

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA**



Leandro de Oliveira Noel Ribeiro

Estudo do Setor de Logística Refrigerada e suas  
Oportunidades de Melhoria de Eficiência

Trabalho de Graduação  
2015

**Curso de Engenharia  
Civil-Aeronáutica**

Leandro de Oliveira Noel Ribeiro

**Estudo do Setor de Logística Refrigerada e suas Oportunidades  
de Melhoria de Eficiência**

Orientador

Giovanna Miceli Ronzani Borille (ITA)

Co-orientador

Rogéria de Arantes Gomes Eller (ITA)

**Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica**

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

2015

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**  
**Divisão de Informação e Documentação**

Ribeiro, Leandro  
 Estudo do Setor de Logística Refrigerada e suas Oportunidades de Melhoria de Eficiência / Leandro de Oliveira Noel Ribeiro  
 São José dos Campos, 2015.  
 Número de folhas no formato 66f.

Trabalho de Graduação – Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica –  
 Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2015. Orientadores: Giovanna Miceli Ronzani Borille, Rogéria de Arantes Gomes Eller

1. Introdução. 2. Conceitos Fundamentais. 3. Fundamentação Teórica do Método. 4. Resultados e Discussões. 5. Conclusões. Referências. Instituto Tecnológico de Aeronáutica.

**REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

RIBEIRO, Leandro. **Estudo do Setor de Logística Refrigerado e suas Oportunidades de Melhoria de Eficiência**. 2015. 66f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

**CESSÃO DE DIREITOS**

NOME DO AUTOR: Leandro de Oliveira Noel Ribeiro

TÍTULO DO TRABALHO: Estudo do Setor de Logística Refrigerado e suas Oportunidades de Melhoria de Eficiência

TIPO DO TRABALHO/ANO: Graduação / 2015

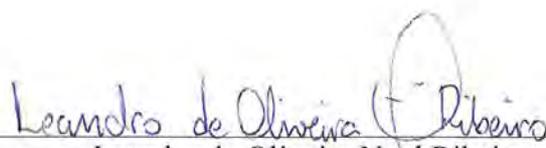
É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias deste trabalho de graduação e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de graduação pode ser reproduzida sem a autorização do autor.

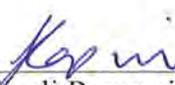
---

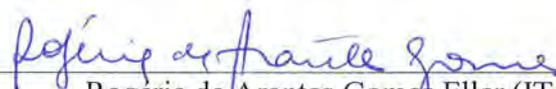
Leandro de Oliveira Noel Ribeiro  
 Rua H8B, 212 – Campus do CTA  
 12228-461 – São José dos Campos – SP

## ESTUDO DO SETOR DE LOGÍSTICA REFRIGERADA E SUAS OPORTUNIDADES DE MELHORIA DE EFICIÊNCIA

Essa publicação foi aceita como Relatório Final de Trabalho de Graduação

  
Leandro de Oliveira Noel Ribeiro  
Autor

  
Giovanna Miceli Ronzani Borille (ITA)  
Orientador

  
Rogéria de Arantes Gomes Eller (ITA)  
Co-orientador

  
Eliseu Lucena Neto (ITA)  
Coordenador do Cursode Engenharia Civil-Aeronáutica

São José dos Campos, 24 de novembro de 2015

Dedico esse trabalho a meu pai, que apesar de não estar mais comigo, sempre me acompanha.

# Agradecimentos

Agradeço a Deus pela vida e pela energia para continuar dia após dia.

Agradeço a minha família, pelo amor e apoio incondicional e por terem me proporcionado a oportunidade de vivenciar o ITA.

Agradeço a Manuela Beserra por estar sempre comigo, me apoiando durante o ano mais cansativo e difícil da minha vida.

Agradeço aos amigos da CIVIL-15 e 14', pela amizade, ajuda e companheirismo e por serem os únicos que fizeram valer a pena minha escolha.

Agradeço a todos os amigos da Turma 15, que fizeram meus 5 anos serem fantásticos. A todos os outros colegas do H8, que muito me ensinaram e me fizeram buscar ser melhor a cada dia.

Sem vocês não seria possível. Sem vocês não teria graça.

50 anos em 5.

# Resumo

A economia brasileira passou por um período de forte desenvolvimento, com o boom da classe média, entrada da mulher no mercado de trabalho, concessão de crédito, etc., o que causou uma alteração estrutural no perfil de consumo dos brasileiros. Essa alteração impulsionou o crescimento de diversos setores da economia, entre eles o de alimentos – uma vantagem competitiva natural do país – em especial, o de alimentação fora do lar, que cresceu 13% mesmo em um ano de crise como está sendo 2015. Com isso, surge a oportunidade de empreender em setores atrelados ao suporte do mercado de alimentação, como é o setor de logística refrigerada. A logística frigorificada envolve manusear e lidar com produtos sensíveis à temperatura atuando em diversos elos da cadeia de valor, desde a indústria até a chegada do alimento ao consumidor final, e pode ser muito rentável se possuir uma dinâmica eficiente de operação. Para discutir sobre como melhorar esse tipo de operação do ponto de vista de eficiência, utilizou-se a Análise Envoltória de Dados (DEA), aplicando essa metodologia para a operação de armazenagem frigorificada de uma empresa do setor, analisando seus cinco armazéns de forma comparativa, por indicadores físicos, operacionais e financeiros. Aplicando o modelo, obteve-se que o quarto armazém analisado foi o mais bem conceituado do ponto de vista de eficiência (apresentando um desempenho econômico comparável aos outros armazéns, mesmo possuindo uma área muito menor) e, por isso, deve ser tomado como referência e benchmark para os outros armazéns reduzirem seu consumo de insumos e aumentarem seu nível de produção. Sugere-se como próximos passos, a extensão do trabalho para análise de operações de transporte e avaliação da operação a partir da consideração de retornos variáveis de escala a fim de aprofundar o tema.

**Palavras-chave:** Logística Refrigerada, Armazenagem Refrigerada, Cadeia do Frio, DEA, Análise Envoltória de Dados, Benchmarking

## Abstract

The Brazilian economy went through a strong period of development, with the boom of the middle class, women's entry into the labor market, lending, etc., which caused a structural change in consumption profile of Brazilians. This change boosted the growth of various industries, including the food market – a natural competitive advantage of the country – especially the food outside the home market, which grew 13% even in a year of crisis as being 2015. Thus, the opportunity to take into sectors linked to the support the feed market, such as chilled logistics industry arises. The refrigerated logistics involves handling temperature sensitive products, working in various links of the value chain, from the industry until the arrival of food to the final consumer, and can be very profitable if it has an efficient dynamic of operation. In order to discuss how to improve this type of operation from the standpoint of efficiency, it has been used the Data Envelopment Analysis (DEA), applying this methodology for the chilled storage operation of a company in the industry, analyzing its five warehouses comparatively by physical, operational and financial indicators. Applying the model, it obtained that the fourth warehouse analyzed was the most well-regarded from the standpoint of efficiency (showing a comparable economic performance to other warehouses, even with a much smaller area) and therefore should be taken as a reference and benchmark for other warehouses to reduce their consumption of inputs and increase their level of production. It is suggested as next steps, the extent of this work to analyze transport operations and to evaluate the operation from the consideration of variable returns to scale for further assessment.

**Key words:** Refrigerated Logistics, Refrigerated Storage, Cold Chain, DEA, Data Envelopment Analysis, Benchmarking

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Brasil: tendências observadas para o consumo de alimentos .....	16
Figura 2 - Desempenho Econômico do Mercado de Alimentação Fora do Lar .....	17
Figura 3 - Penetração da Alimentação Fora do Lar nos países (%) .....	18
Figura 4 - Breakdown do Faturamento do Mercado de Food service em 2012 (R\$ bilhões) ..	19
Figura 5 - Resultado da Regressão linear – Análise da Capacidade Potencial (milhões de m <sup>3</sup> ) .....	21
Figura 6 - Esquema dos Elos da Cadeia da Logística Refrigerada para produtos alimentícios	26
Figura 7 - Curva genérica de um processo produtivo (de Mello et al., 2005).....	33
Figura 8 - Valores eficientes para um ponto de produção viável .....	34
Figura 9 - Fronteira de Eficiência obtida, representada pela linha contínua (Casa Nova, Santos, 2015) .....	36
Figura 10 - Resumo dos Modelos DEA e seus desdobramentos .....	40
Figura 11 - Fronteira de Eficiência para maximização de eficiência do armazém A.....	49
Figura 12 - Fronteira de Eficiência para maximização de eficiência do armazém B.....	51
Figura 13 - Fronteira de Eficiência para maximização de eficiência do armazém C.....	53
Figura 14 - Fronteira de Eficiência para maximização de eficiência do armazém D.....	55
Figura 15 - Fronteira de Eficiência para maximização de eficiência do armazém E .....	56

# LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Mutações nas Despesas de Alimentação no Brasil e Participação das Mulheres na PEA.....	15
Tabela 2 - Características da Regressão .....	21
Tabela 3 - Fatores chave relacionados ao desempenho total da cadeia do frio (SILVA, 2010) .....	27
Tabela 4 - Inputs escolhidos para o DEA .....	45
Tabela 5 - Outputs escolhidos para o DEA .....	45
Tabela 6 - Variáveis de entrada do DEA para caracterização dos armazéns .....	47
Tabela 7 - Pesos encontrados pelo algoritmo DEA aplicado para o armazém A .....	48
Tabela 8 - Eficiências obtidas pelo algoritmo DEA aplicado para o armazém A.....	49
Tabela 9 - Pesos encontrados pelo algoritmo DEA aplicado para o armazém B .....	50
Tabela 10 - Eficiências obtidas pelo algoritmo DEA aplicado para o armazém B .....	51
Tabela 11 - Pesos encontrados pelo algoritmo DEA aplicado para o armazém C .....	51
Tabela 12 - Eficiências obtidas pelo algoritmo DEA aplicado para o armazém C .....	52
Tabela 13 - Pesos encontrados pelo algoritmo DEA aplicado para o armazém D.....	54
Tabela 14 - Eficiências obtidas pelo algoritmo DEA aplicado para o armazém D.....	54
Tabela 15 - Pesos encontrados pelo algoritmo DEA aplicado para o armazém E .....	55
Tabela 16 - Eficiências obtidas pelo algoritmo DEA aplicado para o armazém E .....	56

# SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO .....	14
1.2	MOTIVAÇÃO E RELEVÂNCIA DO ESTUDO .....	19
1.3	O OBJETIVO DO TRABALHO .....	22
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	22
2	CONCEITOS FUNDAMENTAIS .....	24
2.1	CADEIA DO FRIO .....	24
2.1.1	Evolução do Conceito, Características e Produtos .....	24
2.1.2	Logística aplicada à Cadeia do Frio .....	26
2.1.3	Infraestrutura de Armazenagem e Transporte da Cadeia do Frio.....	29
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DO MÉTODO.....	31
3.1	ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS – DEA: DATA ENVELOPMENT ANALYSIS.....	31
3.1.1	O Conceito de Eficácia.....	31
3.1.2	O Conceito de Produtividade.....	32
3.1.3	O Conceito de Eficiência.....	32
3.1.4	Histórico da Análise por Envoltória de Dados (DEA) .....	35
3.1.5	Modelos DEA para Análise de Eficiência.....	37
3.1.6	Características e Limitações do DEA.....	40
3.2	ESTUDOS ANTERIORES USANDO O DEA.....	41
3.2.1	DEA no Transporte Aéreo.....	41
3.2.2	DEA no Varejo de Supermercados.....	42
4	APLICAÇÃO, RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
4.1	CARACTERIZAÇÃO DO MODELO .....	44
4.2	CARACTERIZAÇÃO DOS ARMAZÉNS .....	46
4.3	APLICAÇÃO DO MODELO DEA CCR-i.....	47
4.3.1	Armazém A.....	48
4.3.2	Armazém B.....	50
4.3.3	Armazém C.....	51
4.3.4	Armazém D.....	53
4.3.5	Armazém E.....	55
4.4	LIMITAÇÕES DO MODELO .....	57
4.5	IMPLEMENTAÇÃO DE BENCHMARKING.....	57
5	CONCLUSÕES .....	60
5.1	PRÓXIMOS PASSOS .....	61

REFERÊNCIAS .....62

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Durante as três últimas décadas, a economia do Brasil avançou um longo caminho, pois verifica-se, entre 1988 e 2013, que o PIB (Produto Interno Bruto) nacional dobrou e a inflação caiu de 5 pontos percentuais por semana para 5 pontos percentuais por ano. Mais recentemente, desde o fim dos anos 1990, houve o boom da classe média. Cada vez mais brasileiros viram suas rendas crescerem e aproximadamente 25 milhões de pessoas ascenderam da pobreza para a classe média, que hoje representa cerca de 70% dos cidadãos brasileiros (Valor Econômico, 2015).

O crescimento econômico e do consumo doméstico brasileiro nos últimos 15 anos foi gerado por conta de diversos fatores, entre eles, tem-se a menor taxa de desemprego da história de 4% a 5%, aumento na oferta de crédito ao consumidor, um aumento real no poder de compra e um alto desejo de gastar a renda disponível.

Nesse contexto, os hábitos de consumo da população brasileira foram se tornando cada vez mais sofisticados. Com mais renda disponível, as categorias onde o consumo mais cresceu foram bens como lazer, vestuário e alimentação. Dez anos atrás, a maior ambição dos consumidores era ter acesso a alimentos de melhor qualidade e agora que os consumidores estão alocados em seu estilo de vida de classe média, isso se torna cada vez mais real.

Informações do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e da Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas (FIPE, 2014) mostram que em 1971 o tempo médio de preparação de refeições era de duas horas diárias, sendo reduzido para 15 minutos em 2012. Dessa forma, não só o desejo de uma alimentação melhor passou a ser mais expressivo, mas também a sensação de que o tempo dos cidadãos passou a ser mais “caro”, o que implica que parte relevante da nova renda disponível passa a ser destinada para a alimentação fora do lar, uma solução conveniente, prática e cada vez mais consumida pelos brasileiros.

Somado a isso, outros fatores como a maior participação das mulheres na PEA - População Economicamente Ativa (48% em 2012 versus 23% em 1971), como pode ser visto

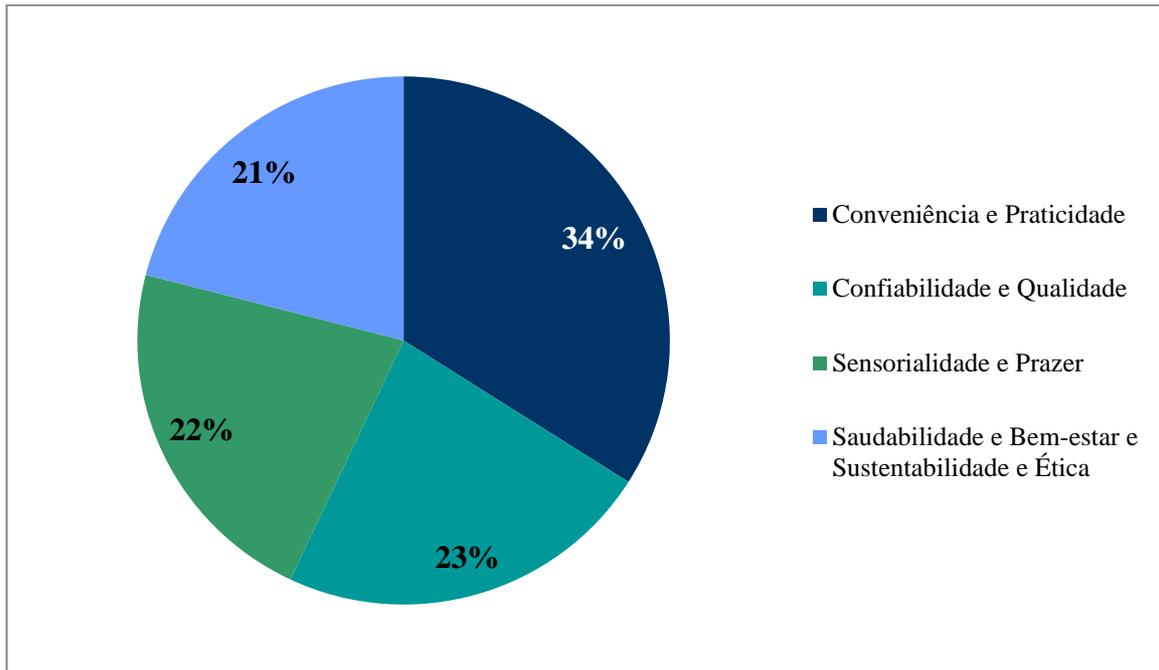
na Tabela 1, o aumento de pessoas morando sozinhas e a diminuição do número médio de habitantes por residência (3 pessoas em 2012) também colaboraram para o crescimento do mercado de alimentação fora do lar.

