UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

RUBEM FERNANDO DOS ANJOS

Estudo sobre a perda da hermeticidade de embalagens plásticas flexíveis utilizadas no envase de carne bovina cozida e desidratada (*Beef Jerky*)

Pirassununga
2017

RUBEM FERNANDO DOS ANJOS

Estudo sobre a perda da hermeticidade de embalagens plásticas flexíveis utilizadas no envase de carne bovina cozida e desidratada (*Beef Jerky*)
"VERSÃO CORRIGIDA"

Dissertação apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências do programa de Mestrado Profissional em Gestão e Inovação na Indústria Animal.

Área de Concentração: Gestão e Inovação na Indústria Animal.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Teresa de A. Freire

Pirassununga
2017

Ficha catalográfica elaborada pelo
Serviço de Biblioteca e Informação, FZEA/USP,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A599e

Anjos, Rubem Fernando dos
Estudo sobre a perda da hermeticidade de embalagens plásticas flexíveis utilizadas no envase de carne bovina cozida e desidratada (Beef Jerky) / Rubem Fernando dos Anjos ; orientadora Maria Teresa de Alvarenga Freire. -- Pirassununga, 2007.
88 f.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Mestrado Profissional Gestão e Inovação na Indústria Animal) -- Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo.

1. Embalagens. 2. Hermeticidade. 3. MAP. 4. Beef Jerky. I. Freire, Maria Teresa de Alvarenga, orient. II. Título.

Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte - o autor

RUBEM FERNANDO DOS ANJOS

Estudo sobre a perda da hermeticidade de embalagens plásticas flexíveis utilizadas no envase de carne bovina cozida e desidratada (*Beef Jerky*)

Dissertação apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências do programa de Mestrado Profissional em Gestão e Inovação na Indústria Animal.

Área de Concentração: Gestão e Inovação na Indústria Animal.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Teresa de A. Freire

Data de Aprovação: ____ / ____ / ____

Banca Examinadora:

_____
Profa. Dra. Maria Teresa de A. Freire

_____
Prof. Dr. Marco Antonio Trindade

_____
Profa. Dra. Judite das Graças Lapa Guimarães

_____
Prof. Dr. Rafael Resende Maldonado

Eternamente agradecido
aos meus pais Ivan e Maria Helena
à todos meus irmãos, família e amigos,
à minha noiva Caroline,
e às minhas filhas Gabriela e Sarah.

AGRADECIMENTOS

Às empresas Meat Snacks Partners do Brasil, Ferreira International, Jack Links e JBS S.A. pelo apoio, confiança e pela oportunidade profissional e pessoal que me proporcionaram através deste projeto.

Em especial Profa. Dra. Maria Teresa de Alvarenga Freire pela paciência, comprometimento e amizade demonstrada durante a realização deste trabalho. Seus ensinamentos estarão comigo e me servirão para toda a vida.

A todos os colegas colaboradores das empresas que caminharam comigo nesta jornada e que direta ou indiretamente participaram e contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos meus pais Ivan Gonçalves dos Anjos e Maria Helena Bortolato dos Anjos, por me mostrarem desde de cedo a importância dos estudos e da educação em nossas vidas. Por me ensinarem a compreender que toda caminhada é feita de um passo antes do outro e que obstáculos são naturais, e superáveis quando nos determinamos a vencê-los, desta forma, sempre valorizaram cada vitória.

“Se você quiser construir um navio, não reúna as pessoas para juntar madeira, nem distribua tarefas e trabalho, em vez disso, ensine-os a desejar a infinita imensidão do mar...”

Antoine de Saint-Exupery

RESUMO

ANJOS, R. F. **Estudo sobre a perda da hermeticidade de embalagens plásticas flexíveis utilizadas para o envase de carne bovina cozida e desidratada (*Beef Jerky*)**. 2017. 88p. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo. Pirassununga, 2017.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a perda da hermeticidade do sistema de embalagens plásticas flexíveis utilizadas para o envase de carne bovina cozida e desidratada (*Beef Jerky*) que é realizado por meio da aplicação de vácuo, atmosfera modificada e a inserção de absorvedores de oxigênio. Durante 1 (um) mês foram realizadas avaliações dos defeitos que ocasionam a perda da hermeticidade na produção do *Beef Jerky* em três plantas fabris localizadas no Brasil. Os defeitos encontrados foram mapeados, identificados e avaliados por meio de análises microscópicas da estrutura do filme flexível, análises de oxigênio do espaço livre da embalagem e ensaios de verificação dos canais de solda. Os resultados apresentados nesta pesquisa demonstraram que as origens da perda da hermeticidade estão relacionadas a fatores físicos, biológicos e humanos. Após a realização de melhorias como a alteração da linha de produção e treinamento dos operadores, o aumento da espessura da solda e a redução da quantidade de vácuo aplicada, houve a redução de 33,66%, 51,32% e 43,59% de defeitos de hermeticidade respectivamente. Foi observado também que a taxa de permeabilidade ao O_2 da embalagem (TPO_2) pode ser reduzida e consequentemente a barreira mecânica pode ser aumentada possibilitando a redução de defeitos mecânicos nas embalagens. A substituição dos sachês absorvedores, que podem ser danificados pelo contato com o produto, por sistemas de embalagens ativas que contém o princípio ativo incorporado ao filme também foi proposta, porém não foi recomendada uma vez que o oxigênio residual não atingiu menos que 1% de oxigênio após 72 horas. O resultado preliminar demonstrou que este sistema é menos eficiente do que o atual e que novos estudos e aprimoramentos da tecnologia devem ser realizados para que a aplicação das embalagens no sistema de envase de *Beef Jerky* seja eficiente.

Palavras-chave: barreira, defeitos, solda, oxigênio, MAP.

ABSTRACT

ANJOS, R.F. **Study of the leaks on flexible plastic used for the packaging of dried cooked beef (Beef Jerky).** 2017. 88p. Masters dissertation – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, University of São Paulo. Pirassununga, 2017.

The objective of the present study was to evaluate the leakage of the flexible plastic packaging system used for the packaging of Beef Jerky, which is carried out through the application of vacuum, modified atmosphere and the insertion of oxygen absorbers. During 1 month were made evaluations of the defects that causes the leakage in the production of Beef Jerky at three plants located in Brazil. The defects were mapped, identified and evaluated through microscopic analysis of the flexible film structure, oxygen analyzes of the packaging headspace and the seal channels verification tests. The results presented in this research demonstrated that the origins of leakage are related to physical, biological and human factors. After improvements such as the alteration of the production line and training of the operators, the increase of the seal thickness and the reduction of the applied vacuum amount, there was noted a reduction of 33,66%, 51,32% e 43,59% of sealing defects, respectively. It has also been observed that the package O_2 transmission rate (OTR) can be reduced and consequently the mechanical barrier can be increased enabling reduction of mechanical defects in the packages. The replacement of the absorbent sachets, which may be damaged by contact with the product, for the active packaging systems containing the active principle incorporated in the film was also proposed, but it was not recommended since the residual oxygen did not reach less than 1% of after 72 hours. The preliminary result has shown that this system is less efficient than the current one and that further studies and improvements of the technology must be made so that the application of the packages in the system of Beef Jerky packaging will be efficient.

Keywords: barrier, defects, seal, oxygen, MAP.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Exportações de carne brasileira em 2016 20
Figura 2. Fluxograma simplificado do processamento da carne bovina 21
Figura 3. Padrão de cores da carne bovina fresca 23
Figura 4. Ação do Nitrito em Carnes Curadas 24
Figura 5. Carne bovina desidratada (*Beef Jerky*) 25
Figura 6. Carne bovina magra fatiada 25
Figura 7. Processamento térmico 26
Figura 8. A matriz da embalagem 27
Figura 9. Interações entre embalagem, produto e ambiente 28
Figura 10. Estrutura do EVOH 29
Figura 11. Efeito da umidade relativa na permeabilidade do O_2 em filmes de EVOH 30
Figura 12. Estrutura do Nylon 6 31
Figura 13. Estrutura do PVDC 31
Figura 14. Transporte de massa molecular através de um polímero plástico 35
Figura 15. Concentração de O_2 em embalagem com absorvedor de O_2 e MAP 40
Figura 16. Reação química do componente férrico com o O_2 41
Figura 17. Vazamentos no corpo embalagem de tipos (a) orifício e (b) canal de solda ... 44
Figura 18. Mapa indicativo da estabilidade dos alimentos mostrando o efeito da concentração de a_w e umidade nas taxas de importantes reações deteriorantes 46
Figura 19. Processamentos térmicos recomendados para diferentes tipos pH e a_w em alimentos 47
Figura 20. Foto microscópica do conteúdo ativo absorvedor de O_2 incorporado em filme multicamada 49
Figura 21. *Beef Jerky* sabor *peppered* 51
Figura 22. Processamento produtivo do *Beef Jerky* 53
Figura 23. Embalagem com produto final antes do fechamento 55
Figura 24. Produto padrão com 18 meses de validade e hermeticamente fechado 57
Figura 25. Produto após 1 (um) mês da perda da hermeticidade 57
Figura 26. Produto após 6 meses da perda da hermeticidade 57
Figura 27. Produto após 12 meses da perda da hermeticidade 57
Figura 28. Microscópio Bioptika 58
Figura 29. Analisador de O_2 residual 59
Figura 30. Ensaio de verificação de canais de solda 59
Figura 31. Acompanhamento das possíveis causas de defeitos nas embalagens bulk 61
Figura 32. Mapas dos furos localizadas nas paredes das embalagens. 62
Figura 33. Estrutura da embalagem externa intacta e sem defeitos (100x) 62
Figura 34. Estrutura da embalagem externa com defeito (orifício forçado 100X) 62
Figura 35. Vinco na embalagem sem danificar a estrutura (100X) 63
Figura 36. Vinco na embalagem com a estrutura danificada (100X) 63
Figura 37. Orifício na parede da embalagem (vista frontal 50X) 63
Figura 38. Orifício na parede da embalagem (corte transversal 100X) 63

Figura 39. Canal na solda da embalagem. Fonte: Própria Autoria. 63
Figura 40. Teste de líquido penetrante. Fonte: Própria Autoria. 63
Figura 41. Reclamações do cliente em 2016 relacionados à perda da hermeticidade em relação ao total das 3 plantas. 64
Figura 42. Fluxo da área de envase e encaixotamento 66
Figura 43. Ponto de abrasão na mesa de selagem. 67
Figura 44. Ponto de abrasão na mesa de inspeção 67
Figura 45. Esteira com ranhuras 67
Figura 46. Ponto de solavanco entre esteiras de transporte 67
Figura 47. Manuseio errado da embalagem pelo colaborador 67
Figura 49. Resultados após melhorias na linha de produção e treinamento dos colaboradores (Planta1). 68
Figura 49. Solda superior de 4mm 69
Figura 50. Teste de líquido penetrante em solda de 9mm 69
Figura 51. Resultados após aumento da espessura da solda da embalagem externa para 0,9 mm (Planta 1) 70
Figura 52. Embalagem com excesso de vácuo 70
Figura 53. Produto compactado 70
Figura 54. Embalagem com excesso de vácuo (6 segundos). 72
Figura 55. Embalagem com redução de vácuo (3 segundos). 72
Figura 56. Comparação da absorção do O_2 em sistema de MAP com vácuo aplicado com 6 segundos e 3 segundos. 72
Figura 57. Resultados após redução do tempo de vácuo para 3s 73
Figura 58. Abas da caixa de transporte 76
Figura 59. Folha de papelão de 5mm 77
Figura 60. Absorvedor de O_2 em contato com o produto final 77
Figura 61. Sachê de absorvedor de O_2 e seu conteúdo interno 77
Figura 62. Comparação entre sistema de embalagem com sachê absorvedor de O_2 (controle) e embalagens ativas com filme ativo (embalagem interna ativa selada ou aberta) 78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Conteúdo de mioglobina na musculatura de diversas espécies de animais 23
Tabela 2. Principais propriedades e aplicações de gases na indústria alimentícia 34
Tabela 3. Taxas de transmissão de vapor de água e gases (O_2, CO_2, N_2) e outras propriedades mecânicas e de processamento dos filmes de polímero mais comuns aplicados em embalagens para alimentos. 37
Tabela 4. Fatores de deterioração em diferentes tipos de alimentos relacionados ao diâmetro do furo da embalagem 48
Tabela 5. Especificações das embalagens 52
Tabela 6. Situação Atual 60
Tabela 7. Melhorais propostas 65
Tabela 8. Resultado das alterações realizadas 73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BOM	Nylon Orientado Biaxialmente
BPF	Boas Práticas de Fabricação
EVA	Acetato de Vinila
EVOH	Copolímero de Etileno e Álcool Vinílico
MAP	Modified Atmosphere Packaging
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
OPP	Polipropileno Orientado
PA	Poliamida
PE	Polietileno
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PEBD	Polietileno de Baixa Densidade
PET	Tereftalato de Polietileno
pH	Potencial Hidrogeniônico
PIB	Produto Interno Bruto
POP	Procedimentos Operacionais de Produção
PP	Polipropileno
PVC	Policloreto de Vinila
PVdC:	Cloreto de Polivinilideno
TPO_2	Taxa de Permeabilidade ao Oxigênio
TPVA	Taxa de Permeabilidade ao Vapor de Água
UR	Umidade Relativa

LISTA DE SÍMBOLOS

a_w	Atividade de Água
CC	Centímetro Cúbico (cm^3)
Ar	Argônio
Cl_2	Cloro
CO_2	Gás Carbônico
Fe	Ferro
H_2	Hidrogênio
H_2O	Água
H_2CO_3	Ácido carbônico
H_2N	Óxido Nitroso
He	Hélio
Hg	Mercúrio
HNO_2	Ácido Nitroso
K	Potássio
KNO_3	Nitrato de Potássio
N_2	Nitrogênio
N_2O_3	Trióxido de Dinitrogênio
N_2O	Óxido Nitroso
Ne	Neônio
NO	Óxido Nítrico
NO_2	Dióxido de Nitrogênio
NO_3	Nitrato
O_2	Oxigênio
O_3	Ozônio
SO_2	Dióxido de Enxofre

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 17
2 OBJETIVOS 19
3 REVISÃO DE LITERATURA 20
3.1 CARNE BOVINA 20
3.1.1 A qualidade percebida 21
3.1.2 Sabor 22
3.1.3 Textura 22
3.1.4 Cor 22
3.1.5 Processo de Cura 23
3.2 CARNE BOVINA DESIDRATADA (*BEEF JERKY*) 24
3.2.1 Processo Produtivo 25
3.3 EMBALAGENS 26
3.3.1 Escolha do material para a embalagem 27
3.3.2 Embalagens plásticas 29
3.3.3 Polímeros de Alta Barreira 29
3.3.4 Embalagens à vácuo 32
3.3.5 Embalagens com atmosfera modificada (MAP) 32
3.3.6 Gases conservantes para embalagens de carne bovina 34
3.3.7 A permeabilidade das embalagens plásticas 35
3.3.8 Equipamentos 39
3.3.9 Embalagens ativas – Absorvedores de O_2 39
3.3.10 Vida de Prateleira (*Shelf-Life*) 43
3.3.11 Perda da Hermeticidade 43
3.3.12 Efeito de vazamentos nas embalagens de alta barreira 45
3.3.13 Degradação do produto devido a presença de O_2 45
3.3.14 Degradação do produto devido ao aumento de a_w 46
3.3.15 Métodos de detecção de vazamentos 48
4 MATERIAIS E MÉTODOS 50
4.1 Materiais 50
4.1.1 Produto 50
4.1.2 Embalagens 51
4.1.3 Amostragem e produção 52
4.1.4 Sistema de inspeção 55
4.1.5 Problemas ocasionados 56
4.2 Métodos 58
5 RESULTADOS 60
5.1 Acompanhamento do processo e detecção de falhas 60
5.2 Resultados associados às mudanças estabelecidas. 64
5.3 Melhorias na linha de produção e treinamento dos colaboradores 65
5.3.1 Metodologia de Treinamento 68
5.4 Aumento da espessura da solda superior da embalagem externa 69

5.5 Redução do vácuo aplicado na embalagem 70
5.6 Desenvolvimento de embalagem externa mais resistente 73
5.7 Alteração da caixa de embarque 76
5.8 Desenvolvimento de embalagem ativa com filme absorvedor de O_2 77
5.8.1 Discussão com os resultados da literatura 79
6 CONCLUSÃO 80
7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 81
8 REFERÊNCIAS 82

1 INTRODUÇÃO

As embalagens são estruturas amplamente utilizadas na proteção, distribuição e transporte dos produtos alimentícios para o consumo humano, com o objetivo de melhorar as condições de manipulação, informação e vida de prateleira destes produtos. São utilizadas tanto fora quanto dentro do ambiente fabril, auxiliando em diversos processos como, por exemplo, no armazenamento de matérias-primas e insumos antes da conversão para o produto final.

Atualmente a embalagem é um componente essencial no cotidiano das pessoas viabilizando e facilitando a conexão entre a produção e o consumo dos produtos. Quando manipulada corretamente, a embalagem garante a segurança e a qualidade do produto final acondicionado dentro do recipiente.

Existem diversos tipos de materiais que podem ser utilizados como embalagens tais como madeira, papel, plástico, alumínio, ferro, dentre outros. Estes materiais podem ser utilizados puros ou combinados na fabricação das embalagens. Os materiais plásticos são uma das estruturas mais utilizadas na fabricação de embalagens para diversos tipos de produtos e possuem, em sua maioria, alta flexibilidade estrutural que facilita o preenchimento dos espaços vazios durante a distribuição e na exposição dos produtos finais. Estas vantagens podem reduzir os custos com fretes e com as áreas reservadas nas gondolas de supermercados uma vez que a área ocupada por quilograma de produto é menor.

A composição e a estrutura das embalagens dependem dos alimentos a serem acondicionados e das condições do ambiente em que estes produtos serão distribuídos, comercializados e consumidos. A carne bovina fresca, por exemplo, é um alimento perecível que possui elevada quantidade de água livre em sua composição e quanto maior a quantidade de água livre melhor deve ser as características do sistema de embalagens que a protege.

Quanto aos fatores externos a embalagem deve proteger o produto tanto das contatos mecânicos e sujidades do meio ambiente, quanto da luz, umidade e dos gases atmosféricos que podem deteriorar os alimentos. Porém, independentemente de o sistema de embalagem ser desenvolvido corretamente, a hermeticidade é uma característica fundamental para que todo sistema funcione e para que o produto se mantenha seguro durante toda a sua vida de prateleira. A hermeticidade é a integridade do sistema de embalagens com um todo, onde qualquer falha neste sistema pode colocar em risco a segurança e a qualidade do produto final.

A perda da hermeticidade pode, por exemplo, permitir a passagem de altas concentrações de oxigênio (O_2) para dentro da embalagem. O O_2 é o principal gás atmosférico que atua na deterioração dos alimentos pois promove a rancificação das gorduras, o escurecimento enzimático e a oxidação das vitaminas, além de promover o desenvolvimento de microrganismos deteriorantes e patogênicos. A passagem de umidade relativa do ambiente para o interior das embalagens também é outro fator importante que atua na aceleração da deterioração dos alimentos, uma vez que, esta passagem pode aumentar a atividade de água livre do produto final a níveis acima dos considerados seguros para o desenvolvimento microbiano.

Além da hermeticidade das embalagens outro fator importante e intrínseco das embalagens flexíveis é a permeabilidade aos gases atmosféricos que se movem através da estrutura das embalagens no decorrer do tempo (ROBERTSON, 2009). Ou seja, mesmo que o sistema de embalagens esteja fechado existe a passagem gradual de gases, umidade e odores estranhos através das embalagens. Diferentes combinações de materiais plásticos podem ser utilizadas para reduzir esta permeabilidade evitando assim a deterioração acelerada dos produtos acondicionados. Outros fatores como a exposição à luz, variações de temperatura e umidade relativa, e ações mecânicas também afetam consideravelmente a vida de prateleira dos alimentos.

Na indústria de carnes frescas e processadas a grande parte das embalagens utilizadas são plásticas e flexíveis. Estas embalagens possuem, em sua maioria, espessuras finas entre 50μm a 200μm e geralmente moldam-se em volta do produto acondicionado. Neste grupo encontram-se os sacos, envoltórios e tripas artificiais, “pouches”, filmes termo-encolhíveis, esticáveis, dentre outros. As embalagens flexíveis podem ser combinadas com diferentes tipos de polímeros para obtenção das propriedades de barreira necessárias que atendam aos requisitos de conservação dos produtos.

Além da estrutura ideal e da hermeticidade das embalagens flexíveis novas tecnologias também contribuem para a manutenção e extensão da vida de prateleira dos alimentos. Atualmente a aplicação do vácuo juntamente com a atmosfera modificada (*Modified Atmosphere Packaging* - MAP) é uma das tecnologias mais difundidas da última década na indústria de alimentos e que trouxe inúmeros avanços para a qualidade dos produtos acondicionados.

Estas tecnologias consistem na remoção do O_2 do espaço livre interno da embalagem por meio da aplicação de vácuo e de gases, como o nitrogênio (N_2), o gás carbônico (CO_2)

e o Hélio (He), e portanto, após a aplicação da MAP e do fechamento hermético da embalagem o ambiente interno (espaço livre) atinge baixos níveis de concentração de O_2 (LECHEVALIER, 2016).

Ainda assim, para alguns alimentos, mesmo com a aplicação da MAP e com o sistema de embalagens perfeitamente hermético não é possível a remoção completa do O_2 residual. A carne bovina cozida e desidratada (*Beef Jerky*), objeto desta dissertação, é um dos exemplos em que a aplicação da MAP não é suficiente para que o residual de O_2 da embalagem fechada atinja 0%. Nestes casos são utilizadas as embalagens ativas como os sachês absorvedores de O_2, que são responsáveis por absorver todo o O_2 residual que não foi possível ser retirado com a aplicação do vácuo e da MAP.

2 OBJETIVOS

Neste presente trabalho foram estudados os fenômenos que ocasionam a perda da hermeticidade das embalagens plásticas flexíveis utilizadas na produção de *Beef Jerky* desde a fabricação do produto até a estocagem, transporte e distribuição, com o intuito de identificar, avaliar e propor soluções para a redução dos problemas referentes à perda da hermeticidade das embalagens que acondicionam o produto final.

Para melhorar o desempenho do sistema de embalagens utilizado na produção de *Beef Jerky* foram propostas alternativas de embalagens, bem como alteração dos equipamentos utilizados para o empacotamento do produto, além da alteração da forma de manuseio da embalagem contendo o produto final.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 CARNE BOVINA

O segmento industrial da cadeia produtiva de carne bovina compreende dois setores distintos, o produtivo e o de abate. As empresas que normalmente atuam no abate de animais são os abatedouros e os frigoríficos com processamento e industrialização de carnes (MORALES, 2006). O abate de bovinos, assim como de outras espécies animais, é realizado para a obtenção de carne e de seus derivados destinados ao consumo humano (PACHECO; YAMANAKA, 2008).

A carne bovina é um dos commodities mais exportados pelo Brasil. Em 2016 o volume de exportações de carne brasileira foi de 1,4 milhões de toneladas dentre as quais 76,9% foram de carne bovina in natura, 14% de miúdos, 8% de industrializada, 1% de tripas e 0,2% de salgadas (Figura 1) (ABIEC, 2017).

