



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

TESE DE DOUTORADO

**ESTUDO DE LATAS ELETROSSOLDADAS PARA
ACONDICIONAMENTO DE ERVILHA, EXTRATO DE
TOMATE E PÊSSEGO EM CALDA**

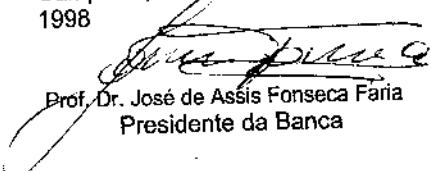
PARECER

Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida por *Sílvia Tondella Dantas* aprovada pela Comissão Julgadora em 21 de dezembro de 1998.

Sílvia Tondella Dantas

Engenheira de Alimentos

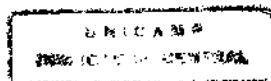
Campinas, 21 de dezembro de 1998


Prof. Dr. José de Assis Fonseca Faria
Presidente da Banca

Orientador: Prof. Dr. José de Assis F. Faria

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos, da Universidade Estadual de Campinas, para obtenção do título de Doutor em Tecnologia de Alimentos

Campinas, SP
1998



UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	
V.	Fr.
FORMA	SC/36441
PREÇO	229/99
C	☐
D	☒
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	03/02/99
N.º CPD	

CM-00120543-7

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA F.E.A. - UNICAMP

D235e

Dantas, Sílvia Tondella

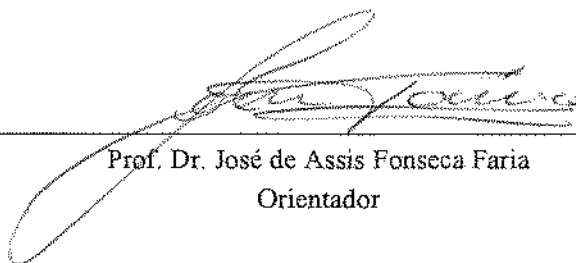
Estudo de latas eletrossoldadas para acondicionamento de ervilha, extrato de tomate e pêsego em calda / Sílvia Tondella Dantas
-- Campinas, SP: [s.n.], 1998.

Orientador: José de Assis F. Faria

Tese (doutorado) Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Engenharia de Alimentos.

1. Embalagens 2. Ervilha enlatada. 3. Tomate enlatado.
4. Pêssego enlatado. 5. Estabilidade I. Faria, José de Assis F.
II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos III. Título.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. José de Assis Fonseca Faria
Orientador

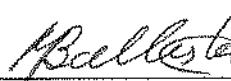
Dr. Alfredo de Almeida Vitali
Membro



Profa. Dra. Célia Marina de Alvarenga Freire
Membro



Dra. Leda Coltro
Membro



Profa. Dra. Margarita Ballester Santos
Membro



Profa. Dra. Pilar Rodriguez de Massaguer
Membro

Prof. Dr. Roberto H. Moretti
Membro

Dezembro de 1998

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, pela educação e formação.

Ao Ricardo, pelo amor, compreensão e dedicação.

Aos meus filhos, Viviana e Leonardo, pela existência e inspiração.

AGRADECIMENTOS

Ao ITAL – Instituto de Tecnologia de Alimentos, pela oportunidade, e ao CETEA – Centro de Tecnologia de Embalagem do ITAL, pelo apoio para a realização do doutoramento;

À EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, pela concessão de bolsa para o início do programa de doutorado;

À FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos, pela aprovação de projeto de pesquisa que possibilitou a aquisição de equipamentos e acessórios fundamentais à realização desta pesquisa;

Ao Prof. Dr. José de Assis F. Faria, pela orientação do programa;

À Empresa Etti Produtos Alimentícios Ltda., pelo fornecimento de embalagens, produtos e instalações industriais para os processamentos de ervilha e extrato de tomate;

À empresa Extrafruta Indústria de Alimentação Ltda., pelo fornecimento de matéria-prima e instalações industriais para o processamento do pêssego em calda;

Às empresas Metalúrgica Mococa S. A. e Olvebra Industrial S. A. Divisão Guerreiro, pelo fornecimento de embalagens para o enlatamento de pêssego em calda;

À Profa. Pilar Rodriguez de Massaguer e à Pesquisadora Leda Coltro, pelas valiosas sugestões;

À pesquisadora Elisabete Segantini, pela colaboração na realização de análises;

A todos os colegas do CETEA envolvidos com esta pesquisa;

Aos colaboradores Fiorella B. Hellmeister, Patricia de Godói, Eliane Borgonovi e Tiago B. Dantas, pelo apoio na realização de análises;

À Nilda Doris Montes Villanueva, pela assessoria na análise estatística dos dados e à Gabriela S. de Noronha, pela editoração da tese;

Aos Professores Margarita B. Santos, Célia M. A. Freire e Roberto H. Moretti e ao Pesquisador Alfredo de A. Vitali, membros da banca examinadora;

A todos que, direta ou indiretamente, participaram e colaboraram para o desenvolvimento deste trabalho.

SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS iii

ÍNDICE DE TABELAS viii

ÍNDICE DE ANEXOS xiii

RESUMO xiv

SUMMARY xvi

1 INTRODUÇÃO..... 01

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....06

2.1 Materiais para a fabricação de latas para alimentos 06

2.2 A soldagem elétrica aplicada à fabricação de latas para alimentos..... 08

2.2.1 Princípio da soldagem elétrica 10

2.2.2 Principais tecnologias disponíveis 12

2.2.3 Fatores de influência no processo de eletrossoldagem..... 16

2.2.4 Características e avaliação da solda elétrica..... 21

2.3 Aplicação de *side stripe* na eletrossolda..... 25

2.4 Processos de corrosão e estudos de compatibilidade embalagem metálica/alimento..... 28

2.4.1 Mecanismos de corrosão 29

2.5 Estimativa de vida-de-prateleira dos diferentes produtos 35

3 MATERIAIS E MÉTODOS.....38

3.1 Materiais 38

3.1.1 Embalagens..... 38

3.1.2 Produtos Alimentícios 40

3.2 Métodos 40

3.2.1 Avaliação da qualidade da solda..... 40

3.2.2 Estudo de desempenho na estocagem 44

3.2.2.1 Caracterização das embalagens 44

3.2.2.2 Processamento dos produtos..... 49

3.2.2.3 Avaliações periódicas 52

3.2.3 Análise estatística dos resultados 57

4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
4.1	Avaliação da qualidade da solda elétrica	59
4.1.1	Latas de Ervilha	59
4.1.2	Latas de Extrato de tomate	68
4.1.3	Latas de Pêssego em calda	75
4.2	Estudos de desempenho na estocagem	84
4.2.1	Lata de Ervilha	84
4.2.1.1	Caracterização das embalagens	84
4.2.1.2	Avaliações periódicas	90
4.2.2	Extrato de tomate	114
4.2.2.1	Caracterização das embalagens	114
4.2.2.2	Avaliações periódicas	120
4.2.3	Pêssego em calda	148
4.2.3.1	Caracterização das embalagens	148
4.2.3.2	Avaliações periódicas	153
4.3	Estimativa de vida-de-prateleira dos diferentes produtos	177
5	CONCLUSÕES	181
6	SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	183
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	184
ANEXO A		
	FIGURA A1	196
	FIGURA A2	197

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Fatores de influência sobre a vida-de-prateleira de alimentos enlatados 35

FIGURA 2. Escala descritiva para avaliação da aderência de verniz por meio de ensaio de fita adesiva 47

FIGURA 3. Fluxograma simplificado de processamento de ervilha..... 49

FIGURA 4. Fluxograma simplificado de processamento do extrato de tomate 50

FIGURA 5. Fluxograma simplificado de processamento do pêssego em conserva 51

FIGURA 6. Fotomicrografias obtidas em sistema My Scope operando com aumento de 90 vezes da seção longitudinal da lata EA para ervilha nas posições entrada (a), centro (b) e saída (c). 63

FIGURA 7. Fotomicrografias obtidas em sistema My Scope operando com aumento de 90 vezes, da seção longitudinal da lata EU para ervilha nas posições entrada (a), centro (b) e saída (c)..... 64

FIGURA 8. Fotomicrografia obtida em sistema My Scope operando com aumento de 300 vezes da seção longitudinal da lata EA para ervilha na posição entrada, mostrando a ocorrência de vírgula 65

FIGURA 9. Fotomicrografias obtidas em sistema My Scope operando com aumento de 300 vezes, da seção transversal da lata para ervilha: (a) extrusão intensa, (b) extrusão formando ponta 66

FIGURA 10. Fotomicrografia obtida em sistema My Scope operando com aumento de 300 vezes, da seção transversal da lata EU, mostrando extrusão um pouco em excesso 67

FIGURA 11. Fotomicrografias obtidas em sistema My Scope operando com aumento de 90 vezes, da seção longitudinal da lata EA para extrato de tomate nas posições entrada (a), centro (b) e saída (c) 71

