	N/A	0,25	-0,15	0,25
19/03 qui	-1,78	-1,03	-2,37	0,14	0,45	0,99	-1,55	-1,08	0,00	0,38	1,03	N/A	N/A	0,24	-0,30	0,24
20/03 sex	-1,71	-0,99	-2,29	0,20	0,44	1,01	-1,51	-1,01	0,00	0,31	1,01	N/A	N/A	0,04	-0,62	0,04
21/03 sáb	-1,71	-1,23	-2,45	0,21	0,45	1,01	-1,75	-1,15	0,00	0,26	1,01	N/A	N/A	-0,07	-0,96	-0,07
22/03 dom	-1,63	-1,63	-3,08	0,14	0,39	0,96	-2,13	-1,46	0,00	0,11	0,94	N/A	N/A	-0,35	-1,50	-0,35
23/03 seg	-1,60	-1,75	-3,27	0,15	0,38	1,00	-2,34	-1,57	0,00	0,00	0,90	N/A	N/A	-0,50	-1,89	-0,50
Resumo	-1,57	-0,81	-2,04	0,09	0,46	0,75	-1,20	-0,85	0,00	0,09	0,75	N/A	N/A	0,11	-0,40	0,11

Fonte: elaborado pelo autor

A temperatura média do produto no centro de gravidade da carga (CGC), no dia 19/março, foi de -1,78 oC. Por um lado identificou-se uma temperatura média inferior a este valor em 2,37 oC quando comparada com a temperatura média do produto posicionado na caixa da seção transversal superior direita do início da carreta (ISD). Por outro lado, identificou-se uma temperatura média superior em 1,03 oC a esse valor quando comparada com a temperatura média do produto posicionado na caixa da seção transversal inferior direita do centro da carreta (CID). O resumo do variação de temperatura com base a referência ao centro gravitacional da carga (CGC) é apresentado na figura 19.

Figura 19 - Gradiente de Temperatura (referência do centro gravitacional da carga).



Fonte: elaborado pelo autor

Analisando a distribuição de temperatura no interior da câmara frigorífica da carreta, avaliou-se a dispersão da temperatura dos produtos com relação ao ponto central – CGC. O gráfico de cores significa que, quanto mais vermelho, maior a temperatura média naquela região, quando comparada com a temperatura no eixo central da carreta. De forma complementar, quanto mais verde, menor a temperatura daquela região, quando comparada com a temperatura no eixo central da carreta.

Os maiores variações positivas, com temperatura média mais baixa que a do eixo central, foram observadas na superfície lateral direita (média de $-2,04$ oC e pico de $-3,27$ oC). Já os maiores gradientes negativos, com temperatura média mais alta que a do eixo central, foram observadas no início inferior direito ($0,75$ oC) e no centro inferior direito ($0,75$ oC). Seguindo esse mesmo eixo inferior direito, constatou-se um menor gradiente ($0,11$ oC) para o final inferior direito. Quando da abertura da carreta, constatou-se que as caixas de isopor naquela região se movimentaram com o decorrer do trajeto e obstruíram o canal de retorno do ar refrigerado naquela região (figura 16).

Como maiores desvios da temperatura no centro de gravitacional da carga (CGC) identificou-se o CID em 19/03, com temperatura média do produto superior em $1,03$ oC ao CGC, e o LSD no dia 23/03, com temperatura média do produto inferior $3,27$ oC ao CGC. De onde afirma-se que a temperatura média do produto neste trajeto variou $4,30$ oC ($1,03+3,27$) a partir do seu centro gravitacional da carga.

Este resultado de variação de temperatura de $4,30$ oC, maior que o dobro entre os limites de temperatura definidos pelo produtor/exportador de 2 oC (LIC de -1 oC e LSC de 1 oC) implica em que,

mesmo garantindo a adequação da temperatura do produto no centro de gravidade da carga, haverá momentos em que o produto estará fora do range estabelecido em algum local da carga.

Observa-se, ainda, a importância do posicionamento do único termógrafo colocado nos carregamentos convencionais, considerando o comportamento e a distribuição da variável temperatura em uma carga de 19000 kg líquidos de produtos (650 caixas).

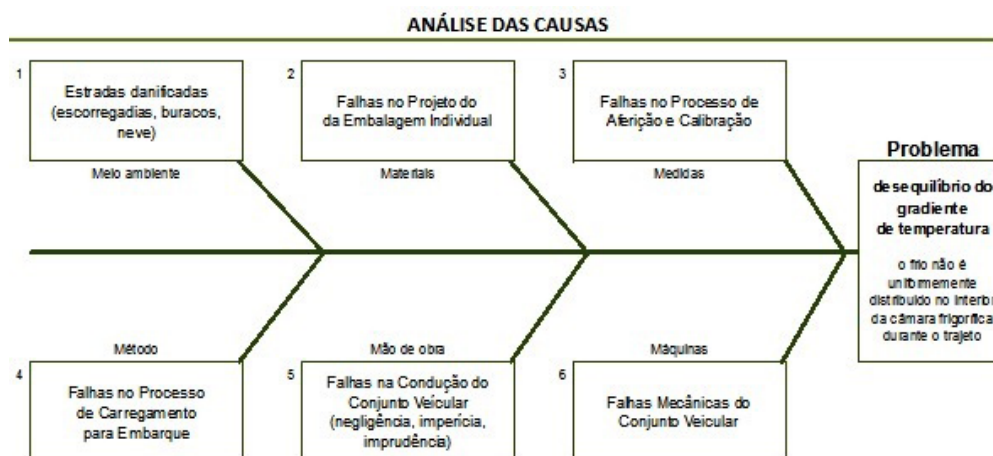
Adiciona-se a este resultado, a eventual quebra de expectativa do cliente final quanto às características de frescor, observadas as evidências históricas percebidas visualmente no momento do recebimento dos produtos quanto à aparência física (textura da carne, cor das guelras e gelo/água na caixa), como também, as evidências sensoriais (odor), as intercorrências de quebra de caixas, provocando a necessidade de revisão parcial/total do lote transportado em planta processadora junto com o com Serviço de Inspeção Federal (SIF/MAPA), e as intercorrências nas quais algumas embalagens dos produtos chegam em condições críticas para o consumo humano.

4.2 Análise de Causas Prováveis

Constatando-se que o frio não é uniformemente distribuído no interior da câmara frigorífica durante o trajeto, e identificado o gradiente de temperatura, realizou-se a análise crítica dos resultados obtidos no processo de transporte. Discute-se o comportamento e a distribuição da temperatura real do produto, de acordo com o seu posicionamento físico no interior da câmara frigorífica.

Considera-se os pilares do Meio Ambiente, dos Materiais, das Medidas, do Método, da Mão de Obra e das Máquinas e identifica-se, a partir de discussões (Brainstorming) realizadas com o grupo de interessados, as causas de maior potencial de risco, construindo-se o diagrama de Ishikawa (diagrama de causa-efeito ou "espinha de peixe"). Figura 20.

Figura 20 - Causas prováveis para o problema.



Fonte: discussões com os grupos multidisciplinares de interessados

Comenta-se as causas prováveis para o problema, priorizando aquelas de maior potencial de risco:

5.2.1 Meio Ambiente

Estradas danificadas (escorregadias, buracos, neve). Embora tenha-se baixo controle sobre este ponto crítico, deve-se registrar as condições das estradas no Chile, Argentina e Brasil como uma causa de elevado potencial de risco, considerando-se esta uma importante restrição para o processo logístico.

O transporte de carga perecível tem prioridade nos trâmites aduaneiros. Observa-se, todavia, o fator imprevisibilidade do tempo no trajeto, considerando as duas fronteiras (Chile-Argentina) e (Argentina-Brasil), as frequentes intercorrências como greves, manifestações ou alterações nos processos de liberação.

Destaca-se a importância da segurança patrimonial no trajeto. No embarque estudado registra-se a falta de 4 caixas quando do processo de recebimento no cliente importador. Embora este fato não comprometa o estudo, esta ocorrência não vem a ser um caso isolado.

5.2.2 Materiais

Falhas no Projeto da Embalagem Individual. Há importantes restrições no Projeto dos Conjuntos Veiculares que exigem a atenção do projeto de embalagem individual e do processo de estiva. Se por um lado os processadores e exportadores chilenos utilizem o mesmo modelo de embalagem individual, por outro lado há evidências de que o projeto pode ser revisado e melhorado:

- quantidade de caixas quebradas por embarque, expondo o produto a condições diferentes das recomendadas pelo produtor.
- a utilização de folhas de isopor sobre o perfil em "T" do piso do veículo de transporte altera as características do projeto inicial, proporcionando a redução do impacto do calor transferido pelo subsistema de frenagem do veículo para o produto.

5.2.3 Medidas

Falhas no Processo de Aferição e Calibração. Plano de Aferição e Calibração inexistente. Apesar do direcionamento do transporte internacional de produtos alimentícios perecíveis receber contribuições da ATP ou do Acordo sobre Transporte Internacional Terrestre entre os Países do Cone Sul, estes vem a ser apenas acordos. Portanto, a inexistência de regras simples, claras e objetivas para a operação do agente transportador internacional considerando, por exemplo, a obrigatoriedade de aferição e

calibração periódica dos seus equipamentos de frio ainda é um problema para a cadeia do frio, sem solução prevista para o curto e médio prazos.

Constata-se com frequência o ajuste do equipamento do sistema de refrigeração para os limites de -15 a -12 oC, de forma que a temperatura do produto seja mantida de acordo com as recomendações do produtor, no interior das embalagens individuais (-1 oC a 1 oC). Certamente o ajuste necessário para um conjunto veicular novo difere do ajuste para um conjunto veicular de 10 anos de vida, sem registros de aferição e calibração.

Ponto relevante para o embarque estudado, a primeira leitura do Sensor de Posicionamento (GPS) trouxe dados incoerentes com a rota executada pelo conjunto veicular de 12 a 23/03/15. O provedor dos sistemas registra que, após uma análise mais detalhada, essa dificuldade se encontrava no computador de bordo do veículo que foi trocado no dia 24/08/2015 na filial de Itajaí. Este fato evidencia que o conjunto veicular operou descalibrado por 8 meses. Desconhece-se quando iniciou o desvio na calibração do sistema.

4.2.4 Método

Falhas no Processo de Carregamento para Embarque. Este é um ponto crítico de controle para o processo, uma vez que a cadeia de frio é incapaz de recuperar perdas anteriores, sendo sua prioridade a manutenção das características do produto no trajeto. O processo de carregamento para embarque e a respectiva estiva são de responsabilidade do produtor e exportador, sendo frequentemente auditados pela autoridade sanitária chilena SERNAPESCA (Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura) e pelos programas internacionais de qualidade assegurada. Neste sentido, a distribuição espacial do produto e a paletização inadequada permitem a movimentação da carga, alterando o espaçamento recomendado entre as caixas durante o percurso, dificultando a circulação do ar refrigerado.

4.2.5 Mão de Obra

Falhas na Condução do Veículo (negligência, imperícia, imprudência). A falha humana na condução dos conjuntos veiculares, composta de carreta (popularmente conhecida como cavalo mecânico), equipamento de refrigeração e veículo refrigerado (popularmente conhecida como carreta baú) de longe é a causa provável de maior risco potencial para provocar o problema. A negligência (sabia o quê deveria ser feito e não fez), a imperícia (falta de perícia) e a imprudência (falta de cuidado) são os grandes responsáveis. Cita-se alguns pontos relevantes:

- os dois eventos citados na introdução deste trabalho que provocaram a perda total da carga para a empresa importadora nos últimos 24 meses foram provocados por falha humana.

- as longas jornadas de trabalho na direção, os poucos ou pequenos períodos de descanso, ou não observados, a ansiedade para retornar para casa após longa ausência, os imprevistos no decorrer do trajeto e as agendas de compromissos futuros contribuem para uma condução ofensiva do conjunto veicular, reduzindo a atenção nas manobras, lombadas, curvas, pontes, trevos e buracos.
- a motivação econômica torna atrativo o desligamento situacional do equipamento de frio visando economizar combustível.
- a figura do "agregado" evidencia a prática corriqueira da quarteirização, o que amplia os riscos da operação, dificultado o controle e a padronização dos serviços contratados.

4.2.6 Máquinas

Falhas Mecânicas do Conjunto Veicular: Cavalos Mecânicos, Carreta Baú e Equipamento de Refrigeração. A motivação econômica torna atrativo o funcionamento do conjunto o máximo período de tempo possível. A identificação das possíveis causas de variação da temperatura contribui fornecendo elementos que provoquem a discussão dos interessados, desafiando-os a promover uma contínua revisão dos seus recursos produtivos e processos, promovendo o desenvolvimento de medidas para diminuir o risco de ocorrência de eventos que possam afetar a qualidade do produto perecível transportado.