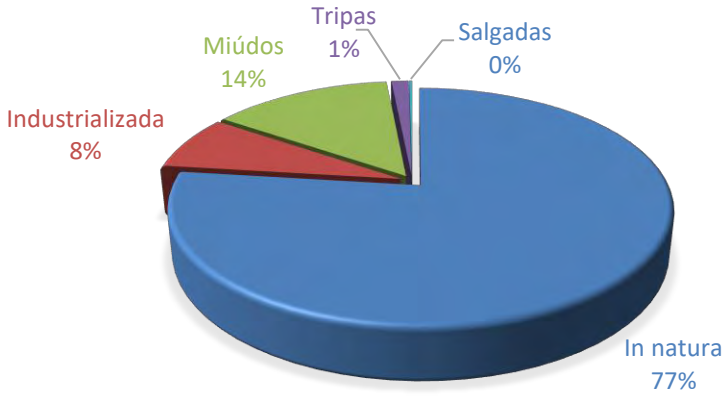


Figura 1. Exportações de carne brasileira em 2016

Fonte: ABIEC, 2017

A carne e as vísceras obtidas do abate de bovinos, e de outras espécies animais, podem ser processadas e transformadas em diversos produtos (Figura 2), principalmente para o consumo humano, tais como: peças de carne, carnes temperadas, charques (carne seca), presuntos, mortadelas, salsichas, linguiças, salames, patês, carnes enlatadas, caldos de carnes concentrados, entre outros (CETESB, 2008).

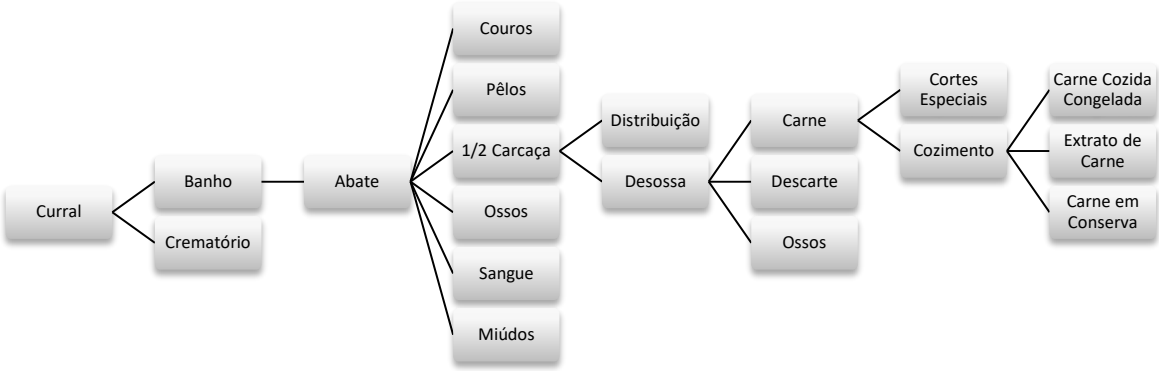


Figura 2. Fluxograma simplificado do processamento da carne bovina

Fonte: SANTOS et al., 2007

Os produtos de carne processados, que incluem diferentes tipos e variações locais e regionais, são alimentos de origem animal, que contribuem com proteínas valiosas para as dietas humanas. A carne e a gordura musculares, são os principais ingredientes destes produtos, além de outros tipos de tecido, como os órgãos internos, peles e sangue ou também ingredientes de origem vegetal (FAO, 2007).

Todos os produtos de carne processados são tratados de alguma forma fisicamente e/ou quimicamente. Estes tratamentos vão além do simples corte de carne em pedaços de carne com subsequente cozimento a fim de tornar a carne palatável. As tecnologias de processamento de carne incluem (FAO, 2007):

- Corte / moagem / redução de tamanho
- Mistura / *tumbleamento*
- Salga / cura
- Adição de especiarias / aditivos não cárneos
- Recheio / enchimento em tripas ou outros recipientes
- Fermentação e secagem
- Tratamento térmico
- Defumação

3.1.1 A qualidade percebida

A qualidade da carne bovina é dividida entre qualidade objetiva e subjetiva. Dentre os fatores objetivos que afetam a qualidade da carne estão a sua composição, reações de deterioração, cor, uso de aditivos, nutrientes, aromatizantes, ingredientes funcionais, dentre outros. A qualidade subjetiva está relacionada com a percepção e a preferência do consumidor e está diretamente ligada às cinco características sensoriais fundamentais do ser

humano como sabor, odor, tato e visão (NOLLET, 2007). Todas estas características indicam a percepção do que é a qualidade da carne, onde a qualidade percebida ou exigida para a carne fresca não é necessariamente a mesma para a carne processada.

3.1.2 Sabor

O sabor da carne fresca é resultado da combinação dos gostos básicos (doce, salgado, amargo, ácido e umami) que são derivados de compostos solúveis em água e odores derivados de uma variedade de substâncias presentes na carne crua. Os lipídeos presentes no tecido muscular (gordura subcutânea, gordura intramuscular, gordura intermuscular, lipídios e fosfolípidos estruturais) também servem como fonte de muitos desses constituintes de sabor (BREWER, 2010). O tecido muscular também contém compostos que contribuem para os sabores indesejáveis no produto final como resultado da genética, do sexo do animal, do conteúdo heme do tecido muscular e da dieta. O sabor de fígado é um sabor indesejável da carne bovina que aumenta à medida que o teor de ferro aumenta (YANCEY et al., 2006).

3.1.3 Textura

A textura do produto final depende do músculo a partir do qual a carne foi retirada. A carne do contrafilé (*Psoas major*), por exemplo, é mais macia do que as carnes provenientes do traseiro como o coxão mole (*Gluteus medius*), acém (*Infraspinatus*) e coxão duro (*Rectus femoris*) (STETZER et al., 2007). Em geral, a carne mais macia é derivada de músculos que foram menos utilizados pelo animal quando ele estava vivo, enquanto a carne mais resistente é derivada de músculos que são mais utilizados (locomotor, postural). No entanto, tanto a genética quanto a idade afetam a textura (BREWER, 2010). A textura depende também, em parte, da degradação proteolítica das proteínas miofibrilares estruturais (KOOHMARAIE et al., 2002). A melhora da textura com o envelhecimento varia entre animais dentro de uma raça e entre músculos dentro de um animal (WICKLUND et al., 2005; NOVAKOFSKI; BREWER, 2006).

3.1.4 Cor

A cor e a aparência da carne fresca são fatores importantes nas decisões de compra do consumidor uma vez que são indicadores de frescor e qualidade da carne (BREWER et al., 2002). A cor da carne se deve à concentração de pigmentos heme (mioglobina e hemoglobina) presentes no músculo, seus estados químicos e propriedades de dispersão de luz (LAWRIE, 2002). Carne bovina de animais jovens (1-2 anos) possui menor quantidade

de mioglobina do que a carne bovina de animas adultos (4-6 anos) (Tabela 1) (SGARBIERI, 1996).

Tabela 1. Conteúdo de mioglobina na musculatura de diversas espécies de animais

Espécie Animal	Concentração de mioglobina (mg/g tecido)
Peito de Frango	0,05
Carne de porco	1,0 – 4,0
Carne de carneiro	6,0 – 12,0
Carne bovina (1 – 2 anos)	4,0 – 10,0
Carne bovina (4 – 6 anos)	16,0 – 20,0
Carne de baleia	50,0

Fonte: SCARBIERI, 1996

Quando exposta ao O_2 por um curto período de tempo a mioglobina se converte em oxiomioglobina que é vermelho brilhante. No entanto, quando exposto ao O_2 por um período prolongado, o átomo de ferro central pode perder um elétron (oxidando-se a Fe^{3+}), produzindo então a metamioglobina que é cinza-marrom (BREWER, 2010). A mioglobina também pode ser reduzida à desoximioglobina que é vermelho-púrpura e geralmente encontrada na carne embalada à vácuo (BAK, et al., 2012). Com nenhum O_2 as bactérias aeróbias não crescem (Figura 3) (UTTARO, 2010).

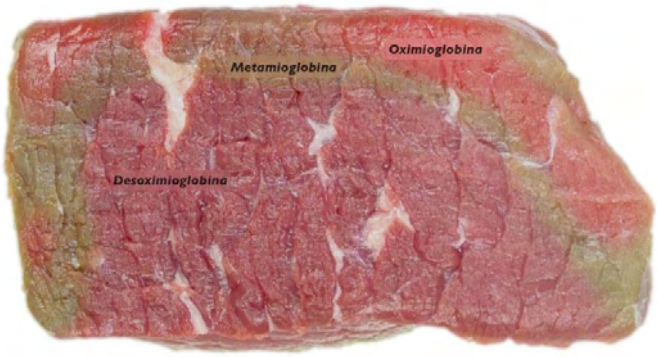


Figura 3. Padrão de cores da carne bovina fresca

Fonte: CHARCUTARIA, 2014

3.1.5 Processo de Cura

Originalmente, a cura da carne era conhecida como a adição de sal à pequenos cortes de carne a fim de se diminuir a sua atividade de água evitando o crescimento microbiano e deterioração química, além de amaciar a carne e conferir sabor ao produto. No século 19, os processadores de carne perceberam que alguns sais preservavam melhor a carne do que outros, e notaram também alguns sais melhoravam e estabilizavam a cor da carne vermelha (HONIKEL, 2010). A coloração da carne por compostos de sais contendo nitrogênio (N_2)

foi entendida somente na virada do século 20 e somente nas últimas duas décadas do século foi descoberta a ação do nitrito (NO_2) também sobre sabor e a preservação da carne (GREVER; RUITER 2001; EFSA 2003; LÜCKE 2008).

O NO_2, em meio aquoso, é transformado em óxido nitroso (NO), o qual se liga à mioglobina formando-se a NO-mioglobina (nitrosomioglobina) (Figura 4), responsável pela cor rosada estável de produtos à base de carne bovina, ou reage com o ascorbato, aminoácidos e outros compostos presentes na carne (HONIKEL, 2008).

$$(KNO_3)\ nitrato\ \rightarrow redução\ por\ bactérias\ nitrato\ redutoras\ \rightarrow (KNO_2)\ nitrito$$

$$KNO_2 + H^+ \leftrightarrow HNO_2 + K^+$$
$$2HNO_2 \leftrightarrow N_2O_3 + H_2O$$
$$N_2O_3 \leftrightarrow NO + NO_2$$

$$NO + mioglobina \rightarrow NO \cdots mioglobina$$

Figura 4. Ação do Nitrito em Carnes Curadas

Fonte: HONIKEL, 2008

Adicionalmente, os íons de NO_2^- e NO_3^- se ligam aos cátions Fe^{2+} / Fe^{3+}, que estão presentes nas células da carne na forma de íons livres. A ligação dos íons de Fe pelo nitrito inibe o crescimento de alguns microrganismos como *Clostridium botulinum* (GREVER; RUITER 2001; EFSA 2003; LÜCKE 2008). A cor vermelha estável dos produtos cozidos contendo nitrito se transforma após deteriorações bacteriana permitindo ao consumidor reconhecer a deterioração do produto (HONIKEL, 2008).

3.2 CARNE BOVINA DESIDRATADA (*BEEF JERKY*)

A carne bovina desidratada (Figura 5), conhecida como *Beef Jerky*, é um produto rico em nutrientes, conveniente e que não necessita de refrigeração. Derivado da palavra em espanhol "charqui", que significa tiras de carne seca, pode ser produzido usando uma combinação de processos como cura, defumação e secagem. Tradicionalmente, o *Beef Jerky* era feito com a secagem ao sol, vento e fumaça de fogueiras como forma de preservar e prolongar a vida útil da carne. Hoje, o produto é produzido a partir de tiras de carne finas (carne bovina, suína, aves e etc.) ou carne moída e formatada (ROBINSON; MARCHELLO, 2016).

Figura 5. Carne bovina desidratada (Beef Jerky)

Fonte: ROBINSON; MARCHELLO, 2016

3.2.1 Processo Produtivo

O *Beef Jerky* é produzido a partir de carne bovina magra como o coxão duro, o lagarto e o coxão mole. A carne deve estar ausente de tecido conjuntivo ou gordura para obtenção de um produto com baixo teor de gordura (FEINER, 2006). É fundamental que os estabelecimentos produtores de *Beef Jerky* utilizem matérias-primas e ingredientes produzidos de acordo com as boas práticas de fabricação (BPF) concebidas para minimizar a contaminação, a presença e a multiplicação de agentes patogênicos de interesse para a saúde pública, de forma que a carga patogênica inicial não seja superior àquela que o processo foi desenvolvido para reduzir (FSIS, 2012).

Para produzir o *Beef Jerky* a carne magra é fatiada de 4 a 8 mm de espessura (Figura 6) e posteriormente marinada com geralmente água, sal, nitrito de sódio, eritorbato de sódio, açúcar e especiarias (alho, cebola, pimenta e etc). A carne é deixada marinando por 12 a 14 horas sob refrigeração antes de ser disposta em telas ou pendurada para serem desidratadas (FEINER, 2006).

Figura 6. Carne bovina magra fatiada

Fonte: SWEET AVA KATE, 2013

O processamento térmico de cozimento e desidratação (Figura 7) é definido como a etapa, ou etapas, usadas para realizar a redução ou a eliminação de microrganismos

patogênicos presentes no produto, para assim torná-lo seguro para consumo humano (FSIS, 2012). Durante a desidratação, a cor pode mudar devido a reações químicas ou bioquímicas. A oxidação enzimática, as reações de Maillard e a caramelização são algumas das reações químicas que podem ocorrer durante a secagem e o armazenamento (PERERA, 2005).

Figura 7. Processamento térmico

Fonte: SMOKING MEAT FORUMS, 2017

Após o cozimento e a desidratação do produto os estabelecimentos devem controlar os processos para evitar a contaminação do produto com agentes patogênicos durante manipulação. Esses controles devem garantir que a contaminação cruzada do produto seja minimizada antes e depois do empacotamento do produto (por exemplo, uma boa solda da embalagem para manter a integridade do sistema durante todo o armazenamento, distribuição e comercialização) (FSIS, 2012).

3.3 EMBALAGENS

O universo complexo das embalagens movimenta mais de US$ 500 bilhões por ano, representando, entre 1% e 2,5% do PIB de cada país do mundo. No Brasil, o setor movimenta atualmente, R$ 47 bilhões e gera mais de 200 mil postos de trabalho diretos e formais (ABRE, 2016). Neste contexto as embalagens são distintas entre primárias, secundárias, terciárias e quaternárias. A primária é a embalagem que entra em contato direto com o produto e as demais servem em geral para a proteção, conveniência, comunicação e transporte dos produtos (ROBERTSON, 2006).

As embalagens realizam as suas funções de proteção, utilidade e comunicação em três diferentes ambientes: físico, biológico e humano (Figura 8). Qualquer falha na consideração destes ambientes no desenvolvimento de uma embalagem pode resultar em uma baixa qualidade final que por sua vez gera um aumento de custo e de reclamações ou até a rejeição do produto final pelo consumidor (COLES et al., 2003; ROBERTSON, 2009).

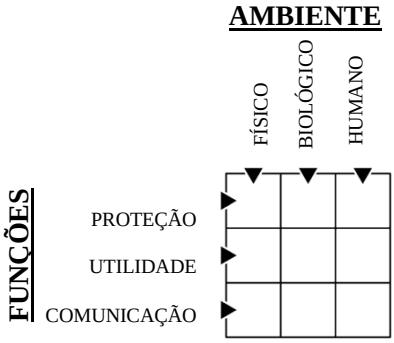


Figura 8. A matriz da embalagem

Fonte: COLES et al., 2003; ROBERTSON, 2009

No ambiente físico as embalagens podem sofrer contatos mecânicos como choques ocasionados por quedas e solavancos, vibrações, compressões, esmagamentos, perfurações e abrasões durante o transporte e o empilhamento das embalagens em armazéns, gôndolas de supermercados ou até nas residências dos consumidores. Já o ambiente biológico, se refere a tudo que envolve a embalagem como os gases atmosféricos, a água, a umidade relativa, os odores indesejáveis, a luz, a temperatura, as sujidades, os microrganismos (bactérias, fungos, mofos, leveduras e vírus) e os macrorganismos (roedores, insetos, ácaros e pássaros) que podem também entrar em contato com o produto caso a embalagem não esteja desempenhando o seu papel efetivo como uma barreira (COLES et al., 2003; ROBERTSON, 2009).

O fator humano refere-se a como as embalagens são manuseadas pelas pessoas e como o desenvolvimento de embalagem deve ser feito para este tipo de ambiente. Requer conhecimentos sobre as forças e as fraquezas humanas, a destreza, a memória, o comportamento cognitivo e assim por diante (YOXALL et al., 2007). Também se refere aos resultados dos comportamentos humanos como a responsabilidade, litígio, legislação e regulamentos (ROBERTSON, 2009).

3.3.1 Escolha do material para a embalagem

Os materiais mais utilizados na fabricação das embalagens de alimentos formam um grupo heterogêneo que inclui diversos materiais como vidro, metal, plástico e papel (LEE et al., 2008). A chave para a escolha do material correto para a embalagem é a identificação das necessidades do produto. Trata-se da natureza (tamanho, temperatura de enchimento, densidade e etc.), o mercado pretendido (indústria, comércio ou consumidor final), a vida de prateleira pretendida, a forma de distribuição, a armazenagem desde o ponto de venda até o

consumidor, e a sua utilização e eventual descarte pelo consumidor (COLES et al., 2003; FARMER, 2013), porém, o foco deve estar principalmente nas propriedades de barreira do material a ser utilizado.

As características dos materiais utilizados nas embalagens determinam as suas funções e devem, por conseguinte, ser utilizadas para proteger os alimentos das alterações físico-químicas e microbianas. Existe uma série de características mensuráveis (Figura 9) para as quais é possível determinar um valor limite de cada parâmetro de controle. Para além deste limite, o produto é considerado não conforme e pode ser um excelente meio nutriente para microrganismos (GIUSSEPE et al., 2015). É importante considerar também o tempo de contato entre o produto e o material, que depende da transferência de massa, bem como o tempo de contato entre a atmosfera externa, o material e a atmosfera interna (LECHEVALIER, 2016).

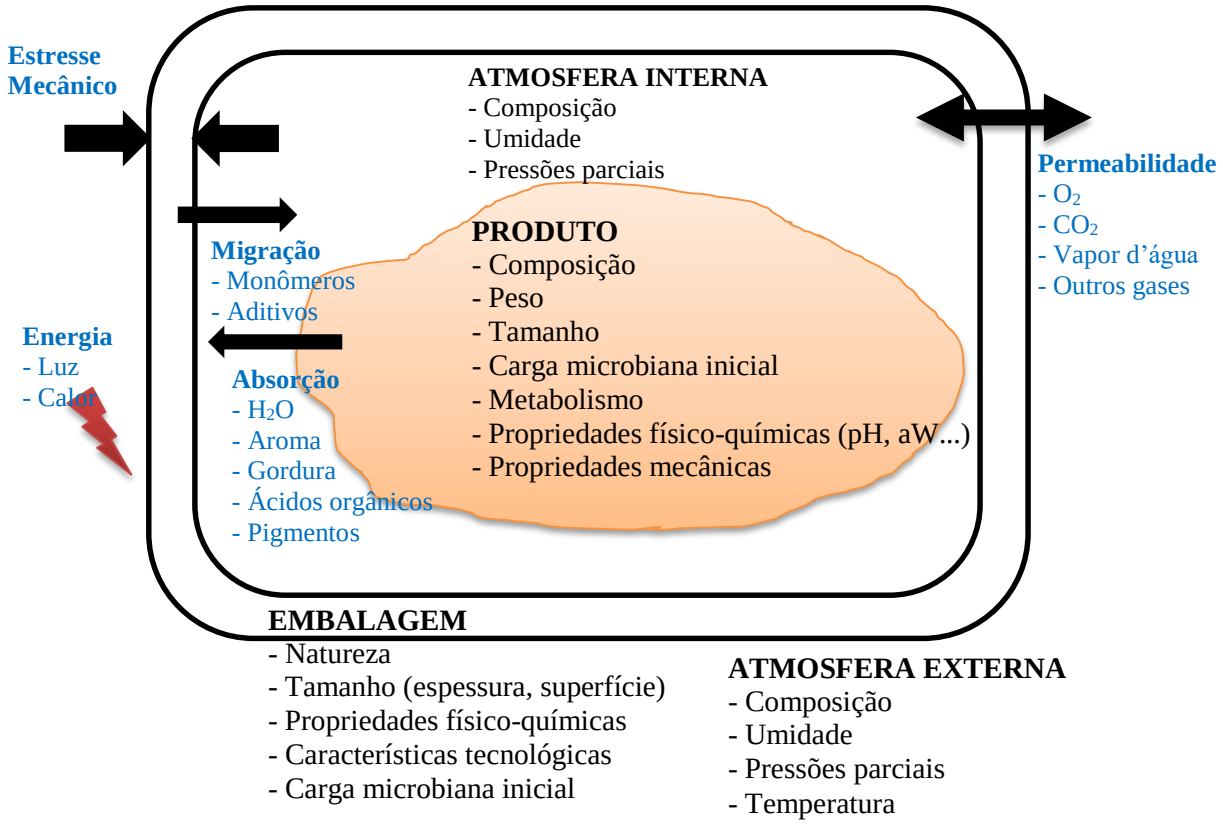


Figura 9. Interações entre embalagem, produto e ambiente

Fonte: Modificado de LECHEVALIER, 2016

3.3.2 Embalagens plásticas

As substâncias utilizadas para a fabricação dos plásticos são denominadas monômeros que são pequenas moléculas que se juntam pelo processo de polimerização para formação dos polímeros. Diferentes combinações de monômeros levam a uma grande variedade de plásticos, com grande variação de características e propriedades intrínsecas (PIATTI; RODRIGUES, 2005).

Embora muitos plásticos sejam constituídos somente de carbono e hidrogênio, outros elementos podem fazer parte da estrutura como o oxigênio (O_2), cloro (Cl), flúor (F) e nitrogênio (N_2) por exemplo. O PVC (policloreto de vinila) contém cloro (Cl), o nylon contém nitrogênio (N_2), o teflon contém flúor (F), o poliéster e os policarbonatos contêm o oxigênio O_2 (VAN WILLIGE, 2002).

3.3.3 Polímeros de Alta Barreira

Os polímeros do EVOH (Copolímero de Etileno e Álcool Vinílico) (Figura 10) são excelentes barreiras ao O_2, CO_2 e aos gases organolépticos como aromas, aromatizantes e fragrâncias em estruturas de embalagens multicamadas, tanto em filmes como em produtos moldados.

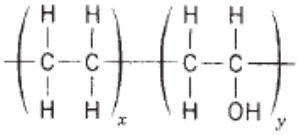


Figura 10. Estrutura do EVOH

Fonte: FINNIGAN, 2009

Em altas concentrações, os grupos hidroxilas do EVOH melhoram a característica de barreira aos gases O_2 e CO_2 mas pioram as características da barreira ao vapor d´água (Figura 11). Caso ocorra, a absorção de umidade pelo polímero reduz-se a propriedade de alta barreira aos gases O_2 e o CO_2 (FARMER, 2013).