**Tabela 1 - Mutações nas Despesas de Alimentação no Brasil e Participação das Mulheres na PEA**

Ano	% das Mulheres na PEA	Tempo de preparação das refeições	% dos gastos familiares em alimentação	
			No lar	Fora do lar
1971	23,0	2 horas	88,3	11,7
2003	42,7		75,9	24,1
2004	43,1		74,8	25,2
2005	43,5		73,9	26,1
2006	43,7		72,5	27,5
2007	43,6	15 minutos	71,7	28,3
2008	43,8		71,6	28,4
2009	43,9		71,0	29,0
2010	44,1		71,4	28,6
2011	44,1		69,7	30,3
2012	45,3		68,3	31,7

Fonte: FIPE, ABIA e IBGE (PNAD) (2014)

A publicação Brasil Food Trends 2020, pesquisa realizada pela Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP, 2012), aponta que o perfil de consumo brasileiro está mais inclinado para a tendência de ‘Conveniência e Praticidade’, com 34% da relevância entre os segmentos atitudinais, como mostra a Figura 1.



**Figura 1 - Brasil: tendências observadas para o consumo de alimentos**

Fonte: Brasil Food Trends 2020 (2012)

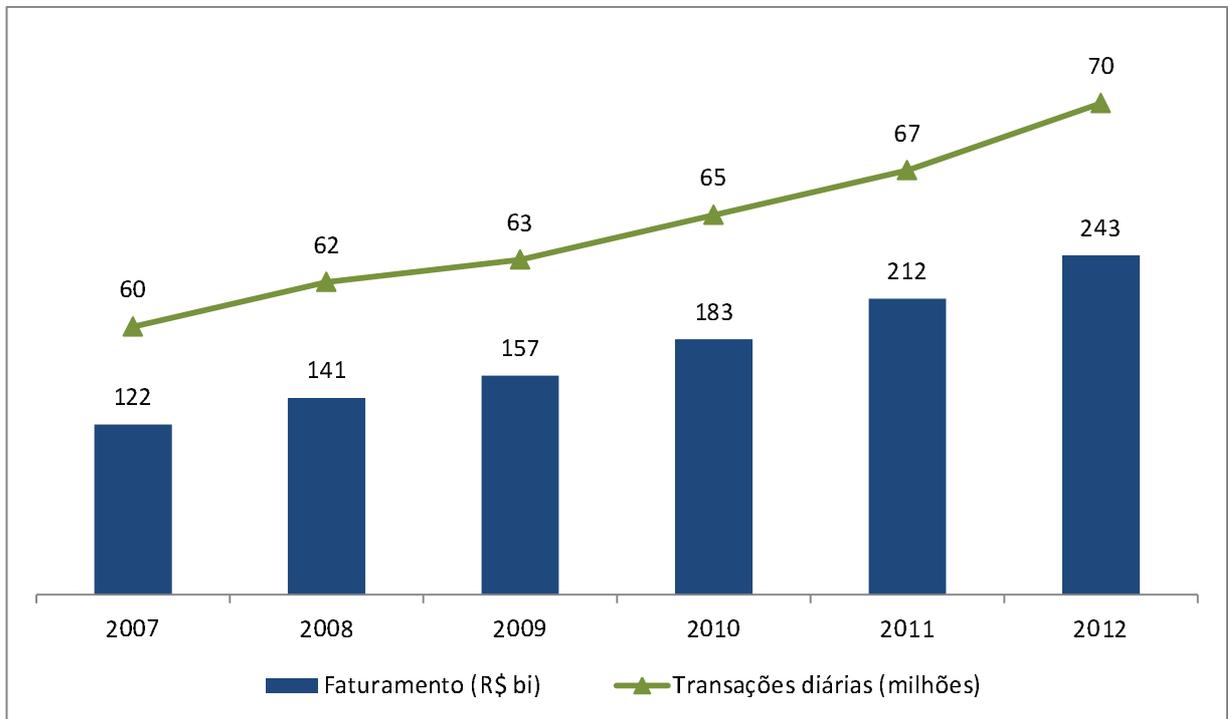
As tendências de “conveniência e praticidade” são motivadas, principalmente, pelo ritmo de vida nos centros urbanos e pelas mudanças verificadas na estrutura familiar, fatores que estimulam a demanda por produtos que permitem a economia de tempo e esforço dos consumidores. Por isso, cresce a demanda por refeições prontas, alimentos de fácil preparo, alimentação fora do lar, entre outros.

O mercado de alimentação fora do lar (food service) envolve todas as atividades que de alguma maneira contribuem para a elaboração do produto final, desde os insumos e equipamentos à distribuição, englobando os serviços prestados aos operadores que efetivamente preparam e fornecem os alimentos prontos para o consumo (Brasil Food Trends, 2012).

O food service pode ser a atividade principal de um negócio, como é o caso de restaurantes, redes de fast-food, lanchonetes, bares, cafés, padarias e rotisserias, entre outros, ou parte complementar de negócios onde está inserido, a exemplos de hotéis, escolas, serviços de catering, hospitais e empresas, caracterizando-se, neste caso, como uma prestação de serviço.

Todas as características e tendências discutidas anteriormente se refletem no desempenho econômico desse setor, que faturou R\$ 243 bilhões e teve em média 70 milhões

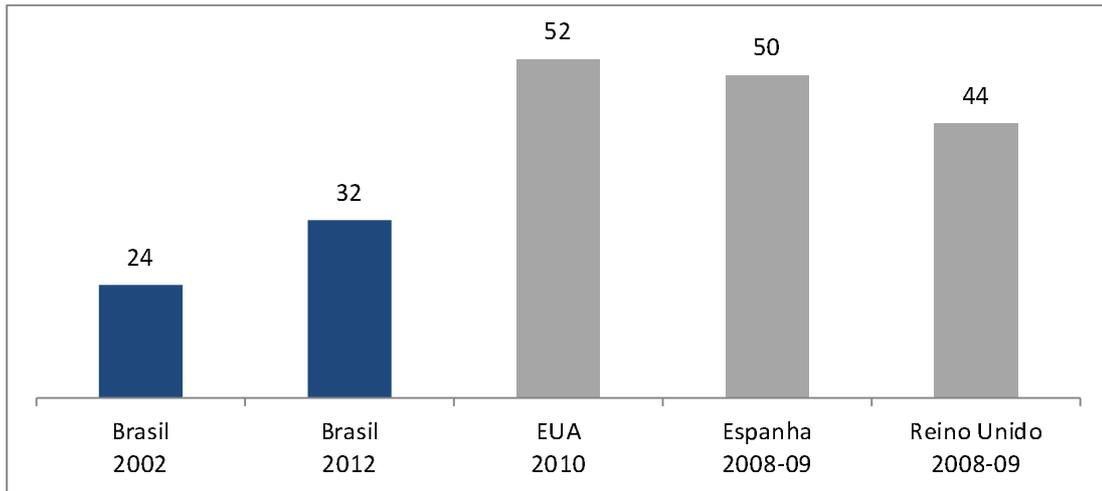
de transações diárias em 2012 e cresceu a 15% a.a. nos últimos 5 anos, como mostra o gráfico da Figura 2.



**Figura 2 - Desempenho Econômico do Mercado de Alimentação Fora do Lar**

Fonte: ABIA (2015), Alimentação Fora do Lar (2015)

Vale ressaltar que, esse histórico do desempenho econômico do mercado de alimentação fora do lar não foi suficiente para colocar o Brasil em uma posição de destaque quando comparado com países desenvolvidos. A inserção do Brasil neste mercado ainda é mais baixa que níveis de países como EUA e países da Europa, como pode ser visto na Figura 3. É possível observar que conforme o país cresce e se desenvolve, o mercado em questão tende a crescer ainda mais.



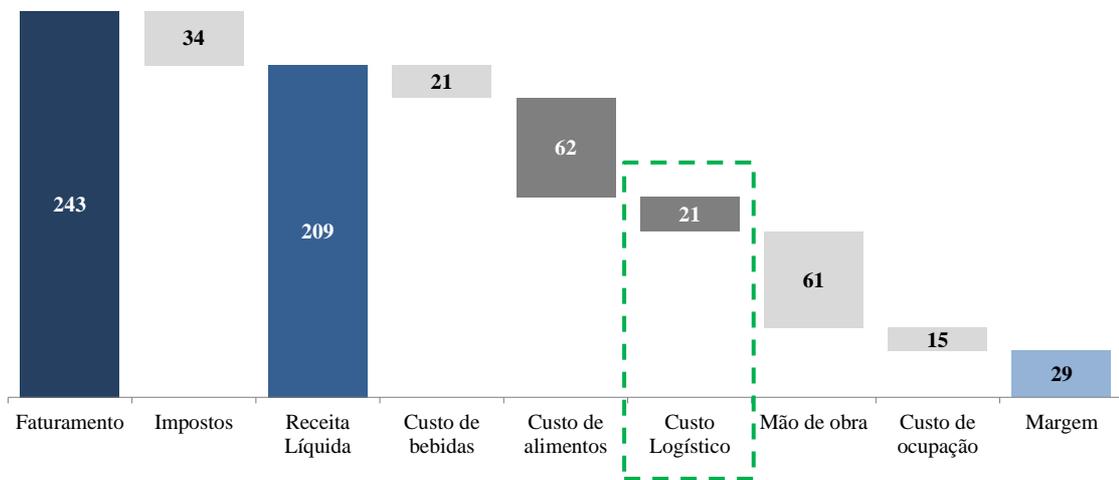
**Figura 3 - Penetração da Alimentação Fora do Lar nos países (%)**

Fonte: ABIA (2015), IPC Maps (2015)

Como mencionado anteriormente, os últimos 10 anos foram muito bons para esse mercado, dado o crescimento econômico, o aumento da competitividade do Brasil, a melhora de indicadores sociais etc. No entanto, o cenário mudou. Com a crise política instalada atualmente no Brasil observa-se desemprego crescente, a atividade econômica em queda e a inflação com índices altos com o passar dos dias. De qualquer forma, ressalta-se que não é observado um declínio quanto ao consumo no mercado de alimentação fora do lar. Sabe-se que a taxa de câmbio depreciou 57% nos últimos 12 meses, a atividade industrial completa nove meses em retração e a projeção do PIB mais recente é de um recuo de -3,05% (Banco Central do Brasil, 2015), e mesmo assim o desempenho do setor de alimentação fora do lar apresenta um crescimento de 12,6% no acumulado de 12 meses em julho/2015 (Instituto Food Service Brasil, 2015).

Sendo assim, é possível observar que o mercado de alimentação fora do lar é bastante resiliente, em que os hábitos dos brasileiros sofreu poucas alterações quanto ao consumo de alimentos fora do lar, apenas se adaptando à crise financeira.

Dado o supracitado, é importante discorrer sobre a relação entre a oportunidade em food service e a logística refrigerada. Segundo o Alimentação Fora do Lar (2015), 35% do faturamento dos operadores de food service é destinado ao custo de ingredientes, que engloba o custo de mercadoria e o custo logístico. Com isso, pode-se fazer o breakdown do faturamento como mostra a Figura 4, a qual apresenta um custo de logística, para esse segmento, de R\$ 21 bilhões. Ressalta-se que, a estimativa para a parcela refrigerada da oportunidade em logística para esse segmento foi de R\$ 11,1 bilhões em 2013 (ABIA, 2014).



**Figura 4 - Breakdown do Faturamento do Mercado de Food service em 2012 (R\$ bilhões)**

Fonte: ABIA (2015)

Com isso, percebe-se que há uma oportunidade de tamanho atual relevante (R\$ 11,1 bilhões em 2013) e crescendo em conjunto com um mercado resiliente, ou seja, que o setor em questão continua crescendo mesmo em momentos de crise. Dado que os hábitos de consumo já se instauraram nos brasileiros, para que a alimentação fora do lar possa crescer mais, deve-se ter uma infraestrutura de qualidade e com eficiência, no que diz respeito à cadeia logística, para garantir esse crescimento de forma adequada.

## 1.2 MOTIVAÇÃO E RELEVÂNCIA DO ESTUDO

Segundo relatório da Organização das Nações Unidas (ONU, 2012), a previsão é que em 2040 a população mundial seja de 9 bilhões de pessoas, sendo que o número de consumidores de classe média crescerá em 3 bilhões nos próximos 20 anos, de modo que a demanda por recursos crescerá exponencialmente. Ainda segundo Reuters (2012), mesmo para 2030, a ONU estima que o mundo precisará de ao menos 50 por cento a mais de alimentos, 45 por cento a mais de energia e 30 por cento a mais de água.

Com o contexto atual de crescimento intrínseco do setor alimentício e frente a essa necessidade de uma maior oferta de alimentos, faz-se necessário trazer eficiência para toda a cadeia de suprimentos dos alimentos. Acredita-se que grande parte da responsabilidade dessa eficiência da cadeia logística está a cargo da iniciativa privada, pois a mesma mostra interesse em levantar oportunidades de inovação e melhores resultados na operação logística.

Um dos maiores gargalos estruturais do Brasil é a infraestrutura atrasada e deficitária. Segundo o PIL – Plano de Investimentos em Logística do Governo Federal (Logística Brasil, 2015), é necessário investimento em infraestrutura logística para buscar alguns benefícios, entre eles:

- Aumentar a competitividade da economia
- Escoar com eficiência a produção agrícola crescente
- Reduzir os custos de logística para a indústria
- Atender ao crescimento das viagens nacionais e internacionais
- Ampliar as exportações

No que diz respeito à armazenagem refrigerada, é possível verificar que há um grande gap de capacidade instalada para encontrar um equilíbrio entre demanda e oferta. Por meio de uma regressão linear multivariável, representada pela Equação 1, realizada com base nos dados do Global Cold Chain Alliance, estima-se que em um cenário base que a capacidade potencial de armazenagem refrigerada no Brasil é de 27 milhões de m<sup>3</sup>, enquanto que a capacidade instalada atual foi de aproximadamente 10,1 milhões de m<sup>3</sup> em 2012.

**Equação 1 - Regressão linear para estimativa de capacidade de armazenagem potencial**

*Capacidade Potencial (milhões de m<sup>3</sup>)*

$$= 0,08 \times \text{população (milhões de habitantes)} + 0,01 \times \text{PIB (bilhões de US\$)} - 2,57$$

Com a regressão da Equação 1, obteve-se, para um intervalo de confiança de 95%, um intervalo de valores que varia de 19,5 milhões de m<sup>3</sup> a 34,6 milhões de m<sup>3</sup> para a capacidade potencial, como é mostrado na Figura 5.