4.3 Propostas alternativas para correção do problema

Considerando as limitações do meio ambiente com estradas danificadas (escorregadias, buracos, neve), propõe esse trabalho, como ações de melhoria, a indicação de um programa de Treinamento e Capacitação dos Motoristas de forma a manter uma condução defensiva da carreta, redobrando a atenção nas manobras, lombadas, curvas, pontes, trevos e buracos. Concomitantemente, a identificação de indicadores históricos que demonstrem com critérios objetivos o cuidado na condução do veículo, como a quantidade de caixas quebradas, o estado de arrumação das caixas dos produtos quando do processo de recebimento, a análise de temperatura no interior do veículo durante o trajeto (evitando o desligamento ocasional do equipamento de frio visando a economia de combustível). Esses itens poderiam formar um Programa de Incentivos, que por um lado seja alvo para a avaliação periódica do Treinamento e Capacitação dos Motoristas e, por outro lado, seja alvo de premiação dos profissionais com melhor desempenho.

Frequentemente observa-se o custo do frete como o único ou o principal critério utilizado na escolha de um agente transportador. Como esse critério definitivamente não implica na garantia

das recomendações de qualidade para o transporte do produto, sugere-se concatenar os itens do Programa de Incentivos para qualificar as empresas fornecedoras do serviço de transporte.

Uma outra ação de melhoria seria a utilização de espaçadores nas fileiras de baixo do final da carreta, de modo a permitir a adequada circulação do ar refrigerado durante todo o trajeto. Sugere-se a utilização de tubos de PVC que implicam em baixo investimento econômico, facilmente dimensionados, de fácil limpeza e podem ser reutilizados.

5 Conclusões e Considerações

Observou-se que a ordem de grandeza da variação de temperatura média do produto no trajeto Chile-Brasil em 4oC, tomando-se como base o centro gravitacional da carga (CGC), resultado esse maior que o dobro entre os limites de temperatura definidos pelo produtor/exportador de 2oC (LIC de -1oC e LSC de 1oC). Concluiu-se que, mesmo garantindo a adequação da temperatura do produto no centro gravitacional do veículo, haverá momentos em que o produto estará fora dos limites estabelecidos pelo produtor/exportador em algum local da carga.

Para identificar as causas prováveis da variação de temperatura foi construído um diagrama de Ishikawa, sendo apresentadas as causas prováveis de maior relevância. As falhas humanas na condução dos conjuntos veiculares (carreta, equipamento de refrigeração e veículo frigorificado) se destacam como a causa provável de maior risco potencial para provocar o problema do desequilíbrio da temperatura. Foram apontados alguns exemplos onde a negligência, a imperícia ou a imprudência caracterizam-se como grandes ofensores. Outro ponto relevante é a inexistência de um órgão regulador que obrigue a certificação periódica dos veículos e seus respectivos equipamentos de frio, ainda uma lacuna sem solução prevista para o curto e médio prazos.

A indicação de um programa de Treinamento e Capacitação dos Motoristas atrelado a um Programa de Incentivos, fomenta o alinhamento operacional visando motivar a atenção redobrada nos pontos críticos observados. Um programa de Qualificação de Fornecedores de Transporte possibilita a orientação de compra atrelado a quesitos tão importantes quanto o custo do serviço. A utilização de espaçadores de PVC nas fileiras de baixo do final da carreta, de modo a permitir a adequada circulação do ar refrigerado durante todo o trajeto é uma outra sugestão de melhoria. Embora paliativos, estão no campo de controle dos agentes interessados, que precisam fazer a sua parte para diminuir o risco de ocorrência de eventos que possam afetar a variação de temperatura.

No campo de influencia, cabe aos agentes interessados reunirem-se em agremiações ou associações de classe para discutirem os riscos da inexistência de um órgão regulador que obrigue a certificação periódica dos conjuntos veiculares que transportam alimentos perecíveis. A precariedade do modelo de relação comercial entre contratantes e contratados para a execução do transporte rodoviário internacional é outro ponto importante que coloca em risco a missão de manter adequadamente as características dos produtos.

Como próximos passos, sugere-se a aplicação das ações sugeridas, bem como o planejamento e a programação de novo experimento, objetivando a análise comparativa dos resultados obtidos. Propõe-se, ainda, um estudo aprofundado para a modelagem do sistema, possibilitando a análise dos dados através de simulação de variáveis ao longo do trajeto, correlacionando as influências do ambiente externo sobre o ambiente da câmara refrigerada e, por consequência, sobre o produto. São alvos de pesquisa os atributos como a escolha do material e o respectivo dimensionamento da embalagem, a quantidade de gelo junto ao produto, a utilização de embalagens com atmosfera modificada, a composição e dimensionamento do material do veículo, as especificações e características do equipamento de frio, entre outros.

6 Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CRIADORES DE CAMARÃO – ABCC. **Balança Comercial de Pescado**, n. 12, dez. 2017 Disponível em: <http://abccam.com.br/wp-content/uploads/2018/01/ABCC-Balan%C3%A7a-Comercial-de-Pescado-N.-12-Dezembro-2017.pdf>. Acesso em: 06 mar. 2018.

ALICEWEB - Portal do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Disponível em: <http://aliceweb.mdic.gov.br/>. Acesso em: 26 abr. 2015.

ASHBY, B.H. **Protecting perishable foods during transport by truck**. Agricultural Marketing Service, Washington, 1995. Reprinted July 2008. (Handbook, n. 669, Sept. 1995). Disponível em: <https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/TransportPerishableFoodsbyTruck%5B1%5D.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 14701**. Transporte de produtos alimentícios refrigerados: procedimentos e critérios de temperatura. Rio de Janeiro: ABNT, 2001. 7 p.

_____. **NBR 15457**. Implementos rodoviários - Carroceria termicamente isolada - Desempenho térmico. Rio de Janeiro: ABNT, 2012. 9 p.

ATP Agreement on the international carriage of perishable foodstuffs and on the special equipment to be used for such carriage (ATP). Geneva, 1970. Disponível em: https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp11/wp11fdoc/ATP-2011_final_e.pdf. Acesso em: 19 set. 2015.

BAPTISTA, P. **Higiene e segurança no transporte de produtos alimentares**. Guimarães: Forvisão - Consultadoria em Formação Integrada, 2006.

COULOMB, D. Refrigeration and the cold chain serving the global food industry and creating a better future: two key IIR challenges for improving health and environment. **Trends in Food Science & Technology**, v. 19, p. 413-417, 2008.

CRUZ, João S. B. **Ensaio térmico de um veículo sob temperatura controlada**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2009.

ESTRADA-FLORES, S.; EDDY, A. Thermal performance indicators for refrigerated road vehicles. *International Journal of Refrigeration*, v. 29, n. 6, p. 889-898, 2006.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Food outlook: biannual report on global food markets**. Rome: FAO, 2014. 10p.

_____. **The state of world fisheries and aquaculture**. Rome: FAO, 2016. 199p.

HEAP, R. D. Cold chain performance issues now and in the future. *IIR Bulletin*, n. 4, p. 1-11, 2006.

_____; KIERSTAN, M.; FORD, G. **Food transportation**. London: Blackie Academic & Professional, 1998.

HIRA, R. **Manual de transporte frigorificado**. São Paulo: Thermoking, 2001. 78 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Disponível em: <http://www.ibge.com.br/home/>. Acesso em 19 set. 2015.

INTERNATIONAL INSTITUTE OF REFRIGERATION – IIR. **Temperature indicators and time-temperature integrators: 3rd informatory note on refrigeration and food**. Paris: IIR, 2004. 3 p.

LEITE, Carlos Vieira. **Análise do gradiente de temperatura no interior de um veículo de transporte de carga alimentícia com salmão fresco, no trajeto Chile – Brasil**. 2016. 124f. Dissertação (Mestrado em Processos Industriais) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2016.

LOPES, R.L.T. **Dossiê técnico: conservação de alimentos**. Sistema Brasileiro de Respostas Técnicas, 2007.

MATA-LIMA, H. **Aplicação de ferramentas da gestão da qualidade e ambiente na resolução de problemas: apontamentos da disciplina de sustentabilidade e impactes ambientais**. Funchal, Portugal: Universidade da Madeira, 2007.

MIGUEL, P.A.C. **Qualidade: enfoques e ferramentas**. 1 ed. São Paulo: Artliber, 2006.

NEVES FILHO, L.C. Algumas questões sobre tempos de resfriamento e congelamento. *Revista Nacional da Carne*, São Paulo, v. 30, n. 353, p. 86-102, 2006.

_____. **Refrigeração e alimentos**. Campinas: Faculdade de Engenharia de Alimentos UNICAMP, 1997.

_____. **Refrigeração e alimentos**. Campinas: Faculdade de Engenharia de Alimentos UNICAMP, 2004.

PEREIRA, V. F.; DORIA, E. C. B.; CARVALHO JÚNIOR, B. C.; NEVES FILHO, L. C.; SILVEIRA JÚNIOR, V. Avaliação de temperaturas em câmaras frigoríficas de transporte urbano de alimentos resfriados e congelados. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas-SP, v. 30, n. 1, p. 158-165, 2010.

SIDONIO, L.; CAVALCANTI, I.; CAPANEMA, L.; MORCH, R.; MAGALHÃES, G.; LIMA, J.; BURNS, V.; ALVES JÚNIOR, A.J.; MUNGIOLI, R. **Panorama da aquicultura no Brasil: desafios e oportunidades**. BNDES Setorial, 2012. v. 35, p. 421-463.

SILVA, G. B. **Gestão da cadeia do frio: uma análise de fatores logísticos**. Rio de Janeiro: Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2010. p. 2-68.

TRIPPE, D. **Pesquisa-ação: uma introdução metodológica**. Tradução de Lólio Lourenço de Oliveira. *Educação e Pesquisa*, São Paulo, v. 31, n. 3, p. 443-466, 2005.

DOI 10.34033/2526-5830-v5n16-2



Artigo técnico

Um panorama da nanometrologia no Brasil e no mundo

An overview of nanometrology in Brazil and in the world

Fabício Torres^{a*}

^a Laboratório de Metrologia Elétrica, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo – SP, Brasil.

E-mail: fabrigt@ipt.br

Palavras-chave:
metrologia; nanotecnologia;
nanometrologia.

Keywords:
metrology; nanotechnology;
nanometrology.

Resumo

A Nanometrologia é uma parte da metrologia que trata das medidas de diversas grandezas ao nível da escala nanométrica. Com o avanço exponencial da nanotecnologia nas últimas décadas, foi exigido um empenho enorme dos Laboratórios Nacionais de Metrologia para acompanhar esse avanço, oferecendo meios de garantir a rastreabilidade metrológica demandada por esta área. O presente artigo tem a intenção de apresentar um retrato da situação da nanometrologia no Brasil e no mundo, por meio de levantamento de dados disponibilizados pelos Laboratórios Nacionais de Metrologia, Bureau Internacional de Pesos e Medidas e pelo Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologias (SisNANO).

Abstract

Nanometrology is a part of metrology that deals with the measurements of several quantities at the level of the nanometric scale. With the exponential advancement of nanotechnology in the last decades, a huge effort was required from the National Metrology Laboratories to follow this progress, offering ways to guarantee the metrological traceability demanded by this area. The present article intends to present a picture of the situation of nanometrology in Brazil and in the world through a survey of data made available by the National Metrology Laboratories, the International Bureau of Weights and Measures and by the National System of Laboratories in Nanotechnologies (SisNANO).

1 Introdução

O ato de fazer comércio na Europa até o fim do século XVIII era algo extremamente complicado. Alguém que viajasse pela França para negociar suas mercadorias, iria se deparar com nada mais do que setecentas unidades de medidas oficializadas (HISTORY..., 2020). Muitas delas possuíam nomes relacionados à morfologia humana, tais como: pé, polegada, mão, cúbito e assim por diante. A confusão era tão grande que, para uma única unidade, como o arpent (usado para medidas de comprimento e de área), poderia haver mais de 48 definições (FANTOM, 2019).

Com o avanço da indústria, houve a necessidade de se buscar referências que fossem simples e reprodutíveis em qualquer lugar do planeta. Assim, com o objetivo de garantir uma autoridade internacional no campo da metrologia, em 1875, foi criado o Bureau Internacional de Pesos e Medidas (BIPM). Naquele momento, uma de suas tarefas era uniformizar as medidas de comprimento e de massa, por meio de calibrações, utilizando-se de artefatos dedicados a esta atividade.