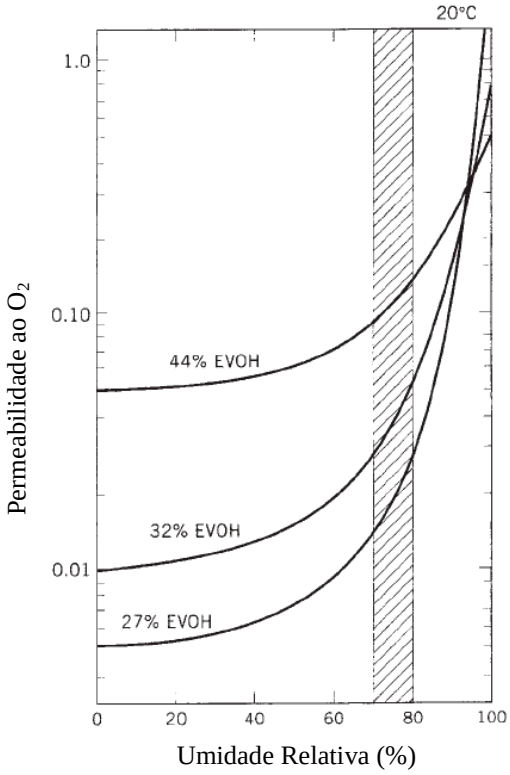


Figura 11. Efeito da umidade relativa na permeabilidade do O_2 em filmes de EVOH

Fonte: FOSTER, 2009

Combinações entre camadas de EVOH e camadas de polímeros de alta barreira à umidade evitam o contato do EVOH com a umidade reduzindo assim a possibilidade de absorção de moléculas de água pelo polímero. Além da proteção ao EVOH, a combinação aumenta as propriedades de barreira reduzindo assim a perda de umidade do alimento acondicionado para o ambiente ou vice-versa (FARMER, 2013).

Outra resina conhecida por suas altas barreiras a gases são as poliamidas, mais conhecidas como nylons. As poliamidas são obtidas pela policondensação de poliácidos e poliaminas. Apresentam excepcional tenacidade e resistência ao desgaste, além de baixo coeficiente de atrito, o que lhes possibilitam numerosas aplicações (PIATTI; RODRIGUES, 2005).

As várias poliamidas têm muitas propriedades em comum, possuem excelentes estabilidades térmicas e resistência à graxa e ao óleo. Como o EVOH, elas são boas barreiras aos gases quando em ambiente seco e se tornam altamente permeáveis em ambientes úmidos, portanto, geralmente são protegidas contra a umidade entre outras camadas de embalagens (FOSTER, 2009).

Em embalagens de alimentos, os nylons são utilizados exclusivamente como filmes combinados com PEBD (Polietileno de Baixa Densidade) ou PP (Polipropileno) para embalagens de queijos, carnes, carnes cozidas, nozes e alimentos congelados. Os filmes de nylon orientado biaxialmente (BON) possuem boas propriedades mecânicas e baixa permeabilidade a gases e aromas. Uma característica única dos nylons é a sua alta resistência à furos e devido a isto são utilizadas em aplicações onde esta propriedade é essencial como em embalagens para carne com ossos ou para nozes. Nos Estados Unidos, a maioria dos filmes de poliamida são de nylon 6,6 (Figura 12), enquanto na Europa são de nylon 11 (PAPADAKIS, 2016).

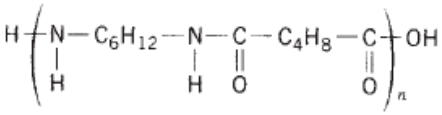


Figura 12. Estrutura do Nylon 6

Fonte: FINNIGAN, 2009

O PVDC (copolímero de cloreto de vinila e cloreto de vinilideno) é outra resina de alta barreira a gases muito conhecida e utilizada em quantidades relativamente pequenas como camada de barreira. Ao contrário do EVOH, possui excelentes propriedades de barreira à umidade, além de ser uma barreira de O_2 e CO_2. É uma boa barreira organoléptica e possui excelente resistência a óleos, gorduras e produtos químicos (FARMER, 2013).

O uso do PVDC (Figura 13) é contestado por várias questões que incluem custos, dificuldades de processamento e preocupações ambientais. O PVDC possui uma gama bastante estreita de temperaturas de processamento viáveis (10-15 °C), o que faz com que a sua coextrusão com outros polímeros que requerem altas temperaturas de processamento (como nylon, PET, policarbonato, etc.) seja difícil (MASSEY, 2003).

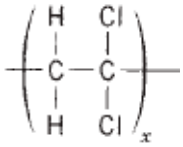


Figura 13. Estrutura do PVDC

Fonte: FINNIGAN, 2009

A folha de alumínio também pode ser combinada com diversos polímeros para fornecer propriedades de alta barreira em conjunto. Fornece uma boa barreira a gases e umidade quando é utilizada em espessuras superiores a 25,4 μm. Em espessuras mais finas,

a folha de alumínio se torna permeável devido à alta possibilidade da formação de micro furos (ROBERTSON, 2006).

A folha de alumínio é uma folha de liga de alumínio com espessuras entre 4 e 150 μm. Uma variedade de ligas (por exemplo, as séries 1000, 2000, 3000, 5000 e 8000) podem ser utilizadas para a fabricação de folhas dependendo da aplicação pretendida (folha para cozimento, laminada em filme plástico ou papel, bandejas semi-rígidas) (PAPADAKIS, 2016).

3.3.4 Embalagens à vácuo

O objetivo da aplicação do vácuo é de remover o gás O_2, que é o principal agente de deterioração dos alimentos, do interior das embalagens. A embalagem com aplicação de vácuo atinge aproximadamente 1% de O_2 residual em seu interior. Este residual pode ser reduzido ainda mais pela respiração dos tecidos do produto (no caso da carne, por exemplo) ou de bactérias, sendo substituído por CO_2 (LECHEVALIER, 2016) ou através da utilização de embalagem ativas como os absorvedores de oxigênio (FIESP/ITAL, 2010).

Em geral, são utilizados dois tipos de embalagens: a embalagem semirrígida constituída por um tabuleiro de plástico termo-formado revestido com uma película interna que entra em contato com o produto e uma película externa que serve como tampa e a embalagem em formato de bolsa com inserção de gás que faz com que o ar seja empurrado para fora da embalagem (LECHEVALIER, 2016).

Uma vantagem significativa da embalagem a vácuo é a similaridade entre o volume da embalagem e o volume do produto, sem espaços "vazios" dentro da embalagem. Os produtos secos (e resistentes a pressão externa) podem ser embalados em embalagens a vácuo, minimizando assim os custos de armazenamento e distribuição (FARMER, 2013).

Existem também algumas desvantagens da embalagem a vácuo como o fato de que promove as condições para o crescimento anaeróbio ou, no caso de carnes frescas, ocasiona a descoloração (LECHEVALIER, 2016).

3.3.5 Embalagens com atmosfera modificada (MAP)

A embalagem tipo MAP (*Modified Atmosphere Packaging*) surgiu pela primeira vez na França em meados da década de 1970. O seu objetivo é prolongar a vida útil dos alimentos, preservar as propriedades sensoriais limitando a degradação física, enzimática, bioquímica e microbiana além de apresentar o produto de uma forma mais atraente. As máquinas utilizadas são idênticas às utilizadas para as embalagens a vácuo onde muitas

vezes a mistura de gases é injetada na embalagem após o tratamento com o vácuo (SIVERTSVIK et al. 2012).

As MAP podem ser realizadas conjuntamente com sistemas de embalagens passivos, que equilibram a respiração do produto e a troca de gás através da embalagem. Tais sistemas, podem ser utilizados em embalagens para a indústria (*pouches* ou *bulks*), varejo ou em embalagens individuais. O sistema de embalagem *bulk* é também conhecido como pré-embalagem onde o produto é posteriormente embalado em pacotes menores para o varejo. Estas embalagens são geralmente constituídas de filmes plástico como polietileno de baixa densidade (LDPE), cloreto de polivinilico (PVC), tereftalato de polietileno (PET) e polipropileno (PP). O uso desses materiais é vantajoso por sua transparência, sua ação como barreiras à transmissão do vapor de água e sua seletividade na permeabilidade ao gás (ARVANITOYANNIS, 2012).

A escolha da atmosfera modificada para um determinado produto está intimamente ligada à sua atividade de água, que determina a sua sensibilidade a vários agentes de deterioração. Os três principais gases utilizados em embalagens de atmosfera modificada são N_2, CO_2 e O_2. Também é possível a utilização do He, Ar, e o N_2O (Tabela 2). A proporção de gás na embalagem deve ser próxima de um terço do volume total do produto (LECHEVALIER, 2016).

O N_2 é utilizado principalmente para substituir o O_2 do interior da embalagem que por consequência reduz a oxidação de pigmentos, aromas e gorduras. É um gás inerte, inodoro e é pouco solúvel em água ou gorduras, impedindo assim o encolhimento na embalagem. Também é usado para impedir o esmagamento de produtos crocantes (ex.: batatas fritas) (LECHEVALIER, 2016).

O CO_2 é um agente bacteriostático e fungistático que pode retardar a fase de crescimento exponencial e reduzir a taxa de proliferação de mofos e bactérias aeróbias (MCMILLIN, 2008. A concentração elevada de CO_2 tem um efeito inibitório seletivo, ao qual mofos e bactérias dos géneros *Pseudomonas* e *Achromobacter* são muito sensíveis (KING; NAGEL, 1967). O efeito inibitório do CO_2 é mais pronunciado se a embalagem for utilizada imediatamente após a produção quando os microrganismos ainda estão na fase latente e a carga microbiana é menor. Além disto, o efeito inibitório do CO_2 aumenta à medida que a temperatura diminui devido à sua solubilidade melhorada na fase aquosa do produto. Devido à sua solubilidade em água e gorduras, o CO_2 pode algumas vezes causar retração do filme de embalagem. O hélio (He) também é um gás utilizado nas MAP. É um

gás leve, ausente no ar, que é adicionado às misturas de gases para detectar vazamentos (LECHEVALIER, 2016).

Tabela 2. Principais propriedades e aplicações de gases na indústria alimentícia

Propriedades e Aplicações dos Gases	**N_2**	**CO_2**	**O_2**	**He**	**Ar**	**N_2O**
Resistência Mecânica	X					
Manutenção da Cor			X			
Antioxidante	X				X	
Solubilidade		X			X	X
Detecção de Furos		X		X		
Redução da Respiração (Vegetais)		X			X	X
Retardação do Amadurecimento (Vegetais)						X
Oxigenação			X			
Acidificação		X				
Expansão						X

Fonte: Modificado de LECHEVALIER, 2016

Para os alimentos secos são frequentemente utilizadas misturas de N_2 ou CO_2 puro ou N_2/CO_2 com uma elevada percentagem de CO_2. A porcentagem de cada gás depende de muitos outros fatores, tais como o tipo de flora contaminante, a carga microbiana inicial do produto, a higiene e manuseamento, o teor de aditivos, a temperatura de armazenamento, etc. O absorvedor de O_2 pode ser adicionado à mistura de gás para evitar quaisquer alterações indesejadas na atmosfera da embalagem (DRULHE, 1998).

3.3.6 Gases conservantes para embalagens de carne bovina

Uma série de diferentes gases são utilizados no processamento e empacotamento de carnes frescas. Os mais comuns são O_2, N_2, e o CO_2 e, mais recentemente, monóxido de carbono (CO). O uso de outros gases também já foi investigado e inclui dióxido de enxofre (SO_2), argônio (Ar) (WALSH; KERRY, 2002), hélio (He), hidrogênio (H_2), neônio (Ne), óxido nitroso (N_2O), óxido nítrico (NO), ozônio (O_3), cloro (Cl_2), etileno e óxido de propileno (CHURCH, 1994). O ar é composto de aproximadamente 21% de O_2, 78% de N_2 e 0,3% de CO_2 (SEBRANEK; HOUSER, 2006).

O gás N_2 possui baixa solubilidade em água e gordura e, portanto, reage pouco com as carnes frescas (que possuem de 70% a 75% de água). Devido a este fator, é útil utilizar o N_2 para remover o O_2 em embalagens para carnes (CHURCH, 1994; SEBRANEK; HOUSER, 2006).

O gás CO_2 é quase 60 vezes mais solúvel em água do que o O_2 e é, portanto, facilmente absorvido pela parte magra da carne mesmo que ele não se associe com a

mioglobina. Além disso, a estrutura linear desta molécula de gás não é fortemente polar, tornando-se facilmente solúvel na porção de gordura da carne (SEBRANEK; HOUSER, 2006). Ao reagir com água, o gás CO_2 forma o ácido carbônico (H_2CO_3), que pode diminuir o pH da carne e, portanto, aumentar o exsudado da carne (CHURCH, 1994). Quando o CO_2 é utilizado em embalagens de carne fresca principalmente como agente antioxidante e antimicrobiano (CHURCH, 1994; WALSH; KERRY, 2002), a correspondente falta de O_2 no ambiente resulta na cor de carne vermelho púrpura em vez de vermelha brilhante.

3.3.7 A permeabilidade das embalagens plásticas

A permeabilidade é uma característica definidora da embalagem e determina a transferência de massa através do material de embalagem (Figura 14). Estas transferências bidirecionais (da atmosfera externa para a interna e vice-versa) podem ocorrer na fase líquida, ou mais comumente na fase gasosa (gás, vapores e outras substâncias voláteis) (LECHEVALIER, 2016).

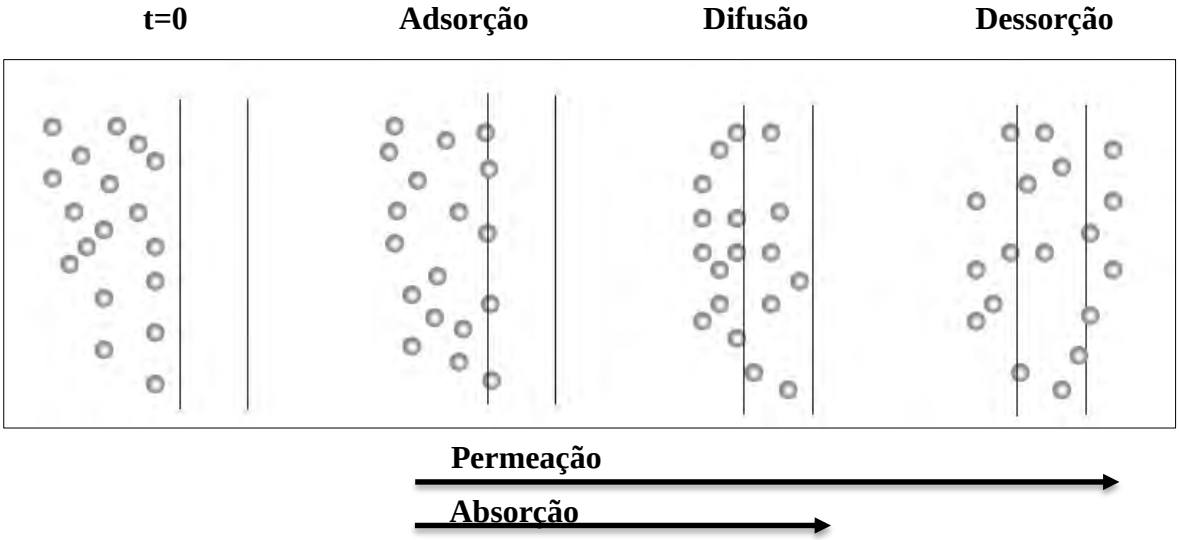


Figura 14. Transporte de massa molecular através de um polímero plástico

Fonte: GIUSEPPE et al., 2015

Em contraste aos materiais de embalagem feitos de vidro ou metal, as embalagens feitas com polímeros termoplásticos são permeáveis em diferentes graus às moléculas pequenas tais como gases, vapor de água, vapores orgânicos e outros compostos de baixo peso molecular. Um polímero plástico que é uma boa barreira a gases e vapor de água possui uma baixa permeabilidade (ROBERTSON, 2009).

Para a maioria dos polímeros, a permeabilidade ao CO_2 é cerca de três vezes maior do que a do O_2, que é ele próprio seis a oito vezes maior que o N_2. As propriedades de

barreira ao gás devem, portanto, ser avaliadas caso a caso, dependendo do tipo de gás, do tipo e espessura do material em questão, da duração de prateleira desejada e da pressão de gás necessária na embalagem (LECHEVALIER, 2016). Valores típicos para o coeficiente de permeabilidade de polímeros comerciais de embalagens de alimentos são apresentados na Tabela 3 (ARVANITOYANNIS, 2012).

O coeficiente de permeabilidade é independente da espessura. A quantidade total de proteção proporcionada por área unitária de um material de barreira aproxima-se de zero apenas assintoticamente. Consequentemente, à medida que a espessura L do polímero é aumentada para além de um certo valor, torna-se não econômico aumentar mais a mesma para obter uma permeabilidade mais baixa (ROBERTSON, 2009).

Tabela 3. Taxas de transmissão de vapor de água e gases (O_2, CO_2, N_2) e outras propriedades mecânicas e de processamento dos filmes de polímero mais comuns aplicados em embalagens para alimentos.

Filme	O_2 mL/m^2 dia atm	CO_2 mL/m^2 dia atm	N_2 mL/m^2 dia atm	H_2O g/m^2 dia atm	Propriedades
PVC rígido	150-350	450-1000	60-150	30-40	Boas propriedades de processamento, sensíveis aos solventes orgânicos.
PEBD	7.800	2800	2.800	18	Alta permeabilidade aos gases, baixa barreira a odor, versátil.
PEAD	2.600	7600	7.600	7-10	Propriedades de barreira superiores, filme rígido, clareza fraca.
PVDC	2-4	20-30	35-50	0,5-1	Resistência ao óleo, graxa e solventes orgânicos.
EVOH	0.5	-	-	1000	Alta barreira aos gases, caro, boas propriedades de processamento.
PP	2.000-4.500	10.000	680	5-12	Claro, prontamente processado.
PEBD linear	200	-	-	15,5-18,5	Resistência ao rasgo, maior potencial de alongamento, maior resistência à ruptura.
Ionômero	6.000	-	-	25-35	Sais metálicos de copolímeros ácidos de PE; Amplo fator selante térmico.
EVA	12.500	50.000	4.900	40-60	Alta flexibilidade, alta permeabilidade a gases e vapor.
PA	50-75	150-190	14	300-400	Alta resistência à tração, boa resistência à abrasão.
PET	100-150	-	-	15-20	Boa transparência, resistente à temperatura.
PS	4500-6000	18.000	-	70-150	Alta resistência à tração, barreiras deficientes.
OPP	2000	8.000	400	6-7	Resistência à graxa, maior barreira de vapor do que o PE.
OPP-PVdC revestido	10-20	35-50	8-13	4-5	Alta barreira para vapor de umidade e gases.
PVC plastificado	500-30.000	1.500-46.000	300-10.000	15-40	Resistente a substâncias não polares e fortemente polares.
PS orientado	5000	18.000	800	100-125	-
Poliuretano	800-1500	7.000-25.000	600	400-600	Os poliuretanos reticulados são utilizados como camadas de cola na embalagem de alimentos.

PVdC-PVC copolímero (Saran)	8-25	50-150	2-2,6	1,5-5	Baixa permeabilidade e bom estresse ambiental, resistência a fissuras a muitos agentes.
Poliéster orientado	50-130	180-390	15-18	25-30	-
Poliéster orientado revestido com PVdC	9-15	20-30	-	1-2	Boa barreira a gases e capacidade de vedação com calor,
Nylon 6	40	150-190	14	84-3100	PA feito a partir de um polímero de ε-caprolactama.
Nylon 6,6	78	140	6	45-90	Contém 6 átomos de carbono.
Nylon 11	500	2.000	52	5-13	Nylon 11 é feito a partir de um polímero de ω-undecanolactam.
Poliacrilonitrila	12	17	3	78	Resistência a ampla gama de produtos químicos, incapacidade de ser processada por fusão.
Polibutileno	5000	-	-	8-10	Resistente a impactos, suave e com boa resistência ao desgaste.

Fonte: Parry, T.R. Introduction, in *Principles and Applications of Modified Atmosphere Packaging of Food*, 1st edn., Parry, T.R. (ed.), Blackie Academic and Professional, London, U.K., ISBN: 0-7514-0084-X, 1993; McMillin, K.W., *Meat Sci*., 80, 43, 2008; Blakistone, B.A., Introduction, in *Principles and Applications of Modified Atmosphere Packaging of Food*, 2nd edn., Blakistone, B.A. (ed.), Aspen publications, Gaithersburg, MD, ISBN: 0-8342-1682-5, 1999; Coles, R. et al., *Food Packaging Technology*, Blackwell Publishing, Oxford, U.K., 2003; Robertson, G.L., *Food Packaging: Principles and Practice*. Food Science and Technology, Taylor & Francis, Boca Raton, FL, ISBN: 0-8493-3775-5, 2006; Piringer, O.G. and Baner, A.L., *Plastic Packaging Materials for Food*, Wiley VCH, Weinheim, Germany, 2000, ISBN: 3-527-28868-6

3.3.8 Equipamentos

Os equipamentos utilizados para o empacotamento de alimentos que utilizam MAP são divididos em duas categorias principais: de "*pouches*" ou de câmara. Os equipamentos de "pouches" podem ser divididos em duas outras categorias adicionais que são as máquinas de envase horizontal e as de envase vertical. Os equipamentos de câmara podem utilizar duas técnicas diferentes sendo que na primeira ocorre a termoformação do material na máquina e na segunda as embalagens já estão pré-formadas no tamanho desejado (HASTINGS, 1999).

As máquinas de preenchimento e selagem horizontais utilizam rolos de embalagens flexíveis que passam por ferramentas que formam a embalagem no tamanho desejado e em seguida o alimento é envasado no plano horizontal. Nas máquinas de envase verticais o material da embalagem passa através de um tubo de formação que é levantado no plano vertical e em seguida o alimento é envasado. Em ambas as maquinas horizontais ou verticais a MAP pode ser conferida com a aplicação de gases como o N_2 e CO_2 (ARVANITOYANNIS, 2012).

As máquinas de câmara termoformadoras necessitam do uso de materiais rígidos ou semi-rígidos. O material plástico é aquecido em uma câmara até o ponto em que é transferido para uma estação de formação onde é confeccionada a sua forma final. Neste processo pode-se aplicar o vácuo (ARVANITOYANNIS, 2012). As máquinas de câmara pré-formadoras são geralmente conhecidas como seladoras de bandejas onde elas são alimentadas manualmente ou automaticamente. A bandeja e o material da tampa superior são transferidos para a câmara de MAP onde são aplicados o vácuo e o gás. A tampa superior é selada termicamente (HASTINGS, 1999).

Existe outros tipos de máquinas para envases de alimentos conhecidas como empacotadoras *snorkel*. Estes equipamentos não precisam de uma câmara durante a modificação da atmosfera uma vez que são utilizadas hastes ou tubos para a aplicação da MAP dentro da embalagem. Através destas hastes o ar é substituído pela mistura de gás desejada. Após a aplicação da MAP a embalagem é selada termicamente. As máquinas *snorkel* são usadas para empacotar grandes quantidades de alimentos em embalagens *bulk* (ROBERTSON, 2006), como é o caso do produto *Beef Jerky*, objeto desta dissertação.