**Figura 5 - Resultado da Regressão linear – Análise da Capacidade Potencial (milhões de m<sup>3</sup>)**

Na Tabela 2, mostram-se os parâmetros de regressão, como o R<sup>2</sup> de 0,98 em cima de 30 observações de dados, indicando a alta qualidade do ajuste proposto pela regressão.

**Tabela 2 - Características da Regressão**

Regressão multivariável	
R <sup>2</sup> Ajustado	0,98
Standard Error	3,79
Observações	30

A lacuna de oferta de 17 milhões de m<sup>3</sup>, somado aos fundamentos que suportam o crescimento do mercado de alimentação fora do lar, reforçam a oportunidade e a importância a ser abordada, nos próximos anos, através de novos operadores logísticos ou do crescimento dos operadores atuais, no que tange à oferta de serviços relacionados ao consumo de alimentos fora do lar.

Dessa forma, o presente trabalho de graduação pretende evidenciar a relevância do assunto a fim de permitir uma maior visibilidade da dinâmica desse mercado, bem como, de quais são e de onde estão as oportunidades de atuação no segmento de mercado de armazenagem frigorificada.

## **1.3 O OBJETIVO DO TRABALHO**

De forma geral, o objetivo deste trabalho é elucidar algumas características do mercado de alimentação fora do lar e apresentar uma relação com o segmento de logística refrigerada, mostrando que o crescimento do mercado de alimentos implica uma maior demanda e adequada infraestrutura no que diz respeito à logística frigorificada.

Além disso, dada a importância do desenvolvimento de armazéns refrigerados no Brasil, também é objetivo do trabalho determinar um modelo a ser utilizado como benchmark de eficiência para projetos futuros dos referidos armazéns, com base em características-chave de outros armazéns existentes, selecionados como estudo de caso.

Unindo a oportunidade de desenvolvimento de projetos nesse segmento, é realizada uma análise de viabilidade financeira do modelo benchmark, mostrando que o armazém encontrado não só é eficiente, mas também gera retorno para o capital investido.

A seguir são elencados os dois principais objetivos do presente trabalho, sendo:

1. Estabelecer fundamentos econômicos para sustentar a tese de investimento na infraestrutura brasileira quanto ao segmento de armazenagem refrigerada;
2. Utilizar o DEA (Data Envelopment Analysis), ferramenta de análise de desempenho, a fim de estabelecer um modelo de armazém tido como o mais eficiente e que pode ser usado como benchmark para ser replicado para diferentes projetos brasileiros;

## **1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO**

Nesta primeira seção é apresentada uma visão geral do mercado de alimentação fora do lar, conectando-o à oportunidade existente em logística refrigerada, mais especificamente em armazenagem frigorificada. Juntamente ao contexto geral, é apresentada a motivação do trabalho, que é baseada em um gap de oferta existente para esse segmento da infraestrutura e

a relevância do trabalho no sentido de colaborar com a redução desse gap. Finalizando a primeira seção, apresentaram-se os objetivos do trabalho.

Os capítulos subsequentes são estruturados como apresentados a seguir:

- Capítulo 2 discorre sobre conceitos fundamentais do tema de logística refrigerada e Cadeia do Frio, elucidando alguns pontos da gestão logística, definindo termos chaves para o entendimento do texto e caracterizando o armazém com os parâmetros a serem utilizados para o método DEA. Estes tópicos são apresentados junto à revisão da literatura utilizada como alicerce para um entendimento mais detalhado do tema.
- Capítulo 3 apresenta definições sobre o DEA, em que aborda-se o embasamento teórico e matemático da metodologia, bem como, são apresentados o histórico e o contexto do método, além de suas principais características e limitações.
- Capítulo 4 consiste na descrição dos dados utilizados na análise pela metodologia DEA, além da própria aplicação do modelo DEA e os resultados gerados pelo modelo.
- Capítulo 5 contém a discussão do tema, indicando algumas limitações do trabalho e as restrições do modelo. Ainda, são apontadas outras oportunidades de abordagem desse tema em estudos posteriores. Em seguida, o capítulo mostra as conclusões obtidas pelo trabalho.
- Por fim, são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas como fonte de informação para este estudo e todos os apêndices com informações complementares ao texto.

## **2 CONCEITOS FUNDAMENTAIS**

Após a definição dos objetivos, são construídos os conceitos fundamentais para entendimento e contextualização do problema abordado. As diretrizes para a definição dos conceitos tiveram como base uma pesquisa descritiva, executada por meio de busca na Web, visando temas abordados no Capítulo 1, principalmente através de bases de periódicos da CAPES, Emerald e Science Direct (ELSEVIER).

Em relação ao conteúdo, os conceitos fundamentais permeiam os principais temas da cadeia do frio, descrevendo-a a partir de seus conceitos, produtos, regulamentação, entre outros, e sua infraestrutura, com especial destaque para as questões de armazenagem, porém também é apresentada uma discussão sobre o transporte.

### **2.1 CADEIA DO FRIO**

#### **2.1.1 Evolução do Conceito, Características e Produtos**

Segundo Silva (2010), a cadeia do frio é um termo relativamente novo, que veio da década de 80 e vem se aperfeiçoando a partir dos princípios da supply chain integrada a conservação da temperatura adequada ao ambiente. Nos últimos anos, diversos autores, de forma independente, vêm fazendo suas interpretações sobre o conceito da cadeia do frio:

- Zhang (1994) descreve a cadeia de frio como processos interdependentes para preservar a temperatura de produtos que necessitem de controle de temperatura;
- Salin e Nayga (2002) definem cadeia do frio como uma cadeia de suprimentos onde se deve adequar a temperatura ao ambiente, fazendo-se uso de equipamentos específicos e processos que propiciem este controle;
- Billiard (2003) trata a cadeia do frio como continuidade do estudo da refrigeração.

- Heap (2006) define a cadeia do frio como o transporte e a armazenagem entre a produção inicial e o consumo final de produtos perecíveis que necessitem de controle de temperatura;
- Joshi, Thakur e Singh (2008) definem cadeia do frio como toda a cadeia de suprimentos de produtos perecíveis.
- 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.

As definições, apesar de distintas, apresentam essência similar no que diz respeito à gestão de produtos sensíveis à temperatura. Nesse sentido, o grande desafio da logística refrigerada é assegurar que a mercadoria passe por todos os elos da cadeia, como transformação, armazenagem, distribuição, transporte e entrega, chegando ao consumidor final sem perder a qualidade e as características do produto.

Os principais produtos que fazem parte da cadeia do frio são produtos alimentícios, farmacêuticos, cosméticos, películas fotográficas e de filmes, obras de arte e produtos relacionados ao patrimônio cultural e de flores. Cada mercadoria tem suas especificidades e a cadeia do frio deve se adequar aos requerimentos do produto com que se está lidando (SILVA, 2010). Vale ressaltar que, no presente trabalho, todo o foco se relaciona aos produtos alimentícios.

Na Figura 6, mostram-se de forma esquemática e visual os elos da cadeia para produtos alimentícios. São apresentadas as companhias que atuam em cada elo e as principais necessidades dos clientes quando buscam logística refrigerada. Também, mostram-se quais os principais serviços que compõem cada elo da cadeia, relacionando a sequência lógica dos processos utilizados para levar os alimentos ao consumidor final.

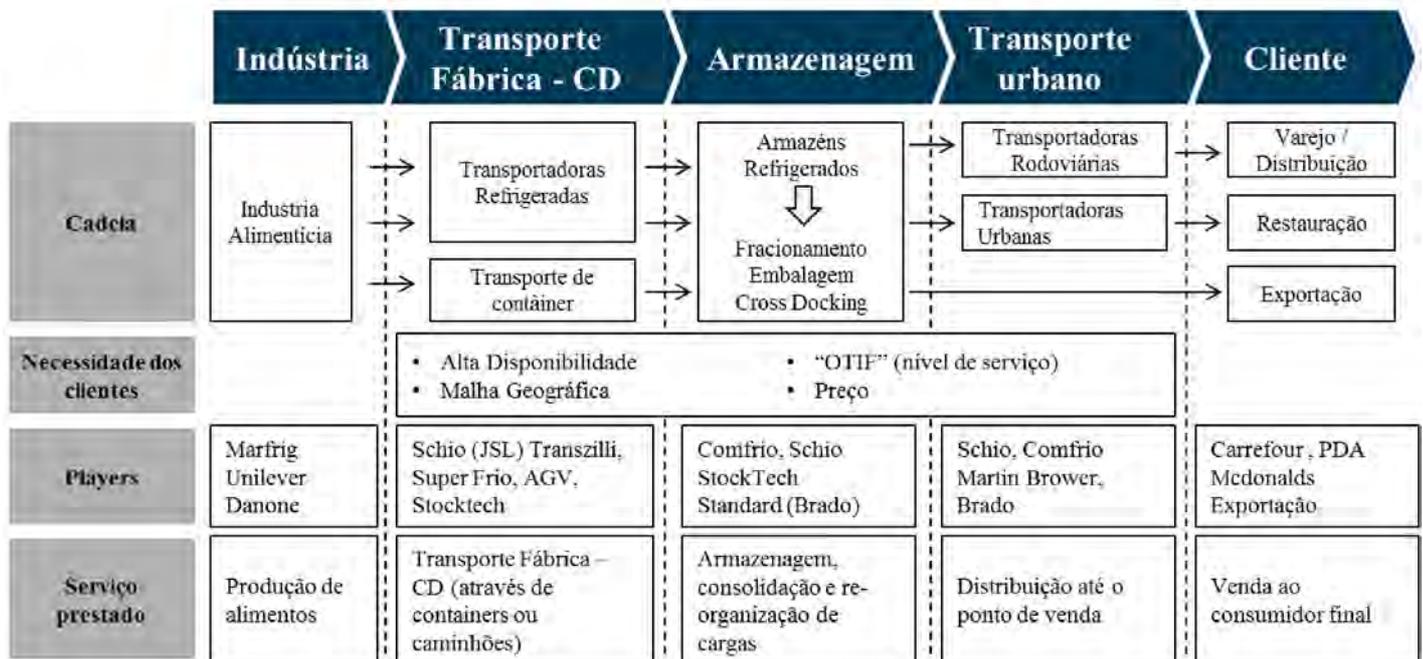


Figura 6 - Esquema dos Elos da Cadeia da Logística Refrigerada para produtos alimentícios

## 2.1.2 Logística aplicada à Cadeia do Frio

É latente a necessidade de aprimorar a infraestrutura e a gestão para atender, adequadamente, as crescentes demandas da cadeia do frio. No entanto, a elevação do nível de conscientização do consumidor em relação à qualidade e à segurança, faz o nível de exigência do serviço prestado por essa cadeia tornar-se cada vez maior.

O desafio de atender esse nível de exigência é enorme, pois o tempo e a temperatura são fatores críticos de controle na cadeia, de forma que a otimização da gestão e dos recursos logísticos é fundamental para: (i) reduzir perdas, (ii) aumentar eficiência e (iii) potencializar a competitividade (SILVA, 2010). Os principais desafios discutidos são:

- Controle e Monitoramento:
  - Tecnologia de monitoramento com microtags ou TTI – Time Temperature Integrators (IIR, 2004);
  - Tecnologia de monitoramento de atmosfera, por dispositivos RFID, compartilhamento de informações através de redes e rastreamento de produtos (Montanari, 2008).

- Gestão, Método e Infraestrutura:
  - Programas de boas práticas de fabricação, de armazenagem e de distribuição (Bishara, 2006; Gormeley, Brennan e Butler, 2000);
  - Gestão logística, incluindo conceitos de diminuição de lead-time<sup>1</sup> e níveis de estoque, além de administração de indicadores de desempenho (Ballou, 2006);
  - Gestão da Infraestrutura – integração e atualização dos recursos (equipamentos) de armazéns, de transporte, de monitoramento e controle (Salin e Nayga, 2003).

Assim, percebe-se que há diversos fatores que atuam no desempenho total da cadeia do frio, como mostra a Tabela 3.

**Tabela 3 - Fatores chave relacionados ao desempenho total da cadeia do frio (SILVA, 2010)**

#	Fator	Detalhamento
1	Histórico térmico	Apenas a temperatura medida em um ponto da cadeia do frio não reflete a inércia provocada pelas trocas de calor nos ambientes em que o produto passou.
2	Embalagem	Embalagens eficientes reduzem os efeitos da degradação por manuseio e trocas de calor em ambientes impróprios
3	Sistemas de refrigeração (Estoque)	Sistemas eficientes de refrigeração promovem rápida estabilização do padrão térmico do produto. Deve aliar custo e confiabilidade.
4	Método de manuseio	É um procedimento de ligação de um elo a outro da cadeia, portanto crítico.
5	Picking	A forma de se montar cargas e de embarcá-la pode reduzir a exposição do produto à atmosferas degradantes.
6	Sistema de identificação e endereçamento	Uma carga recebida perde valor qualitativo aguardando liberações, etiquetagem e endereçamento.
7	Roteirização	O planejamento de rotas de produtos perecíveis deve considerar uma sequência de paradas que minimize a perda do valor térmico.
8	Perfil do pedido	O nível de fracionamento da carga afeta a qualidade das operações de picking e de roteirização e, finalmente, a variável temperatura no final da cadeia.
9	Variação de demanda	Campanhas promocionais e sazonalidades causam aumento nos lotes escoados, incertezas e erros, portanto, afetam a temperatura do produto .
10	Aparelhamento da frota	Aparelhos de refrigeração e isolamento deficientes causam quebra da cadeia do frio
11	Força de trabalho	A falta de capacitação e motivação são responsáveis por perda de sincronização, erros, retrabalhos, atrasos e perda do padrão térmico
12	Previsão de demanda e gestão de estoques	Regras de giro de estoque, FIFO, vida de prateleira e lotes de reposição de estoques são determinantes na eficiência da distribuição física
13	Sistema de informação	A tomada de decisões a nível operacional e tático depende de informações básicas, exatas e disponíveis a todo instante.
14	Sistema ou estrutura de Armazenagem	As condições de armazenagem, layout, estruturas porta paletes e sistemas de movimentação são fundamentais para a manutenção da cadeia do frio

<sup>1</sup> Segundo Erickesen et al. (2007), Lead-time representa o tempo do caminho crítico da manufatura, ou seja, a típica quantidade de tempo, em dias corridos, desde a criação da ordem, passando pelo caminho crítico, até que pelo menos uma peça do pedido seja entregue ao cliente.

Além dos indicadores de desempenho para a cadeia do frio, é interessante atentar ao que a regulamentação estabelece como parâmetros mínimos para os resultados dos processos. No Brasil, a regulamentação mais relevante sobre o assunto é a NBR 14701 (ABNT, 2001).

Este documento, que trata do transporte de produtos alimentícios refrigerados, abrange requisitos mínimos para itens congelados, resfriados e refrigerados, abordando tópicos da cadeia do frio, como:

- Estocagem;
- Deslocamento, carga, descarga e transporte;
- Temperatura do produto;
- Tomada de temperatura;
- Equipamento de transporte e compartimento de carga;
- Exigências no local de carregamento e descarregamento;
- Inspeção;
- Higiene;
- Responsabilidades;
- Embalagem e rotulagem.