O artefato utilizado para a calibração em comprimento era uma barra de platina-irídio (L1). Seu comprimento foi fixado como sendo a décima milionésima parte do meridiano terrestre (especificamente o meridiano de Paris) (ALDER, 2003). Entretanto, a definição do comprimento por meio da geometria terrestre não era facilmente reprodutível e manter a barra L1 como o sendo o metro definitivo também ocasionava uma série de problemas.

Atualmente, o metro (L) é definido por meio da **Equação 1**, que utiliza a velocidade da luz no vácuo como constante universal (c) e, portanto, seu valor é fixado e isento de incerteza, e o intervalo de tempo (Δt) (BIPM, 2019).

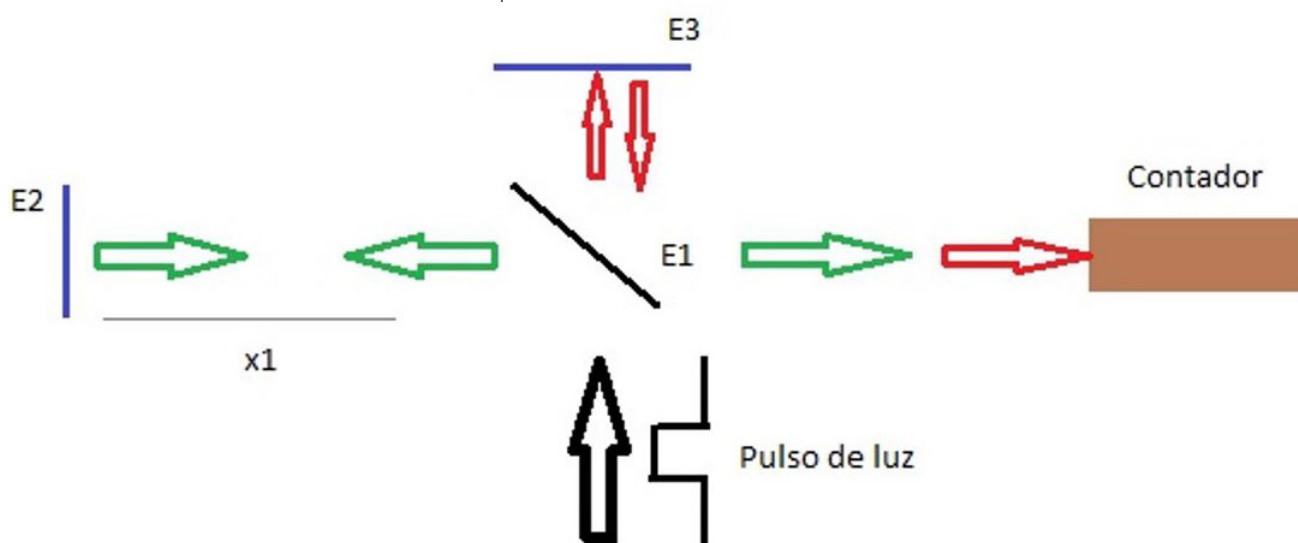
$$L = c \cdot \Delta t \quad (1)$$

Com a definição do metro que se tem hoje, as medidas que envolvem comprimento são feitas com boa precisão e as necessidades do comércio e indústria, em geral, são plenamente atendidas. Porém,

será que elas atendem as demandas provenientes da nanotecnologia? Para responder essa questão, é necessário compreender como são realizadas as medidas de comprimento, por meio da definição do metro atual. Até então, há duas formas de realizar essa medição: por meio do método direto ou por meio do método indireto.

1.1 Método direto

Figura 1 - Medida do comprimento x_1 pelo método direto



Fonte: elaborado pelo autor

O método direto consiste na aplicação de um pulso de luz que incide em um espelho semi-refletor E1 (Figura 1). Parte da luz que é refletida, percorre uma distância x_1 até ser refletida novamente por um outro espelho (E2), fazendo com que o pulso retorne pelo mesmo caminho x_1 e atravesse E1.

Simultaneamente, outra parte da luz (pulso de referência) não é refletida por E1, porém, é refletida por um terceiro espelho (E3) que é colocado num ponto bastante próximo ao semi-espelho E1, fazendo com que o pulso de referência seja refletido por E1. Por fim, o pulso de referência chega num detector de pulso, que inicia a contagem do tempo. O segundo pulso chega em seguida, com um tempo de atraso que é medido pelo contador. A Equação 2 representa a medida do comprimento x_1 .

$$x_1 = \frac{1}{2} \cdot c \cdot \Delta t \quad (2)$$

Entretanto, a realização desse método somente é adequada para medidas em que o comprimento x_1 seja bastante elevado, já que para medidas de menor comprimento, a incerteza de medição acaba sendo relativamente alta. Por exemplo, para a medida de um comprimento de 1 m com incerteza

da ordem de 1 mm, demandaria do contador universal uma incerteza da ordem de 3 ps, valor que é bastante difícil de se obter, devido às imperfeições do sistema eletrônico intrínseco dos próprios contadores universais disponíveis. A incerteza das medidas de intervalo de tempo é estimada pela soma de três componentes: incerteza randômica, incerteza sistemática e incerteza da base de tempo. Dependendo da base de tempo utilizada, a sua componente de incerteza pode ser desprezível, devido ao seu pequeno valor, entretanto, as demais componentes de incerteza (randômica e sistemática) afetam significativamente a incerteza total, já que seus valores são da ordem de algumas dezenas de ns, muito superior ao valor necessário para se obter uma medida dimensional da ordem de 1 m com boa precisão (KEYSIGHT, 2020). Isso sem levar em consideração imperfeições devido ao sistema óptico e necessidades de correção devido a medições realizadas em ambientes que não sejam a vácuo.

Por fim, o método direto somente é utilizado para medidas astronômicas em que as distâncias são enormes e pode-se desconsiderar os erros devido ao índice de refração da atmosfera terrestre.

1.2 Método indireto

No método indireto, utiliza-se a técnica de interferometria, com o intuito de reduzir significativamente a incerteza de medição.

O sistema utilizado é muito parecido com a que está apresentado na Figura 1, porém, ao invés de um pulso de luz, utiliza-se uma luz monocromática com oscilação de alta estabilidade. Em geral, utiliza-se um laser de He-Ne, com comprimento de onda da ordem de 633 nm.

Por meio da **Equação 3**, nota-se que para a medida de comprimento as grandezas de interesse são a diferença de fase ($\Delta\phi$), obtida pelo interferômetro, e a frequência da fonte laser (f). O índice n é um número inteiro que indica o número de vezes em que, ao variar o comprimento de x_1 , a intensidade máxima de luz varia devido à interferência construtiva de ambos os sinais que chegam ao receptor. A distância entre dois picos equivale a $\lambda/2$.

$$x_1 = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{c}{n} \cdot \frac{\Delta\phi}{f} \cdot c \cdot \Delta t \quad (3)$$

O método indireto permite alcançar incertezas muito inferiores comparadas com as incertezas presentes pelo método direto, da ordem de 108 vezes menor. Portanto, esse método é considerado preferencial pelos Laboratórios Nacionais de Metrologia (LNM) como o sistema que provê a rastreabilidade metrológica para a grandeza comprimento.

Entretanto, apesar dos enormes ganhos utilizando-se o método indireto, ainda assim, há uma lacuna que o sistema primário ainda não consegue atender: a nanotecnologia.

1.3 Método complementar para a nanotecnologia

As técnicas que envolvem a nanotecnologia demandam medidas dimensionais na escala nanométrica ou subnanométrica. O uso do padrão primário (interferômetro de laser) não atende adequadamente, já que as incertezas associadas são bastante altas para a escala nanométrica. Fontes de incerteza devido à abertura do laser, polarização e crosstalk, podem alcançar valores da ordem de algumas dezenas de nanômetros.

Ao longo das últimas décadas, aplicações do silício (Si) para o desenvolvimento de semicondutores em larga escala fez com que as características do Si fossem bastante conhecidas. A busca por componentes eletrônicos, tais como transistores e circuitos integrados cada vez mais velozes e eficazes, que são usados em equipamentos eletrônicos, alavancou fortemente a pesquisa envolvendo a dopagem de materiais semicondutores, permitindo que medidas dimensionais do Si fossem massivamente reproduzidas e, conseqüentemente, aprimoradas a precisão e a exatidão dessas medidas (BIPM, 2019).

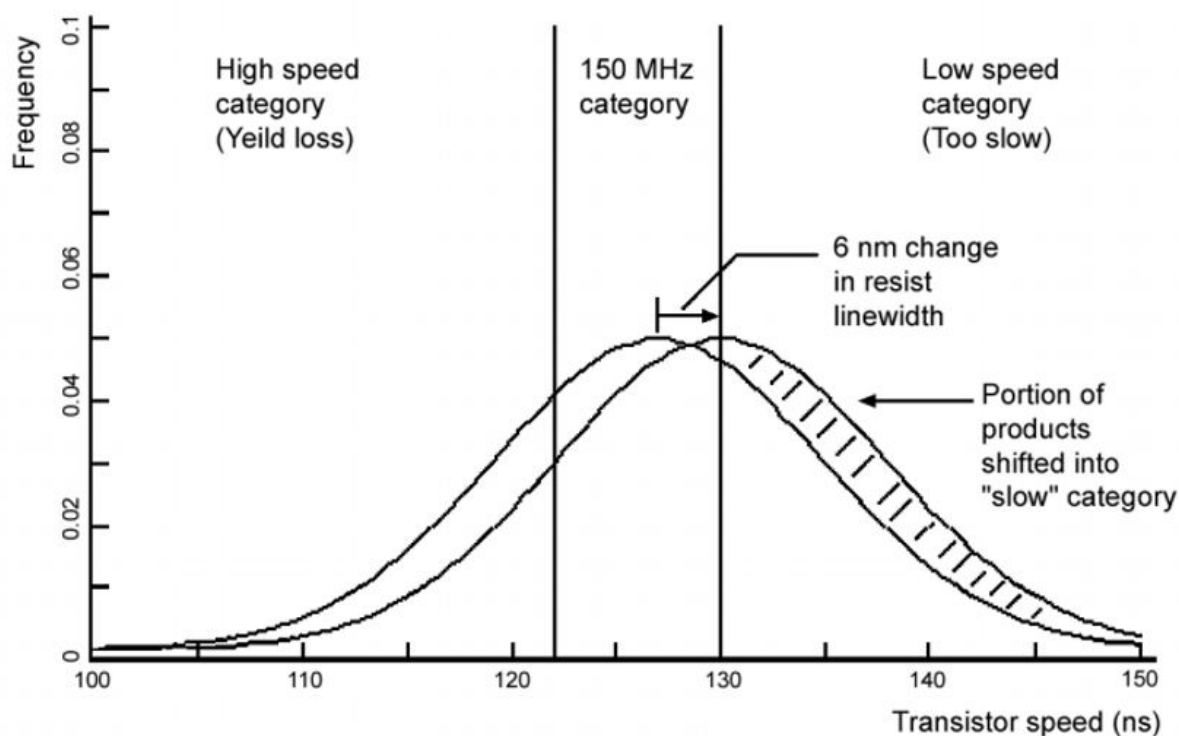
O potencial do Si e o conhecimento aprofundado de suas características, fez com que esse material se tornasse uma alternativa como padrão de referência para medidas dimensionais na escala nanométrica. Por meio do uso do valor do espaçamento da rede cristalina do Si (d220), obtido por meio do interferômetro de raio-X, em conjunto com interferometria a laser, é possível efetuar a calibração e prover rastreabilidade metrológica aos equipamentos e métodos para medidas dimensionais na escala nanométrica, podendo alcançar incertezas abaixo de 1 nm.

1.4 A importância da nanometrologia

A nanometrologia foi se tornando importante em decorrência do avanço da nanotecnologia. Áreas de fármacos, meio ambiente, materiais, química, alimentos, entre outros, demandam a necessidade de efetuar medidas dimensionais com precisão e exatidão em concordância com as definições do Sistema Internacional de Unidades (SI). Porém, foi na área de semicondutores que essa necessidade se tornou mais abrupta (POSTEK, 2002).

Na **Figura 2**, é possível verificar que o controle metrológico da produção de microprocessadores resulta em ganho financeiro significativo para a indústria de semicondutores. Considerando uma diferença de poucos nanômetros (para mais ou para menos) na média do tamanho do gate dos semicondutores produzidos em larga escala, pode resultar em perda de produção, caso a diferença no tamanho seja negativa, ou perda de valor agregado ao produto, caso a diferença seja positiva.

Figura 2 - Controle metrológico na produção de microprocessadores



Fonte: Postek (2002)

A capacidade metrológica existente para o atendimento da área de nanotecnologia permite que a indústria ganhe competitividade em escala global, por meio de produção de produtos com maior valor agregado, que possam ser mais eficazes energeticamente, ou com propriedades diferenciadas, consumindo menos recursos naturais.