3.3.9 Embalagens ativas – Absorvedores de O_2

Nas últimas décadas, diversos sistemas da embalagem foram desenvolvidos com o objetivo de favorecer interação entre a embalagem e o produto. Esses sistemas são

denominados embalagens ativas, que podem ser definidas, de maneira geral, como aquelas que interagem com o alimento de forma desejável, para aumentar a vida de prateleira, melhorar a segurança microbiológica e manter as propriedades sensoriais do produto (BRODY, 2001).

As embalagens ativas incluem componentes que são capazes de atuar como (OZDEMIR; FLOROS, 2004):

- Absorvedores de O_2
- Absorvedores de umidade
- Absorvedores etileno
- Emissores de dióxido de carbono
- Emissores de etanol
- Antioxidantes e outros conservantes
- Controladores de temperatura compensando as mudanças de temperatura
- Micro-ondas

Em geral, a tecnologia de absorção de O_2 é baseada na oxidação ou na combinação de um dos seguintes componentes: pó de ferro, ácido ascórbico, polímeros fotosensíveis, enzimas, etc. Esses compostos são capazes de reduzir os níveis de O_2 para abaixo de 0,01%, que é menor do que os níveis tipicamente encontrados (0,3-3%) nos sistemas convencionais de MAP (CRUZ et al., 2007).

Os absorvedores de O_2 podem ser usados sozinhos ou em combinação com MAP (Figura 15). A prática mais comum é a remoção da maior parte do O_2 atmosférico com a MAP seguido pela inserção absorvedor relativamente pequeno e de baixo custo para absorver o O_2 residual restante dentro das embalagens (COLES et al., 2003).

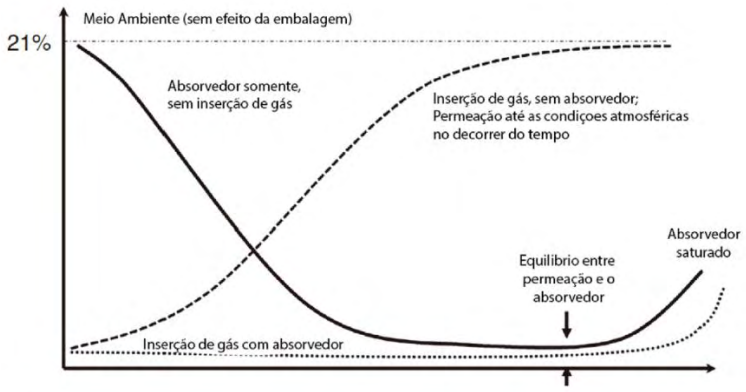


Figura 15. Concentração de O_2 em embalagem com absorvedor de O_2 e MAP

Fonte: Modificado de MORRIS, 2011

Mesmo em embalagens para carnes hermeticamente fechadas com MAP de 60% de N_2 e 40% de CO_2 e embalagens a vácuo, uma pequena quantidade de O_2 permanece no espaço livre das embalagens. Deve-se tomar cuidado pois o O_2 residual dentro da embalagem pode promover reações adversas como a oxidação lipídica, por exemplo. Em sistemas MAP para carne fresca e cozida foram detectados níveis de O_2 entre 1,15% e 1,26%. Foram relatados também resultados similares para frango, com concentrações de 0,9%-1,1% e 0,11%-0,15% para MAP e embalagens a vácuo, respectivamente, com as amostras mais oxidadas para produtos com MAP (SMIDDY et al., 2002).

Isto pode ser explicado pelo fato de que o ambiente gasoso da MAP não é estático, uma vez que pode ocorrer respiração do produto, o metabolismo microbiano e a troca de gás que atuam continuamente para mudar a composição da atmosfera interna da embalagem. As concentrações de O_2 residual em pacotes MAP podem ser atribuídas a uma série de fatores, como a permeabilidade ao O_2 e a selagem ineficaz do filme de embalagem (que ocasiona vazamentos) e também o fluxo ineficiente de gás durante a aplicação da MAP (ORTEGA-RIVAS, 2009).

A correta escolha de um absorvedor de O_2 depende da quantidade de gás O_2 que está presente no espaço livre da embalagem (*head space*), e/ou preso no interior do alimento após o envase e/ou que será permeado da atmosfera externa para o interior da embalagem durante o armazenamento. A natureza do alimento (tamanho, forma e peso), atividade da água e a vida útil desejada também são fatores importantes que influenciam na escolha dos absorventes de O_2 (VERMEIREN et al., 2003).

Os primeiros absorvedores de O_2 foram desenvolvidas em forma de sachês que são inseridos dentro das embalagens e em contato com o produto final. Os sachês contêm pó de ferro que por reação com a água (Figura 16) consomem o O_2 residual da atmosfera interna (FARMER, 2013).

$$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^{2-}$$

$$\frac{1}{2}O_2 + H_2O + 2e^- \rightarrow 2OH^-$$

$$Fe^{2+} + 2OH^- \rightarrow Fe(OH)_2$$

$$Fe(OH)_2 + \frac{1}{4}O_2 + \frac{1}{2}H_2O \rightarrow Fe(OH)_3$$

Figura 16. Reação química do componente férrico com o O_2.

Fonte: FARMER, 2013

CRUZ et al. (2007) avaliou a eficiência dos sachês absorvedores de O_2 da marca O-Buster® em ambiente com umidades relativas de 75%, 80% e 85% e diferentes temperaturas, 10 ± 2ºC e 25 ± 2ºC. Eles observaram que a absorção de O_2 pelo sachê aumentou à medida em que a umidade relativa aumentou para ambas as temperaturas. Portanto, os sachês absorvedores de O_2 foram mais ativos sob 25 ± 2ºC e 85% de umidade relativa.

O tamanho apropriado para um absorvedor de O_2 pode ser calculado pelas equações (1) e (2) (ROUSSEL, 1999; ATCO®, 2002). O volume de O_2 presente no momento da embalagem (A) pode ser calculado utilizando a fórmula:

$$A = \frac{(V - P)\ x\ [O_2]}{100} \tag{1}$$

Onde V é o volume do pacote acabado determinado por imersão em água expresso em ml, P é o peso líquido do produto acabado em gramas e $[O_2]$ é a concentração inicial de O_2 na embalagem (21% no caso do ar).

Além disto, é necessário calcular o volume de O_2 (B) que provavelmente permeará pela embalagem durante a vida útil do produto. Esta quantidade em ml pode ser calculada da seguinte forma:

$$B = S\ x\ P\ x\ D \tag{2}$$

Onde S é a superfície da embalagem em m^2, P é a permeabilidade da embalagem em ml / m^2 / 24h / atm e D é a vida útil do produto em dias. O volume de O_2 para ser absorvido é obtido pela adição de A e B. Com base nesses cálculos, o tamanho do sachê absorvedor pode ser determinado.

Embora o desempenho do sachê absorvedor de O_2 seja bastante satisfatório para uma ampla gama de alimentos, foram reconhecidas várias limitações para o uso destas embalagens ativas na prática. O lado estético de ter um sachê inserido em contato com o alimento juntamente com a preocupação de uma possível ingestão ou ruptura, bem como a sua inadequação para uso com alimentos líquidos, levou os pesquisadores a buscarem soluções baseadas em filmes para embalagens (ROONEY, 2005).

A incorporação do componente ativo dentro dos filmes de embalagens é a melhor maneira de resolver os problemas relacionados ao sachê (OZDEMIR; FLOROS, 2004), porém, em geral, a velocidade e a capacidade dos sistemas de absorção de O_2 incorporados nos filmes de embalagem são consideravelmente inferiores aos sachês absorvedores de O_2 (baseados em ferro) (KRUIJF et al., 2002).

3.3.10 Vida de Prateleira (*Shelf-Life*)

Para alimentos sensíveis ao O_2 ou ao ganho de umidade, como o *Beef Jerky*, algumas considerações devem ser feitas para se calcular a vida-de-prateleira teórica dos produtos (PAPADAKIS, 2016).

- Existe uma concentração máxima de O_2 no alimento ou uma alteração máxima do teor de umidade além do qual o alimento não é mais aceitável; Valores representativos para estes limites para vários alimentos podem ser obtidos a partir da literatura, no entanto, para valores mais precisos, os experimentos devem ser realizados para o produto alimentar específico;
- A quantidade total de O_2 ou vapor de água transferido através da embalagem do lado de fora para o interior da embalagem é absorvida pelo alimento e sua concentração no alimento é aumentada;
- No ambiente gasoso dentro da embalagem, a concentração de O_2 e a umidade relativa permanecem constantes. Assim, a força motriz e as taxas de transferência de O_2 e vapor de água através da embalagem são constantes. Na maioria das vezes, para alimentos sensíveis ao O_2, a pressão parcial de O_2 dentro da embalagem é considerada praticamente zero;
- O coeficiente de permeabilidade ao vapor de água *P* do material de embalagem é constante. A temperatura (*T)* e a umidade relativa (*UR*) do ambiente externo também são constantes;
- A principal resistência à transferência de vapor de água está no material de embalagem e não na massa dos alimentos. Há cada momento, o alimento tem umidade uniforme em toda a sua massa e está em equilíbrio com o ar dentro da embalagem, o que significa que a umidade relativa do ambiente interno da embalagem é igual à atividade inicial da água do alimento × 100. Esse pressuposto é geralmente válido para a maioria dos materiais de embalagem plástica que possuem valores de permeância (*P/L*) menores que 1 g m^{-2} $(dia)^{-1}$ $(mm\ Hg)^{-1}$.

3.3.11 Perda da Hermeticidade

Além da permeabilidade da embalagem, o vazamento através de furos também é um importante mecanismo de transporte de gás pela estrutura da embalagem (YAM, 2009). Um dos pontos fracos das embalagens de alta barreira são as fragilidades das soldas em que o O_2 permeia através do material de vedação da embalagem (PARISI, 2013).

Os orifícios e os canais de solda são dois tipos de problemas ocasionalmente encontrados em pacotes defeituosos. Os orifícios podem ser encontrados nas paredes da embalagem e os vazamentos de canal são canais minúsculos que podem ser encontrados em áreas de vedação defeituosas causadas por condições de vedação impróprias. Como os vazamentos do canal geralmente têm profundidades maiores do que os orifícios, suas taxas de vazamento podem ser mais lentas. Os vazamentos de canal também podem ser causados por contaminantes (como uma pequena partícula de alimento) ou rugas na área de selagem (YAM, 2009).

Pequenos vazamentos ocorrem devido aos abusos mecânicos encontrados durante o processamento e transporte e também à limitada resistência mecânica das embalagens. As principais preocupações com os pequenos vazamentos em pacotes que contêm alimentos sensíveis são (a) penetração microbiana que pode levar ao risco para a saúde e (b) interrupção da propriedade de barreira de gás da embalagem, causando a transferência acelerada de O_2, vapor de água e aromas através das embalagens, o que pode encurtar bastante a vida útil dos produtos sensíveis a gás, umidade e/ou aromas (CHUNG et. al, 2003).

A profundidade mais longa do canal representa uma maior resistência à penetração microbiana e ao transporte de gás, e, portanto, um orifício geralmente é mais prejudicial do que um vazamento de canal de mesmo diâmetro. Os diâmetros dos orifícios e vazamentos dos canais geralmente variam de 50 a 300 mm. A Figura 17 ilustra que o mecanismo de transporte de gás através de um pequeno furo envolve a difusão de moléculas de gás através de uma coluna de ar estagnado dentro do orifício (YAM, 2009).

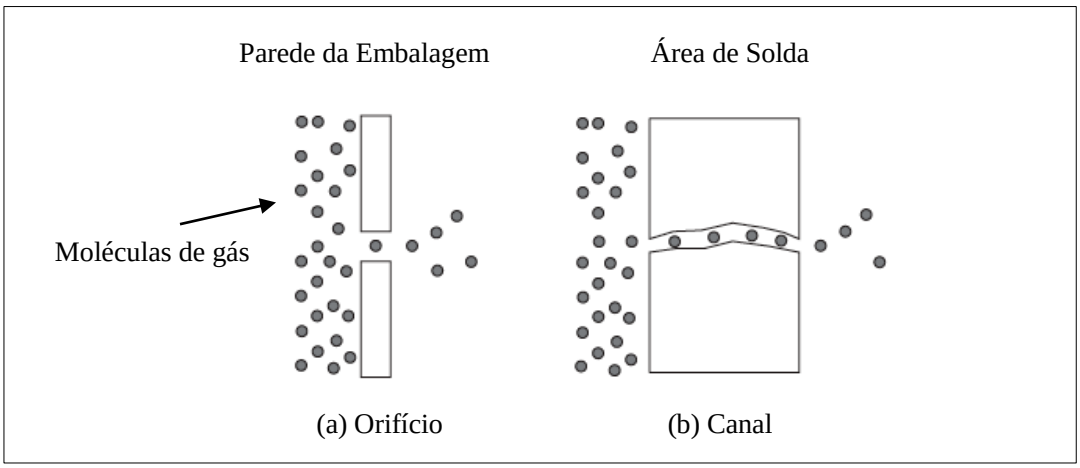


Figura 17. Vazamentos no corpo embalagem de tipos (a) orifício e (b) canal de solda
Fonte: (YAM, 2009).

Ao desenvolver um sistema de embalagem onde a integridade da selagem é primordial, tudo deve ser feito no projeto do sistema e seus equipamentos para eliminar as chances de canais na vedação. A melhor maneira é manter os materiais de embalagem sob tensão em duas direções enquanto estão sendo selados. Isto pode trazer mais resultado para alcançar o sucesso na eliminação de canais na vedação do que qualquer outro esforço que possa ser feito. Frequentemente, o design da embalagem pode ser melhorado com o único propósito de reduzir a possibilidade de rugas nas vedações (MORRIS; DARBY, 2009).

3.3.12 Efeito de vazamentos nas embalagens de alta barreira

Quanto melhores as propriedades de barreira aos gases do material, mais significativo é o aumento relativo da permeabilidade causada por vazamentos. O alumínio, por exemplo, é frequentemente considerado como um material impermeável aos gases. Uma fina camada de alumínio é muitas vezes laminada ou metalizada em filmes plásticos para melhorar a proteção de barreira aos gases. No entanto, a fina camada de alumínio é susceptível à formação de orifícios durante o processo de fabricação e manuseio. Apenas 1 (hum) furo na embalagem pode tornar o material considerado impermeável mais permeável que o PEBD. Portanto, é um desperdício de dinheiro utilizar materiais caros de alta barreira caso não seja dada a atenção suficiente para garantir que o pacote não seja livre de vazamentos (YAM, 2009).

3.3.13 Degradação do produto devido a presença de O_2

Um estudo realizado em carnes cozidas processadas conclui que a concentração de O_2 após 24h do empacotamento e após 21 dias de armazenamento eram os mesmos (1,2%) dentro da embalagem em 88% das embalagens testadas, ou seja, 12% da embalagens apresentaram diferenças entre a concentração no decorrer do tempo. Isto indica que o sistema MAP é dinâmico e muda constantemente (SMIDDY et al., 2002). Neste estudo as perdas de carne processadas foram estimadas na ordem de 2%-20% e ocorreram devido a descoloração da carne e a presença de sabores indesejáveis (ORTEGA-RIVAS, 2009).

Com a presença de O_2 em contato com o produto cárneo a molécula do gás entra em contato com a gordura do produto para formar um peróxido. A presença de peróxidos na gordura não altera o sabor pois, são os produtos de degradação dos peróxidos que produzem o odor ranço e o sabor. A degradação do peróxido é acelerada por calor, luz, catalisadores de ferro orgânico e vestígios de íons metálicos, especialmente cobre e ferro (JAMES; JAMES, 2010)

3.3.14 Degradação do produto devido ao aumento de a_w

Além da temperatura, o teor de umidade e a a_w são dois fatores importantes que afetam a taxa de reações de deterioração dos alimentos. A a_w descreve a disponibilidade de água para atuar como solvente e participar de reações químicas no alimento (LABUZA et al., 1976).

Os valores mínimos de a_w para o crescimento podem ser definidos para diferentes espécies microbianas. Por exemplo, a bactéria patogênica mais tolerante é a *Staphylococcus aureus*, que pode crescer até a a_w de 0,85-0,86. Isso geralmente é usado como o nível crítico de patogenicidade em alimentos (PAPADAKIS, 2016). As diretrizes do FSIS (*USDA Food Safety and Inspection Service*) de 2012 recomendam para o *Beef Jerky* a a_w máxima de 0,85 e uma proporção máxima de umidade e proteína (RUP) de 0,75:1.

O principal motivo para o uso da desidratação como técnica de preservação é bem compreendida e é ilustrada graficamente na Figura 18. Os valores da a_w são amplamente utilizados para prever a estabilidade dos alimentos em relação às taxas de crescimento de bactérias, leveduras e bolores bem como alterações de escurecimento não enzimático e oxidação lipídica que podem levar à degradação dos alimentos durante o armazenamento (CHRISTIAN, 2000).

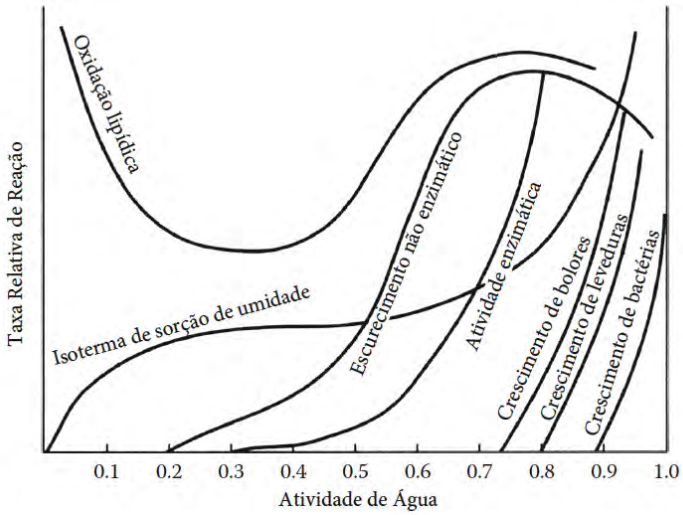


Figura 18. Mapa indicativo da estabilidade dos alimentos mostrando o efeito da concentração de a_w e umidade nas taxas de importantes reações deteriorantes

Fonte: RAHMAN; LABUZA, 2007

Geralmente, não há crescimento quando a a_w está abaixo de 0,62. Estes limites críticos também podem mudar um pouco dependendo do pH, teor de sal, aditivos antimicrobianos, tratamento térmico e temperatura envolvidos (RAHMAN, 2007).

O processamento térmico dos alimentos é projetado para tornar os alimentos seguros, pois a maioria dos microrganismos são afetados pelo calor. No caso de alimentos de pH considerados ácidos (4,0 ≤ pH ≤ 4,6) a pasteurização é o processo térmico recomendado (tipicamente 80°C a 100°C). Já para alimentos pouco ácidos (pH > 4.6) a esterilização (115°C a 125°C) é recomendada (Figura 19). Aqueles alimentos com pH < 4,0 são considerados muito ácidos (BRITT, 2008).

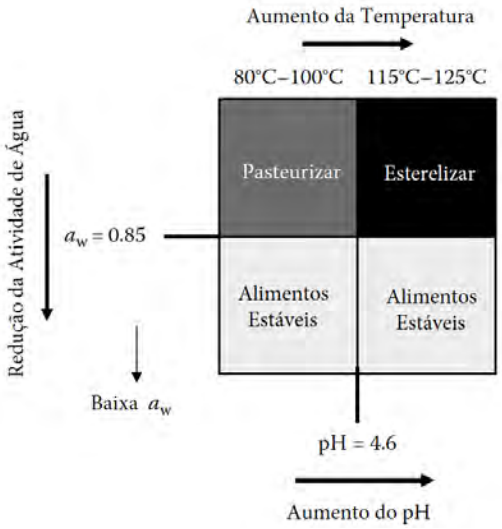


Figura 19. Processamentos térmicos recomendados para diferentes tipos pH e a_w em alimentos.

Fonte: BRITT, 2008

De acordo com a Comissão Internacional de Especificações Microbiológicas para Alimentos (ICMSF, 1996), o limite de atividade de água para o crescimento de *Staphylococcus aureus* é de 0,83 em condições aeróbicas e 0,90 em condições anaeróbicas. No entanto, este critério é baseado em condições ideais. O FSIS (2012) reconhece que a maioria dos produtos do tipo *Beef Jerky* têm outros fatores intrínsecos, tais como nitrito de sódio, microflora endógena e concentração de sal, que também atuam como barreiras ao crescimento de *Staphylococcus aureus*. Ao considerar esses fatores, o FSIS recomenda que o limite crítico de atividade de água deve ser de 0,85 ou inferior para produtos armazenados em ambientes aeróbios (ou contendo O_2) e 0,91 para produtos empacotados à vácuo (ou com MAP) em uma embalagem de alta barreira ao O_2 (criando um ambiente anaeróbio).

Nos Estados Unidos, os produtos empacotados com MAP ou à vácuo com um nível de atividade da água >0,85 e ≤0,91 devem ser mantidos refrigerados quando a embalagem é aberta porque o produto não é mais considerado estável em prateleira quando exposto ao O_2. Portanto, a menos que o estabelecimento tenha suporte para que o produto seja susceptível

de ser consumido em apenas uma única porção, estes produtos com atividades de água na faixa de >0,85 e ≤0,91 devem ser rotulados com a declaração de "Refrigerar após a aberto" (GPO, 2010).

3.3.15 Métodos de detecção de vazamentos

As embalagens defeituosas e com vazamentos devem ser inspecionadas pelo controle de qualidade das empresas e retiradas da linha de produção para evitar queixas dos consumidores devido à deterioração oxidativa dos alimentos (SIVARAMAKRISHNA et al., 2007). A observação do pacote acabado é muitas vezes uma parte do processo de fabricação. Isso pode variar desde o olhar ocasional na linha de produção para os sofisticados dispositivos de inspeção automática para garantir selagem hermética em alimentos (PARISI, 2013).

Os testes destrutivos de embalagem podem ser realizados para avaliar a integridade do sistema. Normalmente, isso envolve testes de vácuo ou pressurização. Esses testes podem ser realizados até o ponto de falha ou configurados para testar a redução da pressão dentro da embalagem. Testes de vácuo podem ser conduzidos em ambiente seco ou abaixo d'água. Os testes de pressão podem ser realizados por compressão ou insuflação. Opções adicionais incluem testes de vazamento com corantes e testes de vazamento de gás para fora ou para dentro da embalagem (MORRIS; DARBY, 2009).

Algumas vezes são necessários métodos não destrutivos para a detecção de vazamentos em processos industriais. O mais relevante para a aplicação em máquinas de empacotamento são os métodos de detecção de vazamento de gás que detectam limites entre 10 e 25μm (SIVARAMAKRISHNA, 2007). Em muitos estudos foram demonstrados que furos com cerca de 10μm de diâmetro, em condições estritas, podem causar contaminação microbiana. A Tabela 4 resume os fatores de deterioração mais importantes de diferentes alimentos embalados em relação ao diâmetro crítico do orifício da embalagem (HURME, 2003).