Além de estabelecer requisitos para cada um dos processos acima descritos, a referida norma determina o padrão de medição de temperatura de alimentos. Uma dessas características é a fixação de temperatura de congelados  $-18^{\circ}\text{C}$ , sendo que o limite para a temperatura durante o transporte é de  $-15^{\circ}\text{C}$ . Para alimentos resfriados, a temperatura recomendada é entre  $0^{\circ}\text{C}$  e  $5^{\circ}\text{C}$ , enquanto que para itens refrigerados, não se é estabelecido valores de temperatura (ABNT, 2001).

Uma vez estabelecidos os aspectos logísticos que se relacionam à cadeia do frio, deve-se atentar para a infraestrutura de suporte a essa cadeia, tratando das características dos equipamentos destinados para conservação da temperatura dos produtos, principalmente durante os processos de armazenagem e transporte. Ambos tópicos são tratados no sub-item a seguir.

## **2.1.3 Infraestrutura de Armazenagem e Transporte da Cadeia do Frio**

Uma das métricas mais usadas para avaliar o nível de serviço da logística de produtos alimentícios, principalmente quando estes são perecíveis, é o OTIF (On Time In Full), que trata da pontualidade de entrega e da integridade desses produtos, de forma que prestar o serviço com segurança e integridade é uma das maiores preocupações de gestores da cadeia do frio (Zhang, 2007).

Salin e Nayga (2003) determinam que rodovias, portos, TI, sistemas de energia confiáveis e regulamentações estão no nível superior do que define o ambiente da cadeia do frio em um país. Os mesmos autores indicam que as instalações e a infraestrutura são fatores diferenciais para a competitividade das empresas. Ainda afirmam que uma completa compreensão desse tema é mandatória para profissionais que atuam nesse segmento. Nos próximos tópicos, são definidos os principais aspectos quanto à armazenagem e ao transporte da cadeia do frio.

### **2.1.3.1 Armazéns Frigorificados**

Armazéns frigorificados são instalações providas de sistema de controle de temperatura ambiente, a fim de receber, acondicionar, embalar, armazenar, manusear, preparar, paletizar, fracionar, unitizar, movimentar e embarcar produtos sensíveis a temperatura (ABIAF, 2010).

Essas instalações foram desenvolvidas com a necessidade de armazenar grandes quantidades de produtos, com interesses diversos, desde atender o mercado em época de alta demanda, até garantir um pulmão estratégico visando melhores preços na entressafra (YOUNG, 1997).

O projeto de um sistema frigorífico deve ter como objetivo fornecer condições adequadas para processamento e estocagem do produto a determinada temperatura. Como o capital despendido para construção dessas instalações é elevado, é necessário garantir o maior rendimento por m<sup>2</sup> possível, o que envolve diversos aspectos, desde condições ótimas de

dimensionamento e layout, até alta eficiência de operação, considerando níveis de produção e de consumo de insumos (NEVES FILHO, 1997).

### **2.1.3.2 Transportes Frigorificados**

O transporte de produtos sensíveis à temperatura consiste na operação de deslocamento das cargas de um ponto de estoque para outro ou até o consumidor final, mantendo o controle da temperatura no trajeto. Essa operação consiste de diversos eventos em sequência, que devem ser realizados de forma muito eficiente a fim de obter sucesso na operação (HEAP, 2007).

Os maiores riscos a segurança dos produtos perecíveis ocorrem durante as interfaces entre fases de transporte e os pontos de entrega, em função da falta ou da sobreposição de responsabilidade (HEAP, 2007).

Como o principal modal de transporte utilizado no Brasil é o rodoviário, vale descrever as fases mais usuais do processo, que são:

- Transferência para Estoque (Full Truck Load): geralmente ocorrem em grandes volumes, distantes do ponto de destino. As cargas são embarcadas logo após produção e processo de congelamento ou resfriamento e servem também para abastecimento de estoque de grandes varejistas e/ou atacadistas, a partir de um centro de distribuição ou da unidade produtiva.
- Distribuição (Less than truck load): também conhecida como transporte de cargas fracionadas, a atuação em geral é feita em escala local, com baixa quilometragem entre origem e destino.

Diversos fatores são relevantes para a operação logística da cadeia do frio. Além do supracitado, faz-se necessário observar tanto aspectos mais estruturais como a construção dos veículos, quanto aspectos mais processuais como a gestão do estoque dos armazéns, a fim de se aprofundar mais sobre o tema.

## **3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DO MÉTODO**

Esta seção apresenta, de maneira sucinta, a descrição da Análise Envoltória de Dados (DEA) e suas definições, abordando o embasamento teórico e matemático da metodologia para os dois modelos com mais ampla aplicação, que são os modelos CCR (abreviatura dos sobrenomes dos autores Charnes, Cooper e Rhodes) e BCC (também, abreviatura dos sobrenomes Banker, Charnes e Cooper). Além disso, conta com algumas aplicações do DEA para trabalhos científicos anteriores a esse.

### **3.1 ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS – DEA: DATA ENVELOPMENT ANALYSIS**

É evidente a maior utilização de recursos computacionais para o tratamento de dados, sejam eles qualitativos ou quantitativos. De fato, sabe-se que 90% dos dados armazenados no mundo foram gerados nos últimos 2 anos (Claro, 2015). Com isso, a necessidade de algoritmos e metodologias que façam análises de forma estruturada fica evidente. Uma dessas metodologias é a Análise Envoltória de Dados (DEA), que pode ser direcionada para a resolução dos mais variados problemas, sejam eles de ordem econômica, administrativa, de engenharia, industriais, logísticos, entre outros.

A metodologia DEA foi inicialmente sugerida por CHARNES (1978), de modo que seu uso permite a medição comparativa de eficiência de diferentes unidades produtivas ou unidades tomadoras de decisão com base em múltiplos critérios. No entanto, para estudar o método, é necessário, primeiro, descrever os termos: eficiência e eficácia (de Mello et al., 2005).

#### **3.1.1 O Conceito de Eficácia**

De forma geral, a eficácia é ligada apenas ao produto final, sem levar em consideração os recursos usados para a produção (de mercadorias ou serviços). Como exemplo, se o CasdVest, curso pré-vestibular gerido pelos alunos do ITA, conseguiu aprovar 15 alunos em

um vestibular para o curso de engenharia de uma universidade que oferece 20 vagas, podemos dizer que ele foi eficaz. Não se pode afirmar a mesma coisa sobre sua eficiência. Nada se mencionou sobre, entre outras coisas, os alunos inscritos, quantos professores trabalhavam, quantas horas de aula por semana eram dadas, que recursos audiovisuais estavam à disposição etc. Além disso, não sabemos que resultados foram obtidos pelos cursos concorrentes.

A eficácia então é a capacidade de uma unidade produtiva de atingir a produção definida como target, sendo essa definida pela própria unidade ou externamente. Inclusive, a eficácia pode ser julgada de forma diferente por diferentes pessoas, dependendo de suas expectativas. No caso anterior, pode-se dizer que 75% das vagas é pouco e que o CasdVest só é eficaz se conseguir 90% das vagas, ou 18 das 20 vagas disponíveis.

### **3.1.2 O Conceito de Produtividade**

Se ao falar de eficácia, preocupa-se apenas com a produção final, ao falar de produtividade, por outro lado, o interesse é maior na razão entre o que foi produzido e o que foi gasto para produzir (de Mello et al., 2005).

Como exemplo, pode-se citar o caso de companhias aéreas, que podem medir sua produtividade em ocupar os lugares dos aviões, a partir de um indicador como load factor, pela divisão entre a quantidade de lugares ocupados pela capacidade do avião, medindo sua produtividade na unidade vendas/lugar.

Dessa forma, pode-se avaliar várias companhias aéreas e analisar as razões porque algumas empresas são mais produtivas que outras. Genericamente, uma empresa é mais produtiva que outra, pois tomou decisões que permitiram um melhor aproveitamento dos recursos que tem em mãos. Essas decisões podem ser o uso de uma tecnologia mais avançada, contratação de mão-de-obra mais qualificada, melhores técnicas gerenciais etc.

### **3.1.3 O Conceito de Eficiência**

Do ponto de vista da análise, as unidades produtivas são tomadoras de decisão e serão denominadas unidades tomadoras de decisão, ou, em inglês, Decision Making Unit, abreviada na sigla DMU. Com base nisso, de forma simplista, pode-se definir que as DMUs eficientes são aquelas com maior produtividade. Assim, percebe-se que a eficiência é analisada de forma comparativa e não de forma isolada (de Mello et al., 2005).

Dados os recursos disponíveis, a eficiência faz a comparação entre o que foi produzido e o que poderia ter sido produzido com os mesmos recursos. A avaliação da quantidade mencionada é feita por diferentes métodos. Os paramétricos supõem uma relação funcional pré-definida entre os recursos e o que foi produzido, que podem ser médias (mais amplamente utilizadas) ou outras funções (de Mello et al., 2005).

Outros métodos, entre os quais se encontra o DEA, não pressupõem nenhuma relação funcional e consideram que a máxima produção é obtida através da análise das DMUs mais produtivas (de Mello et al., 2005).

A fim de fazer essa análise de forma mais visual, podemos utilizar a curva S, que indica qual a máxima produção possível para cada nível de recurso e delimitando a área chamada de Conjunto Viável de Produção, que fica abaixo da curva. Na Figura 7, Y se referencia à produção e X aos recursos utilizados.

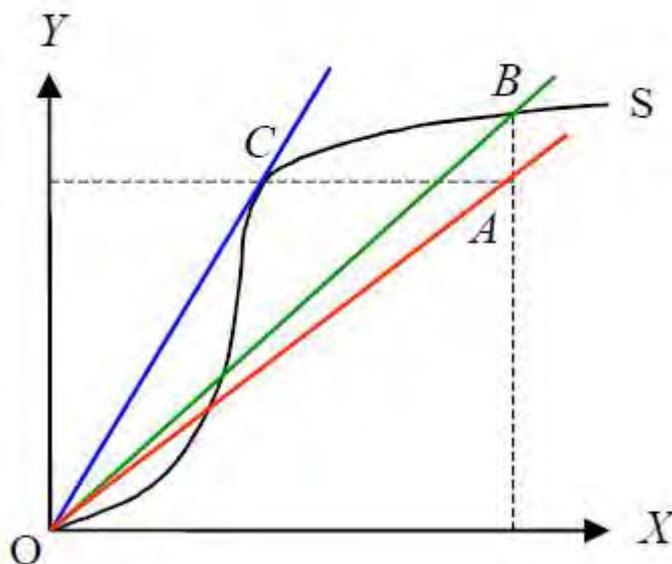


Figura 7 - Curva genérica de um processo produtivo (de Mello et al., 2005)

Com isso, percebe-se a diferença entre o conceito de produtividade e eficiência. Uma vez que ambos B e C são eficientes, pois estão no limite do Conjunto Viável de Produção, ou seja, na “Fronteira de Eficiência”, somente C é mais produtivo. Isso é verificado pela inclinação das retas OC e OB, dada pela razão entre a produção e o nível de recurso. Já A é, relativamente, não produtiva e não eficiente.

Para tornar uma DMU não eficiente, eficiente, é possível agir com duas estratégias principais:

- Orientação a Inputs: reduzir recursos, mantendo níveis de produção
- Orientação a Outputs: ampliar a produção, mantendo níveis de recurso

Na Figura 8, deixam-se visíveis ambas as formas. Uma fronteira de eficiência definida por  $f(x)$  determina valores eficientes para uma DMU P viável.

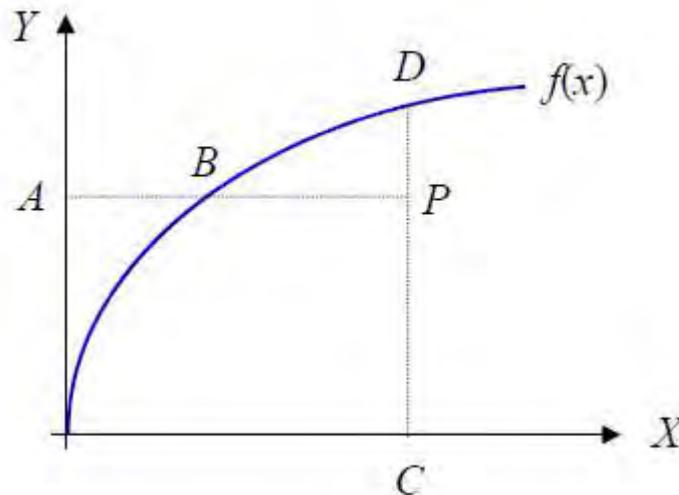


Figura 8 - Valores eficientes para um ponto de produção viável

No caso, para tornar a DMU P eficiente, pode-se tomar decisões para conduzi-la em dois sentidos:

1. P caminhar até D, ampliando a produção para o mesmo nível de recurso C
2. P caminhar até B, reduzindo os recursos com o nível de produção mantido em A

### 3.1.4 Histórico da Análise por Envoltória de Dados (DEA)

O método de Análise Envoltória de Dados tem início junto à tese de doutorado de Edward Rhodes, apresentada à Carnegie Mellon University em 1978, sob orientação de W. W. Cooper.

A pesquisa tinha como objetivo avaliar resultados de um programa de acompanhamento de estudantes carentes, realizado em escolas públicas dos Estados Unidos e apoiado pelo governo federal. Comparava-se o desempenho de um conjunto de alunos que aderiram ao programa com alunos que não participavam deste. A performance dos alunos era dada por métricas como o “aumento da autoestima em crianças carentes”, medido por testes psicológicos, e os insumos por mensuráveis como “tempo gasto pela mãe em exercícios de leitura com seu filho”.

A estimativa de eficiência de escolas, com base em múltiplos insumos e produtos, resultou na primeira formulação do DEA, chamado Modelo CCR (abreviando os sobrenomes dos autores Charnes, Cooper e Rhodes) e com a publicação do primeiro artigo no *European Journal of Operations Research* em 1978.

O modelo de programação matemática faz a otimização de uma medida de eficiência técnica para um único produto “virtual” e um único insumo “virtual” (CHARNES, COOPER, LEWIN e SEIFORD, 1997).

A formulação matemática para o CCR original pode ser representada da seguinte maneira (CERETTA e NIEDERAUER, 2000):

“Considere-se  $N$  empresas produzindo  $m$  quantidades de produtos  $y$  a partir de  $n$  quantidades de insumos  $x$ . Uma empresa  $k$  qualquer produz  $y_{rk}$  quantidades de produtos com a utilização de  $x_{ik}$  quantidades de insumos. O objetivo da DEA é encontrar o máximo indicador de eficiência  $h_k$  onde  $u_r$  é o peso específico a ser encontrado para um produto  $r$  e  $v_i$  o peso específico de cada insumo  $i$ .”

**Equação 2 - Função Objetivo do Método CCR**

$$\text{Maximizar } h_k = \sum_{r=1}^s u_r y_{rk}$$

Sujeito às seguintes condições de contorno:

$$\sum_{r=1}^m u_r y_{rj} \leq \sum_{i=1}^n v_i x_{ij}$$

$$\sum_{i=1}^n v_i x_{ik} = 1$$

$$u_r, y_i \geq 0$$

$y = \text{produtos}; x = \text{insumos}; u, v = \text{pesos}$

$r = 1 \dots m; i = 1 \dots n; j = 1 \dots N$

Assim, com um conjunto de empresas (DMUs) e seus respectivos planos de produção realizados, determinam-se curvas de produção que se constituem no conjunto de produção relevado. Após a resolução do problema de programação linear proposto para cada empresa, podem-se identificar aquelas cujo plano de produção, para um determinado conjunto de pesos para seus níveis de insumos e produtos, não pode ser superado por nenhuma outra empresa. A empresa será dita eficiente e tornar-se-á referência (benchmark) para todas as outras. Resolvendo-se o problema para todas as DMUs, componentes do conjunto considerado, são determinadas as empresas relativamente eficientes.