No segmento da toxicologia, a nanometrologia ganha enorme importância, principalmente devido aos grandes desafios oriundos da nova tecnologia, no que diz respeito à saúde dos consumidores, trabalhadores e às questões ecológicas (ANDRADE, 2015).

As propriedades de um produto nanotecnológico não somente dependem de sua composição química, mas também de diversas outras características como o tamanho das nanopartículas pertencentes ao produto. E esses novos produtos demandarão procedimentos de ensaios e análises clínicas que se diferenciam significativamente dos métodos vigentes, que são regulados pelas agências de regulação como a Anvisa. O desafio é aumentado significativamente ao se constatar que a nanotecnologia não somente está presente em produtos químicos ou farmacológicos, mas também em novos produtos e materiais que antes passavam despercebidos pela agência reguladora. Um eletrodoméstico, como uma lavadora de roupas, por exemplo, pode ser considerado um pesticida, no momento em que o fabricante adiciona alguma nanopartícula antimicrobiana, e, portanto, deverá seguir regras diferenciadas (DAMASCENO et al., 2013).

Ter o conhecimento do potencial metrológico do seu próprio país é necessário não somente pelo meio acadêmico, mas também pelas entidades governamentais e privadas. O entendimento das fraquezas que possam estar atreladas à falta de infraestrutura laboratorial, equipamento ou capacidade humana, deve ser considerado para tomada de ação com o viés de alavancar a produção científica local, garantindo a soberania nacional.

Considerando a importância da nanometrologia, foi aprovado em 2012 o grupo de trabalho em nanometrologia dimensional (BIPM, 2012). O grupo pertence à estrutura do BIPM e tem como objetivos compartilhar experiência entre LNM, discutir necessidades de padronização e rastreabilidade, identificar tendências, promover e praticar pesquisas em nanometrologia, buscar melhorias em serviços de calibração dentro das LNM, coordenar programas de ensaio de proficiência e comparações interlaboratoriais e estabelecer contatos com membros de outros grupos de trabalho e comissões (CCL, 2020).

No âmbito brasileiro, em abril de 2012 foi instituído pelo antigo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações o Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologia (SisNANO). Um dos principais objetivos do SisNANO foi garantir que os laboratórios pertencentes ao Sistema se tornassem multiusuários, possibilitando maior interação entre institutos nacionais e internacionais. Com injeção de, aproximadamente, R\$ 88 milhões entre o período de 2013 e 2018, o SisNANO tem contribuído com a formação de novos pesquisadores e a expansão da P&D&I em nanotecnologia, alinhada aos planos estratégicos nacionais (SISTEMA..., 2020).

2 Descrição do método de pesquisa

O método para avaliar o cenário da nanometrologia consistiu no levantamento de dados contidos nas websites dos LNM, que são membros do CCL-WG-N, no website do BIPM (KCDB, 2020) e nos relatórios e atas do CCL-WG-N.

As informações buscadas estão relacionadas com as atividades usuais que envolvem a metrologia. Estas atividades são relacionadas a seguir:

- métodos disponíveis pelos Laboratórios;
- faixa de medição na escala nanométrica;
- capacidade de medição e calibração (CMC);
- participação em programas de ensaio de proficiência.

As informações de escopo, CMC e métodos foram comparadas entre os LNM que possuem os serviços de calibração cadastrados no website do BIPM. Exceto no caso do Brasil, cujos dados foram levantados separadamente, foram considerados apenas os laboratórios que possuem escopo dentro da faixa considerada nanométrica, de acordo com a referência ISO/TS 80004-2:2015. Adicionalmente, o filtro considerou apenas os laboratórios que possuem CMC inferior a 10 nm, que equivale a 10 % da faixa considerada nanométrica.

Na esfera nacional, foi realizada uma pesquisa ampla referente ao andamento do sistema criado pelo antigo MCTI (SisNANO), com o intuito de levantar de dados da distribuição geográfica dos laboratórios participantes e principais atividades desempenhadas dentro do programa.

Adicionalmente, foram levantados os dados referentes ao parque instrumental e as atividades realizadas pelo Laboratório de Nanometrologia do Inmetro, por meio de informações contidas no website do Laboratório (LABORATÓRIO..., 2020) e no relatório de atividades disponibilizado (RELATÓRIOS, 2020).

3 Resultados

3.1 Membros da CCL-WG-N

No total, são 28 LNM membros ativos da CCL-WG-N, representando países em todo o mundo. A grande maioria está concentrada no continente europeu, representando um pouco menos de 50 % do total. Da América do Sul, apenas o Brasil pertence como membro do grupo. Na Tabela 1 os membros são apresentados e relacionados com seus respectivos países.

Tabela 1. Lista dos LNM membros da CCL-WG-N

Sigla	Nome	País
NPL	National Physical Laboratory	Reino Unido
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia	Brasil
NIST	National Institute of Standards and Technology	Estados Unidos
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt	Alemanha
INRIM	Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica	Itália
UME	Ulusal Metroloji Enstitüsü	Turquia
NMIA	National Measurement Institute, Australia	Australia
NIMT	National Institute of Metrology (Thailand)	Tailândia
CEM	Centro Español de Metrologia	Espanha
NPLI	National Physical Laboratory of India	Índia

Tabela 1 - Lista dos LNM membros da CCL-WG-N (continuação)

Sigla	Nome	País
LNE	Laboratoire national d'essais	França
RISE	Research Institute of Sweden	Suécia
NRC	National Research Council	Canadá
CMS	Center for Measurement Standards	Taiwan
NIM	National Institute of Metrology	China
DFM	Danish Fundamental Metrology	Dinamarca
BIM	Bulgarian Institute of Metrology	Bulgária
NMU	National Metrology Institute of Japan	Japão
NMISA	National Metrology Institute of South Africa	África do Sul
KRISS	Korea Research Institute of Standards and Science	Coréia do Sul
CMI	Czech metrology institute	República Tcheca
VSL	Van Swinden Laboratory	Países Baixos
VNIIM	D.I. Mendeleev All-Russian Institute	Rússia
MIKES	Centre for Metrology and Accreditation	Finlândia
BEV	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen	Áustria
METAS	Federal Institute of Metrology	Suíça
NMC, A*STAR	National Metrology Centre	Singapura
CENAM	Centro Nacional de Metrología	México

Fonte: adaptado de KCDB (2020)

O grupo de trabalho iniciou as contribuições em 2012 e participou do 15o ao 17o Encontro do Comitê Consultivo para Comprimento (CCL). O Inmetro, representando o Brasil, esteve presente como membro nos três encontros (BIPM, 2012; BIPM, 2015; BIPM, 2018).

3.2 Programas de Comparação Interlaboratorial em nanometrologia

Foi realizada busca no banco de dados da *Key Comparison Database (KCDB)* por programas de comparação interlaboratorial usando as palavras-chaves "nano", "nanometrology" e "nanometric". Foram encontrados sete programas, que estão listados na Tabela 2.

Tabela 2. Programas de Comparação Interlaboratorial registrados no KCDB

Período	Mensurando	Países Participantes
1999 - 2000	<i>Pitch of gratings: 290 nm e 700 nm</i>	Suíça, China, Taiwan, Itália, Dinamarca, Coreia do Sul, Estados Unidos, Japão, Reino Unido, Alemanha e Rússia
2000 - 2002	<i>Step height: entre 7 nm e 800 nm</i>	Alemanha, Taiwan, Espanha, China, Itália, Dinamarca, Polônia, Coreia do Sul, Suíça, Estados Unidos, Japão, Países Baixos, Reino Unido e Rússia
2000 - 2002	<i>Main graduation: 4 µm de largura, 1 mm de comprimento, 1 mm pitch</i>	Alemanha, França, Taiwan, China, Itália, Suíça, Finlândia, Estados Unidos, Japão, Canadá, Suécia e Rússia
1998 - 2000	<i>Pitch: 300 nm e 1000 nm</i>	Dinamarca, República Tcheca, Taiwan, China, Itália, Coreia do Sul, Suíça, Finlândia, Estados Unidos, Japão, Reino Unido e Alemanha
2012	Diâmetro de nanopartículas: ouro de 10 nm; prata de 20 nm; poliestireno de 30 nm, 100 nm e 300 nm	Taiwan, China, México, Dinamarca, Brasil, Itália, Coreia do Sul, França, Suíça, Tailândia, Austrália, Japão e Alemanha
2006	<i>Pitch of gratings: 50 nm e 100 nm</i>	Japão e Alemanha
2006	<i>Pitch of gratings: 700 nm e 4000 nm</i>	Canadá, Taiwan, Suíça e Alemanha

Fonte: adaptado de KCDB (2020)

Cabe ressaltar o Programa de Comparação realizado em 2012, que contou com a participação do Inmetro (LIN et al., 2019). Este programa consistiu na medida dimensional de 5 artefatos distintos: ouro (10 nm), prata (20 nm) e poliestireno (30 nm, 100 nm e 300 nm). Foi permitido que cada laboratório escolhesse um ou mais métodos para a realização das medidas. O Inmetro apresentou os resultados por meio de dois métodos (SEM e TEM). Os resultados foram comparados separadamente, levando em consideração o método escolhido, e o critério adotado para análise dos resultados foi o Erro Normalizado.

3.3 Método, faixa de medição e CMC

Também por meio do banco de dados do KCDB, foi realizada busca pelas unidades "nm" e "µm", facilitando o levantamento de laboratórios que possuem capacitação e infraestrutura laboratorial para medidas na escala nanométrica. Adicionalmente, foram filtrados os laboratórios que possuem escopo com faixa de medição abaixo de 100 nm e com incerteza (CMC) abaixo de 10 nm. Na Tabela 3 constam os países encontrados que possuem faixa de medição e/ou CMC na unidade "nm" ou "µm", relacionados com o método de medição.

Tabela 3 - Método, faixa de medição e CMC do LNM

País	Método	Faixa de medição	CMC
África do Sul	<i>Stylus instrument</i>	10 nm a 3 mm	> 4,0 nm
Alemanha	<i>Metrological SFM</i>	50 nm a 50000 nm	> 0,002 nm
	<i>SFM</i>	5 nm a 5000 nm	> 1,0 nm
	<i>Ellipsometer</i>	6 nm a 1000 nm	≥ 0,7 nm
	<i>Scanning Electron Microscopy in Transmission Mode (TSEM)</i>	7 nm a 300 nm	> 2,0 nm
	<i>X-ray reflectometer</i>	2 nm a 200 nm	≥ 0,24 nm
	<i>Small-Angle X-ray Scattering (Synchrotron radiation)</i>	3 nm a 300 nm	> 0,03 nm
	<i>Interference microscope</i>	10 nm a 10000 nm	> 2 nm
	<i>Stylus instrument, ISO 3274</i>	20 nm a 4000 nm	> 0,5 nm
	<i>Stylus-on-spindle roundness instrument</i>	0 a 400 µm	> 6,0 nm
	<i>Stylus-on-spindle roundness instrument</i>	0 a 400 µm	> 6,0 nm
	Argentina	<i>2-D profile stylus instrument</i>	30 nm a 20000 nm
Austrália	<i>Roundness measuring machine</i>	0 a 2000 nm	8,0 nm
Áustria	<i>Interference microscope</i>	10 nm a 10000 nm	> 5,0 nm
Belarus	<i>Stylus instrument</i>	20 nm a 10000 nm	> 1,0 nm
Bélgica	<i>AFM</i>	10 nm a 50 nm	3,0 nm
China	<i>AFM</i>	0 a 5000 nm	> 1,0 nm
	<i>Profile stylus instrument</i>	25 nm a 5000 nm	≥ 7,0 nm
	<i>Multi-step, stylus on spindle roundness instrument</i>	0 a 500 nm	8,0 nm
Coréia do Sul	<i>Roundness instrument</i>	0 a 1000 nm	≥ 8,0 nm
Dinamarca	<i>AFM</i>	20 nm a 3000 nm	≥ 1,0 nm
Espanha	<i>Interference microscope</i>	5 nm a 2000 nm	> 1,5 nm
	<i>Stylus instrument</i>	10 nm a 15000 nm	> 2,0 nm
	<i>Spindle roundness instrument and multistep method</i>	0 a 100 µm	> 7,0 nm

Tabela 3 - Método, faixa de medição e CMC do LNM (continuação)