Tabela 4. Fatores de deterioração em diferentes tipos de alimentos relacionados ao

diâmetro do furo da embalagem

	Alimentos esterilizados	Refeições prontas	Alimentos de panificação	Alimentos desidratados
Fatores mais importantes de deterioração	Mudanças microbiológicas, oxidação	Mudanças microbiológicas, oxidação	Oxidação, crescimento de bolores, alteração da umidade	Oxidação, alteração da umidade
Diâmetro crítico do orifício da embalagem	5-25μm	30-50μm	50μm	>130μm

Fonte: HURME, 2003

Considerando uma velocidade de máquina de 30 pacotes por minuto, os orifícios com um diâmetro inferior a 10 μm são particularmente críticos pois, podem não ser detectados nos equipamentos que detectam o vazamento com base em detecção de CO_2, He ou H_2. O autor investigou a aplicação de filmes com camadas ativas (Figura 20) para compensar a permeação do O_2 em orifícios inferiores 10μm onde os mesmos foram capazes de compensar esta permeação (SÄNGERLAUB et al., 2012).

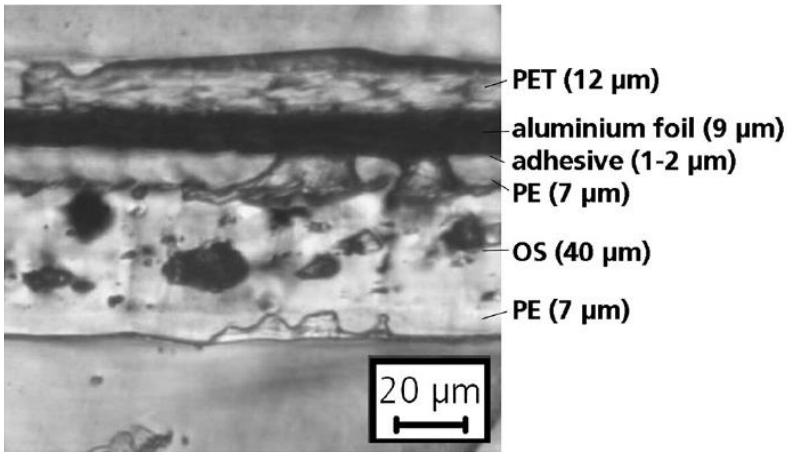


Figura 20. Foto microscópica do conteúdo ativo absorvedor de O_2 incorporado em filme multicamada.

Fonte: SÄNGERLAUB et al., 2012

Experimentos de vida de prateleira de longo prazo realizados com *snacks*, com e sem os filmes absorvedores confirmaram a aplicabilidade deste sistema de filme ativo para produtos alimentares sensíveis em relação aos tamanhos críticos de defeito de 10μm. Para fornecer um sistema eficaz de filme ativo, é necessário ajustar cuidadosamente a estrutura de filme multicamada para que a permeação de O_2 projetada seja compensada e para que os requisitos relevantes do alimento sejam atendidos (SÄNGERLAUB et al., 2012).

Estas técnicas de detecção de vazamentos são utilizadas apenas no chão de fábrica (HURME; AHVENAINEN, 1996) e uma vez que os produtos deixam as fábricas, estes

métodos não podem mais ser utilizados. Um método não-destrutivo capaz de identificar vazamentos desde a fabricação até o consumo do produto são os indicadores de vazamentos (HURME, 2003). De acordo com HURME (2003), o gás CO_2 parece não ser um indicador confiável visto que um vazamento em uma embalagem MAP ocasionará a redução dos níveis de CO_2 o que por sua vez pode ocasionar o crescimento microbiano que também irá liberar o CO_2, e, portanto, no pior caso, os níveis de CO_2 permanecerão os mesmos mascarando-se assim o vazamento da embalagem e o crescimento microbiano. Outro indicador não-destrutivo possível de ser utilizado é o sensor de O_2 (SMIDDY et al. 2002). Estes sensores são capazes de detectar níveis muito baixos de O_2 (0,07%), e sua atividade é baseada na medição da intensidade da fosfofluorecência e mudança de fase. Em geral, o funcionamento da maioria destes sensores é baseado na alteração de cor como resultado de uma reação química enzimática (AHVENAINEN, 2003).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Os testes experimentais foram realizados nas fábricas da Meat Snacks Partners do Brasil Ltda. (MSP), localizadas em Santo Antônio de Posse – SP (planta 1) e Lins – SP (planta 2), e na planta da Ferreira Internacional Ltda. localizada em Três Rios – RJ (planta 3).

4.1 Materiais

4.1.1 Produto

Existem diversos sabores de *Beef Jerky* que são produzidos nas fábricas do Brasil tais como Original, *Teriyaki*, *Sweet & Hot* e *Peppered*. Os estudos foram concentrados em apenas 1 (hum) sabor de produto para redução da variabilidade da pesquisa. O sabor com maior incidência de problemas de embalagem segundo o histórico da empresa é o sabor *Peppered* (Figura 21) uma vez que o produto possui grânulos de pimenta preta aparente em sua superfície. Estes grânulos também podem aumentar a incidência de furos nas embalagens e nos sachês de absorvedores de O_2 uma vez que são grânulos duros e pontiagudos. Os ingredientes utilizados na produção são em sua maioria misturas de condimentos e especiarias tais como açúcar, sal, vinagre, molho de soja, proteína hidrolisada de soja, maltodextrina, ácido cítrico, dentre outros.

Figura 21. *Beef Jerky* sabor *peppered*

Fonte: Própria Autoria

4.1.2 Embalagens

Na Tabela 5 encontram-se as especificações das embalagens utilizadas em produção. O produto é primeiramente envasado em uma embalagem interna que protege a embalagem externa do contato com as pontas do produto e desta forma evita a formação de orifícios na embalagem externa. A embalagem externa é a responsável pela manutenção da vida de prateleira do produto final uma vez que ela possui alta barreira a O_2 e umidade, e mantém desta forma, os padrões microbiológicos, físico-químicos e sensoriais do produto final. Neste sistema adiciona-se 1 (um) sachê absorvedor de O_2 que entra em contato direto com produto. Após a selagem hermética da embalagem externa o produto é direcionado por esteiras até a área de expedição.

Tabela 5. Especificações das embalagens

Interna (barreira mecânica)	
Material (espessura)	PEBDL (62µm)
Número de camadas	1
Dimensões	467mm x 865mm
Espessura total	0,400mm (0,200mm por barreira)
Largura da solda lateral	6mm
TPVA* $\frac{gr H_2O}{m^2.dia}$ $(38\,℃; 90\%UR)$	< 2,5
Externa (barreira a O_2 e umidade)	
Material (espessura)	PEBD+PEBDL (62µm) / Adesivo (5µm) / Nylon (25µm) / EVOH (17µm) / Nylon (25µm) / Adesivo (5µm) / PEBD+PEBDL (62µm)
Número de camadas	7
Dimensões	492mm x 900mm
Espessura total	0,400mm (0,200mm por barreira)
Largura da solda lateral	6mm
TPVA* $\frac{gr H_2O}{m^2.dia}$ $(38\,℃; 90\%UR)$	< 2,5
TPO$_2$** $\frac{cm^3}{m^2.dia}$ $(23\,℃; 0\%UR; 1atm)$	< 0,5
Sachê Absorvedor de O_2	
Conteúdo	Pó de ferro (ativado), terra diatomácea, materiais eletrolíticos, carbono ativado e água.
Capacidade	3000 CC (cm^3)
Dimensões	130 mm x 80 mm
Embalagem primária	PET “com furos” / PE / Papel (a prova de água e óleo) / PE “com furos”
Embalagem secundária	Nylon/PVDC embalado com vácuo

Fonte: Própria Autoria

*TPVA: Taxa de permeabilidade ao vapor de água
**TPO2: Taxa de permeabilidade ao oxigênio.

4.1.3 Amostragem e produção

Primeiramente foi realizado o levantamento do cenário atual do sistema de embalagens da empresa bem como o problema da perda da hermeticidade das embalagens que acondicionam o produto final. A coleta de dados da produção foi realizada durante 1 (hum) mês nas três plantas produtivas sem distinção de turnos. Durante este mês foram avaliadas 8125 embalagens por planta onde as embalagens defeituosas foram separadas e avaliadas quanto a furos e canais de solda. Posteriormente foram realizados testes industriais

com o intuito de reduzir ou eliminar o problema. Também foram propostas novas alternativas de sistemas de embalagem para melhoria do processo como um todo.

O processo de fabricação se inicia com o recebimento da carne bovina resfriada sem osso e magra que é transportada dentro de embalagens plásticas protegidas por caixas de papelão. Toda a carne sem osso recebida é desossada em estabelecimentos frigoríficos que possuem BPF e certificação no sistema de APPCC (Analise de Perigos e Pontos Críticos de Controle) que asseguram a segurança da carne por meio da análise e controle dos riscos físicos, químicos e biológicos presentes no frigorífico, desde a produção da matéria-prima até a distribuição do produto final. Os frigoríficos também são inspecionados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) que também asseguram o controle de qualidade eficiente e garantem a qualidade microbiológica e físico-química da carne.

O processamento do *Beef Jerky* ocorre em duas áreas produtivas que são fisicamente separadas: área crua e área controlada ou cozida. Na área crua o controle sanitário dos colaboradores é mais brando do que o controle realizado na área controlada ou cozida, pois nesta área os colaboradores entram em contato direto (manuseio) com o produto final logo após o processamento térmico (Figura 22).

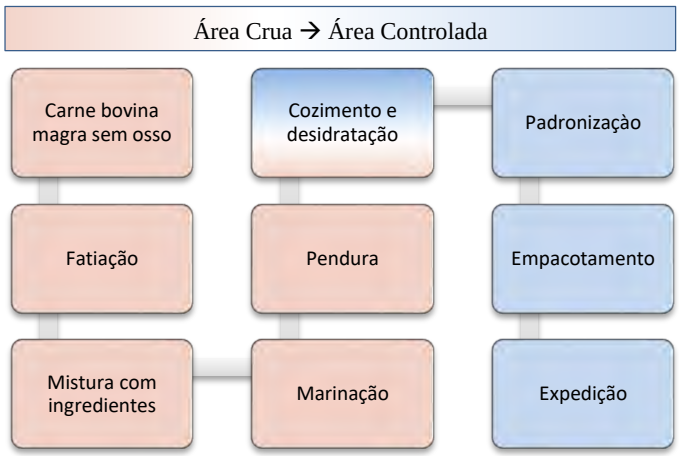


Figura 22. Processamento produtivo do Beef Jerky

Fonte: Própria Autoria

Na área crua, a carne vermelha é recebida e mantida resfriada até o momento do uso na produção. Dentro do período de validade a matéria-prima é direcionada aos equipamentos de fatiação automáticos que podem fatiar a carne com espessuras de até 10,0 mm. Os ingredientes são misturados com água e adicionados na forma de salmoura com o objetivo principal de conferir sabor e cor ao produto final.

Após a mistura com os ingredientes a carne fatiada passa pelo processo de marinação em que a carne marinada fica armazenada dentro de câmaras frias por algumas horas para que ocorra a completa absorção dos ingredientes pela carne. Além da fixação dos ingredientes, a marinação é também responsável pela formação da nitrosil-metamioglobina (marrom) que durante o processamento térmico é convertida em nitrosohemocroma desnaturada (rosa) que juntamente com o escurecimento não enzimático do açúcar presente na fórmula, torna-se marrom-avermelhado no produto final.

Depois deste período de marinação as fatias de carne são penduradas manualmente em espetos de aço inoxidável dispostos em gaiolas que são direcionadas ao processamento térmico de cozimento e desidratação. O ar quente (85°C) da estufa aquece e circula pelas gaiolas cozinhando e desidratando as fatias de carne por convecção. Algumas estufas permitem o uso de geradores de fumaça acoplados ou sistemas de atomização de fumaça líquida para conferência de sabor de defumado aos produtos finais.

Após o processamento térmico o produto já desidratado e com atividade de água inferior a 0,85 é removido dos espetos e colocado em esteiras de revisão visual para a retirada de peças com alterações nas características sensoriais e/ou defeitos. O produto é por fim cortado em pedaços menores para que possam ser embalados em embalagens de varejo no destino final. O tamanho final de cada peça varia de acordo com o mercado pretendido.

Ao final de todo o processamento as peças do produto apresentam extremidades muito duras e pontiagudas (que se assemelham à ossos) e podem ocasionar furos nas embalagens e nos absorvedores de O_2.

Ao final da linha de produção na área controlada, 14 kg de produto são pesados e acondicionados em embalagens plásticas flexíveis (interna e externa) que são submetidas a aplicação de vácuo e N_2 para posterior selagem hermética (Figura 23).

Figura 23. Embalagem com produto final antes do fechamento

Fonte: Própria Autoria

A embalagem interna não é selada hermeticamente pois, não possui barreira a O_2 e umidade e, portanto, mesmo que selada não proporcionaria as barreiras requisitadas pelo produto. Desta forma a empresa optou por não selar a embalagem interna e utilizá-la apenas como barreira mecânica à abrasão do produto com a embalagem externa de alta barreira. Outro motivo para a utilização de uma embalagem interna é o fato de que quando a embalagem externa perde a sua hermeticidade (na solda ou na parede da embalagem) deve ser enviada para re-envase na área controlada a qual não pode ter contato com o ambiente externo de alto risco microbiológico, portanto, a embalagem externa deve ser retirada (na área de expedição) para que o produto dentro da embalagem interna possa ser enviado para re-envase na área controlada.

O produto final embalado hermeticamente é acondicionado em caixas de papelão corrugado que são fechadas e identificadas com etiqueta contendo informações obrigatórias de rotulagem e rastreabilidade. As caixas de produto final são embarcadas em container com temperatura controlada de 18ºC até o destino final. O produto embalado hermeticamente possui vida de prateleira de 18 a 20 meses em temperatura ambiente.

4.1.4 Sistema de inspeção

A primeira inspeção visual de todas as embalagens da produção é realizada após 24 horas e tem o objetivo de evitar que o produto com as embalagens defeituosas decorrente do processo de envase fique por mais de 24 horas em contato com o O_2. Todas as embalagens identificadas como defeituosas (orifício, canais de solda ou absorvedores danificados) são

encaminhadas para área controlada para a troca da embalagem externa, absorvedor de O_2 e nova selagem. A embalagem interna não é trocada neste processo.

Posteriormente toda a produção é novamente revisada (em no mínimo 72 horas) antes de ser embarcada no *container* e caso haja novamente embalagens danificadas elas são trocadas para que então o produto hermeticamente fechado possa ser embarcado. A segunda inspeção tem o objetivo de encontrar embalagens com micro furos que não foram identificadas na primeira revisão. Caso alguma embalagem chegue no cliente final com defeito de hermeticidade todo o produto identificado com o problema é descartado devido aos riscos de contaminação. Em toda a troca de embalagem os sachês absorvedores de O_2 também são trocados pois os mesmos perdem a atividade à medida em que o O_2 permeia pelo orifício para dentro da embalagem.

Para o mapeamento dos defeitos das embalagens foi utilizado o método de insulflamento da embalagem que consiste em inflar completamente a embalagem com ar comprimido com pressão de 0,8 bar e identificar a localização do furo por meio da saída de ar pelo orifício ou canal de solda.

4.1.5 Problemas ocasionados

Os principais danos causados ao produto que levam ao descarte são as degradações sensoriais de cor, aroma e sabor e as contaminações por bolores, leveduras e alguns patógenos como o *Staphylococcus aureus*, que pode crescer em produtos até a a_w de 0,85-0,86.

No início do processo de degradação, o produto em contato com altas concentrações de O_2 perde o tom vermelho escuro que é resultado do processo de cura, cozimento e desidratação se tornando cinza escuro ou preto. Apesar do produto final possuir baixa concentração de gordura (3-5%) a presença do O_2 em contato com o produto produz peróxidos que devido a sua reação geram o odor de ranço e sabores indesejáveis que não são aceitáveis pelo consumidor final.

No decorrer do tempo inicia-se o processo de absorção da umidade relativa do ambiente uma vez que ao perder a hermeticidade a estabilidade da umidade relativa interna com o produto dentro da embalagem não existe mais. Caso o produto seja estocado/comercializado em locais de alta umidade relativa inicia-se o processo de alteração da atividade de água do produto que pode ultrapassar os limites seguros em ambientes aeróbios ($a_w < 0.86$). Desta forma, o risco de contaminação por bolores, leveduras e por

microrganismos patógenos é muito grande. A degradação do produto pode ser observada em quatro diferentes estágios na Figura 24 (produto padrão com 18 meses de vida de prateleira concluída e hermeticamente fechado com 0,0 % de O_2 residual), Figura 25 (produto após 1 (um) mês da perda da hermeticidade), Figura 26 (produto após 6 meses da perda da hermeticidade) e Figura 27 (produto após 12 meses da perda da hermeticidade).

Figura 24. Produto padrão com 18 meses de validade e hermeticamente fechado. Fonte: Própria Autoria

Figura 25. Produto após 1 (um) mês da perda da hermeticidade. Fonte: Própria Autoria

Figura 26. Produto após 6 meses da perda da hermeticidade. Fonte: Própria Autoria

Figura 27. Produto após 12 meses da perda da hermeticidade. Fonte: Própria Autoria

A dificuldade em manter a hermeticidade das embalagens originou um estudo para definição das possíveis causas para o problema, onde notou-se que as embalagens estavam

perdendo a hermeticidade devido a orifícios e canais de solda ocasionados durante a produção, manuseio e transporte do produto.

4.2 Métodos

Para os ensaios experimentais foram utilizados os equipamentos disponibilizados pela empresa.

a) Ensaio de avaliação de orifícios e canais de solda utilizando o microscópio biológico trinocular Bioptika B20 com câmera CMOS digital colorida, 5.0 MP (Aumentos 4x, 10x, 40x, retrátil e 100x retrátil e imersão) (Figura 28).

Figura 28. Microscópio Bioptika

Fonte: Própria Autoria

b) Ensaio de avaliação do O_2 residual da embalagem utilizando o equipamento 6500 *Headspace Oxygen Analyser – Systech Illions Instruments* (Figura 29). Primeiramente o equipamento deve ser calibrado com o ar atmosférico onde o resultado de O_2 deve ser de exatamente 20.9%. Com o equipamento calibrado deve-se selecionar as embalagens a serem avaliadas e colocar uma fita de vedação que impede que a pressão atmosférica vaze durante o posicionamento da agulha do equipamento na embalagem. A agulha deve ser inserida no local da fita de vedação e deve transpassar a fita de vedação, a embalagem externa e a embalagem interna de forma que a análise seja feita no espaço livre que está em contato com o produto. Deve-se tomar cuidado para não encostar a agulha do equipamento no produto para evitar entupimento da agulha e desvio do resultado.

Figura 29. Analisador de O_2 residual

Fonte: Própria Autoria

Caso o resultado esteja fora dos padrões determinados pela empresa (< 1%), deve-se realizar avaliação de mais duas caixas para verificação da amostra. Caso o resultado se repita todo o lote deve ser retido e as embalagens trocadas. Verificar se o desvio é uma falha operacional ou de equipamento para correção do desvio ou orientação do colaborador quando aplicável. Após ações, realizar nova avaliação.

c) Ensaio de verificação de canais de solda com solução colorida de baixa tensão superficial Rhodamina B (Figura 30). Deve-se selar uma embalagem vazia e com auxílio de uma tesoura, cortar aproximadamente 5 cm abaixo da solda. Aplicar a solução na solda com auxílio de uma seringa ou pisseta. Segurar cuidadosamente as extremidades da embalagem de maneira que a tinta seja distribuída por toda a extensão da solda.

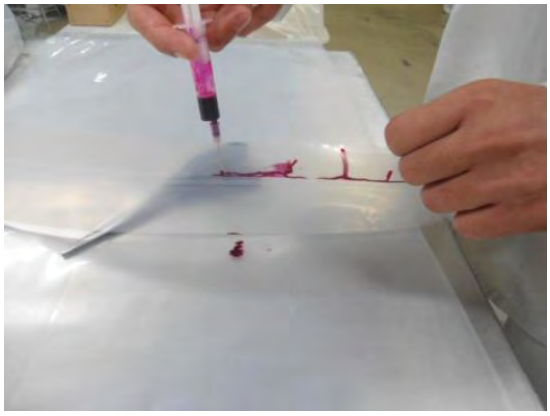


Figura 30. Ensaio de verificação de canais de solda

Fonte: Própria Autoria

Deixar a embalagem selada sobre uma superfície em posição vertical para que o líquido ultrapasse a solda em caso da presença de canais de solda. Verificar o resultado após o mínimo de 24h. Se houver vazamento, realizar a identificação do local em que ocorreu para avaliação, verificar se o desvio é uma falha operacional ou de equipamento para correção do desvio ou orientação do colaborador quando aplicável. Após ações, realizar nova avaliação.

5 RESULTADOS

5.1 Acompanhamento do processo e detecção de falhas

Para identificação do problema foi realizado um mapeamento dos furos encontrados nas embalagens nas três plantas produtoras de *Beef Jerky*, identificadas como planta 1, planta 2 e planta 3 bem como um estudo de acompanhamento das possíveis causas de defeitos (Figura 31).

A planta 1 é a unidade com maior volume de produção (cerca de 130.000 kg por semana) e foi a que apresentou o maior índice de embalagens com defeito. Já as plantas 2 e 3, apresentaram índices menores, sendo que a planta 3 foi a que mostrou o melhor resultado dentro da meta estipulada pela empresa que é de 0,12 % de defeitos.

Foram avaliadas 8125 embalagens em cada planta durante os dois turnos de produção dentro de dois meses (Tabela 6). O produto avaliado foi o mesmo (*Peppered*) em todas as plantas para que o sabor do produto não interferisse nos resultados. O mapeamento dos furos foi realizado considerando-se a localização dos furos na embalagem e utilizando apenas as embalagens defeituosas separadas durante a 2ª. inspeção do produto antes do embarque (após 72h).