Com a resolução das equações, são gerados pontos de produção, que ao serem plotados no gráfico, geram uma configuração semelhante à Figura 9.

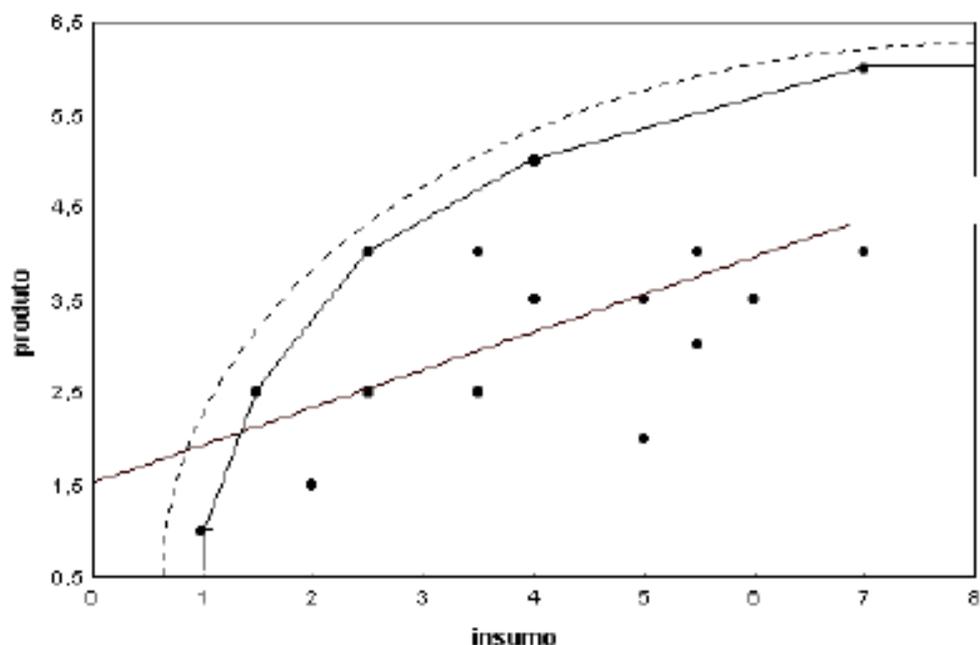


Figura 9 - Fronteira de Eficiência obtida, representada pela linha contínua (Casa Nova, Santos, 2015)

A Fronteira de Eficiência obtida mostra quais empresas são eficientes para esse conjunto de produção considerado. É válido ressaltar que o resultado é dependente desse conjunto e que qualquer empresa incluída ou excluída da análise modifica o conjunto de produção e, portanto, a fronteira.

### 3.1.5 Modelos DEA para Análise de Eficiência

A ferramenta DEA pode ser considerada, portanto, como um corpo de conceitos e metodologias incorporado a uma coleção de modelos, com possibilidades de interpretações diversas (CHARNES, COOPER, LEWIN e SEIFORD, 1997). Entre os modelos, há dois que são os mais difundidos e mais amplamente utilizados:

1. Modelo CCR (1978) – desenvolvido por Charnes, Cooper e Rhodes, permite uma avaliação objetiva da eficiência global e identifica fontes e estimativas de montantes das ineficiências identificadas.
2. Modelo BCC (1984) – desenvolvido por Banker, Charnes e Cooper, distingue entre ineficiências técnicas e de escala, estimando a eficiência técnica pura, a uma dada escala de operações, e identificando se estão presentes ganhos de escala crescentes, decrescentes ou constantes, para futura exploração.

Segundo Paiva (2000), *“as diferenças fundamentais entre os modelos estão relacionadas a:*

- I. Superfície de envelopamento (tipos de combinação e suposições sobre retorno de escala); e
- II. Tipos de projeção do plano eficiente à fronteira.

Os modelos CCR e BCC trabalham com diferentes tipos de tecnologias e, conseqüentemente geram fronteiras de eficiência e medidas de eficiência diferentes. No que diz respeito à orientação, cada um desses dois modelos pode ser escrito sob duas formas de projetar os planos ineficientes na fronteira: uma voltada para os produtos e outra para os insumos. Na primeira orientação, as projeções dos planos observados sobre a fronteira buscam o máximo aumento equi-proporcional de produção dado o consumo observado e, na segunda

orientação, a maior redução equiproporcional do consumo para a produção observada.”

Levantadas as diferenças, tem-se que a formulação original do modelo CCR tem orientação no consumo, como foi formulada anteriormente. Posteriormente, criou-se também uma formulação com viés de produção, definida pelas equações abaixo.

$$\text{Minimizar } h_k = \sum_{i=1}^n v_i x_{ik}$$

Sujeito às seguintes condições de contorno:

$$\sum_{r=1}^m u_r y_{rj} \leq \sum_{i=1}^n v_i x_{ij}$$

$$\sum_{i=1}^n u_r y_{rk} = 1$$

$$u_r, y_i \geq 0$$

$y = \text{produtos}; x = \text{insumos}; u, v = \text{pesos}$

$r = 1 \dots m; i = 1 \dots n; j = 1 \dots N$

Se o primeiro tem objetivo de minimização do consumo de insumos, a partir da produção estabelecida, o objetivo deste é a maximização do nível de produção utilizando no máximo o consumo de insumo observado. As formulações se equivalem, ambas pressupondo retornos constantes de escala.

O segundo modelo DEA é o BCC (1984), desenvolvido por Banker, Charnes e Cooper e apresentado na Management Science no seu ano de criação. Este modelo difere do anterior por pressupor retornos variáveis de escala. A formulação matemática do BCC, com viés de consumo, é:

$$\text{Maximizar } h_k = \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} - u_k$$

Sujeito às seguintes condições de contorno:

$$\sum_{r=1}^m u_r y_{rj} - u_k \leq \sum_{i=1}^n v_i x_{ij}$$

$$\sum_{i=1}^n v_i x_{ik} = 1$$

$$u_r, y_i \geq 0 \text{ e } u_k \in \mathbb{R}$$

$y = \text{produtos}; x = \text{insumos}; u, v = \text{pesos}$

$$r = 1 \dots m; i = 1 \dots n; j = 1 \dots N$$

Percebe-se que a variável  $u_k$  é introduzida para representar os retornos variáveis de escala. Essa variável não é restrita aos positivos, uma vez que a situação problema pode gerar retornos crescentes de escala, caso  $u_k$  seja positivo, ou retornos decrescentes de escala, caso  $u_k$  seja negativo. Ainda,  $u_k$  pode assumir o valor zero, que significa retornos constantes de escala, causando uma equivalência entre os modelos CCR e BCC.

Com orientação ao produto, a formulação do Modelo BCC é:

$$\text{Minimizar } h_k = \sum_{i=1}^n v_i x_{ik} + v_k$$

Sujeito às seguintes condições de contorno:

$$\sum_{r=1}^m u_r y_{rj} \leq \sum_{i=1}^n v_i x_{ij} + v_k$$

$$\sum_{i=1}^n u_r y_{rk} = 1$$

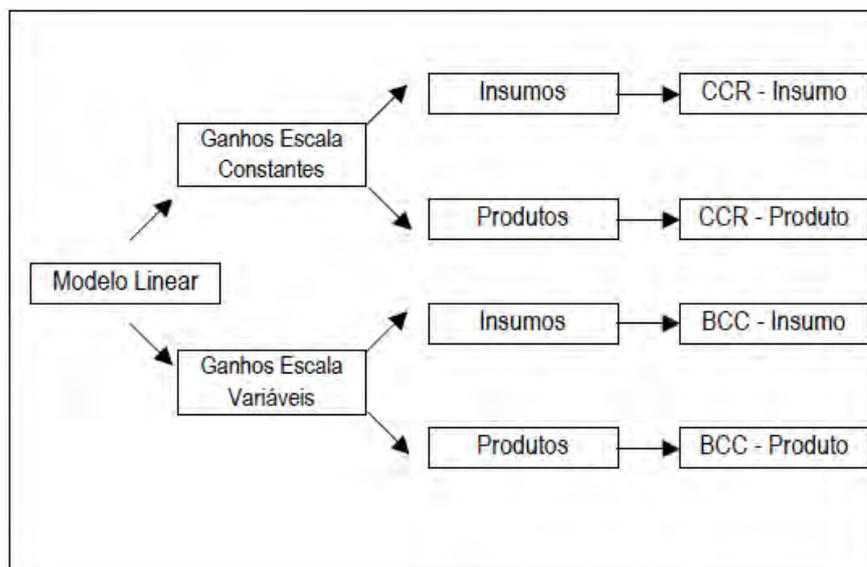
$$u_r, y_i \geq 0 \text{ e } v_k \in \mathbb{R}$$

$y = \text{produtos}; x = \text{insumos}; u, v = \text{pesos}$

$$r = 1 \dots m; i = 1 \dots n; j = 1 \dots N$$

O termo  $v_k$  também representa a possibilidade de retornos de escala variáveis, assumindo valores em toda a reta dos números reais. A possibilidade de retornos de escala variáveis do Modelo BCC admite que a produtividade máxima varie em função da escala de produção, permitindo a utilização de unidades de portes distintos (BELLONI, 2000).

De forma resumida, a Figura 10 representa os modelos DEA e seus desdobramentos e suas aplicações, apresentando uma indicação para sua utilização.



**Figura 10 - Resumo dos Modelos DEA e seus desdobramentos**

Fonte: Adaptado de CHARNES, COOPER, LEWIN e SEIFORD, 1997

### 3.1.6 Características e Limitações do DEA

Segundo BELLONI (2000), os resultados básicos do DEA são:

- Identificação de unidades eficientes, que determinam a fronteira de eficiência;
- Medida de ineficiência para cada unidade fora da fronteira, dada pela distância da fronteira, que representa o potencial de aumento de produtividade;
- Pesos que determinam as regiões da fronteira de eficiência e caracterizam as relações de valor que sustentam a classificação dessa região como eficiente.

É interessante aplicar o método a organizações caracterizadas por um conjunto diverso de insumos e produtos, utilizando técnicas de programação linear para determinar um índice de eficiência com efeito comparativo. O índice assume o valor 1 para unidades cuja produtividade é melhor e menos de 1 para o caso de haver combinações alternativas de consumo e produção que tenham um índice maior, indicativo de serem mais eficientes (ANDERSON, 1997).

Algumas limitações do método são relacionadas por ANDERSON (1997) e listadas a seguir:

- Como é uma técnica de ponto extremo, ruídos e erros de medição podem comprometer a análise;
- Uma vez que é uma técnica não paramétrica, dificulta a formulação de hipóteses estatísticas;
- Ao criar um programa linear para cada DMU analisada, problemas extensos podem usar tempo computacional elevado;
- DEA estima o desempenho “relativo”, mas não mostra o desempenho “absoluto” do sistema.

## **3.2 ESTUDOS ANTERIORES USANDO O DEA**

Diversas aplicações da DEA são encontradas na literatura, avaliando unidades tomadoras de decisão para as mais diferentes áreas do conhecimento. Serão mostrados os resumos de dois estudos em áreas bastante distintas a fim de elucidar a metodologia e suas aplicações.

### **3.2.1 DEA no Transporte Aéreo**

Muito se tem debatido sobre o efeito das privatizações para atender a demanda latente e crescente no setor de transporte aéreo brasileiro. Como uma importante concessão de aeroporto no Brasil, pode-se citar a do Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos. Avaliar o efeito dessa concessão sobre a eficiência do aeroporto pode ser um conhecimento significativo para se ter e usar em outras rodadas de concessão.

Em MENDES (2014), o acompanhamento da eficiência de operação dos concessionários foi feita a partir do uso de um Modelo DEA que usa como inputs os custos operacionais e de construção do aeroporto e como outputs os parâmetros de receitas operacionais, unidades de carga de trabalho (UCT, ou WLU – Workload Unit) e o índice de percepção do usuário.

A análise foi feita a partir da evolução cronológica dos dados, traçando a fronteira de eficiência comparativa em diversos pontos do tempo, a fim de relacionar a eficiência obtida pelo tempo de concessão e dos valores investidos pelo tempo e, assim, contribuir para o monitoramento dos resultados da concessionária GRU Airport.

Como conclusão, usando o modelo com os inputs e outputs descritos anteriormente, percebeu-se que a eficiência relativa da operação do Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos foi máxima no 1º trimestre de 2013, 4º trimestre de 2013, 1º trimestre de 2014 e 2º trimestre de 2014, enquanto que os trimestres 2º e 3º de 2013 ficaram abaixo da fronteira de eficiência.

### **3.2.2 DEA no Varejo de Supermercados**

Em 1997, a dissertação Avaliação da produtividade de supermercados e seu benchmarking foi um trabalho que se propôs a analisar a eficiência em termos de faturamento dos 600 maiores supermercados do País em 1996.

O modelo foi feito considerando as seguintes variáveis:

- Output: faturamento
- Inputs: número de checkouts total e por loja; área total das lojas; número de funcionários; número de lojas; renda per capita dos estados onde o supermercado se localiza.

Os supermercados foram agrupados em clusters em função de tamanho (faturamento):

- Categoria A: composta por 60 supermercados, que correspondem a 75% do faturamento total;
- Categoria B: inclui 107 supermercados e participando de 15% do faturamento;
- Categoria C: com 172 supermercados e representando 7% do faturamento;
- Categoria D: 259 supermercados restantes, com share de 3% do faturamento.

A partir das categorias, procedeu-se com a Análise Envoltória de Dados para determinação dos supermercados eficientes. Para concluir o benchmark, realizou-se um

agrupamento das unidades não eficientes em clusters semelhantes, para realizar o ajuste por funções de produção em clusters semelhantes.

Com os trabalhos mostrados, percebe-se a amplitude de possibilidades de utilização do DEA para análise de diversos temas. Em termos gerais, percebe-se que em qualquer atividade que caiba uma definição de eficiência, é cabível a avaliação comparativa entre entidades cuja atividade fim é semelhante, de modo a escolher entidades mais eficientes e traçar fronteiras de eficiência para o conjunto de unidades analisado.

## **4 APLICAÇÃO, RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Dada a importância do desenvolvimento de armazéns refrigerados no Brasil, também é objetivo do trabalho determinar um modelo a ser utilizado como benchmark de eficiência para projetos futuros dos referidos armazéns, com base em características-chave de outros armazéns existentes, selecionados como estudo de caso, sendo utilizado o modelo composto pelo método de Análise de Envoltória de Dados (DEA).

Este capítulo traz o detalhamento das definições referentes ao DEA, buscando explicitar os principais aspectos, como comportamento referente à variação de escala, escolha dos parâmetros selecionados como inputs e outputs, utilizados para realizar a avaliação da eficiência operacional dos armazéns selecionados.

### **4.1 CARACTERIZAÇÃO DO MODELO**

Em linhas gerais, o modelo aqui caracterizado relaciona dados físicos dos armazéns e dados financeiros obtidos pelo operador logístico com aquele ativo.

As informações usadas como dados de entrada no modelo foram obtidos de um operador logístico privado, de forma que este não será identificado no texto. Ainda assim, vale caracterizar que os dados usados foram obtidos de relatórios gerenciais deste operador, de modo que são comparáveis, uma vez que suas práticas de mensuração e divulgação são homogêneas.