País	Método	Faixa de medição	CMC
Estados Unidos	<i>Stylus instrument</i>	7 nm a 25000 nm	> 1 nm
Finlândia	<i>Interferometric MAFM</i>	5 nm a 5000 nm	> 1,1 nm
Itália	<i>Stylus profilometry</i>	10 nm a 15000 nm	> 1,0 nm
	<i>Interference microscopy</i>	10 nm a 20000 nm	> 2,2 nm
	<i>Multi-step</i>	0 a 20000 nm	> 7,0 nm
	<i>Heterodyne interferometer with high-resolution phase-meter</i>	0 a 50000 nm	> 0,7 nm
Japão	<i>Multi-step, stylus on spindle roundness instrument</i>	0 a 2000 nm	> 7,6 nm
	<i>Metrological AFM with laser interferometers</i>	23 nm a 8000 nm	> 0,034 nm
Países Baixos	<i>Interference microscope</i>	0 a 3000 nm	> 1,4 nm
	<i>High precision digital piezo transducer</i>	0 a 15000 nm	1,0 nm
	<i>Fabry Perot interferometer</i>	0 a 300 μ m	1,0 nm
Reino Unido	<i>Multi-step, stylus on spindle roundness instrument</i>	0 a 2000 nm	5 nm
	<i>Stylus instrument with laser interferometry in X, Z</i>	1,3 nm a 10 μ m	> 1,3 nm
Rússia	<i>Laser heterodyne and micro-interferometer, SPM</i>	1 nm a 3000 nm	> 1,6 nm
Singapura	<i>Large range metrological AFM</i>	5 nm a 50000 nm	> 0,06 nm
	<i>White light interferometer</i>	5 nm a 50000 nm	> 3,0 nm
	<i>Stylus instrument</i>	5 nm a 500 μ m	> 4,0 nm
	<i>Multi-step, work piece on spindle roundness instrument</i>	0 a 2000 nm	> 7,0 nm
Suécia	<i>Stylus instrument</i>	50 nm a 1 mm	> 5,0 nm
	<i>Stylus-on-spindle roundness instrument</i>	0 a 400 μ m	> 5,0 nm
Suécia	<i>AFM</i>	10 nm a 2000 nm	> 1,0 nm
	<i>Stylus instrument</i>	10 nm a 30000 nm	> 4,0 nm
	<i>Roundness instrument</i>	0 a 1000 nm	> 7,0 nm
Tailândia	<i>Stylus instrument</i>	25 nm a 32000 nm	> 6,6 nm
	<i>Interference microscope and stylus instrument (for pre-measurement)</i>	10 nm a 10000 nm	> 2,4 nm
	<i>Fizeau interferometer, three flat test, automatic assessment</i>	0 a 300 nm	4,0 nm
	<i>Multi-step, stylus-on-spindle roundness instrument</i>	0 a 20000 nm	> 7,7 nm

Tabela 3 - Método, faixa de medição e CMC do LNM (continuação)

Pais	Método	Faixa de medição	CMC
Taiwan	<i>SEM</i>	10 nm a 1000 nm	≥ 0,3 nm
	<i>Spectroscopic ellipsometer</i>	10 nm a 200 nm	0,11 nm
	<i>Dynamic light scattering</i>	20 nm a 300 nm	≥ 3,3 nm
	<i>Differential Mobility Analyzer (DMA)</i>	20 nm a 500 nm	≥ 1,3 nm
	<i>X-Ray Reflector</i>	1,5 nm a 200 nm	0,02 nm
	<i>Stylus method</i>	10 nm a 50000 nm	> 5,0 nm
	<i>Optical method</i>	10 nm a 3000 nm	> 3,0 nm
	<i>Rotating pick-up type</i>	10 nm a 2000 nm	> 5,0 nm

Fonte: adaptado de KCDB (2020)

A Tabela 4 apresenta os resultados encontrados para o Brasil (Inmetro), considerando somente o escopo relacionado à escala nanométrica.

Tabela 4. Método, faixa de medição e CMC do Brasil

Método	Faixa de medição	CMC
Fizeau interferometer Et master flat	10 nm a 300 nm	30 nm
2-D profile stylus instrument	10 nm a 20000 nm	> 10 nm
Stylus-on-spindle roundness instrument	0 a 400 μm	≥ 12 nm
Interferometry exact fractions (Twyman-Green interferometer)	0 a 20000 nm	16 m

Fonte: adaptado de KCDB (2020)

3.4 Dados do SisNANO

O SisNANO foi dividido em duas fases. A primeira fase decorreu no período entre 2012 e 2018 e contou com a participação de 26 laboratórios. A segunda fase, em andamento, iniciou em 2019 com previsão de término em 2023, conta com 23 laboratórios. A distribuição geográfica de ambas as fases é apresentada na Tabela 5.

Tabela 5. Distribuição geográfica dos laboratórios pertencentes ao SisNANO

Região	N° de laboratórios (1° fase)	N° de laboratórios (2° fase)
Norte	1 (3,8 %)	1 (4,3 %)
Nordeste	3 (11,5 %)	3 (13,0 %)
Centro-Oeste	0	1 (4,3 %)
Sudeste	18 (69,2 %)	14 (60,9 %)
Sul	4 (15,4 %)	4 (17,4 %)

Fonte: elaborado pelo autor

Segundo o Relatório do SisNANO divulgado pelo MCTIC (SisNANO, 2015), os laboratórios participantes atuaram em diversas linhas de pesquisas relacionadas com nanotecnologia. Alguns dos segmentos cobertos são:

- Nanomateriais e nanocompósitos;
- Diagnóstico e prevenção de doenças;
- Medicamentos;
- Higiene pessoal, perfumaria e cosméticos;
- Nanotoxicologia e segurança;
- Meio ambiente;
- Petróleo e gás;
- Energia;
- Aeronáutica, aeroespacial e defesa;
- Agronegócio e alimentos.

Ressalta-se também a participação do Laboratório de Processos Químicos e Tecnologia de Partículas do IPT no SisNano, que possui como linha de atuação o desenvolvimento de processos químicos para a síntese de insumos, polímeros e de sistemas particulados, além da aplicação e caracterização destes materiais (IPT, 2020).

3.5 Laboratório de Nanometrologia do Inmetro

O Laboratório Estratégico de Nanometrologia do Inmetro é um dos membros do SisNANO e tem como missão ser um laboratório multiusuário e permitir compartilhamento de seus equipamentos para uso de pessoas externas ao Inmetro, com o intuito de promover maior sinergia entre pesquisas relacionadas à nanotecnologia. Na Tabela 6 são descritos os equipamentos disponíveis pelo Laboratório de Nanometrologia.

Tabela 6 - Equipamentos pertencentes ao Laboratório de Nanometrologia do Inmetro

Técnicas	Equipamentos
Microscopia Eletrônica	Microscopia Eletrônica de Transmissão (TEM)
	Microscópio Eletrônico de Transmissão de Alta Resolução (HRTEM)
	Microscópio Eletrônico de Varredura (SEM)
	Microscópio Eletrônico de Varredura com Feixe de Íons Focalizados (SEM/FIB)
	Microscópio Eletrônico de Varredura Ambiental de Alta Resolução (ESEM)
Análise de Superfícies	Microscópio de Força Atômica (AFM)
	Microscópio de Força Atômica (AFM) acoplado a espectrômetro Raman
	Microscópio de Tunelamento de Varredura (STM)
	Espectroscopia de Fotoelétrons excitados por Raios X (XPS)
Propriedades Termofísicas	Calorímetro Diferencial de Varredura – DSC
	Sistema de placas quentes protegidas (GHP)
	Analizador Dinâmico-Mecânico (DMA)
	Analizador Termo-Gravimétrico (TGA)
Tribologia	Tribometro multiamostras (macrotribologia e microtribologia)
Difração e Espectroscopia	Difratômetro de Raios X
	Fluorescência de Raios X
	Espectrofotômetro UV-Vis e FTIR
	Espectrômetro Raman
Materiais Particulados	Medidor de potencial Zeta e distribuição de tamanho de partículas em suspensão (Acustosizer)

Tabela 6 - Equipamentos pertencentes ao Laboratório de Nanometrologia do Inmetro (continuação)

Técnicas	Equipamentos
Preparo de Amostras	Forno Tubular
	Polidor iônico
	Polidor manual
	Crio-fratura
	Sputtering
	Ultramicrotomo
	Crio-Ultramicrotomo
	Sistema para Congelamento por Alta Pressão
	Centrífuga de bancada
	Sistema de Plunge Freezing
Microscopia Óptica	Microscópio óptico convencional e invertido
	Estereomicroscópio
	Microscópio de Varredura Confocal a Laser
Biotecnologia	Sistema Incell Analyzer
	Incubadoras de CO ₂
	Tanques de nitrogênio
	Contador de células
	FACSAria com cell sorting
	Leitora e Lavadora de Microplacas UV-Vis-fluorescência-luminescência
Outras Técnicas	Medidor de resistividade (Efeito Hall)
	Perfilômetro
	Microcalorímetro
	Sistema de ponto crítico
	Espectrofotômetro Nanodrop

Fonte: adaptado de Laboratório (2020)

As pesquisas realizadas pelo Laboratório de Nanometrologia envolvem a produção e caracterização de nanopartículas; metrologia de polimorfismo em fármacos; nanoestruturas de carbono; desenvolvimento e metrologia em microscopia óptica de campo próximo; análise de tensão residual em ligas metálicas e filmes finos; caracterização química, estrutural e microestrutural de nanoargilas e minerais; propriedades mecânicas de superfícies em nanoescala; nanometrologia de filmes finos e dispositivos orgânicos.

Dentre as pesquisas realizadas, cabe ressaltar duas delas que são potenciais candidatas em estabelecer a rastreabilidade metrológica na escala nanométrica no âmbito nacional.

O uso do óxido de vanádio (V₂O₃) sobre o óxido de silício (SiO_x) como potencial padrão metrológico para a escala nanodimensional. Estudos realizados apresentaram excelentes resultados com relação à estabilidade do material;

A caracterização da distribuição de diâmetros de nanotubos de carbono com intuito de utilizar esse tipo de material como material de referência. Entretanto, ainda existe a desvantagem desse material não ser desenvolvido no país. O uso desse material como Material de Referência, exigiria a aquisição de nanotubos de carbono de institutos internacionais, tais como o NIST (EUA) ou NRC (Canadá).

4 Análise dos resultados

Apesar do grupo de trabalho CCL-WG-N ter iniciado as atividades em 2012, com o intuito de coordenar programas de comparação interlaboratorial para grandezas dimensionais na escala nanométrica, verifica-se que, desde 1998 já há registro de programas coordenados por LNM. Entretanto, o número de programas registrados não tem crescido nos últimos anos. Com relação à faixa a ser medida, somente um programa utilizou um mensurando com valor inferior a 10 nm. Nota-se, portanto, a necessidade de se realizar mais programas de comparação interlaboratorial, principalmente, na faixa abaixo de 10 nm, já que são valores bastante utilizados para caracterização de estruturas atômicas ou moleculares. Além disso, esses programas podem ser usados como ferramentas para estimar reprodutibilidade, não somente entre laboratórios, mas também entre métodos de medição.

Analisando os resultados presentes no Relatório do Programa de Comparação realizado em 2012 (LIN et al., 2019), constata-se que não há homogeneidade entre as leituras realizadas por meio de diferentes métodos (AFM, EM, DMA, SAXS e DLS). Isso resultou na necessidade em separar os diferentes métodos para efetuar a comparação entre os resultados. Também é importante ressaltar que, mesmo dentro de métodos iguais, ainda há alguns casos de heterogeneidade entre as medidas, já que se evidencia valores de Erro Normalizado acima de 1.

Por meio da Tabela 3, constata-se que 23 países possuem LNM capazes de oferecer serviços de calibração na faixa abaixo de 100 nm com incertezas abaixo de 10 nm. Os países com incertezas abaixo de 1 nm, do menor para o maior, são:

- Alemanha, com incerteza a partir de 0,002 nm, utilizando-se o método SFM (Scanning Probe Microscope) Metrológico;
- Taiwan, com incerteza de 0,02 nm, utilizando-se o método Refletor de Raio-X;
- Japão, com incerteza a partir de 0,034 nm, utilizando-se o método AFM (Atomic Force Microscopy) Metrológico com interferômetros a laser;

- Singapura, com incerteza a partir de 0,06 nm, utilizando-se o método AFM metrológico de ampla faixa.

O Inmetro, por meio do uso de perfilômetro, possui oficialmente a capacitação para calibração com CMC a partir de 10 nm, embora o Laboratório Estratégico de Nanometrologia possua grande quantidade de equipamentos disponíveis, tais como Microscópio Eletrônico de Transmissão (TEM), Microscópio Eletrônico de Varredura (SEM) e Microscópio de Força Atômica (AFM) (LABORATÓRIO..., 2020).