Tabela 6. Situação Atual

Situação Atual			
Planta	**1**	**2**	**3**
Embalagens avaliadas	8125	8125	8125
Embalagens defeituosas	110	69	9
% total de defeitos	1,35%	0,85%	0,11%
Quantidade de orifícios	94	62	8
% de orifícios	85,45%	89,86%	88,89%
Quantidade de canais na solda	16	7	1
% de canais de solda	14,55%	10,14%	11,11%

Fonte: Própria Autoria

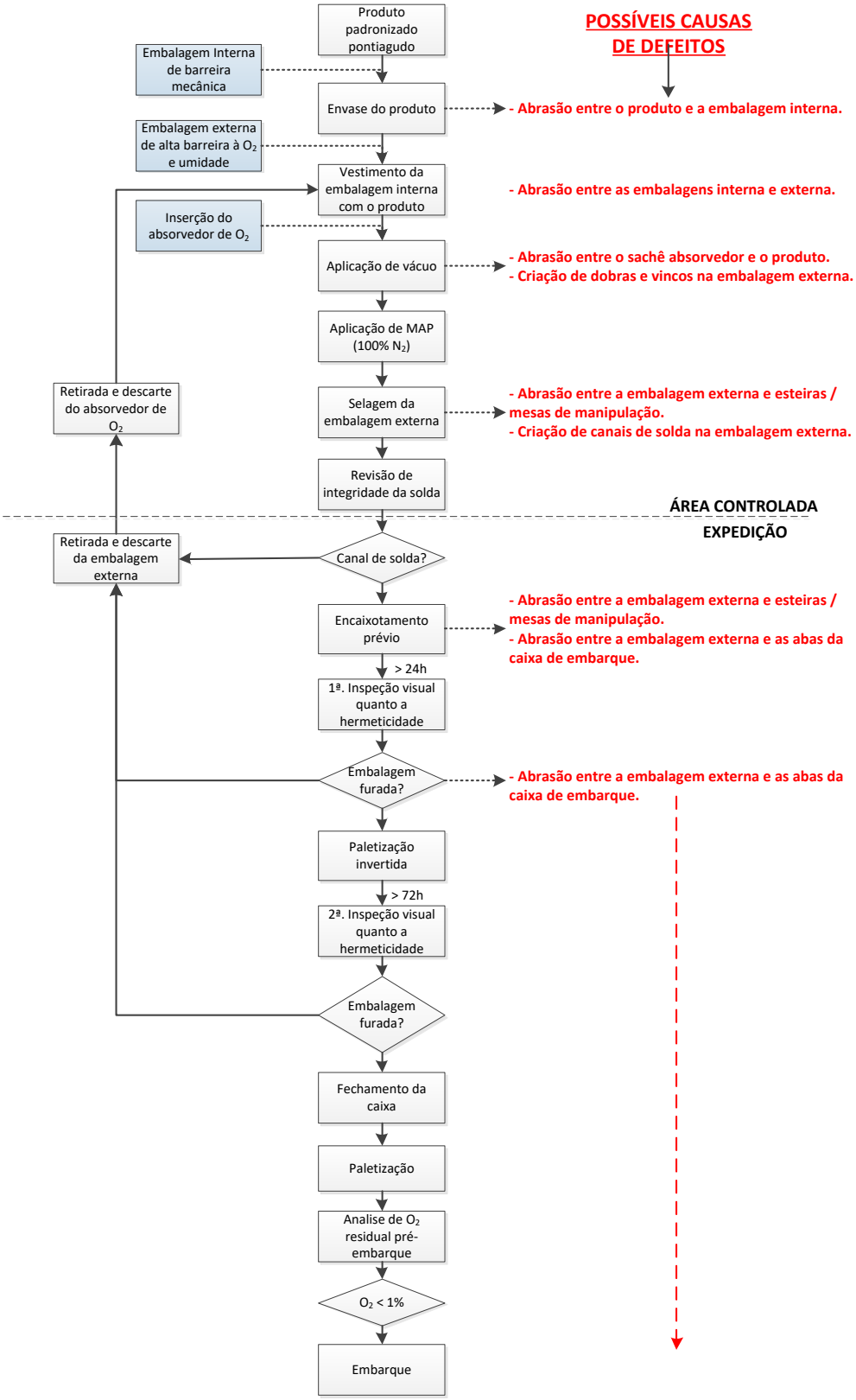


Figura 31. Acompanhamento das possíveis causas de defeitos nas embalagens *bulk*

Fonte: Própria Autoria

É possível observar que na planta 1 a maior concentração de furos está localizada na parte inferior da embalagem, na planta 2 está mais concentrado na parte superior e no meio da embalagem e na planta 3 apenas no canto esquerdo inferior (Figura 32). As 3 plantas possuem os mesmos equipamentos e utilizam o mesmo fornecedor de embalagens.

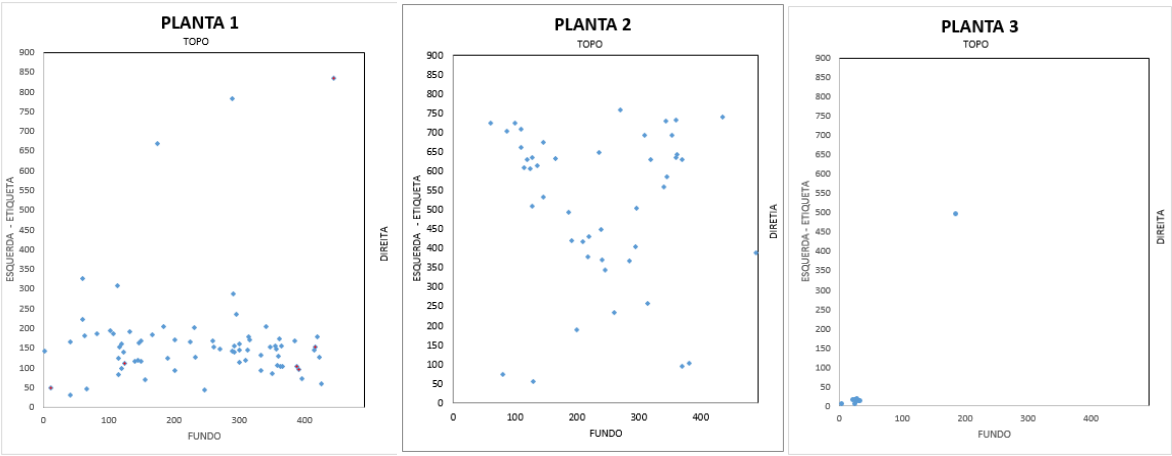


Figura 32. Mapas dos furos localizadas nas paredes das embalagens.

Fonte: Própria Autoria

Para melhor avaliar o impacto que os orifícios causavam na estrutura da embalagem foram realizadas analises microscópicas da estrutura da embalagem externa antes (Figura 33) e depois (Figura 34) de um defeito forçado realizado na parede da embalagem.

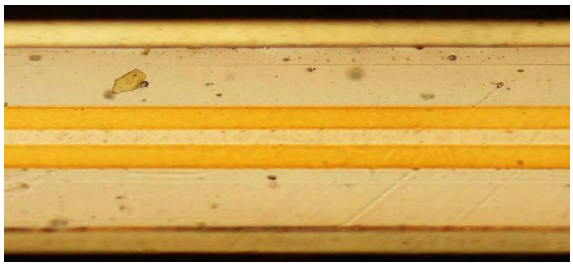


Figura 33. Estrutura da embalagem externa intacta e sem defeitos (100x)

Fonte: Própria Autoria

Figura 34. Estrutura da embalagem externa com defeito (orifício forçado 100X)

Fonte: Própria Autoria

Outras análises microscópicas foram realizadas em embalagens defeituosas retiradas da linha de produção (Figuras 35, 36, 37, 38, 39 e 40).

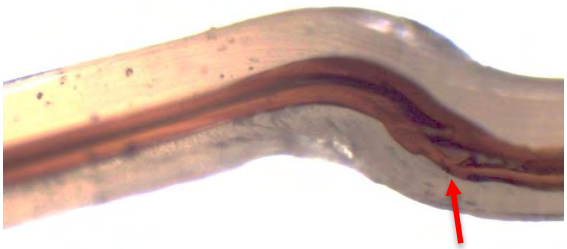


Figura 35. Vinco na embalagem sem danificar a estrutura (100X). Fonte: Própria Autoria.

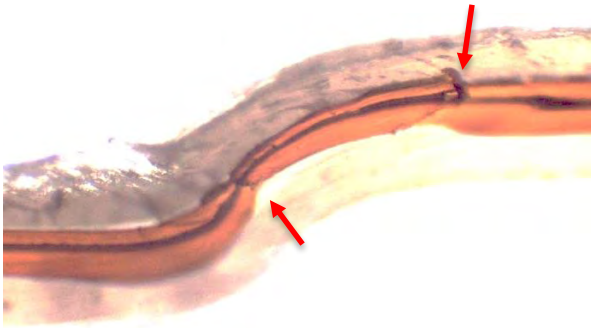


Figura 36. Vinco na embalagem com a estrutura danificada (100X). Fonte: Própria Autoria.

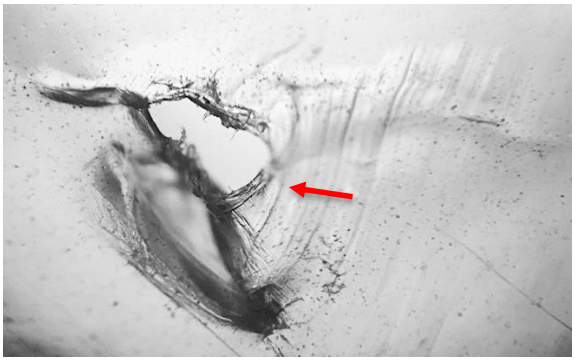


Figura 37. Orifício na parede da embalagem (vista frontal 50X). Fonte: Própria Autoria.

Figura 38. Orifício na parede da embalagem (corte transversal 100X). Fonte: Própria Autoria.

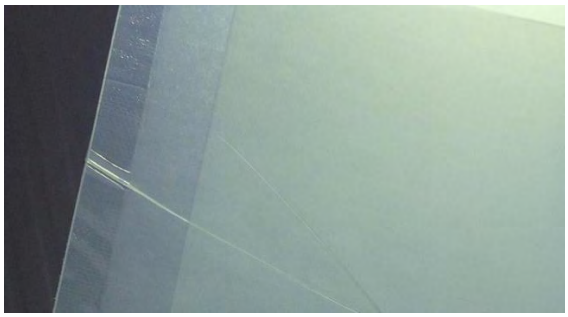


Figura 39. Canal na solda da embalagem. Fonte: Própria Autoria.

Figura 40. Teste de líquido penetrante. Fonte: Própria Autoria.

A Figura 35 mostra que o vinco ocasionado na embalagem mesmo que não tenha ainda causado um orifício danifica a estrutura do filme que pode no decorrer do transporte do produto se transformar em um orifício. Na Figura 36 pode-se observar um vinco que chegou a danificar todas as camadas que conferem a alta barreira ao O_2 e a umidade. As Figuras 37 e 38 são exemplos de orifícios que danificaram completamente a estrutura do filme da embalagem. As Figuras 39 e 40 demonstram um canal de solda e o resultado do teste do líquido penetrante com uma solução colorida de baixa tensão superficial (Rhodamina B) que transpassou a solda da embalagem. Os valores encontrados no mapa de

furos realizados nas três plantas do Brasil se assemelham as reclamações do cliente sobre produto com perda da hermeticidade recebidas pela empresa em 2016 (Figura 41).

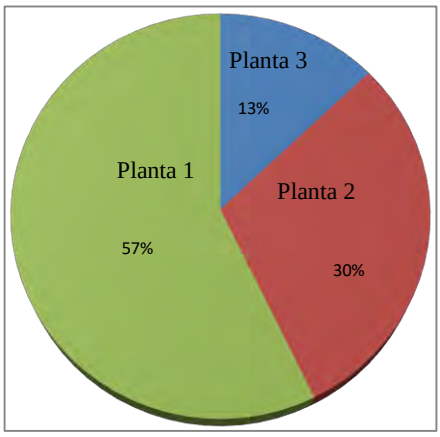


Figura 41. Reclamações do cliente em 2016 relacionados à perda da hermeticidade em relação ao total das 3 plantas.

Fonte: Própria Autoria.

5.2 Resultados associados às mudanças estabelecidas.

Considerando todos os problemas levantados no processo de embalagem da produção do *Beef Jerky* as quais podem afetar a hermeticidade do sistema, foram propostas melhorias na linha (Tabela 7) bem como alterações no sistema de embalagens da empresa com o objetivo de diminuir ou resolver estes defeitos e consequentemente melhorar a qualidade do produto final. O estudo realizado neste trabalho mostra que as causas dos defeitos das embalagens têm sua origem em diversos fatores (físico, biológico e humano) conforme citado por COLES, 2003 e ROBERTSON, 2009.

Como o número de embalagens com defeitos de hermeticidade é maior na planta 1 (1,24% em relação a planta 3) e o volume de produção também é o maior em comparação a planta 2 e a planta 3 (que tem o melhor resultado) foi realizado um trabalho de *benchmarking* entre as três fábricas para se observar o que a planta 3 possuía de melhor para que então fosse aplicado nas demais plantas. Neste trabalho também foram observadas melhorias em comum para todas as fábricas.

Tabela 7. Melhorais propostas

Problemas	Propostas	Objetivo
Perda da Hermeticidade (orifícios e canais de solda)	Melhorias na linha de produção e treinamento dos colaboradores	• Remoção de pontos agudos na linha que podem ocasionar ruptura da embalagem durante o processo de envase e encaixotamento • Treinamento dos colaboradores que efetuam a tarefa de envase e encaixotamento do produto para que o procedimento seja continuo e repetitivo
	Aumento da espessura da solda superior da embalagem externa	• Redução da quantidade de canais nas soldas
	Redução do vácuo aplicado na embalagem	• Diminuição da compactação de produto • Diminuição da quantidade de vincos na embalagem
	Desenvolvimento de embalagem externa mais flexível e resistente a furos	• Redução da quantidade de orifícios ocasionados pela ruptura do filme da embalagem
Absorvedores de O_2 danificados	Desenvolvimento de embalagem ativa com filme absorvedor de O_2	• Eliminação do risco de contaminação do produto pelo ferro ativado dos absorvedores de O_2

Fonte: Própria Autoria.

5.3 Melhorias na linha de produção e treinamento dos colaboradores

As melhorias propostas para a linha de produção se enquadram no ambiente físico já que as embalagens podem sofrer intempéries mecânicas como choques ocasionados por solavancos, vibrações, compressões, esmagamentos, perfurações e abrasões durante o manuseio, empilhamento e transporte. Já as melhorias propostas para o treinamento dos colaboradores referem-se ao comportamento humano como a responsabilidade pelo atendimento das normas internas da empresa como os procedimentos operacionais de produção (POP) por exemplo.

Primeiramente foi observado que na planta 1 (maior índice de problema) a distância entre a máquina de envase e a área de expedição é maior do que nas outras duas plantas (Figura 42). Sendo assim, o transporte do pacote desde o enchimento até o encaixotamento passa por manuseios, solavancos e vibrações excessivos.

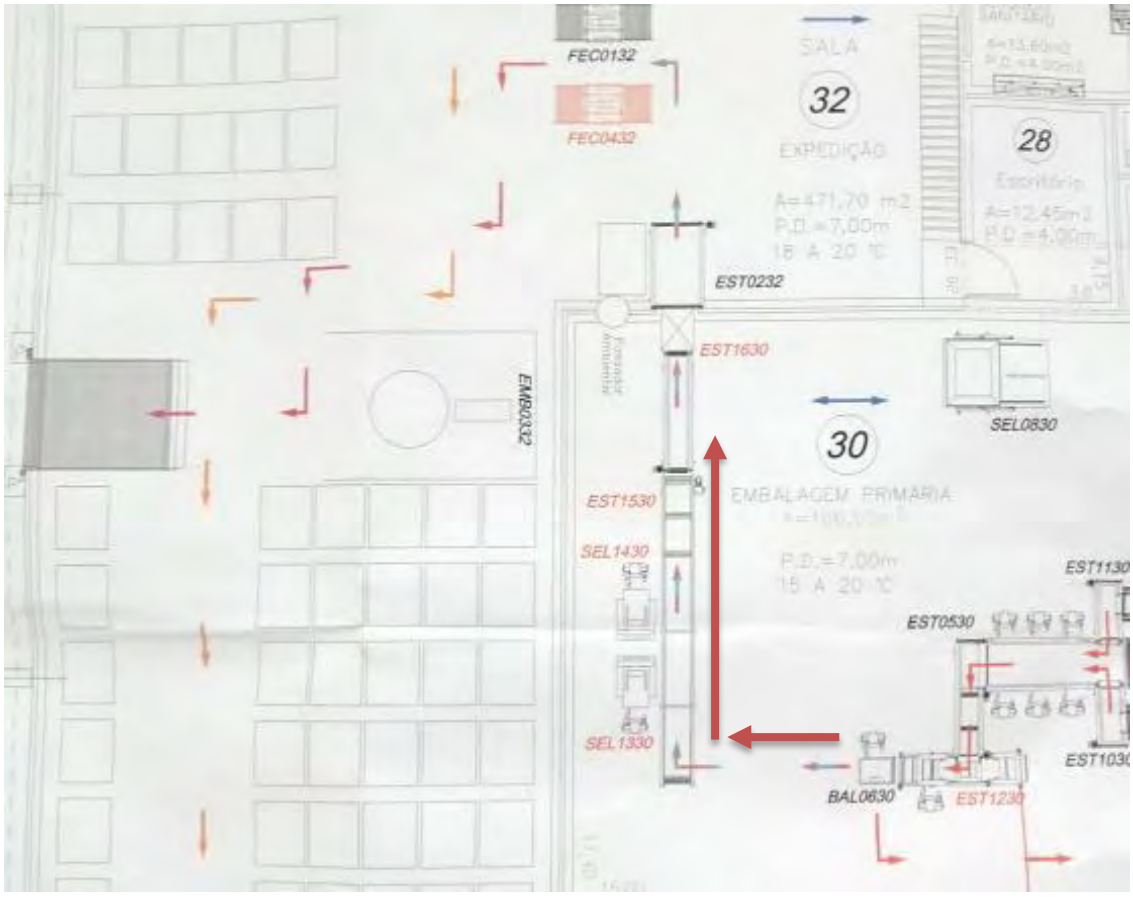


Figura 42. Fluxo da área de envase e encaixotamento

Fonte: Própria Autoria.

Além disto, após a selagem da embalagem, todo o transporte do pacote com o produto passa por áreas com excesso de pontos abrasivos nas mesas de trabalho e nas esteiras de transporte (Figuras 43, 44, 45 e 46).

Observou-se também que o tempo total do processo de empacotamento na planta 1 era mais rápido (33 segundos) do que na planta 3 (54 segundos) mostrando que quanto o maior volume de produção mais rápido os colaboradores precisam fazer o seu trabalho para atender o fluxo de produção, e com isto, a qualidade do trabalho é inferior podendo ocasionar danos nas embalagens.

Figura 43. Ponto de abrasão na mesa de selagem. Fonte: Própria Autoria.

Figura 44. Ponto de abrasão na mesa de inspeção. Fonte: Própria Autoria.

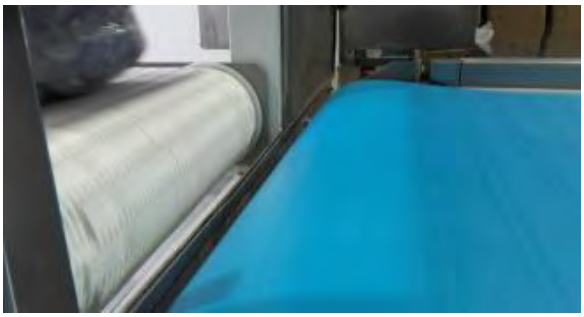


Figura 45. Esteira com ranhuras. Fonte: Própria Autoria.

Figura 46. Ponto de solavanco entre esteiras de transporte. Fonte: Própria Autoria.

Na planta 3 foi observado um cuidado muito maior em colocar a embalagem dentro da caixa de embarque e na movimentação dos paletes em comparação ao que foi observado na planta 1 onde os movimentos eram mais bruscos e com mais impacto (Figura 47).

Figura 47. Manuseio errado da embalagem pelo colaborador

Fonte: Própria Autoria.

Tendo em vista os fatores físicos e humanos que podem resultar no aumento do indice de falhas na hermeticidade das embalagens foram propostas as seguintes melhorias:

- nova opção de layouts com a redução da distância entre o envase e o encaixotamento;
- remoção de pontos de impacto (mesas e esteiras) entre o envase e o encaixotamento;

- remoção de etapas de manuseio excessivos;
- revisão dos POP da área de embalagem e treinamento com os colaboradores;
- adequação da quantidade de colaboradores por volume de produção;

Após a realização destas melhorias foi observada uma redução de 33,65% dos defeitos nos resultados (Figura 48) partindo da média de 2,05% de defeitos no primeiro semestre de 2016 para 0,69% de defeitos no segundo semestre de 2016, porém, ainda não atingindo a meta estipulada pela empresa de 0,12% de defeitos por mês.

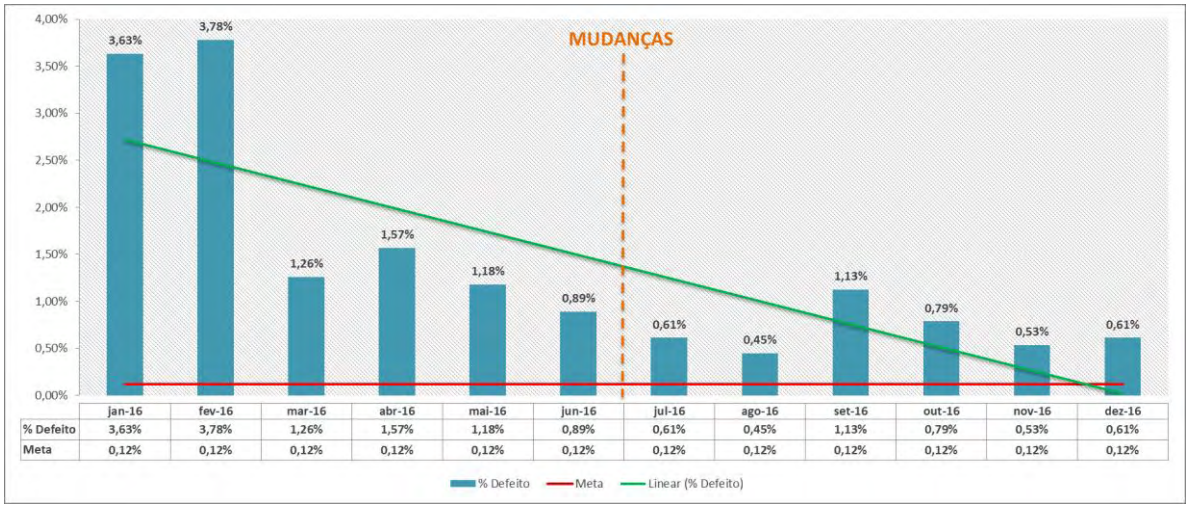


Figura 48. Resultados após melhorias na linha de produção e treinamento dos colaboradores (Planta1).

Fonte: Própria Autoria.

5.3.1 Metodologia de Treinamento

A metodologia de treinamento utilizada pela empresa é baseada na realização de "Eventos *Kaizen*". Masaaki Imai, em 1986 introduzido pela primeira vez a metodologia Kaizen na empresa japonesa Toyota, para melhorar a eficiência, a produtividade e a competitividade. *Kaizen* é uma palavra pronunciada por *Ky Zen*, a tradução de *Kai* é mudança e a tradução de *Zen* é bem ou o melhor. A palavra *Kaizen* quando aplicada significa melhoria contínua. É uma filosofia que se baseia na eliminação do desperdício a partir do uso de soluções a baixo custo (SINGH E SINGH, 2009; LOURINDO et al., 2006).

Antes de iniciar os trabalhos determinou-se uma equipe multifuncional que conduziu os trabalhos, que foram realizados conforme cronograma abaixo:

a) Primeiro dia: Treinamento da metodologia *Kaizen*.

b) Segundo dia: Fluxo do *layout* atual, cronometragem, identificação dos desperdícios, proposta do novo *layout* e atividades *Kaizen*.

c) Terceiro dia: Mudanças físicas, testes e medições, avaliação dos resultados, *kaizens* adicionais.

d) Quarto dia: Implementação e acompanhamento *in-loco* das alterações.