A escolha das variáveis de inputs e outputs busca uma forma de avaliar a eficiência dos armazéns, sobre as óticas gerencial e operacional. Os parâmetros escolhidos para tanto estão mostrados na Tabela 4 e na Tabela 5.

**Tabela 4 - Inputs escolhidos para o DEA**

<b>Inputs</b>	
1	Posições Pallet
2	Área total
3	Câmaras de Picking
4	Câmaras de Armazenagem
5	Câmaras Secas
6	Câmaras Refrigeradas
7	Câmaras Congeladas
8	Funcionários

**Tabela 5 - Outputs escolhidos para o DEA**

<b>Outputs</b>	
1	Faturamento/m <sup>2</sup>
2	Faturamento/p.p.
3	LAJIDA/m <sup>2</sup>
4	LAJIDA/p.p.

Onde os parâmetros significam:

- Posição pallet é um espaço onde se acomoda um volume padrão de 1,0m x 1,2m x 1,5m, chamado pallet, que é uma plataforma, em geral de madeira, que serve para transporte de pacotes de produtos e essa variável representa o número desses espaços que o armazém possui.
- Área total é dada em metros quadrados;
- Câmara de picking é um local onde se separa e se prepara pedidos dentro de armazéns;
- Câmara de armazenagem é o local onde se deixam armazenados os produtos que não serão retirados de estoque;
- Câmaras Secas são aquelas que se mantêm em temperatura acima de +5°C;
- Câmaras Refrigeradas se mantêm em temperaturas entre -10°C e +5°C;
- Câmaras Congeladas se mantêm em temperaturas abaixo de -10°C;
- Funcionários é o número de funcionários da operação.
- Faturamento/m<sup>2</sup> é o valor total das receitas de serviços prestados dividido pela área total do armazém;
- Faturamento/p.p. é o valor total das receitas de serviços prestados dividido pela quantidade de posições pallet do armazém;

- LAJIDA – Lucros Antes de Juros, Impostos, Depreciação e Amortização – é uma medida gerencial que mensura a potencial geração de caixa da operação usual de uma empresa, sem levar em consideração a estrutura de capital, eventos extraordinários, além de ganhos/perdas não operacionais. Esse valor mede de forma bastante consistente o lucro operacional da empresa (Iço, Braga, 2001).
  - LAJIDA/m<sup>2</sup> e LAJIDA/p.p. resulta do LAJIDA gerado pelo armazém dividido pela área total e dividido pelo total de posições pallet do armazém, respectivamente;

Após definir as variáveis de entrada e saída do modelo, torna-se necessário decidir o método utilizado. Como os tempos de operação dos armazéns são distintos, considerar ganhos de escala no modelo vai deixar a eficiência dos armazéns pouco comparável, pois há armazéns que ainda estão em fase de maturação. Desse modo, utilizar-se-á o modelo CCR que considera um retorno constante de escala.

Além disso, é necessário definir se a ótica do modelo será orientada a insumos ou a produtos. Como as variáveis que podem ser mais controladas para a atividade econômica de um armazém são seu layout e estrutura física, faz mais sentido analisar a operação sob a ótica de insumos. Sendo assim, o modelo a ser utilizado para comparar a eficiência operacional dos armazéns será o CCR orientado a insumos, ou, resumidamente, CCR-i.

## 4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS ARMAZÉNS

A operação logística que está sendo comparada pelo DEA é a de cinco armazéns referentes a um mesmo operador logístico privado da Região Sudeste. Os armazéns serão nomeados genericamente de A, B, C, D e E, a fim de manter o anonimato do operador. Dessa forma, pode-se caracterizar os armazéns a partir de suas variáveis de entrada, como está mostrado na Tabela 6.

Tabela 6 - Variáveis de entrada do DEA para caracterização dos armazéns

Variáveis\Armazéns	A	B	C	D	E
Posições Pallet	8400	6336	10368	3360	8448
Área total	6000	6000	7500	2550	6034
Câmaras de Picking	6	3	0	2	4
Câmaras de Armazenagem	4	3	12	1	4
Câmaras Secas	2	0	0	0	0
Câmaras Refrigeradas	4	4	8	3	4
Câmaras Congeladas	4	2	4	0	4
Funcionários	110	54	108	21	80
Faturamento/m <sup>2</sup>	238	199	172	188	200
Faturamento/p.p.	218	243	161	184	184
LAJIDA/m <sup>2</sup>	109	88	66	61	71
LAJIDA/p.p.	78	83	48	46	51

A fim de esclarecer as unidades utilizadas, tem-se que o armazém A possui 8.400 posições pallet em 6000 m<sup>2</sup> de área de operação. Suas câmaras são divididas entre 6 câmaras de picking, sendo dessas 1 câmara seca e 3 câmaras refrigeradas e 2 congeladas, e 4 câmaras de armazenagem, sendo 1 câmara seca, 1 câmara refrigerada e 2 câmaras congeladas, operando suas atividades com 110 funcionários. Com esses parâmetros, ele possui um faturamento de R\$ 238 por m<sup>2</sup> e R\$ 218 por posição pallet, além de um LAJIDA de R\$ 109 por m<sup>2</sup> e de R\$ 78 por posição pallet. Os demais armazéns podem ser descritos de forma semelhante, valendo ressaltar que todas as câmaras analisadas são fruto de um projeto padrão, sendo, portanto, comparáveis.

Com os parâmetros relacionados na Tabela 6, a análise do DEA é realizada para traçar uma fronteira de eficiência para os armazéns e estabelecer uma comparação da eficiência dos armazéns.

### 4.3 APLICAÇÃO DO MODELO DEA CCR-i

Nesta seção será apresentado os resultados obtidos quando o procedimento de maximização de eficiência é executado para cada armazém descrito anteriormente. A ferramenta utilizada para obter os índices de eficiência é a funcionalidade Solver do MS Excel.

### 4.3.1 Armazém A

Fazendo a análise inicialmente para o armazém A, utilizando todos os inputs e todos os outputs, obteve-se a Tabela 7, onde se vê que para a maximização da eficiência em A, nem todas as variáveis são relevantes. Nesse caso, percebe-se que o maior enfoque para os outputs foi a geração de caixa operacional do armazém (EBITDA), uma vez que tanto o EBITDA por posição pallet, quanto o EBITDA por metro quadrado tiveram pesos positivos, enquanto que o faturamento foi desconsiderado pelos seus pesos serem iguais a zero.

Do lado dos inputs, percebe-se que o modelo desconsiderou o número de posições pallet, o número de câmaras congeladas e de funcionários, considerando apenas a área, o número de câmaras de picking e armazenagem, secas e refrigeradas para estipular a eficiência. O modelo presume, então, que para o armazém A importa mais o número de câmaras e a área total para gerar caixa operacional, definindo a partir apenas dessas variáveis os índices de eficiência.

Tabela 7 - Pesos encontrados pelo algoritmo DEA aplicado para o armazém A

Armazém	Output				Input							
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	8
A	238	218	109	78	8400	6000	6	4	2	4	4	110
B	199	243	88	83	6336	6000	3	3	0	4	2	54
C	172	161	66	48	10368	7500	0	12	0	8	4	108
D	188	184	61	46	3360	2550	2	1	0	3	0	21
E	200	184	71	51	8448	6034	4	4	0	4	4	80
Pesos	u1	u2	u3	u4	v1	v2	v3	v4	v5	v6	v7	v8
	-	-	0,0068	0,0034	-	0,0000	0,0255	0,0072	0,0211	0,1368	-	-

Analisando o armazém A pela DEA, vê-se que apenas os armazéns A, B e D são eficientes segundo os pesos obtidos, por gerarem as mesmas quantidades de Inputs e Outputs. O armazém E está próximo da eficiência por ter a razão de produção e consumo de 0,72 e o armazém C é ineficiente, por produzir menos que a metade que ele consome, como é mostrado resumidamente na Tabela 8.

Tabela 8 - Eficiências obtidas pelo algoritmo DEA aplicado para o armazém A

Armazém	Valores Output	Restrição	Valores Inputs	Eficiência
A	1,0000	$\leq$	1,0000	<b>1,0000</b>
B	0,8742	$\leq$	0,8742	<b>1,0000</b>
C	0,6076	$\leq$	1,4671	<b>0,4141</b>
D	0,5659	$\leq$	0,5659	<b>1,0000</b>
E	0,6512	$\leq$	0,9082	<b>0,7171</b>

A partir dos valores obtidos na Tabela 8, é possível gerar a fronteira de eficiência definida pelos critérios do armazém A, como é mostrado na Figura 11, onde o eixo y são os outputs e o eixo x são os inputs. Percebe-se, portanto, que os armazéns tidos como eficientes na Tabela 8 estão de fato na fronteira, servindo como parâmetro de comparação para os armazéns C e E.

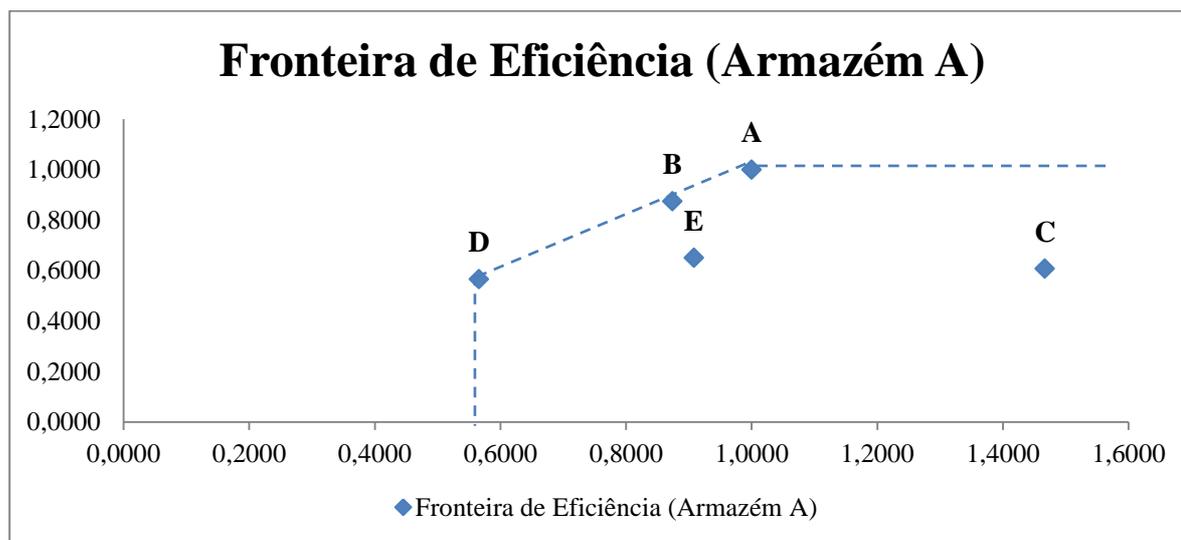


Figura 11 - Fronteira de Eficiência para maximização de eficiência do armazém A

Assim, como utilizou-se o CCR-i, que é o método orientado aos insumos, pode-se traçar metas e planos de ação para os armazéns ineficientes a partir da redução do consumo de insumos e, dessa forma, trazê-los para a fronteira de eficiência.

### 4.3.2 Armazém B

Continuaram-se as análises, agora para o armazém B, utilizando todos os inputs e todos os outputs, obteve-se a Tabela 9, onde já se vê que há mais variáveis relevantes. Todos os outputs gerados são significantes para o modelo e, do lado dos inputs, apenas o número de funcionários é desconsiderado para estipular a eficiência.

Ainda assim, é importante levar em consideração os módulos dos parâmetros que estão em unidades comparáveis, como é o caso dos outputs. Para eles, percebe-se que a geração de caixa por área é mais de 100 vezes mais relevante que os outros indicadores, o que pode levantar a hipótese que a eficiência de B é mais atrelada ao indicador EBITDA por m<sup>2</sup>.

**Tabela 9 - Pesos encontrados pelo algoritmo DEA aplicado para o armazém B**

Armazém	Output				Input							
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	8
A	238	218	109	78	8400	6000	6	4	2	4	4	110
B	199	243	88	83	6336	6000	3	3	0	4	2	54
C	172	161	66	48	10368	7500	0	12	0	8	4	108
D	188	184	61	46	3360	2550	2	1	0	3	0	21
E	200	184	71	51	8448	6034	4	4	0	4	4	80
<b>Pesos</b>	<b>u1</b>	<b>u2</b>	<b>u3</b>	<b>u4</b>	<b>v1</b>	<b>v2</b>	<b>v3</b>	<b>v4</b>	<b>v5</b>	<b>v6</b>	<b>v7</b>	<b>v8</b>
	0,0001	0,0001	0,0001	0,0114	0,0000	0,0000	0,2047	0,0006	0,1000	0,0004	0,0016	-

Analisando pelo ponto de vista dos indicadores anteriores, vê-se que apenas os armazéns B e C são eficientes, por gerarem as mesmas quantidades de Inputs e Outputs, enquanto que o armazém D atingiu quase 95% de eficiência. Desse modo, os armazéns A e E são ineficientes e geram menos de 50% no ratio produção-consumo, como é mostrado resumidamente na Tabela 10.

Tabela 10 - Eficiências obtidas pelo algoritmo DEA aplicado para o armazém B

Armazém	Valores Output	Restrição	Valores Inputs	Eficiência
A	0,9406	<=	1,8946	<b>0,4965</b>
B	1,0000	<=	1,0000	<b>1,0000</b>
C	0,5822	<=	0,5822	<b>1,0000</b>
D	0,5667	<=	0,5971	<b>0,9490</b>
E	0,6212	<=	1,2878	<b>0,4823</b>

Na Figura 12, a Fronteira de Eficiência obtida para esse caso reitera os casos de eficiência mostrados na Tabela 10, dos armazéns B e C. Percebe-se também que o armazém D está bastante próximo da fronteira, o que era esperado pelo seu indicador de eficiência.

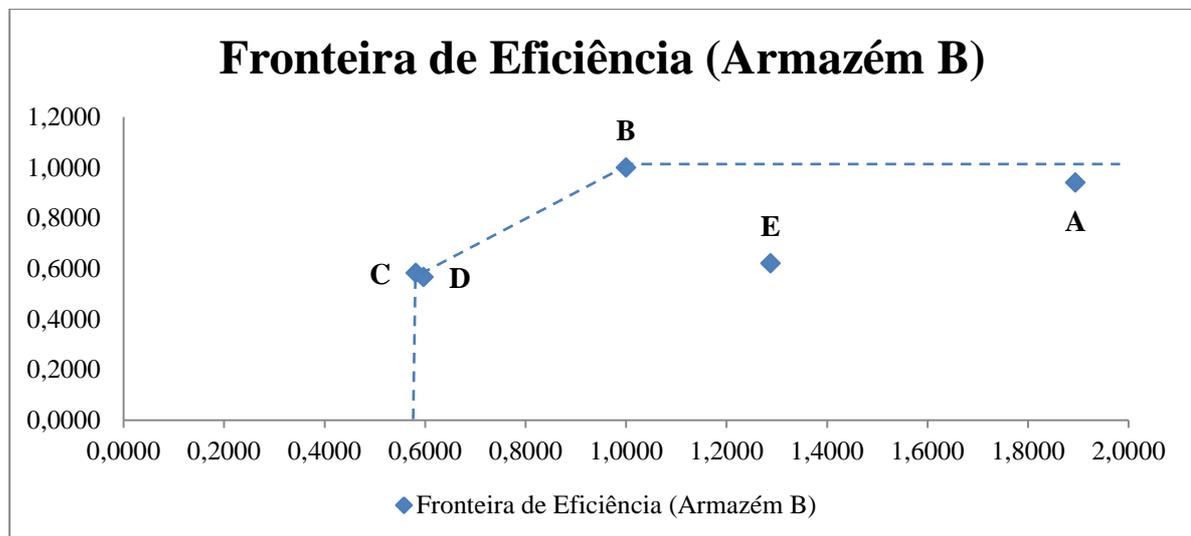


Figura 12 - Fronteira de Eficiência para maximização de eficiência do armazém B

Pela análise do armazém B, encontra-se que B é novamente eficiente, enquanto que C, para os parâmetros do armazém A, era ineficiente. Reforça-se, portanto, que o método estabelece índices de eficiência comparativa, não absoluta.