Nota-se, portanto, que a nanometrologia ainda está na sua fase de amadurecimento, necessitando melhorias de incerteza em muitos países, incluindo o Brasil. São poucos os países com capacitação laboratorial para atender demandas de diversos segmentos do mercado que utilizam a nanotecnologia, tal como a indústria de semicondutores, que necessita de rastreabilidade metrológica por meio de padrões cujas medidas sejam realizadas com incertezas abaixo de 10 nm.

No âmbito brasileiro, percebe-se que, geograficamente, os institutos de pesquisa em nanotecnologia estão concentrados na região sudeste. Na região norte, apesar do grande potencial devido à enorme biodiversidade presente na região, o número de institutos de pesquisa com viés para o uso da nanotecnologia ainda é incipiente.

Conforme estudos realizados pelo Laboratório de Nanometrologia do Inmetro, o Brasil está caminhando para a obtenção do padrão de referência na escala nanométrica por meio do uso de Materiais de Referência. Esses estudos são necessários, principalmente, devido à importância em estabelecer a rastreabilidade metrológica nessa faixa de medição dimensional.

É importante ressaltar a necessidade de haver maior sinergia entre institutos de pesquisa para alavancar a nanotecnologia brasileira, desde a pesquisa básica até o desenvolvimento de novos produtos e inserção destes no mercado nacional, de forma segura para as pessoas e para o meio ambiente. Projetos como o SisNANO são essenciais para atender a esse objetivo, já que a nanotecnologia deve ser entendida como uma estratégia para o país, já que ela tem o potencial de modificar drasticamente diversas áreas do setor econômico de uma nação.

5 Conclusão

No decorrer dos séculos os padrões de referência para medidas de comprimento foram se aperfeiçoando e, assim, garantindo a uniformidade das medidas demandadas pelas novas tecnologias. Nos séculos XX e XXI, mais uma vez os metrologistas tiveram que se reinventar para acompanhar os novos avanços tecnológicos. A falta de um padrão adequado poderia tornar as medidas caóticas, que são demandadas por uma área tão ampla que é a nanotecnologia.

Diversos países, incluindo o Brasil, entendendo a importância da metrologia para a nanotecnologia, se uniram para estabelecer novos padrões de referência que fossem adequados para os desafios atuais. Entretanto, é evidente que a nanometrologia ainda é um segmento incipiente e que necessita de investimento em infraestrutura e pessoas qualificadas para continuar acompanhando os avanços da nanotecnologia.

6 Agradecimento

Agradeço aos professores da disciplina de Nanotecnologia Aplicada à Indústria Química do Mestrado Profissional de Processos Industriais do IPT, pelas aulas essenciais para a elucidação dos temas relacionados à nanotecnologia, necessários para a elaboração desse artigo.

Agradeço também ao sr. Douglas Mamoru Yamanaka, pesquisador do Laboratório de Metrologia Mecânica do IPT, pelos esclarecimentos de dúvidas com relação à metrologia dimensional e contribuições por meio de sugestões de artigos científicos relacionados ao tema.

7 Referências

ALDER, K. *A medida de todas as coisas*. Rio de Janeiro: Objetiva, 2003.

ANDRADE, L. R. B. *Sistemática de ações de segurança e saúde no trabalho para laboratórios de pesquisa com atividades de nanotecnologia*. 2013. 257f. Tese (Doutorado) – Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2013.

BIPM. Consultative Committee for Length - CCL - Report of the 15th meeting. Sèvres: 2012.

BIPM. Consultative Committee for Length -CCL - Report of the 16th meeting. Sèvres: 2015.

BIPM. Consultative Committee for Length - CCL - Report of the 17th meeting. Sèvres: 2018.

BIPM. *Mise en pratique for the definition of the metre in the SI*. In: SI Brochure – 9th ed. – Appendix 2. [S.I.]: 2019.

CCL. *Working group on dimensional nanometrology*. In: BIPM. Disponível em: <https://www.bipm.org/en/committees/cc/wg/ccl-wg-n.html>. Acesso em: 12 jul. 2020.

DAMASCENO, J. C., RIBEIRO, A. R., BALOTTIN, L.B., GRANJEIRO, J. M. *Nanometrologia – desafios para a regulação sanitária*. Disponível em:

<https://visaemdebate.incqs.fiocruz.br/index.php/visaemdebate/article/view/94>. Acesso em: 06 ago. 2020.

FANTOM, J. P. **A brief history of metrology: past, present, and future**. Paris: International Journal of Metrology and Quality Engineering, 2019.

HISTORY of measurement. In: Réseau National de la Métrologie Française. Disponível em: <https://metrologie-francaise.lne.fr/en/metrology/history-units>. Acesso em: 12 jul. 2020.

INMETRO. Laboratório estratégico de nanometrologia. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/sisnano/equipamentos.asp>. Acesso em: 12 jul. 2020.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION-ISO-TS80004-2 Nanotechnologies – Vocabulary : 2015.

KCDB. In: BIPM. Disponível em: <https://www.bipm.org/kcdb/>. Acesso em: 12 jul. 2020.

KEYSIGHT. 53220A/53230A 350 MHz Universal Frequency Counter/Timer. In: **User's Guide**. 3th ed. Malásia: 2020.

LABORATÓRIO DE PROCESSOS QUÍMICOS E TECNOLOGIA DE PARTÍCULAS – LPP. In: IPT. Disponível em: https://www.ipt.br/centros_tecnologicos/BIONANO/laboratorios_e_sessoes/45-laboratorio_de_processos_quimicos_e_tecnologia_de_particulas___lpp.htm. Acesso em: 29 nov. 2020.

INMETRO. Laboratório estratégico de nanometrologia. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/sisnano/equipamentos.asp>. Acesso em: 12 jul. 2020.

LIN, H. L. et al. Nanoparticle Characterization - Supplementary Comparison on Nanoparticle Size. *Metrologia*, v. 56, 1A, 2019.

POSTEK, M. **The challenge of nanometrology**. Gaithersburg: Nanostructure Science, Metrology, and Technology, 2002.

RELATÓRIOS de atividades. In: INMETRO, 2016. Disponível em:

<http://www.inmetro.gov.br/sisnano/relatorios.asp>. Acesso: 10 ago. 2020.

SISTEMA NACIONAL DE LABORATÓRIOS EM NANOTECNOLOGIAS. In: MCTI. Disponível em: http://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/tecnologia/incentivo_desenvolvimento/sisnano/sisnano.html. Acesso em: 07 ago. 2020.

DOI 10.34033/2526-5830-v5n16-3



Artigo técnico

Manual do proprietário: a importância para o usuário de um imóvel residencial

Owner's manual: the relevance for a residential realty user

Áureo da Silva Santos^{abd*}, Felipe Augusto Zaganini Bento^{bd},
Daniel Rodrigues Rezende Neves^c

a Instituto Federal do Norte de Minas Gerais, Januária-MG, Brasil.

b Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil.

c Professor do Curso de Especialização em Avaliações e Perícias de Engenharia, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG, Brasil.

d Discente do Mestrado Profissional em Habitação: Planejamento e Tecnologia.

E-mail: aureo.santos@ensino.ipt.br

Palavras-chave:

manual; proprietário, edificação; manutenção; prevenção.

Keywords:

manual; owner; building; maintenance; prevention.

Resumo

Com o desenvolvimento e avanço da indústria da construção civil, diversos tipos de materiais, produtos, serviços e processos construtivos foram introduzidos no mercado. Ao adquirir um imóvel, o desconhecimento dos usuários em relação à correta utilização, funcionamento e manutenção de componentes, na maioria das vezes, causa a diminuição da vida útil da edificação e prejudica a funcionalidade ideal para a qual foi projetada. O presente estudo tem por objetivo apresentar a importância do manual do proprietário para o usuário de um imóvel residencial. A metodologia utilizada para a elaboração do artigo foi a pesquisa bibliográfica, fundamentada em princípios e normas técnicas que norteiam as diretrizes a serem seguidas pelas construtoras/incorporadoras na elaboração do manual do proprietário. Espera-se conscientizar a população a respeito da importância do manual do proprietário, como uma ferramenta essencial para o correto uso da edificação e garantia dos direitos e deveres como consumidor, independentemente da dimensão e padrão construtivo das edificações. O Manual do Proprietário tem como função ressaltar que a durabilidade de uma edificação está ligada não só aos fatores relacionados ao projeto e execução da obra, mas, também, ao correto uso e manutenção. Dessa forma o Manual do Proprietário é uma ferramenta fundamental que contribui para uma mudança na cultura da falta de cuidados e de atenção rotineiros com a edificação.

Abstract

With the development and advance of civil construction industry, many kinds of materials, products, services, and construction techniques were introduced into the market. When purchasing a property, users' lack of knowledge regarding the correct use, operation and maintenance of components, most of the time, causes a decrease in the useful life of the building and impairs the ideal functionality for which it was designed. This study aims to present the importance of the owner's manual for the user of a residential property. The methodology used to prepare the article was bibliographic research, based on principles and technical standards that guide the guidelines to be followed by the constructors in the preparation of the owner's manual.. It is expected to make the public aware of owner's manual value, as an essential tool for the correct use of the building, and to assure the owner's rights and duties knowledge on, apart the building dimensions or the construction pattern. The Owner's Manual is intended to emphasize that the durability of a building is linked not only to factors related to the project and execution of the work, but also to the correct use and maintenance.. Thus, the Owner's Manual is a fundamental tool that contributes to a change in the culture of the lack of routine care and attention with the building.

1 Introdução

Nos últimos anos, a busca pela qualidade no processo de construção das edificações, tem impulsionado várias mudanças significativas na indústria da construção civil, evidenciando uma abordagem mais ampla dos processos envolvidos.

De acordo com a NBR 14037 (2011), o processo de produção das edificações normalmente vinha sendo observado como constituído de apenas duas etapas: o projeto e a execução em canteiro. Entretanto, o término da obra não pode ser entendido como único objetivo do projeto de construção. Afinal, após a conclusão do projeto executivo o edifício será ocupado por novos usuários, e para isso deve atender requisitos mínimos de desempenho. Para que esse desempenho se estenda para os valores determinados pelas normas técnicas, é imprescindível que o usuário possua uma fonte de informação contendo dados sobre utilização e manutenção do imóvel.

Tendo como base o anteposto, o presente estudo tem por objetivo apresentar a importância do manual do proprietário para o usuário de um imóvel residencial. Dessa forma, torna-se necessário identificar o conceito e a importância do uso, operação e manutenção das edificações; conhecer as responsabilidades assumidas pelo usuário, construtora/ incorporadora; e especificar as informações fundamentais fornecidas pelo manual do proprietário.

Vale justificar a relevância dessa pesquisa, pois pode estimular a prática de produção do manual do proprietário, levando em conta que grande parte da população não tem conhecimento sobre as

particularidades de cada elemento da construção, e de quais procedimentos devem ser feitos para garantir uma perfeita funcionalidade, e assegurar o conforto e garantia desejados.

2 Procedimento metodológico

A metodologia utilizada para a elaboração do artigo é de natureza dedutiva, pois visa apresentar a importância do manual do proprietário, através de estudos realizados sobre o tema.

Por fim, a abordagem será qualitativa, pois reúne informações previstas em normas técnicas e outras fontes bibliográficas, a fim de atingir um resultado que mostre pontos importantes a serem abordados em um manual do proprietário, e sua importância para o usuário de um imóvel residencial.

3 Resultados e discussão

3.1 Histórico

Os edifícios, produtos de um processo de concepção e execução, têm na fase de uso a sua mais longa história. Nesta fase, os principais agentes envolvidos são os usuários, proprietários ou não do imóvel. Estatísticas internacionais indicam que 8% a 10% das falhas nas construções têm origem na etapa de utilização (MESSEGUER, 1991).

Muitos dos problemas nas edificações ocorrem devido à manutenção inadequada, utilização incorreta ou falta de conhecimento sobre as partes do imóvel (HELENE; SOUZA, 1988).

Nos últimos anos, a preocupação com as edificações na fase pós-obra tem recebido grande ênfase no mercado da construção civil. A publicação e revisão de normas sobre o tema demonstram essa preocupação. Destaca-se a ABNT NBR 14037:2011 Versão Corrigida: 2014 - Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações - Requisitos para elaboração e apresentação dos conteúdos (válida a partir de 28/08/2011 e confirmada em 02/12/2019); a ABNT NBR 5674:2012- Manutenção de edificações - Requisitos para o sistema de gestão de manutenção (válida a partir de 25/08/2012 e confirmada em 14/10/2016); a ABNT NBR 16280:2015- Reforma em edificações - Sistema de gestão de reformas - Requisitos (válida a partir de 19/09/2015 e confirmada em 02/12/2019); e a coletânea de normas ABNT NBR 15575:2013 - Edificações habitacionais Desempenho (válidas a partir de 19/07/2013 e confirmadas em 06/10/2017).