5.4 Aumento da espessura da solda superior da embalagem externa

Conforme citado por YAM (2009), quanto mais longa a profundidade do canal maior a resistência à penetração microbiana e ao transporte de gás pela solda. A espessura atual da solda superior da embalagem é de 4mm (Figura 49).

Figura 49. Solda superior de 4mm

Fonte: Própria Autoria.

Foi proposto para a empresa o aumento da espessura da solda superior da embalagem para 9mm (Figura 50). Para tanto foram instaladas novas barras térmicas de solda para a planta 1. Foram enviados para o cliente dois containers contendo um total de 3.250 embalagens para verificação dos resultados. Também foram realizadas análises de líquido penetrante a cada 30 minutos durante a produção e não foram observados canais de solda.

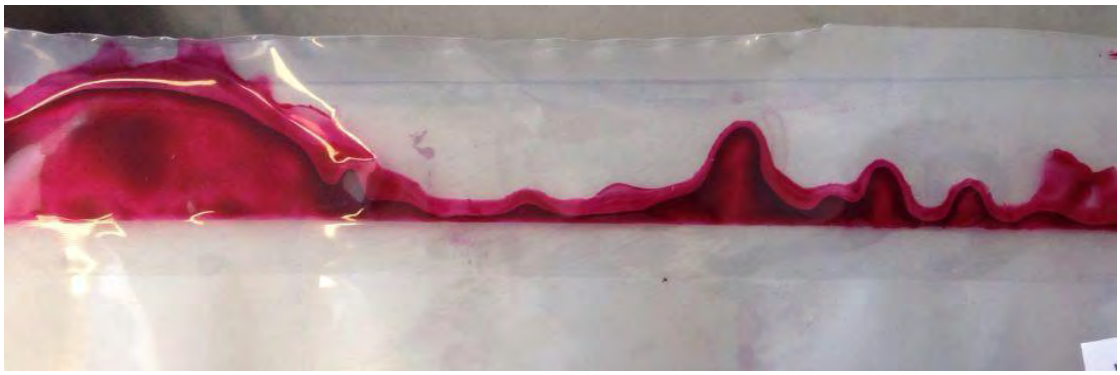


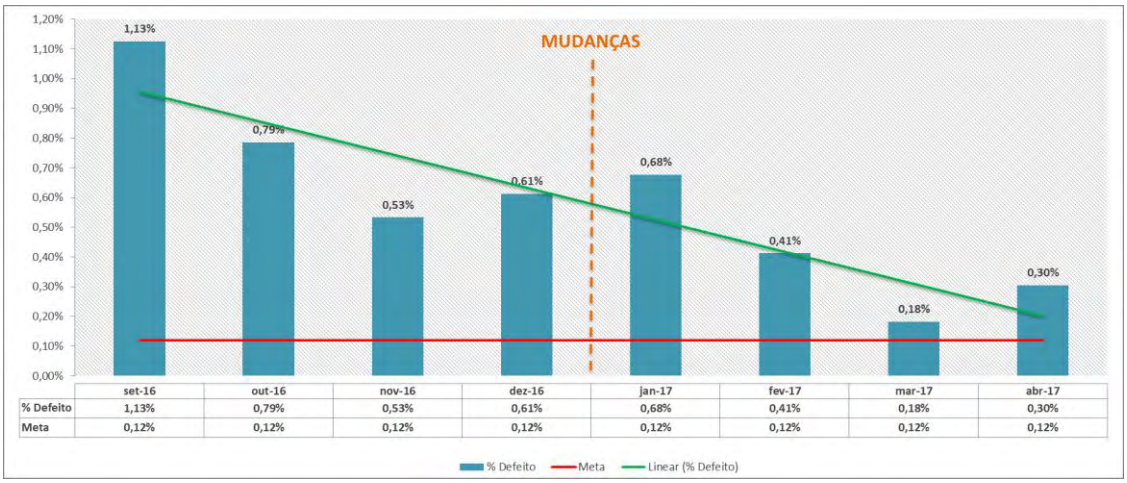
Figura 50. Teste de líquido penetrante em solda de 9mm

Fonte: Própria Autoria.

Dentre as 3.250 embalagens produzidas nenhuma embalagem perdeu a hermeticidade na solda na 1ª. e 2ª inspeção e no cliente, portanto, a alteração para a barra de 9mm foi aprovada para alteração e instalação nas plantas 2 e 3.

Após a realização do aumento da espessura da solda foi observada uma redução de 51,32 % de defeitos nos resultados (Figura 51) partindo da média de 0,76 % de defeitos nos

últimos quatro meses de 2016 para 0,39 % de defeitos nos primeiros quatro meses de 2017, porém, ainda não atingindo a meta estipulada pela empresa de 0,12 % de defeitos por mês.



	set-16	out-16	nov-16	dez-16	jan-17	fev-17	mar-17	abr-17
% Defeito	1,13%	0,79%	0,53%	0,61%	0,68%	0,41%	0,18%	0,30%
Meta	0,12%	0,12%	0,12%	0,12%	0,12%	0,12%	0,12%	0,12%

Figura 51. Resultados após aumento da espessura da solda da embalagem externa para 0,9 mm (Planta 1). Fonte: Própria Autoria.

5.5 Redução do vácuo aplicado na embalagem

A compactação de produto (Figuras 52 e 53) é outro problema que está diretamente relacionado ao problema da perda de hermeticidade já que a compactação é oriunda do excesso de vácuo aplicado na embalagem e que ocasiona o aumento das dobras e vincos, aumentando assim a possibilidade de orifícios nas paredes da embalagem.

Figura 52. Embalagem com excesso de vácuo

Fonte: Própria Autoria.

Figura 53. Produto compactado

Fonte: Própria Autoria.

O produto compactado também causa transtornos para o cliente uma vez que é necessária a aplicação de muita força mecânica para que as peças de produto se soltem

causando assim riscos de acidentes para os colaboradores que efetuam esta atividade além de gerar custos extras de mão de obra para realização desta atividade.

Um dos objetivos da aplicação do vácuo é de remover ao máximo a quantidade de gás O_2, que é o principal agente de deterioração do *Beef Jerky*, do interior das embalagens e segundo LECHEVALIER (2016), as embalagens com aplicação de vácuo atingem aproximadamente 1% de O_2 residual em seu interior. Para o *Beef Jerky* envasado em embalagens *bulk*, atingir esta porcentagem não é possível uma vez que o produto desidratado possui fibras e vilosidades onde o O_2 fica preso e não consegue se desprender apenas com a aplicação do vácuo.

Outro objetivo importante da aplicação de vácuo em embalagens *bulk* é a redução do volume ocupado pelo produto dentro da embalagem, ou seja, quanto maior a aplicação do vácuo maior será a compactação de produto e consequentemente maior será a quantidade de peso possível de ser embalada utilizando as mesmas dimensões de caixa de embarque. Sendo assim quanto maior o vácuo menor será o custo do produto já que o custo do frete será reduzido.

Porém, conforme citado anteriormente, o excesso da aplicação de vácuo gera o excesso de compactação de produto que consequentemente aumenta a quantidade de vincos e dobras nas embalagens e também geram custos extras para a descompactação do produto.

Foi proposto para a empresa a redução da quantidade de vácuo de 6 segundos para 3 segundos para que a compactação do produto seja suficiente para manutenção do peso atual de 14,515 kg e ao mesmo tempo reduza a quantidade de vincos e dobras das embalagens (Figura 54 e 55).

Figura 54. Embalagem com excesso de vácuo (6 segundos).

Fonte: Própria Autoria.

Figura 55. Embalagem com redução de vácuo (3 segundos).

Fonte: Própria Autoria.

Com esta alteração a quantidade de O_2 inicial presente dentro da embalagem aumentou já que o tempo de aplicação de vácuo foi reduzido, porém, o absorvedor de O_2 foi previamente superdimensionado para que absorva todo o residual de O_2 mesmo sem a presença de vácuo e/ou N_2 (Figura 56).

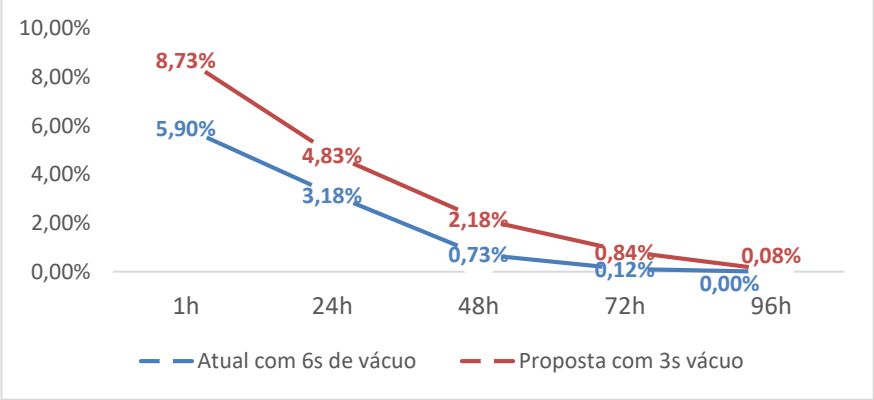


Figura 56. Comparação da absorção do O_2 em sistema de MAP com vácuo aplicado com 6 segundos e 3 segundos.

Fonte: Própria Autoria.

Para aprovação desta alteração foram enviadas 3250 embalagens por planta para o cliente das quais todas obtiveram resultado positivo quanto a compactação do produto. Neste mesmo processo foram avaliadas o índice de embalagens danificadas e dentro as 9.750 embalagens apenas cinco (0,05%) foram identificadas com problema de hermeticidade e foram descartadas pelo cliente.

Após a realização da redução do tempo de vácuo foi observada uma redução de 43,59% de defeitos nas embalagens (Figura 57) partindo de uma média de 0,39% de defeitos nos quatro primeiros meses de 2017 para 0,17% de defeitos nos quatro meses seguintes a alteração.

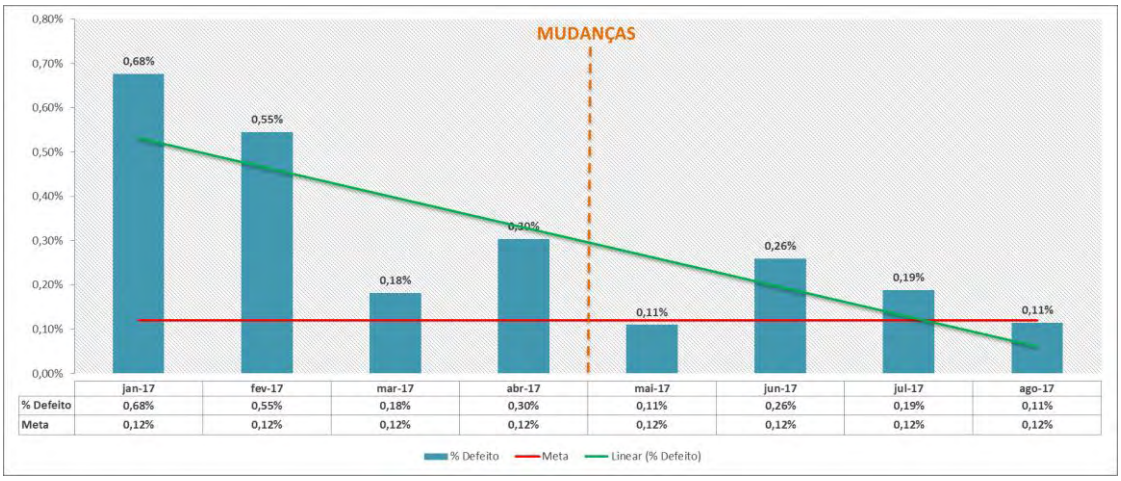


Figura 57. Resultados após redução do tempo de vácuo para 3s

Fonte: Própria Autoria.

Desta forma, somando-se as melhorias realizadas em linha de produção, na solda da embalagem e no tempo de vácuo aplicado no sistema de embalagem foi possível atingir a meta estipulada pela empresa de 0,12% de defeitos em dois meses de produção partindo de uma média de 2,05% para 0,17% e totalizando uma melhoria de 33,66%, 51,32% e 43,59% respectivamente em cada alteração (Tabela 8).

Tabela 8. Resultado das alterações realizadas

Alterações	Ajustes em linha de produção e treinamento dos colaboradores	Aumento da espessura da solda superior da embalagem externa	Redução do tempo de vácuo
Média de defeitos anterior	2,05%	0,76%	0,39%
Média de defeitos posterior	0,69%	0,39%	0,17%
Redução de defeitos	33,66%	51,32%	43,59%

5.6 Desenvolvimento de embalagem externa mais resistente

Segundo YAM (2009) quanto melhor as propriedades de barreira aos gases do material, mais significativo é o aumento relativo da permeabilidade causada por vazamentos e é um desperdício utilizar materiais caros de alta barreira caso não seja dada a atenção suficiente para garantir que o pacote não seja livre de vazamentos. Sendo assim uma das propostas para a empresa foi o aumento das características de barreira mecânica que ao mesmo tempo reduz as características de permeabilidade ao O_2 e umidade até o limite

aceitável da vida de prateleira do produto. Desta forma foi necessário um estudo sobre as taxas de transmissão de O_2 e de umidade bem como a vida de prateleira para a aprovação desta proposta.

Para tanto foram feitas as seguintes considerações:

- Considera-se que a quantidade de O_2 no interior da embalagem é de 20,946 % que é a mesma do ar atmosférico uma vez que o vácuo e o N_2 não garantem que o espaço livre da MAP seja constante devido as características do produto;
- O peso do produto é de 14,515 kg;
- O volume da embalagem é considerado o volume deslocado por imersão do pacote em água que é de 28.306 cm^3;
- A concentração máxima de O_2 para a conservação do *Beef Jerky* é de 1%;
- A concentração máxima do teor de umidade que pode ser absorvido pelo produto sem alterações é de 6 %;
- A quantidade total de O_2 ou vapor de água transferido através da embalagem do lado de fora para o interior da embalagem é totalmente absorvida pelo produto;
- No ambiente gasoso dentro da embalagem, a concentração de O_2 e a umidade relativa são constantes;
- A pressão parcial de O_2 dentro da embalagem é considerada zero;
- O coeficiente de permeabilidade ao vapor de água *P* do material de embalagem é constante. A temperatura (*T)* e a umidade relativa (*UR*) do ambiente externo também são constantes;
- A umidade relativa do ambiente interno da embalagem é igual à atividade inicial da água do produto × 100. O produto varia a atividade de água entre 0,70 e 0,85 que equivale a UR entre 70-85 %;
- O sachê utilizado tem capacidade de absorver 3.000 CC (cm^3) que equivale a 3 litros de O_2;
- TPO_2 e TPVA considerados conforme especificação do fornecedor (Tabela 5).

Desta forma, calcula-se a quantidade inicial de O_2 dentro da embalagem logo após selagem através da equação (1):

$$A = \frac{(V - P)\ x\ [O_2]}{100}$$

$$A = \frac{(28.306 - 14.515)\ x\ 20{,}946}{100} = 2.889{,}66\ mL$$

Considerando-se o pior caso em que o espaço livre inicial contém 2.889,66 mL (cm^3) de O_2 (sem aplicação de vácuo e N_2) e que o absorvedor de O_2 possui capacidade inicial de absorver 3.000 cm^3 restam 110,34 cm^3 de capacidade de absorção para o sachê que será ativado somente após o espaço livre da embalagem atingir 0,0 % de O_2 e a permeação iniciar através do filme da embalagem, permanecendo constante durante a vida de prateleira do produto.

Como a TPO_2 para a embalagem atual (23°C; 0% UR; 1atm de pressão parcial de O_2) é de 0,5 cm^3 de O_2 por m^2 a cada dia é possível calcular o tempo em que o absorvedor permanecerá ativo e absorverá todo o O_2 que é transferido através da embalagem. Como o total de área disponível para a permeação do O_2 a embalagem é de 0,8856 m^2 (Tabela 5) calcula-se o restante do tempo de atividade do sachê absorvedor que é de 111 dias. Ou seja, após a selagem hermética do produto o absorvedor de O_2 permanecerá ativo por mais 9,3 meses e a partir deste momento o O_2 que permeia através da embalagem não será mais absorvido pelo absorvedor e estará presente na atmosfera interna da embalagem.

Como o máximo de O_2 permitido em contato com o produto é de 1% do volume da embalagem que equivale a 283,06 cm^3 restarão mais 719 dias para que a porcentagem de O_2 se exceda além do máximo considerado seguro pela empresa totalizando assim, cerca de 32,85 meses dentro dos padrões estabelecidos para o produto. Tendo em vista que produto possui estabelecido 20 meses de vida de prateleira a proposta de redução do TPO_2 pode ser viável para que a embalagem melhore suas características mecânicas. O TPO_2 necessário sob as condições consideradas pode ser de até 0,82 cm^3 /m^2.dia à pressão parcial de O_2 de 1 atm.

Já quanto a transferência de umidade do ambiente externo pela embalagem para o produto considera-se um máximo de 6% que equivale 1,32 kg de água. Isto acontece somente se a UR do ambiente for superior ao máximo de 85% do interior da embalagem hermética. Considerando-se o pior caso em que durante todo o tempo o ambiente externo tem umidade relativa superior a atmosfera interna e que a TPVA da embalagem (38°C e 90% UR) é de 2,5 g de H_2O por m^2 a cada dia, calcula-se o tempo máximo em que o produto absorverá 1,32 kg de água que é de 596 dias (aproximadamente 20 meses). Desta forma a TPVA da embalagem não pode ser alterada pois atualmente atende os padrões estabelecidos pela empresa.

Foram contatados diferentes fornecedores de embalagem no Brasil para o desenvolvimento de embalagens com melhor resistência mecânica mantendo-se a TPVA de 2,5 podendo-se aumentar a TPO_2 até o limite aceitável da vida de prateleira.

Foi observado também que as embalagens atuais são muito espessas (200 µm por barreira) tornando-as mais quebradiças quando o vácuo é aplicado. Como a espessura não influencia na permeabilidade da barreira ela pode ser reduzida para atender as necessidades de resistência mecânica à perfuração com a substituição do tipo de polietileno da embalagem interna de PEBD para o PE linear por exemplo, ou algum outro material que tenha maior resistência a perfuração (troca não implica em aumento de valor da embalagem).

Quanto a embalagem externa, foi observado que ela é extremamente rígida provavelmente devido ao PA sendo necessário a redução desta rigidez tornando-a mais flexível sem redução de barreira e mantendo a resistência à perfuração com a substituição por outro tipo de PA mais flexível. Para a embalem externa, assim como para a interna, foi recomendada a substituição do PEBD por um PE linear mais flexível.

5.7 Alteração da caixa de embarque

Foi observado que as abas da caixa de embarque (Figura 58) que entram em contato direto com a embalagem podem também ser um ponto de fricção que pode ocasionar perfurações no corpo das embalagens durante o transporte. A força que o peso do produto aplica sobre a área de solda faz com que a fricção nesta região seja superior às demais áreas. No mapa da planta 1 (Figura 32) é possível observar a quantidade de defeitos localizados nesta região de atrito entre a embalagem e as abas da caixa.

Figura 58. Abas da caixa de transporte

Desta forma foi proposto a inserção de uma folha de papelão ondulado de 5mm de espessura (Figura 59) no fundo e acima da embalagem com o objetivo de remover os pontos de atrito entre as embalagens e a aba da caixa.

Figura 59. Folha de papelão de 5mm

Foram realizados testes com 1625 caixas das quais foram encontrados 5 problemas na inspeção final relacionados a hermeticidade da embalagem (orifício na parede). Desta forma os testes preliminares não foram conclusivos uma vez foram encontrados 0,31% de falhas sendo necessário a repetição do teste utilizando um maior número de caixas para que a proposta seja aprovada. A possível causa destes defeitos foi excesso de manuseio da embalagem pelo colaborador.

5.8 Desenvolvimento de embalagem ativa com filme absorvedor de O_2

Outro problema relacionado a embalagens e que ocasiona o descarte do produto final pelo cliente são os sachês absorvedores de O_2 danificados que ficam dispostos em contato direto com o produto final (Figura 60).

Figura 60. Absorvedor de O_2 em contato com o produto final

Quando os sachês são danificados o ferro ativo (Figura 61) entra em contato com o produto e assim todo o conteúdo da embalagem deve ser descartado.

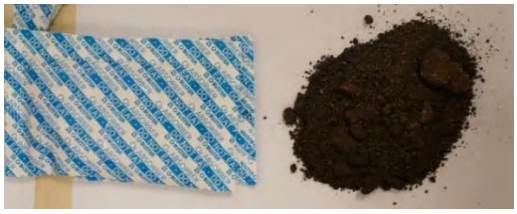


Figura 61. Sachê de absorvedor de O_2 e seu conteúdo interno

Conforme citado anteriormente embora o desempenho dos sachês absorvedores seja bastante satisfatório a incorporação do componente ativo absorvedor de O_2 dentro dos filmes

de embalagens é a melhor maneira de resolver os problemas relacionados ao sachê como furos e rasgos que colocam o conteúdo interno férrico em contato com o produto final. Além disto a aplicação de filmes com camadas ativas para compensar a permeação do O_2 em orifícios inferiores 10 μm também se mostrou eficiente confirmando a aplicabilidade deste sistema de filme ativo para produtos alimentares sensíveis.

A camada contendo o conteúdo ativo é a camada anterior a última camada e fica entre duas camadas de polietileno que são de baixa permeabilidade ao O_2, ou seja, o PE projete a camada ativa para o contato com o produto e permite a permeação do O_2 e umidade através do filme para que seja absorvido pela camada absorvedora. A passagem da umidade pelo PE também é importante para que a camada ativa seja ativada (ferro). Já a camada externa deste sistema deve ser de alta barreira a O_2 para que desta forma a camada ativa absorva somente o O_2 residual da atmosfera interna da embalagem. Devido a estes fatores e ao descarte de produtos por defeitos em absorvedores foi proposto para a empresa o desenvolvimento de filmes de embalagens ativas com a capacidade de absorver o O_2 residual presente no espaço livre das embalagens de *Beef Jerky* em substituição ao sachê absorvedor de O_2.

Foram realizados testes preliminares comparando o sistema atual com mais duas propostas que constituíram na substituição da embalagem interna pela embalagem contendo o filme ativo na camada interna da embalagem multicamada mantendo-se a embalagem interna do sistema sem o fechamento hermético e outra proposta selando-se a embalagem interna e posteriormente a externa diferentemente do que é realizado pela empresa. Para esta proposta foram realizados testes com 20 embalagens de cada para avaliação do resultado após 24h, 48h, 72h e 96h de armazenamento (Figura 62).