### 4.3.3 Armazém C

Percebe-se, novamente, que o modelo, aplicado ao armazém C estabelece como variáveis mais importantes as de geração de caixa, área total, número de câmaras e o número de funcionários do armazém, como se pode ver na Tabela 11.

Com relação ao peso obtido, do lado dos inputs, observa-se que o modelo resultou como mais significantes as variáveis de número de câmaras de picking e número de câmaras congeladas, enquanto que do lado dos outputs, o parâmetro mais significativo foi o de EBITDA por m<sup>2</sup>.

Tabela 11 - Pesos encontrados pelo algoritmo DEA aplicado para o armazém C

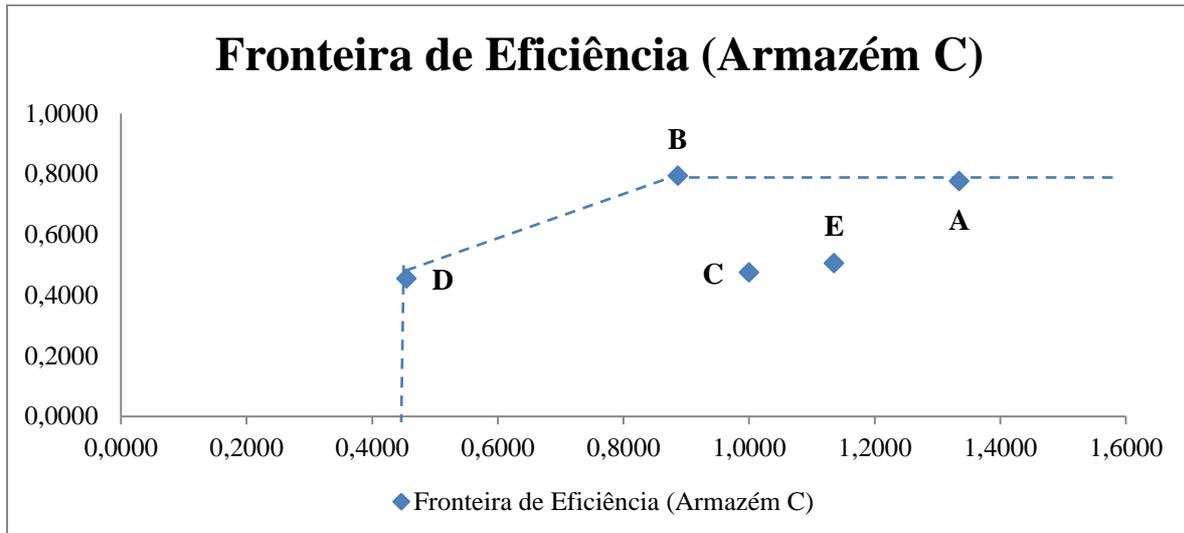
Armazém	Output				Input							
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	8
A	238	218	109	78	8400	6000	6	4	2	4	4	110
B	199	243	88	83	6336	6000	3	3	0	4	2	54
C	172	161	66	48	10368	7500	0	12	0	8	4	108
D	188	184	61	46	3360	2550	2	1	0	3	0	21
E	200	184	71	51	8448	6034	4	4	0	4	4	80
<b>Pesos</b>	<b>u1</b>	<b>u2</b>	<b>u3</b>	<b>u4</b>	<b>v1</b>	<b>v2</b>	<b>v3</b>	<b>v4</b>	<b>v5</b>	<b>v6</b>	<b>v7</b>	<b>v8</b>
	-	-	0,0012	0,0082	-	0,0000	0,1002	0,0000	0,0000	0,0523	0,0737	0,0000

Pela análise do armazém C pela DEA, nota-se que somente o armazém D é eficiente segundo os pesos obtidos, por gerarem as mesmas quantidades de Inputs e Outputs. O armazém B foi o segundo em termos de eficiência, enquanto que os outros são tidos como ineficientes, como é mostrado resumidamente na Tabela 12.

Tabela 12 - Eficiências obtidas pelo algoritmo DEA aplicado para o armazém C

Armazém	Valores Output	Restrição	Valores Inputs	Eficiência
A	0,7767	<=	1,3346	<b>0,5820</b>
B	0,7937	<=	0,8865	<b>0,8953</b>
C	0,4753	<=	1,0000	<b>0,4753</b>
D	0,4548	<=	0,4548	<b>1,0000</b>
E	0,5058	<=	1,1355	<b>0,4455</b>

A partir dos valores obtidos na Tabela 12, é possível gerar a fronteira de eficiência definida pelos critérios do armazém C, como é mostrado na Figura 13, onde o eixo y são os outputs e o eixo x são os inputs. Percebe-se, portanto, que os armazéns mais eficientes na Tabela 12 estão na fronteira, servindo como parâmetro de comparação para os armazéns A, C e E.



**Figura 13 - Fronteira de Eficiência para maximização de eficiência do armazém C**

Esses armazéns que estão abaixo da fronteira podem utilizar como referência os armazéns B e D para traçar metas de redução de consumo de insumos, como é obtido pelo método DEA orientado a insumos.

#### **4.3.4 Armazém D**

Utilizando o método para o armazém D, obteve-se a Tabela 13, onde a utilização de todas as variáveis levantadas para análise. Nesse caso, percebe-se que o maior enfoque para os outputs foi a geração de caixa operacional do armazém por posição pallet (EBITDA/p.p.), dado que seu peso é pelo menos 60 vezes maior que os dos outros outputs.

Do lado dos inputs, a comparação é mais complexa, pois as variáveis estão em unidades diferentes e possuem ordens de grandeza diferentes. Dessa forma, pode-se comparar entre os tipos de câmara do armazém, vendo que são significantes o número de câmaras de picking e as de armazenagem.

Tabela 13 - Pesos encontrados pelo algoritmo DEA aplicado para o armazém D

Armazém	Output				Input							
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	8
A	238	218	109	78	8400	6000	6	4	2	4	4	110
B	199	243	88	83	6336	6000	3	3	0	4	2	54
C	172	161	66	48	10368	7500	0	12	0	8	4	108
D	188	184	61	46	3360	2550	2	1	0	3	0	21
E	200	184	71	51	8448	6034	4	4	0	4	4	80
Pesos	<b>u1</b> 0,0001	<b>u2</b> 0,0003	<b>u3</b> 0,0001	<b>u4</b> 0,0198	<b>v1</b> 0,0001	<b>v2</b> 0,0001	<b>v3</b> 0,0575	<b>v4</b> 0,0662	<b>v5</b> 0,1000	<b>v6</b> 0,0004	<b>v7</b> 0,0000	<b>v8</b> 0,0013

Analisando o armazém C pelo método, vê-se que apenas os armazéns D se mostra eficiente de acordo com os pesos obtidos. O armazém B está próximo da eficiência por ter a razão de produção e consumo de quase 85%, enquanto os outros são classificados como ineficientes, como é mostrado resumidamente na Tabela 14.

Tabela 14 - Eficiências obtidas pelo algoritmo DEA aplicado para o armazém D

Armazém	Valores Output	Restrição	Valores Inputs	Eficiência
A	1,6507	<=	2,8867	<b>0,5718</b>
B	1,7573	<=	2,0713	<b>0,8484</b>
C	1,0243	<=	3,3344	<b>0,3072</b>
D	1,0000	<=	1,0000	<b>1,0000</b>
E	1,0942	<=	2,5439	<b>0,4301</b>

Com os resultados da análise, mostrados na Tabela 14, é possível traçar a fronteira de eficiência definida pelos critérios do armazém D, como mostrado na Figura 14. Percebe-se, portanto, que os armazéns mais eficientes estão na fronteira, como era esperado, servindo como referência para os outros armazéns.

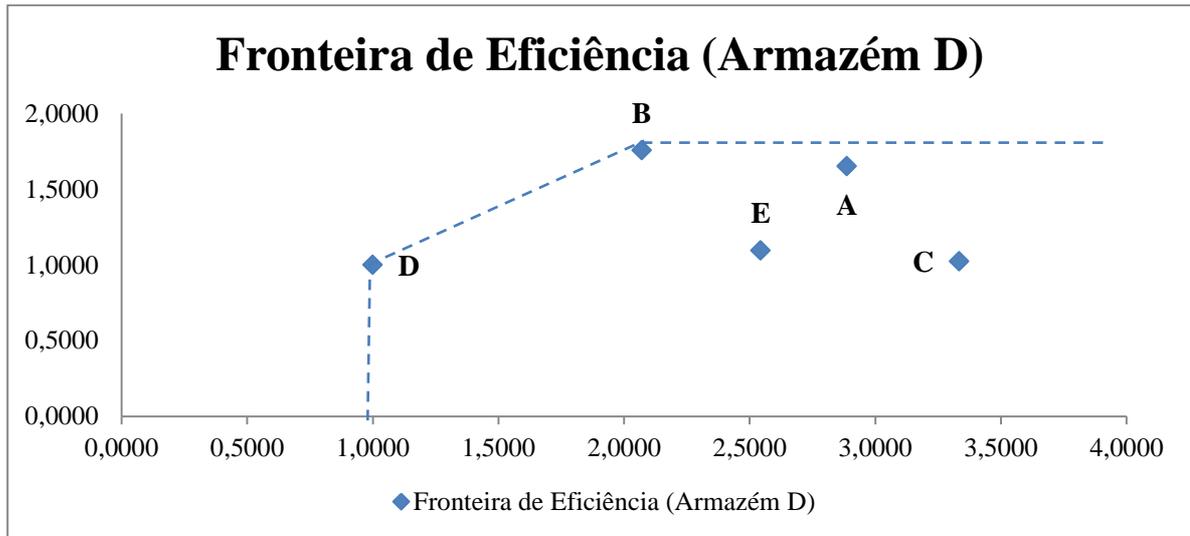


Figura 14 - Fronteira de Eficiência para maximização de eficiência do armazém D

Com isso, mostra-se diversas oportunidades de melhoria de eficiência para os armazéns ao utilizarem como benchmark os armazéns que estão na fronteira.

### 4.3.5 Armazém E

Para o armazém E, utilizando todos os inputs e todos os outputs, obteve-se a Tabela 15, onde se vê que a maximização da eficiência em E, ocorre para um subconjunto de variáveis. Nesse caso, percebe-se que o maior enfoque para os outputs foi os indicadores atrelados a área, uma vez que tanto faturamento quanto EBITDA por posição pallet teve peso igual a zero. Nos inputs, consideraram-se apenas as variáveis de número de câmaras secas, refrigeradas e congeladas.

Tabela 15 - Pesos encontrados pelo algoritmo DEA aplicado para o armazém E

Armazém	Output				Input							
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	8
A	238	218	109	78	8400	6000	6	4	2	4	4	110
B	199	243	88	83	6336	6000	3	3	0	4	2	54
C	172	161	66	48	10368	7500	0	12	0	8	4	108
D	188	184	61	46	3360	2550	2	1	0	3	0	21
E	200	184	71	51	8448	6034	4	4	0	4	4	80
<b>Pesos</b>	<b>u1</b>	<b>u2</b>	<b>u3</b>	<b>u4</b>	<b>v1</b>	<b>v2</b>	<b>v3</b>	<b>v4</b>	<b>v5</b>	<b>v6</b>	<b>v7</b>	<b>v8</b>
	0,0012	-	0,0086	-	(0,0000)	(0,0000)	-	-	0,1164	0,2536	0,0000	-

Assim como quando se analisou o armazém A, analisando o armazém E pela DEA, vê-se que os armazéns A, B e D são eficientes. O armazém E está próximo da eficiência por ter a razão de produção e consumo acima de 85%, enquanto que o armazém C é ineficiente, como é mostrado resumidamente na Tabela 16.

Tabela 16 - Eficiências obtidas pelo algoritmo DEA aplicado para o armazém E

<u>Armazém</u>	<u>Valores Output Restrição</u>	<u>Valores Inputs</u>	<u>Eficiência</u>
<b>A</b>	1,2330	<= 1,2330	<b>1,0000</b>
<b>B</b>	1,0021	<= 1,0021	<b>1,0000</b>
<b>C</b>	0,7814	<= 2,0111	<b>0,3885</b>
<b>D</b>	0,7550	<= 0,7550	<b>1,0000</b>
<b>E</b>	0,8583	<= 1,0000	<b>0,8583</b>

Os valores da Tabela 16 formam a fronteira de eficiência definida pelos critérios do armazém E, como é mostrado na Figura 15. Assim, os armazéns eficientes para essa análise estão de fato na fronteira, servindo como parâmetro de comparação para os armazéns C e E.

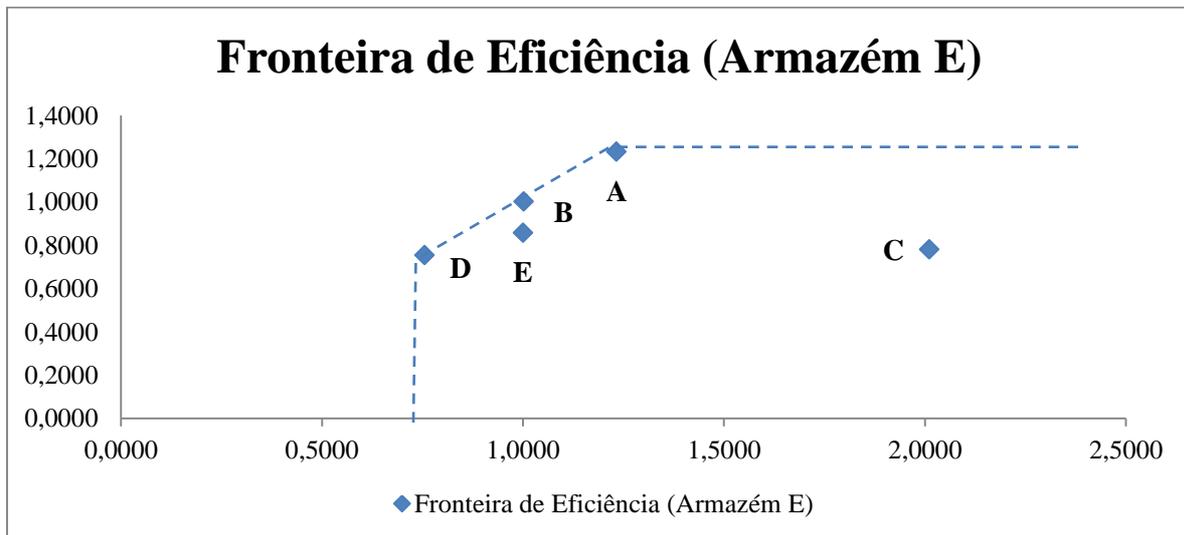


Figura 15 - Fronteira de Eficiência para maximização de eficiência do armazém E

Com isso, notam-se diversas oportunidades de melhorias, principalmente para benchmarking entre armazéns, que possui diversos benefícios e pode ser implementado a partir de uma metodologia explicitada na seção 4.5 deste trabalho.