3.2 Definições e conceitos

Segundo a NBR 14037 (2011), o "Manual de Uso, Operação e Manutenção" é o documento que reúne as informações necessárias para orientar as atividades de conservação, uso e manutenção da edificação e operação dos equipamentos. Também conhecido como Manual do Proprietário.

O "uso" são as atividades a serem realizadas pelos usuários na edificação dentro das condições previstas em projeto (NBR 14037: 2011).

De acordo com a NBR 14037 (2011), a manutenção é o conjunto de atividades a serem realizadas para conservar ou recuperar a capacidade funcional da edificação e de seus sistemas constituintes de atender as necessidades e segurança dos seus usuários.

Operação é o conjunto de atividades a serem realizadas em sistemas e equipamentos com a finalidade de manter a edificação em funcionamento adequado (NBR 14037:2011).

Segundo a NBR 14037 (2011), durabilidade é a capacidade do edifício ou de seus sistemas de desempenhar suas funções, ao longo do tempo e sob condições de uso e manutenção especificadas, até um estado-limite de utilização.

O prazo de garantia é o período de tempo em que é elevada a probabilidade de que eventuais vícios ou defeitos em um sistema, em estado de novo, venham a se manifestar, decorrentes de anomalias que repercutam em desempenho inferior ao previsto (NBR 14037:2011).

De acordo com a NBR 14037 (2011), a vida útil de projeto (VUP) é o período estimado de tempo em que um sistema é projetado para atender aos requisitos de desempenho estabelecidos, desde que cumprido o programa de manutenção previsto no manual de operação, uso e manutenção.

3.3 A importância do Manual do Proprietário

Cada vez mais a sociedade civil tem reconhecido e assumido a elevada importância das atividades de uso, operação e manutenção dos edifícios como forma de assegurar a durabilidade e a preservação das condições de utilização das edificações durante a sua vida útil de projeto (NBR 14037:2011).

Na tentativa de amenizar os problemas devido ao mau uso, manutenção e operação das edificações, as empresas estão desenvolvendo e entregando aos clientes, os Manuais de Operação, Uso e Manutenção das Edificações (conhecido também como Manual do Proprietário).

Este procedimento é comum na maior parte das organizações de outros ramos industriais, que parecem temer a cobrança de responsabilidade pelos clientes quando estes não recebem informações adequadas sobre o correto uso do produto. No subsetor de edificações da indústria da construção

civil, aparentemente, isto não acontece com muita frequência, ou os empresários não estão avaliando detalhadamente os custos de reconstituição de elementos componentes do edifício que poderiam ser evitados, pois são poucas as empresas que efetivamente entregam manuais adequados com esta finalidade (SANTOS, 2003).

Uma das opções para aumentar a qualidade e diminuir os custos, durante a utilização das edificações, é fornecer informações que orientem o usuário sobre o correto uso, operação e manutenção das edificações. Isto exige o desenvolvimento de uma interface eficiente entre as fases de projeto, execução e uso da edificação (SANTOS, 2003).

A qualidade da documentação técnica produzida ao longo das fases de projeto e execução e seu direcionamento para esclarecer dúvidas relativas às etapas de conservação, uso e manutenção, e da operação dos equipamentos, de forma sistematizada em forma de manuais relativos às edificações, tem sido um instrumento utilizado para melhorar a comunicação no processo (NBR 14037:2011).

O Manual das Edificações é uma ponte de ligação entre as fases do processo produtivo das edificações, e atua de maneira pró ativa, definindo as responsabilidades do construtor e do usuário, e protege a empresa construtora do mau uso ou mesmo da má fé do proprietário, pois, informa ao cliente como ocupar e realizar a manutenção preventiva do imóvel. Assim a adoção do manual é de fundamental importância para a orientação do proprietário, além de servir como instrumento preventivo a favor da empresa construtora, reduzindo os problemas da pós-ocupação (SANTOS, 2003).

Cabe ao construtor e/ou incorporador elaborar o manual que atendendo às normas ABNT NBR 14037, ABNT NBR 5674 e ABNT 15575; informe os prazos de garantias; apresente sugestão para o sistema de gestão de manutenção; informe como será realizado o atendimento ao cliente; e preste o serviço de assistência técnica aos usuários e síndicos de edificações (CBIC, 2013).

O usuário e ou síndico deve ficar atento à sua obrigação de: não usar a edificação fora das condições previstas e projetadas; não realizar modificações na edificação sem conhecimento e prévia anuência do construtor e/ou projetistas; seguir o Manual de uso operação e manutenção da edificação; e implantar e executar o sistema de gestão de manutenção (CBIC, 2013).

3.3.1 O Conteúdo do Manual do Proprietário segundo a NBR 14037:2011

O Manual do Proprietário é de fundamental importância para o usuário de um imóvel, uma vez que segundo a NBR 14037:2011, ele deve:

- a) informar aos proprietários e ao condomínio as características técnicas da edificação construída;
- b) descrever procedimentos recomendáveis e obrigatórios para a conservação, uso e manutenção da edificação, bem como, para a operação dos equipamentos;

- c) em linguagem didática, informar e orientar os proprietários e o condomínio com relação às suas obrigações no tocante à realização de atividades de manutenção e conservação, e de condições de utilização da edificação;
- d) prevenir a ocorrência de falhas ou acidentes decorrentes de uso inadequado; e
- e) contribuir para que a edificação atinja a vida útil de projeto.

O Manual do Proprietário contém informações sobre o empreendimento tais como: prazos de garantia, condições de perdas de garantia; principais itens das áreas de uso privativo e áreas comuns; eventuais contratos de garantia preexistentes, especialmente de equipamentos; e mostrar a forma como o construtor e/ou incorporador se obriga a prestar o serviço de atendimento ao cliente, para orientações e esclarecimentos de dúvidas referentes à manutenção, garantia e assistência técnica.

O manual apresenta ao proprietário, uma descrição escrita e ilustrativa da edificação "como construída", tanto para as áreas de uso privativo quanto para as áreas de uso comum, informando-o sobre:

- aspectos importantes como propriedades especiais previstas em projeto e sistema construtivo empregado;
- desenhos esquemáticos, com dimensões cotadas, que representem a posição das instalações;
- descrição dos sistemas e, quando aplicável, dos elementos e equipamentos;
- cargas máximas admissíveis nos circuitos elétricos;
- cargas estruturais máximas admissíveis;
- descrição sucinta dos sistemas; e

relação dos componentes utilizados para acabamentos (por exemplo, revestimentos cerâmicos, tintas, metais, ferragens, esquadrias, vidros etc.) com as suas especificações; e sugestão ou modelo do programa de manutenção preventiva.

Através do Manual do Proprietário o usuário terá acesso aos dados com respectivos contatos de fornecedores em geral, responsáveis pela elaboração dos projetos; e também das concessionárias de serviços.

Em se tratando dos procedimentos para operação, uso e limpeza dos componentes ou equipamentos mais importantes da edificação, a fim de prevenir danos que possam acarretar consequências graves, o manual apresenta as informações sobre os procedimentos para a colocação em uso da edificação, contendo: descrição clara dos procedimentos para solicitação de ligação dos serviços públicos, com informações de endereços, telefones de contato, documentação necessária etc.; instruções sobre onde e

como instalar os equipamentos previstos em projeto para serem fornecidos e instalados pelos usuários; instruções para a movimentação horizontal e vertical nas áreas comuns do edifício, identificando as dimensões e cargas máximas de móveis e equipamentos dentro da edificação construída; e recomendações para o uso e limpeza da edificação.

Um modelo de programa de manutenção preventiva, elaborado de acordo com a ABNT NBR 5674 é apresentado no manual, de forma a auxiliar o proprietário ou condomínio na elaboração do programa de manutenção, que fornece subsídios para o bom funcionamento da edificação, atendendo às condições de saúde, segurança e salubridade do usuário.

O manual do proprietário também informa sobre a periodicidade, procedimentos e roteiros recomendáveis para a manutenção da edificação; descreve as condições de manutenibilidade previstas no projeto; indica a obrigatoriedade de se registrar a realização da manutenção; e recomenda a realização de laudos de inspeção da manutenção, uso e operação, a serem realizados periodicamente, por profissionais habilitados registrados nos conselhos profissionais competentes, para serem anexados à documentação e registros da edificação.

Devido à grande preocupação com a degradação ambiental, o manual apresenta recomendações aos usuários para o uso racional da água, energia, gás e coleta seletiva de lixo, incluindo resíduos de construção e demolição, a fim de utilizar os recursos de forma consciente e racionalizada. O manual contém informações sobre termos de compensação ambiental, quando houver, ou outras condicionantes ambientais estabelecidas na fase de projeto e obtenção do "Auto de Conclusão do Imóvel", alertando para incidências de penalidades. Contém ainda, informações sobre as consequências advindas do não cumprimento às recomendações fornecidas ou estabelecidas em projeto, e executadas, que possam acarretar a perda do desempenho ambiental preestabelecido inicialmente e/ou risco à saúde do usuário.

Em casos de emergência, ou seja, aqueles que requerem providências rápidas e imediatas que visem à segurança pessoal e patrimonial dos usuários, o manual do proprietário apresenta:

- informações sobre procedimentos que devem ser adotados em casos típicos de emergências (como vazamentos de gás; vazamento de água; falhas nos sistemas elétricos);
- prevenção e combate a incêndio;
- falhas de instalações e equipamentos julgados críticos ao funcionamento da edificação, contemplando não restritivamente os elevadores, instalações de ar condicionado, instalações hidráulicas e sanitárias, instalações elétricas e outros;
- descrição e localização de todos os controles de operação da edificação, com destaque para os dispositivos de segurança e combate a incêndios, registros da rede hidráulica e chaves dos disjuntores das instalações elétricas;

- alerta aos usuários, proprietários e ao condomínio sobre os riscos decorrentes da negligência ou não observação das situações de emergência; e
- informações sobre saídas de emergência, rotas de fuga, e recomendações para as situações de emergência.

Para maior segurança e comodidade dos usuários, o manual do proprietário faz referência aos manuais específicos dos fornecedores de equipamentos e sistemas, a fim de que as operações de manutenção sejam respaldadas tecnicamente.

No manual, consta a relação de documentos técnicos e legais, indicando a incumbência pelo fornecimento inicial, o responsável e a periodicidade da renovação. Ele contém os projetos de: arquitetura; estrutura; instalações elétricas; instalações hidráulicas; sistema de proteção de descarga atmosférica (SPDA); elevadores; paisagismo; projetos específicos (quando pertinentes: luminotécnica, drenagem, diagramas dos quadros elétricos, mapeamento de rede de telefonia e de dados, ventilação mecânica, ar-condicionado, impermeabilização etc.); e memoriais descritivos dos respectivos projetos, não contemplando as respectivas memórias de cálculos.

De acordo com a NBR 14037 (2011), vale ressaltar que:

- a) o proprietário ou o condomínio é o responsável pelo arquivo dos documentos, garantindo a sua entrega a quem o substituir, mediante protocolo discriminando item a item;
- b) o proprietário ou o condomínio é responsável pela guarda dos documentos legais e fiscais, durante os prazos legais;
- c) as providências para a renovação dos documentos são de responsabilidade do proprietário ou o condomínio.

4 Conclusões

O Manual do Proprietário é um instrumento fundamental nos dias de hoje, pois, nele estão contidas diversas informações importantes que o usuário de um imóvel deve ter conhecimento, para assim utilizar de forma adequada a edificação, dar as devidas manutenções e contribuir para o aumento da sua vida útil, uma vez que, a durabilidade da edificação está ligada não só aos fatores relacionados ao projeto e execução da obra, mas, também, ao correto uso e manutenções, principalmente a manutenção preventiva. Dessa forma, é importante realizar esforços conjuntos no sentido de mudar a cultura da falta de cuidados e atenção rotineiros com as edificações.

O Manual do Proprietário constitui uma garantia legal para os usuários das edificações, construtoras e incorporadoras, pois deixa claro que todas as partes têm direitos e deveres a serem seguidos.

A utilização do manual é fundamental para a redução dos custos de pós-ocupação, pois a qualidade e o desempenho das edificações dependem dos procedimentos de controle da qualidade na etapa de uso. Portanto, a conscientização dos usuários sobre esses procedimentos através de manuais confiáveis do ponto de vista técnico, se faz extremamente necessária, devido à atual realidade em que se encontra a indústria da construção civil no Brasil.

5 Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14037: Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações – Requisitos para elaboração e apresentação dos conteúdos. Procedimentos gerais. Rio de Janeiro, 2011.16p.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. Manual de uso, operação e manutenção das edificações: orientações para construtoras e incorporadoras. Brasília: CBIC, 2013. 12 p. Disponível em: <http://www.sinduscon-mg.org.br/site/arquivos/up/geral/93b6ad56770f03edd387d83308e2c814.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2020.