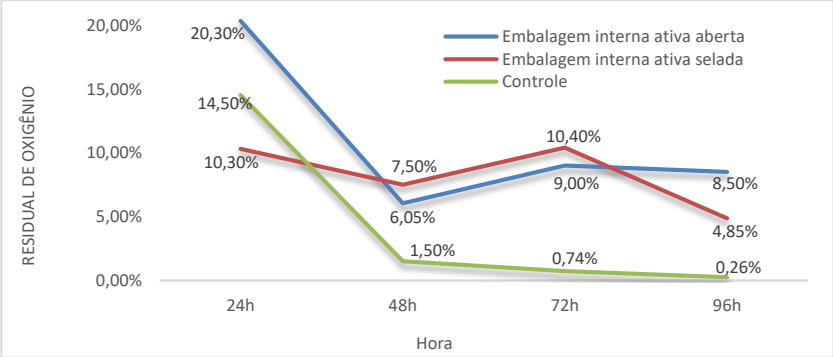


Figura 62. Comparação entre sistema de embalagem com sachê absorvedor de O_2 (controle) e embalagens ativas com filme ativo (embalagem interna ativa selada ou aberta)

5.8.1 Discussão com os resultados da literatura

Foi observado que a meta de atingir o espaço livre menor que 1% de O_2 em no máximo 72 h não foi atingida pelo sistema com a embalagem ativa. Isto pode ser explicado pelo fato de que o ambiente gasoso da MAP não é estático e o produto possui porosidade elevada que dificulta a absorção do O_2 pela embalagem ativa, porém, conforme citado anteriormente, a velocidade e a capacidade dos sistemas de absorção de O_2 incorporados nos filmes de embalagem são consideravelmente inferiores aos sachês absorvedores já que a quantidade de ferro ativo capaz de ser adiciona dentro dos sachês é superior ao máximo possível que os filmes ativos são capazes de comportar. Outros fatores que influenciam na capacidade de absorção da embalagem ativa é a última camada de PE que projete a camada ativa, que mesmo sendo de espessura fina (70 µm) funciona como uma barreira à velocidade de absorção. Já os sachês absorvedores de O_2 que são com embalagens que possuem microfuros que ajudam na absorção do O_2 pelo ferro.

6 CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi de avaliar a situação atual da empresa quanto à perda de hermeticidade das embalagens, bem como revisar a literatura e propor alternativas para que a redução dos defeitos.

Os resultados apresentados demonstraram que o problema da perda da hermeticidade pode ter várias origens, as quais estão relacionadas a questões simples como o correto manuseio da embalagem, a remoção de áreas de atrito na linha de produção, e a questões um pouco mais complexas como o vácuo aplicado, a estrutura do filme da embalagem e o seu fechamento (solda).

Após a realização das melhorias observou-se uma redução de 33,66%, 51,32% e 43,59% de defeitos de hermeticidade (orifícios e canais de solda) considerando as alterações de linha de produção, alteração da solda e redução da quantidade de vácuo aplicada respectivamente. A meta da empresa de se obter o nível máximo de falhas de 0,12% foi atingida em dois meses de produção (maio/17 e agosto/17) observados neste trabalho. Isto demonstra que as alterações realizadas surtiram efeito no resultado anterior observado. No entanto, o resultado observado após a última alteração de maio/2017, não foram constantes e abaixo de 0,12%, portanto, novas avaliações devem continuar a serem feitas para observar a efetividade das alterações.

Neste estudo foi observado também que a taxa de permeabilidade ao O_2 da embalagem (TPO_2) pode ser reduzida e consequentemente a barreira mecânica da embalagem pode ser aumentada. Desta forma existe a possibilidade de tornar as embalagens mais resistentes a furos, abrasões e atritos ocasionados durante o armazenamento e transporte do produto até o cliente final.

Foi também demostrado por meio de testes preliminares que a possível alteração dos sachês absorvedores de O_2 danificados por sistemas de embalagens ativas não é recomendada no cenário atual e que novos estudos e/ou aprimoramentos da tecnologia, do processo e dos equipamentos devem ser realizados para que a aplicação deste sistema no envase do *Beef Jerky* seja eficiente.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A proposta de realizar o fechamento hermético da embalagem interna é uma oportunidade para que a empresa reduza o índice de problemas relacionados a embalagens já que a embalagem interna passaria a ser mais uma barreira à entrada de O_2 e umidade para dentro da embalagem. Para o sucesso desta proposta é necessário a alteração da estrutura da embalagem interna para que tenha a barreira a O_2 e umidade. Desta forma, as duas embalagens (interna e externa) hermeticamente seladas teriam que perder a hermeticidade para que o sistema falhasse.

Foram realizados testes preliminares selando a embalagem interna hermeticamente porém, a velocidade de produção foi reduzida e o volume da embalagem ficou maior do que o atual e desta forma a embalagem final não coube na caixa de transporte. Os testes preliminares realizados não foram conclusivos e são necessários ajustes na máquina de envase para que a velocidade de produção não seja reduzida e para que a embalagem não perca peso líquido em relação ao volume ocupado.

Outra alternativa interessante para a detecção de furos por métodos não destrutivos é a instalação de máquinas de detecção de vazamento de gás em linha de produção. Os equipamentos da Dansensor® detectam a presenta de CO_2 a níveis de 8 ppm/s considerando a avaliação de 6 caixas por minuto. Foram realizados testes preliminares com as embalagens de *Beef Jerky* aplicando-se a MAP de 30% N_2 / 70 % CO_2. A máquina realiza uma pressão diferencial de vácuo dentro da câmera de cerca de 250 mbar na qual extrai o CO_2 de dentro da embalagem para ser detectado pelo sensor do equipamento.

Os resultados dos testes realizados não foram conclusivos devido à pouca quantidade de embalagens testadas (10 unidades) porém, todas as embalagens testadas com a inserção do CO_2 e com orifícios forçados de até 0,8 mm foram detectados no corpo das embalagens. Testes com maiores quantidades e *in-loco* são necessários para a aprovação do equipamento que possui um alto investimento.

8 REFERÊNCIAS

ASSOCIACÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE. **Informativo ABIEC:** Brasil exporta 1,4 milhão de toneladas de carne bovina e fatura US$ 5,5 bilhões em 2016. São Paulo: ABIEC, 2017. Disponível em: <http://www.abiec.siteoficial.ws/download/abiec-170117.pdf>. Acesso em: jul. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMBALAGEM. **Apresentação do Setor de Embalagem.** São Paulo: ABRE, 2016. Disponível em: <http://www.abre.org.br/downloads/cartilha.pdf>. Acesso em: set. 2016.

AHVENAINEN, R. Active and intelligent packaging: An introduction. In: **Novel Food Packaging Techniques**, R. Ahvenainen (Ed.). London, U.K.: Woodhead Publishing, 2003.

ARVANITOYANNIS, I. S. **Modified Atmosphere and Active Packaging Technologies**. CRC PRESS, Boca Raton. 2012.

ATCO. **Technical Information of ATCO® oxygen absorbers**, Standa Industrie, France. 2002.

BAK, K. H.; LINDAHL, G.; KARLSSON, A. H. & ORLIEN, V. Effect of highpressure, temperature, and storage on the color of porcine *longissimus dorsi*. **Meat Science**, p.581-753. 2012.

BREWER, S. J.; JENSEN, A.; SOSNICKI, B.; FIELD, E.; WILSON, and F. MCKEITH. The effect of pig genetics on palatability, color and physical characteristics of fresh loin chops, **Meat Science**, p.249-256. 2002.

BREWER, S. Technological Quality of Meat for Processing. In: **Handbook of meat processing.** F. Toldrá (Ed.), p.25-42. Wiley-Blackwell, Ames, IA. 2010.

BRITT, I. J. Thermal processing. In: **Food Biodeterioration and Preservation**, G. Tucker (Ed.), p.63-79. Blackwell Publishing Ltd., Oxford, U.K.: 2008.

BRODY, A. What's active in active packaging. **Food Technology**, v.55, p.104-06. 2001.

BRODY, A.L.; STRUPINSKY, E.R.; KLINE, L.R. **Active Packaging for Food Applications.** CRC Press, New York, p.31-64. 2001.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Guia técnico ambiental de frigoríficos:** industrialização de carne bovina e suína. São Paulo: CETESB, 2008.

CHARCUTARIA, **Entenda a cor da carne.** Publicado em 2014. Disponível em: <https://charcutaria.org/carnes/entenda-a-cor-da-carne/>. Acesso em: jul. 2017.

CHRISTIAN, J. H. B. Drying and reduction in water activity. In: **The Microbiological Safety and Quality of Food**, B. M. Lund, A.C. Baird-Parker, and G.W. Gauld (Eds.), p.146-174. Aspen Publishers Inc. Gaithersburg, MD. 2000.

CHUNG D. H.; PAPADAKIS S. E.; YAM K. L. A model to evaluate transport of gas and vapors through leaks. **Packaging Technology Science.** 16, 77–86. 2003.

CHURCH, N. Developments in modified-atmosphere packaging and related technologies. **Trends in Food Science and Technology**, v.5, p.345-352. 1994.

COLES, R.; MCDOWELL, D.; KIRWAN, M. J. **Food Packaging Technology**, CRC Press. Boca Raton, FL. 2003.

CRUZ, R. S; SOARES, N. F. F.; ANDRADE, N. J, Efficiency of oxygen absorbing sachets in different relative humidities and temperatures. **Ciência Agrotec**, v.31, p.1800-1804. 2007.

DRULHE, E., Emballage sous atmosphère modifiée, In: **L'emballage des denrées alimentaires de grande consummation.** Multon J.L., Bureau G. (Eds.). Lavoisier, Paris, 1998.

EFSA. Opinion of the Scientific Panel on Biological Hazards on the Request from the Commission related to the Effects of Nitrites/Nitrates on the Microbiological Safety of Meat Products, **EFSA Journal**, v.14, p.1-31. 2003.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Meat Processing Technology for Small to Medium Scale Producers.** Bankok, 2007. G. Heinz and P. Hautzinger (Eds.). Rap Publication 2007/20, p.15. 2007.

FARMER, N. **Trends in packaging of food, beverages and other fast moving consumer goods (FMCG).** Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition: Number 244. 2013.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Instituto de Tecnologia de Alimentos. **Brasil pack trends 2020**. São Paulo: FIESP/ITAL, 2010.

FEINER, G. **Meat Products Handbook: Practical Science and Technology**. CRC Press. Boca Raton, FL. 2006.

FINNIGAN, B. Barrier Polymers. In: **The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology 3rd edition**. K. L. Yam (Ed.). John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, NJ. 2009.

FOSTER R. H. Ethylene–Vinyl Alcohol Copolymers. In: **The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology 3rd edition**. K. L. Yam (Ed.). John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, NJ. 2009.

FOOD SAFETY AND INSPECTION SERVICE, U.S Department of Agriculture. FSIS Compliance Guideline for Meat and Poultry Jerky Produced by Small and Very Small EstabLishments - 2012 Updated Compliance Guideline, **FSIS/USDA**. United States. 2012.

GIUSEPPE, C.; SPIZZIRRI U. G.; IEMMA F. **Functional Polymers in Food Science: From Technology to Biology.** Volume 1: Food Packaging, John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, NJ. 2015.

U.S GOVERNMENT PUBLISHING OFFICE (GPO). 9 CFR 317.2 - **Labels: Definition; Required Features.** Disponível em: <https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/CFR-2010-title9-vol2/pdf/CFR-2010-title9-vol2-sec317-2.pdf> Acesso em: set. 2016.

GREVER, A. B. G.; A. RUITER. **Prevention of clostridium outgrowth in heated and hermetically sealed meat products by nitrite and nitrate**. European Food Research Technology. v.213:p.165-169. 2001.

HASTINGS, M. J. MAP machinery. In: **Principles and Applications of Modified Atmosphere Packaging of Food, 2nd.** Blakistone, B.A. (Ed.), Aspen Publications, Gaithersburg, MD. 1999.

HONIKEL, K. O. The use and control of nitrate and nitrite for the processing of meat products. **Meat Science**, v.78, p.68-76. 2008.

HONIKEL, K. O. Curing. In: **Handbook of meat processing**. F. Toldrá, (Ed.), p.125-141. Wiley-Blackwell. Ames, IA. 2010.

HURME E. **Detecting leaks in modified atmosphere packaging VTT Biotechnology**, Finland, 2003.

HURME, E.; AHVENAINEN, R. Active and smart packaging of ready-made foods. In: **Minimal Processing and Ready Made Foods**. T. Ohlsson, R. Ahvenainen and T. Mattila-Sandholm (Eds). Goteborg, SIK, p.169-82. 1996.

International Commission on Microbiological Specifications for Foods (ICMSF). Characteristics of Microbial Pathogens. In: **Microorganisms in Foods 5.** London: Blackie Academic & Professional. p. 304, Table B. 1996.

JAMES C; JAMES S. J. Freezing/Thawing. In: **Handbook of meat processing**. F. Toldrá (Ed.). p.125-141. Wiley-Blackwell, Ames, IA. 2010.

KING A. D.; NAGEL C. W. Growth inhibition of a pseudomonas by carbon dioxide. **Journal of Food Science**. 32:575–579. 1967.

KOOHMARAIE, M.; M. P. KENT; S. D. SHACKELFORD, E. VEISETH, T. WHEELER. Meat tenderness and muscle growth: Is there any relationship?. **Meat Science**, v.62, p.345–352. 2002.

KRUIJF N.; VAN BEEST M.; RIJK R.; SIPILÄINEN-MALM T.; PASEIRO LOSADA P.; DE MEULENAER B. Active and intelligent packaging: applications and regulatory aspects. **Food Addit Contam**, v.19, p.144-162. 2002.

LABUZA, T. P.; ACOTT, K.; TATINI, S. R.; LEE, R. Y.; FLINK, J; MCCALL, W. Water activity determination: a collaborative study of different methods. **Journal of Food Science**, v.41, p.910-917. 1976.

LAWRIE, R. A. The eating quality of meat. In: **Meat Science**, 5 ed. Pergamon Press. New York. 2002.

LECHEVALIER, V. Packaging: Principles and Technology. In: **Handbook of Food Science and Technology 2 – Food Process Engineering and Packaging.** R. Jeantet et. al, (Ed.), p.271-310. ISTE Ltd and John Wiley & Sons, Inc. 2016.

LEE D. S.; YAM K.L.; PIERGIOVANNI L. **Food Packaging Science and Technology**. CRC Press. Boca Raton, FL. 2008.

LOURINDO, P.; JÚNIOR, A., NAGANO, M.; FARIA, A. **A Integração do Kaizen o Custeio Baseiado em Actividades (ABC**), Vol. 25, N.2, pp. 55-64. 2006.

LÜCKE, F. K. Nitrit und die Haltbarkeit und Sicherheit erhitzter Fleischerzeugnisse. **Mitteilungsblatt der Fleischforschung Kulmbach**, v.47, p.177-185. 2008.

MASSEY L. K. Permeability Properties of Plastics and Elastomers. **A Guide to Packaging and Barrier Materials.** Plastic Design Laboratory/William Andrew Publishing, New York. 2003.

MCMILLIN, K.W. Introduction. In: **Principles and Applications of Modified Atmosphere Packaging of Food**, 2nd ed., Blakistone, B.A. (ed.), Aspen publications, Gaithersburg, MD. Meat Science, 80, 43, 2008; Blakistone, B.A., 1999.

MCMILLIN K. W. Where is MAP going? A review and future potential of modified atmosphere packaging for meat. **Meat Science.** 80:43–65. 2008.

MORALES, M.M. **Avaliação dos resíduos sólidos e líquidos num sistema de abate de bovinos.** 84p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

MORRIS B. A.; DARBY D.; Sealing, Heat, In: **The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology 3rd edition**. K. L. Yam (Ed.). John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, NJ. 2009.

MORRIS, S. A. **Food and package engineering**. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, NJ. 2011.

NOLLET, **Handbook of Meat, Poultry and Seafood Quality.** Leo M. L. Nollet (Ed.) Blackwell Publishing. Oxford, U.K., 2007.

NOLLET, L. M. L.; BOYLSTON, T.; CHEN, F.; COGGINS, P.; HYDLIG, G.; MCKEE, L. H.; KERTH, C. **Handbook of Meat, Poultry and Seafood Quality.** Wiley-Blackwell, Ames, IA. 2012.

NOVAKOFSKI, J.; S. BREWER. The paradox of toughening during the aging of tender steaks. **Journal of Food Science,** v.71, p.473-479. 2006.

ORTEGA-RIVAS E. **Processing Effects on Safety and Quality of Foods**, 2009.

OZDEMIR M.; FLOROS J. D.; Active Food Packaging Technologies. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.44, p.185-193. 2004.

PACHECO, J.W.; YAMANAKA, H.T. **Guia técnico ambiental de abate (bovino e suíno).** São Paulo: CETESB, 2008. 95p.

PAPADAKIS, S. E. Food Packaging and Aseptic Packaging. In: **Handbook of Food Processing: Food Preservation**. Varzakas, T; Tzia C. (Eds.), p.271-310 CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL. 2016.

PARISI, S. **Food Industry and Packaging Materials: Performance-oriented Guidelines for Users.** Smithers Rapra. United Kingdom. 2013.

PARRY, T.R., Introduction. In: **Principles and Applications of Modified Atmosphere Packaging of Food**, 1st edn., Parry, T.R. (ed.), Blackie Academic and Professional, London, U.K. 1993.

PERERA, C. O. Selected quality attributes of dried foods. **Drying Technology**, v.23(4), p.717-730. 2005.

PIATTI.T. M.; RODRIGUES R. A. F.; **Plásticos: características, usos, produção e impactos ambientais.** Série: Conversando sobre Ciências em Alagoas, Maceió. EDUFAL, 2005.

PIRINGER, O. G.; BANER, A. L. **Plastic Packaging Materials for Food**, Wiley VCH, Weinheim, Germany, 2000.

RAHMAN M. S.; LABUZA T. P. Water Activity and Food Preservation (Chapter 20). In: **Handbook of Food Preservation**, 2nd ed., M. Shafiur Rahman (Ed.). Taylor & Francis Group, LLC., Boca Raton, FL. p.1011-1029. 2007.

ROBERTSON, G. L. **Food Packaging: Principles and Practice,** 2nd ed. CRC Press, Taylor & Francis Group. Boca Raton, FL. 2006.

ROBERTSON, G. L. **Food packaging and shelf life: a practical guide.** CRC Press. Boca Raton, FL. 2009.

ROBINSON J. G.; MARCHELLO M. J.; **Jerky Making: then and now** – NDSU Extension Service. 2016.

ROONEY, M. L. Introduction to active food packaging technologies. In: **Innovations in Food Packaging.** Han JH (Ed.) Elsevier Ltd. London, UK, p.63-69. 2005.

ROUSSEL. Les emballages absorbeurs d'oxygène. In: **Les emballages actifs.** Gontard N. (Ed.) Paris, p.31-37. 1999.

SÄNGERLAUB, S.; GIBIS D.; KIRCHHOFF E.; TITTJUNG M.; SCHMID M.; MÜLLER K. Compensation of Pinhole Defects in Food Packages by Application of Iron-based Oxygen Scavenging Multilayer Films. **Packaging Technology and Science**, v.26, p.17-30. 2012.

SANTOS A.O.; ZWIRTES D.S.; ZAMPARONI T. **Complexo Agroindustrial da Carne Bovina**. Projeto de pesquisa apresentado ao Departamento de Engenharia de Produção Agroindustrial da Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT. 2007.

SEBRANEK, J. G.; T. A. HOUSER. Modified atmosphere packaging. In: **Advanced Technologies for Meat Processing**. L. M. L. Nollet and F. Toldrá (Eds.), p.419-447. CRC Press/Taylor & Francis. Boca Raton, FL. 2006.

SGARBIERI, V.C. **Proteínas em alimentos protéicos: propriedades, degradações, modificações.** Livraria Varela Ltda, 517p. São Paulo. 1996.

SINGH, J.; SINGH, H. **Kaizen Philosophy: A Review of Literature**, pp.1-63. 2006.

SIVARAMAKRISHNA V.; RASPANTE F.; PALANIAPPAN S.; PASCALL M-A.; **Development of a timesaving leak detection method for brick-type packages**. Journal of Food Engineering, v.82, p.324-332. 2007.

SIVERTSVIK M.; ROSNES J.T.; BERGSLIEN H. Modified atmosphere Packaging. In: **Minimal Processing Technologies in the Food Industries**. Ohlsson T., Bengtsson N. (Eds.), Woodhead Publishing, 2012.

SMIDDY, M.; FITZGERALD, M.; KERRY, J. P.; PAPKOVSKY, D. B.; O'SULLIVAN, C. K.; GUILBAULT, G. G. Use of oxygen sensors to non-destructively measure the oxygen content in modified atmosphere and vacuum packed beef: Impact of oxygen content on lipid oxidation. **Meat Science,** v.61, p285-290. 2002.

SMOKING MEATING FORUNS. Disponível em: <http://www.smokingmeatforums.com/t/138397/beef-jerky-ten-pounds-two-types-with-pics>. Acesso em: jul. 2017.

STETZER, A.; E. TUCKER; F. MCKEITH; S. BREWER. Quality changes in various beef muscles enhanced prior to aging. I. *Gluteus medius, Infraspinatus, Psoas major, Rectus femoris* and *Teres major*. **Journal of Food Science,** v.72(4), p.242-246. 2007.

SWEET AVA KATE. Disponível em: <http://sweetavakate.blogspot.com.br/2011/05/beef-jerky-marinade.html>. Acesso em: jul. 2017.

UTTARO, B. Effects of Some Common Processing Steps on Physicochemical Changes of Raw Red Meats. In: **Physicochemical Aspects of Food Engineering and Processing.** S. Devahastin (Ed.), p.207-326. CRC Press, Boca Raton, FL. 2010.

VAN WILLIGE, R W G. **Effects of flavour absorption of foods and their packaging materials**, PhD thesis, Wageningen University, The Netherlands, 140p. 2002.

VERMEIREN, L.; HEIRLINGS, L.; DEVLIEGHERE, F.; DEBEVERE, J. Oxygen, ethylene and other scavengers. In: **Novel Food Packaging Techniques**. R. Ahvenainen (Ed.). CRC Press, Boca Raton, FL. 2003.

WALSH, H. M.; KERRY, J. P. Meat packaging. In: **Meat Processing. Improving Quality**. J. Kerry, J. Kerry, and D. Ledward (Eds.). p.417-451. Boca Raton, FL/Cambridge, England: CRC Press/Woodhead Publishing Limited. 2002.

WICKLUND, S.; HOMCO-RYAN C.; RYAN K.; MCKEITH F.; MCFARLANE B.; BREWER S. Aging and enhancement effects on quality characteristics of beef strip steaks. **Journal of Food Science,** v.70, p.242-248. 2005.

YAM, K. L.; Gas Barrier Properties: Effects of Small Leaks. In: **The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology 3rd edition**. K. L. Yam (Ed.). John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, NJ. 2009.

YANCEY, E.; GROBBEL J. P.; DIKEMAN M.; SMITH J.; HACHMEISTER K.; CHAMBERS E.; GADGIL P.; MILLIKEN G.; DRESSLER E. Effects of total iron, myoglobin, hemoglobin, and lipid oxidation of uncooked muscles on livery flavor development and volatiles of cooked beef steaks. **Meat Science,** v.73, p.680-686. 2006.

YOXALL A.; LUXMOORE J.; ROWSON J.; LANGLEY J.; JANSON R. **Size does matter: further studies in hand-pack interaction using computer simulation.** Packaging Technology and Science. v.21, p.61-72. 2007.