## **4.4 LIMITAÇÕES DO MODELO**

Ao comparar empresas semelhantes, O modelo DEA permite uma análise multifacetada de eficiência: fatores críticos de sucesso, crescimento ou decréscimo, revisão de metas. Dentre as diversas possibilidades de aplicação da técnica de análise DEA, destaca-se, também, a avaliação de eficiência de empresas em fases pré e pós-implementação; utilização para avaliação de custos de produção entre períodos; além de outras aplicações econômicas, financeiras e operacionais.

No entanto, como o número de unidades de negócio consideradas é pequeno e estão em fases distintas, há uma grande inferência do modelo que não podemos considerar, a questão das ineficiências técnicas e de escala, que é resultado do formato BCC do DEA. Além disso, sabemos que o resultado obtido depende totalmente de: (i) indicadores selecionados como inputs/outputs e (ii) DMUs analisadas, uma vez que qualquer inclusão ou exclusão de indicadores ou DMUs altera completamente o resultado.

Vale salientar que essa é uma técnica não-paramétrica, como discutido no Capítulo 3, e por isso não permite uma extrapolação do resultado para outros casos além dos analisados. Dessa forma, as inferências obtidas dos resultados não servem como parâmetro absoluto de eficiência, mas sim, para todos os efeitos, apenas comparativos. Isso permite a inferência de que uma DMU é mais eficiente que outra e serve como benchmarking para outra.

A seção 4.5, portanto, vai discorrer um pouco mais sobre o passo-a-passo e os benefícios obtidos na implementação de um benchmarking.

## **4.5 IMPLEMENTAÇÃO DE BENCHMARKING**

Como a análise DEA gera como resultado uma métrica comparativa de eficiência entre operações semelhantes, pode-se interpretar que as operações mais eficientes serão usadas como benchmark para as ineficientes.

Dessa forma, é pertinente a discussão a implementação do benchmarking, que, segundo Ronzani (2015), pode ser dividido em 5 fases com algumas atividades listadas abaixo:

- Planejar
  - ✓ Definir o objeto de estudo
  - ✓ Formar a equipe
  - ✓ Caracterizar detalhadamente o objeto de estudo
  - ✓ Estabelecer indicadores de desempenho
  - ✓ Selecionar organizações parceiras
- Coletar
  - ✓ Definir os métodos de coletas de dados
  - ✓ Coletar os dados referentes aos resultados e práticas
  - ✓ Registrar as conclusões da coleta
- Analisar
  - ✓ Análise das informações
  - ✓ Identificar os diferenciais em termos de desempenho
  - ✓ Determinar as causas das diferenças encontradas
  - ✓ Projetar o desempenho futuro da organização
- Adaptar
  - ✓ Adequar as práticas à realidade da organização
  - ✓ Comunicar os resultados
  - ✓ Obter o aceite das propostas
  - ✓ Definir as metas e planos de melhoria
- Melhorar
  - ✓ Implementar os planos de melhoria contínua
  - ✓ Monitorar os resultados decorrentes dos planos
  - ✓ Reavaliar as metas a partir de novos referenciais
  - ✓ Manutenção da base de dados

Segundo Ronzani (2015), obtém-se diversos benefícios a partir do benchmarking, como:

- Oportunidades de melhoria (práticas, processos, custos, prazos, serviços, entregas, etc) para a empresa
- Facilita o reconhecimento interno da própria organização
- Promove o conhecimento do meio competitivo
- Facilita a gestão → pois conhece objetivo e metas

Com essa metodologia de implantação, pode-se implementar as melhores práticas dos armazéns eficientes obtidos pelos resultados encontrados nessa seção, ampliando o nível de eficiência do operador logístico em sua totalidade, pelo aumento de eficiência dos armazéns menos eficientes.

## 5 CONCLUSÕES

A proposta central deste trabalho é justificar a necessidade de melhorar a infraestrutura de logística refrigerada no Brasil para suportar o crescimento do mercado de alimentos, que é uma vantagem competitiva natural brasileira. As melhorias de infraestrutura aqui sugeridas se dão pela melhora de eficiência logística para armazenagem frigorificada, obtida por benchmarkings implementados a partir de uma metodologia já bem conhecida e conceituada no meio técnico e acadêmico, o método DEA.

Dessa forma, foram selecionados alguns armazéns frigorificados de um mesmo operador logístico e alguns indicadores a serem utilizados como base para o cálculo de um índice de eficiência, alimentando assim o modelo DEA, considerando (i) retornos constantes de escala, para avaliar de forma equiparável armazéns com nível de maturação diferentes, e (ii) orientação a insumos, para traçar formas de melhorar eficiência a partir das variáveis internas – e controláveis – da operação.

Com a definição das DMUs e das variáveis input e output utilizadas, pode-se rodar o modelo para cada DMU e, assim, encontrar os índices comparativos entre os armazéns, definindo quem pode ser utilizado como referência para melhorias em cada caso.

A partir disso, observou-se que o armazém que apresentou melhor eficiência para os casos analisados foi o armazém D, o que pode ser visto quando comparam-se as características desse armazém com os outros, uma vez que o armazém D possui uma área 150% menor que a média dos outros e um faturamento por m<sup>2</sup> apenas 8% menor que a média dos outros, mostrando que ele necessita de muito menos insumos para produzir um resultado comparável, sendo assim mais eficiente.

Ainda, vale salientar que as características utilizadas no modelo não são as únicas que compõem o conceito de eficiência de forma mais global, pois fatores como clientes atendidos, produtos armazenados, localização etc. podem interferir nas negociações tidas entre o operador logístico e seus clientes, afetando assim a eficiência total.

Assim, vale entrar mais no detalhe da operação desses armazéns e utilizá-los como benchmark para os outros, utilizando a metodologia encontrada em Ronzani (2015), discutida na seção anterior, conseguindo, a partir de uma tomada de decisão mais assertiva, realizar uma redução da utilização de insumos e um aumento de produção.

## 5.1 PRÓXIMOS PASSOS

Como sugestão para continuidade deste trabalho, há algumas frentes que podem ser seguidas a fim de aprimorá-lo.

### 1. Integração entre armazenagem e transporte

Sabe-se que operadores logísticos são empresas que precisam de escala e serviços adicionais para terem maior valor agregado e maior rentabilidade. Com isso, é bastante comum, operadores que possuem operação não só de armazenagem, mas também de transporte, embalagem, etc., algo feito inclusive pelo operador analisado neste trabalho.

Vale a pena, portanto, a inclusão de variáveis relacionadas a essas outras operações para traçar índices de eficiência mais robustos, que gerem melhorias para a operação como um todo.

### 2. Utilizar a metodologia com retornos variáveis de escala

Para o momento em que o nível de maturidade das DMUs forem comparáveis, faz sentido fazer uma análise com retornos de escala crescentes e decrescentes, uma vez que essa operação é tão mais eficiente quanto maior for a escala do operador.

Com as frentes citadas, é possível dar continuidade na análise e na melhoria de operadores logísticos e resolver parte desse gargalo estrutural.

## REFERÊNCIAS

- ABNT (2001) – Transporte de Produtos Alimentícios Refrigerados – Procedimentos e Critérios de Temperatura. Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 14701, São Paulo, SP.
- AGRICULTURE AND AGRI-FOOD CANADA,. Canadian food trends to 2020: a long range consumer outlook. Disponível em:  
<[http://www4.agr.gc.ca/resources/prod/doc/agr/pdf/ft-ta\\_e.pdf](http://www4.agr.gc.ca/resources/prod/doc/agr/pdf/ft-ta_e.pdf)>. Acesso em: 3 nov. 2015.
- AGRICULTURE AND AGRI-FOOD CANADA. Canadian food trends to 2020: a long range consumer outlook. Ottawa: Agriculture and Agri-Food Canada, 2005. 113 p. Disponível em: <[http://www4.agr.gc.ca/resources/prod/doc/agr/pdf/ft-ta\\_e.pdf](http://www4.agr.gc.ca/resources/prod/doc/agr/pdf/ft-ta_e.pdf)>.
- Alimentação fora do lar. Faturamento do setor - Alimentação fora do lar. Disponível em: <<http://alimentacaoforadolar.com.br/faturamento-do-setor/>>. Acesso em: 20 out. 2015.
- Badin, Neiva Teresinha. Avaliação da produtividade de supermercados e seu Benchmarking. 1997. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: UFSC.
- BALLOU, Ronald H. Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos / Logística Empresarial. Porto Alegre: Bookman, 2008.
- Banco Central do Brasil,. Boletim Focus - Relatório de Mercado. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br/pec/GCI/PORT/readout/R20151030.pdf>>. Acesso em: 2 nov. 2015.
- BARBOSA, Livia. Tendências da alimentação contemporânea. In: PINTO, Michele de Lavra; PACHECO, Janie K. (Coord.). juventude & consumo educação 2. Porto Alegre: ESPM, 2009. p. 15-64.
- Belloni, J. Uma metodologia de avaliação da eficiência produtiva de Universidades Federais Brasileiras, 2000. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, do Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis: UFSC.

- Billiard, F. (2003) New Developments in the Cold Chain: Specific Issues in Warm Countries. EcoLibrium. In: Indoor air quality conference, Sydney, Australia.
- BISHARA, R. H. “Cold Chain Management – An Essential Component of the Global Pharmaceutical Supply Chain”. American Pharmaceutical Review, 2006.
- Brasilfoodtrends.com.br,. Brasil Food Trends 2020. Disponível em: <<http://www.brasilfoodtrends.com.br/publicacao.html>>. Acesso em: 2 nov. 2015.
- Cadeia do Frio: Garantia de Vida mais longa e saudável aos hortifrutícolas. Hortifruti Brasil, v. 9 n. 98, p. 8 - 17, 2011.
- Casa Nova, S.; Santos, A. APLICAÇÃO DA ANÁLISE POR ENVOLTÓRIA DE DADOS UTILIZANDO VARIÁVEIS CONTÁBEIS. Revista de Contabilidade e Organizações, v. 3, n. 2, p. 132-154, 2015.
- Ceretta, P.; Niederaier, C. Rentabilidade do setor bancário brasileiro. 24º Encontro Nacional da ANPAD – Associação Nacional de Programas de Pós-Graduação em Administração. Florianópolis, 2000.
- Charnes, A. ; Cooper, W.; Lewin, A.; Seiford, L. Data Envelopment Analysis: theory, methodology, and application. Massachusetts (EUA): Kluwer, 1997.
- Claro, D. Dados Estruturados x Dados Semi-Estruturados x Dados Não Estruturados. Tradução . 1. ed. Salvador, BA: [s.n.].
- Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP). Definition of Logistics. Council of Logistics Management. Disponível em: <<http://cscmp.org/about-us/supply-chain-management-definitions>>. Acesso em: 15 ago. 2015.
- de MELLO, J.; MEZA; L.; GOMES; E.; NETO; L. Curso de Análise Envoltória de Dados. XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO), 2005.
- EMERSON, C. J.; GRIMM, C. M. Logistics and marketing components of customer service: an empirical test of the Mentzer, Gomes and Krapfel model. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management. vol 26 n° 8, 1996.
- GORMLEY, R., BRENNAN M., BUTLER F., Upgrading the Cold Chain for Consumer Food Products, ISBN 1-84170-191-2 Teagasc Dublin 4, 2000.

- Hair Jr. J.; Anderson, R.; Tatham, R.; Black, W. Multivariate data analysis. 5. Ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1998.
- Heap, R. D. (2006) Cold chain performance issues now and in the future. IIR Bulletin, n. 4, p. 1-11.
- IÇO, J. A., BRAGA, R. P., EBITDA: Lucro Ajustado para Fins de Avaliação de Desempenho Operacional. Revista Pensar Contábil, Rio de Janeiro: CRCRJ, ano III, n. 10, 2001.
- Institutofoodservicebrasil.org.br,. IFB | Instituto Foodservice Brasil. Disponível em: <<http://www.institutofoodservicebrasil.org.br/>>. Acesso em: 2 nov. 2015.
- International Institute of Refrigeration – IIR (2004) Temperature indicators and time-temperature integrators – 3rd inforatory note on refrigeration and food. International Institute of Refrigeration. Paris: IIR, 3p.
- Joshi, K. Thakur, J.S. e Singh (2008) A. Knowledge and practice of oral polio vaccine vial monitor among health personnel in India. Indian J Community Medicine.
- KETCHUM. Food 2020: the consumer as CEO. New York: Ketchum, 2008. 9 p. Disponível em: .
- LAMBERT, D. M.; STOCK, J. R. Strategic Logistics Management. Homewood, Ill.: R. D. Irwin, 1993.
- LEWIS, Helen. global market review of new product development strategies in the food and drink industry – forecasts to 2013. United Kingdom: Aroq/Just-food, 2008.
- LEWIS, Helen. Issues, trends and challenges facing the food and drink industry – forecasts to 2014. United Kingdom: Aroq/Just-food, 2009.
- Logisticabrasil.gov.br,. Demanda por Infraestrutura - Programa de Investimentos em Logística - PIL. Disponível em: <<http://www.logisticabrasil.gov.br/demanda-por-infraestrutura>>. Acesso em: 20 out. 2015.
- Mendes, R. Análise da Situação Operacional e Econômica do Aeroporto Internacional de São Paulo – Guarulhos após a concessão. Trabalho de Graduação, Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São José dos Campos, SP, 2014.

- MONTANARI, Roberto. “Cold chain tracking: a managerial perspective”. Trends in food science and technology, 2008.
- NEVES FILHO, Lincoln Camargo. Refrigeração e Alimentos – Apostila do Curso Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas. Campinas; SP; 1997.
- Pereira, V. F.; Doria, E. C. B.; Carvalho Júnior, B. C.; Neves Filho, L. C.; Silveira Júnior, V. (2010) 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.
- Reuters, World lacks enough food, fuel as population soars: U.N. Disponível em: <<http://www.reuters.com/article/2012/01/30/us-un-development-idUSTRE80T10520120130>>. Acesso em: 11 ago. 2015.
- Ronzani, G. Produtividade, Eficiência e Benchmarking de Serviços Logísticos. Apostila do curso IT-210. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São José dos Campos, SP; 2015.
- Salin, V.; Nayga, R. M. (2002) “A Cold Chain Network for Food Exports to Developing Countries”. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management.
- Silva, G. A GESTÃO DA CADEIA DO FRIO: UMA ANÁLISE DOS FATORES LOGÍSTICOS. Mestre—[s.l.] CEFET/RJ, 2015.
- Silva, G. B. A (2010) Gestão da Cadeia do Frio: Uma Análise de fatores logísticos. Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca. Rio de Janeiro.
- SILVA, L. S. Nível de Serviço Logístico: Estudo de Caso de uma empresa de bebidas na Paraíba. Rio de Janeiro, RJ: ENEGEP, 2008.
- Valor Econômico. Mercado prevê inflação maior e recessão mais profunda em 2015. Disponível em: <<http://www.valor.com.br/brasil/4297714/mercado-preve-inflacao-maior-e-recessao-mais-profunda-em-2015>>. Acesso em: 25 out. 2015.
- WOOD, D. F.; WARDLOW, D. L.; MURPHY, P. R.; JOHNSON, J. C. Contemporary logistics. – 7ª ed. New Jersey: Prentice Hall, 1999.
- YOUNG, M. The cold storage chain. In: Dellino, Clive V.J. Cold and Chilled Storage Technology, 2<sup>nd</sup> edition. London: Chapman & Hall, 1997.

Zhang, G.; Sun, G. e Li, J. (1994), A New Method to Determine the Heat Transfer Coefficient of Refrigerated Vehicles, *International Journal of Refrigeration*, v. 17, n. 8.