HELENE, P.R. L.; SOUZA, R. Controle da qualidade na indústria da construção civil. In: Divisão de Edificações do IPT. Tecnologia de edificações. 1.ed. São Paulo: Pini. v.1, p. 537-542. 1988.

MESEGUER, A. G. Controle e garantia da qualidade na construção. São Paulo: Sinduscon - SP, 1991.179p.

SANTOS, A. O. Manual de operação, uso e manutenção das edificações residenciais: coleta de exemplares e avaliação de seu conteúdo frente às diretrizes da NBR 14.037/1998 e segundo a perspectiva dos usuários. 2003. 178 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

DOI 10.34033/2526-5830-v5n16-4



Caio Pompeu Cavallieri^{a*}

^a CIMA – Cidades, Infraestrutura e Meio Ambiente, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil.

E-mail: caiopc@ipt.br

1 Introdução

Embora exista uma ampla variedade de definições para a palavra inovação, uma das ideias predominantes sobre esse termo é a de que um invento – seja produto ou processo – só passa a ser entendido como inovação se em algum momento ele chegar a ser utilizado de alguma forma por alguém e se, ao mesmo tempo, for capaz de gerar valor para quem o criou e para aquele que o utiliza (VALLONE, 2016). É, por exemplo, o caso do gorilla glass, um tipo de vidro extremamente resistente e muito comum em smartphones, que, à luz desse conceito de inovação, levou cerca de meio século para ser promovido de invento para inovação. De fato, conforme descrito por Isaacson (2011), o gorilla glass foi desenvolvido na década de 1960, mas, por falta de mercado, logo deixou de ser fabricado. No entanto, esse quadro mudou profundamente entre 2005 e 2010 quando Steve Jobs, ao constatar a enorme resistência que o gorilla glass oferecia contra riscos e arranhões, decidiu que o projeto do iPhone contaria com telas de vidro – seu antecessor imediato, o iPod, era feito com telas de plástico.

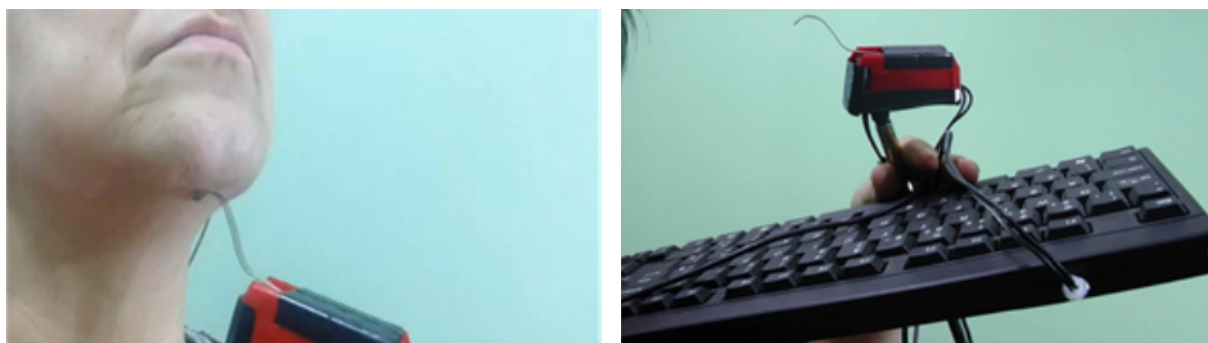
Seja como for, esse entendimento de inovação tem claramente um lastro de mercado, algo que por si só não é negativo, mas que muitas vezes não parece fazer sentido fora de setores como os de infraestrutura, agricultura, saúde e de bens e serviços. Ainda assim, mesmo em meio à onipresença de valores como consumo, produtividade, eficiência e funcionalidade, é possível identificar áreas do conhecimento que têm a subjetivação como uma de suas principais matérias-primas, e, ao mesmo tempo, transitam por

terminologias claramente de viés econômico. É, de certa forma, o que se observa nos trabalhos de artistas que se valem da mistura entre elementos da arte, ciência e tecnologia.

Quando se trata da criação de obras em que a arte acaba se servindo de tecnologias emergentes, é relativamente comum que artistas procurem conciliar saberes distintos e práticas aparentemente desconexas entre si. Esse processo, que para Hissa (2008) é um trabalho de tradução entre saberes hegemônicos e não-hegemônicos, se passa no que Leote (2015) convencionou chamar de zonas de contaminação, um ambiente fronteiro em que as lógicas próprias de cada campo – arte, ciência e tecnologia – acabam corrompidas em alguma medida. Espaços assim, por serem marcados por fluxos, estranhamentos e o desejo se aproximar, favorecem que terminologias até então predominantes em campos disciplinares específicos, passem a figurar no vocabulário de outras áreas do conhecimento. É o que se observa com o termo "patente", que tradicionalmente está associado à indústria – todos pedidos de patente no Brasil são analisados pelo Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI), autarquia vinculada ao atual Ministério da Economia –, mas que paulatinamente ganha espaço no campo das pesquisas acadêmicas em arte.

Um exemplo disso é o "Interfaces assistivas para as artes: da difusão à inclusão", uma das linhas de pesquisa do Grupo Internacional e Interinstitucional de Pesquisa em Convergências entre Arte, Ciência e Tecnologia (GIIP), que, em parceria com universidades públicas brasileiras e do exterior, busca promover a produção artística e o ensino de arte entre pessoas com deficiências severas como paralisia cerebral e síndrome de locked in. Para tanto, artistas valem-se, por exemplo, de programação em código aberto, microcontroladores e componentes analógicos em desuso para desenvolver protótipos de baixo custo tendo em vista propósitos práticos e poéticos (LEOTE e OLIVEIRA, 2017). Um dos resultados dessa linha de pesquisa é o TECLAUT, um protótipo de interface adaptável que, por meio de mouse ou teclado, confere a artistas com deficiências múltiplas a possibilidade de operar por conta própria um dispositivo que lhes permite escrever com menos dificuldade, e, ao mesmo tempo, tem potencial para facilitar suas atividades enquanto professores de arte (Figuras 1 e 2). Em meio a esse processo em que artistas – muitos dos quais sem nenhum interesse prévio em tecnologias computacionais – expuseram-se a experimentações com ferramentas de outros territórios, o TECLAUT também deu origem ao depósito de dois pedidos de patente, um procedimento ainda relativamente incomum em pesquisas no campo da arte.

Figura 1 e 2 - Exemplo do TECLAUT associado a um teclado para favorecer o processo de escrita e o exercício da docência de artistas com deficiências múltiplas.



Fonte: Leote (2016).

De fato, as práticas que resultam em patentes ainda são incipientes no campo de pesquisas relacionadas à arte. Trata-se, mesmo assim, de um movimento que já encontra resistência de pesquisadores ligados à comunidade artística, como Oliveira (2014), que associa patentes – e a proteção de direitos autorais – a um paradigma a ser superado por infringir atrasos ao desenvolvimento cultural e social. De qualquer forma, independente de ser contra ou a favor dessa prática, o envolvimento com a criação de patentes é uma maneira de permanecer atrelado a pontos de vista estabelecidos ou paradigmas compartilhados (KUHN, 2012) que favorecem a continuidade de uma lógica em que razões econômicas prevalecem sobre as demais – sociais, estéticas, políticas, ambientais e assim por diante.

Se analisado dessa forma, o fato de a arte se apropriar de práticas que dão origem a patentes acaba sendo o simples resultado da influência que a ciência e a tecnologia exercem sobre o campo artístico (saberes hegemônicos sobre o não-hegemônico). Por outro lado, a arte também acaba por influenciar o modo como a ciência e a tecnologia encaram processos relacionados à inovação. No mundo competitivo das corporações, por exemplo, a criatividade é entendida como essencial para o desenvolvimento de novos produtos e processos. Para Tieppo, Reis e Picchiai (2016), músicas como a Sonata K488 em D Maior de Mozart podem ser usadas em ambientes corporativos como um artifício para promover excitação e mudanças de humor transitórias, de modo a favorecer o desenvolvimento de soluções criativas. É o “efeito Mozart” que é tratado em pesquisas como, por exemplo, a de Rauscher, Shaw e Ky (1995).

Em um contexto mais amplo, talvez não seja exagero imaginar que a arte, por trazer elementos anômalos e de natureza intrinsecamente transgressiva, tenha potencial para deflagrar mudanças estruturais nos campos da ciência e tecnologia, de modo a favorecer a emergência de novos paradigmas. Um processo assim poderia acontecer a partir de práticas e experiências engendradas pela própria arte, dando origem – propositalmente ou não – a contraposições à lógica utilitarista predominante, que, segundo Leff (2001), ainda insiste em coisificar e homogeneizar o mundo. Na realidade, é possível que somente assim, a partir de movimentos catalisados pela arte que favoreçam o desenvolvimento de novas percepções e comportamentos rotineiros, seja possível a construção de um mundo mais afeito a aberturas, questionamentos, fluxos e vitalidade.

2 Referências

HISSA, Cássio Eduardo Viana. Fronteiras da transdisciplinaridade moderna. In : **Saberes ambientais: desafios para o conhecimento disciplinar**. Belo Horizonte: UFMG, 2008.

ISAACSON, Walter. **Steve Jobs: a biografia**. São Paulo: Companhia das Letras, 2011.

KUHN, Thomas S. **A estrutura das revoluções científicas**. 13. ed. São Paulo: Perspectiva. p. 108-109; 113.

LEFF, Enrique. **Epistemologia ambiental**. São Paulo: Cortez. p. 192.

LEOTE, Rosangella. **Arte ciência arte**. São Paulo: UNESP, 2015, p. 263 - ISBN 978-85-68334-65-2. Available from Scielo Books. Disponível em: <http://books.scielo.org/id/mqfvk/pdf/leote-9788568334652.pdf> . Acesso em 28/05/2020.

LEOTE, Rosangella. **Assistive interfaces for arts: from diffusion to inclusion**. 2016. Disponível em: <https://giip-interfaces.wixsite.com/home/inicio>. Acesso em: 28/05/2020.

LEOTE, Rosangella; OLIVEIRA, Hosana Celeste. Interfaces assistivas: fazendo arte com os olhos e ondas cerebrais. In: ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS PESQUISADORES EM ARTES PLÁSTICAS- Memórias e Invenções, 26 ., 2017. Campinas. **Anais [...]**. Campinas: ANPAP: PUC, 2017 p. 2976. Disponível em: http://anpap.org.br/anais/2017/PDF/S07/26encontro_____LEOTE_Rosangella__OLIVEIRA_Hosana_Celeste.pdf. Acesso em: 28/05/2020.

OLIVEIRA, Paloma Andrade de. Acoplamentos para corpos potentes: intersecções entre corpo e tecnologia In: ENCONTRO INTERNACIONAL DOS GRUPOS DE PESQUISA: Realidades Mistas & Convergências entre Arte, Ciência e Tecnologia, 5., 2014, São Paulo, **Anais[...]**. São Paulo: USP. 2014. p.201. Disponível em: http://www2.eca.usp.br/realidades/wp-content/uploads/2018/05/Anais5oenc.Final_.pdf. Acesso em: 28/05/2020.

RAUSCHER, F. H.; SHAW, G. L.; & KY, K. N. Listening to Mozart enhances spatial-temporal reasoning: towards a neurophysiological basis. **Neuroscience Letters**, 185, n.1, p. 44-47. DOI: 10.1016/0304-3940(94)11221-4, 1995.

TIEPPO, Guilherme Macedo de Souza; REIS, Germano Glufke; PICCHIAI, Djair. Mozart, Rock e a ativação da criatividade. **Revista de Administração Contemporânea**, Curitiba , v. 20, n. 3, p. 261-282, jun. 2016 . Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-65552016000300261&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 28/05/2020.

VALLONE, Alex Fedozzi. Mas afinal, o que é inovação para o IPT? **Revista IPT - Tecnologia e Inovação**. Disponível em: <http://revista.ipt.br/index.php/revistaIPT/article/view/33/21>. Acesso em: 28 maio 2020.

DOI 10.34033/2526-5830-v5n16-5



IPT

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

Av. Prof. Almeida Prado, 532

Cidade Universitária - Butantã - São Paulo - SP

CEP 05508-901

Central de Relacionamento com o Cliente

(11) 3767-4102/ 4456 / 4091

ipt@ipt.br

www.ipt.br

Redes Sociais

twitter.com/@ipt

youtube.com/IPTbr

facebook.com/iptsp



| Secretaria de Desenvolvimento Econômico