FIGURA 12. Fotomicrografias obtidas em sistema My Scope operando com aumento de 90 vezes, da seção longitudinal da lata EU para extrato de tomate nas posições entrada (a), centro (b) e saída (c) 72

FIGURA 13. Fotomicrografias obtidas em sistema My Scope operando com aumento de 300 vezes, da seção transversal da lata EA para extrato de tomate: (a) extrusão normal, (b) extrusão um pouco alterada.....	73
FIGURA 14. Fotomicrografias obtidas em sistema My Scope operando com aumento de 300 vezes, da seção transversal da lata EU para extrato de tomate: (a) evidência de linha de separação na extremidade e presença de inclusão, (b) extrusão severa com formação de respingo	74
FIGURA 15. Fotomicrografias obtidas em sistema My Scope operando com aumento de 90 vezes, da seção longitudinal da lata E para pêssego em calda nas posições entrada (a), centro (b) e saída (c).....	79
FIGURA 16. Fotomicrografias obtidas em sistema My Scope operando com aumento de 90 vezes, da seção longitudinal da lata B para pêssego em calda nas posições entrada (a), centro (b) e saída (c)	80
FIGURA 17. Fotomicrografias obtidas em sistema My Scope operando com aumento de 300 vezes, da seção transversal da lata E para pêssego em calda, mostrando a presença de linha de separação no centro da eletrossolda	81
FIGURA 18. Fotomicrografias obtidas em sistema My Scope operando com aumento de 300 vezes, da seção transversal da lata B para pêssego em calda: (a) condição normal, (b) presença de vírgula	82
FIGURA 19. Espectros de absorção na região do IV para os vernizes do corpo (a), tampa/fundo (b) e eletrossoldada (c) da lata de ervilha EA	86
FIGURA 20. Espectros de absorção na região do IV para os vernizes do corpo (a), tampa/fundo (b) e eletrossoldada (c) da lata de ervilha EU	87
FIGURA 21. Diagramas de distribuição por frequência para a porosidade do verniz interno das latas EA e EU para acondicionamento de ervilha	88
FIGURA 22. Graus médios atribuídos na avaliação visual interna da lata EA contendo ervilha em salmoura: (a) estocagem a 23°C, (b) estocagem a 30°C e (c) estocagem a 35°C	91
FIGURA 23. Graus médios atribuídos na avaliação visual interna da lata EU contendo ervilha em salmoura: (a) estocagem a 23°C, (b) estocagem a 30°C e (c) estocagem a 35°C	92

FIGURA 24. Diagrama de médias e respectivos intervalos de confiança ao nível de 95% do vácuo nas latas de ervilha em função da amostra (a), do tempo de estocagem (b) e da temperatura (c).	95
FIGURA 25. Diagrama de intervalos de confiança da média de pH da ervilha em função do tempo de estocagem e seus respectivos intervalos de confiança ao nível de 95%, obtidos na análise de variância a três critérios de classificação (tipo de lata, tempo e temperatura de estocagem)	100
FIGURA 26. Diagramas de intervalos de confiança da média de pH da ervilha em função da temperatura de estocagem e seus respectivos intervalos de confiança ao nível de 95%, obtidos na análise de variância a dois critérios de classificação: (a) lata EA, (b) lata EU	101
FIGURA 27. Diagramas de intervalos de confiança das médias de acidez da ervilha acondicionada nas latas EA e EU em função da amostra (a), do tempo de estocagem (b) e da temperatura (c)	102
FIGURA 28. Diagramas de médias dos resultados de °Brix da ervilha acondicionada em latas EA e EU em função da amostra (a), da época (b) e da temperatura de estocagem (c)	104
FIGURA 29. Concentração de ferro (a) e de estanho (b) na ervilha acondicionada nas latas EA e EU, em função do tempo de estocagem a 23, 30 e 35°C	110
FIGURA 30. Representação gráfica dos valores médios observados (pontos) e das regressões matemáticas da concentração de ferro na ervilha acondicionada na lata EA (a) e EU (b) em função do tempo de estocagem a 23, 30 e 35°C	112
FIGURA 31. Espectros de absorção na região do IV dos vernizes do corpo (a), tampa/fundo (b) e eletrossolda (c) da lata EA de extrato de tomate	115
FIGURA 32. Espectros de absorção na região do IV dos vernizes do corpo (a), tampa/fundo (b) e eletrossolda (c) da lata EU de extrato de tomate	116
FIGURA 33. Diagramas de distribuição de frequência para a corrente determinada no ensaio de porosidade das latas EA e EU para acondicionamento de extrato de tomate	118
FIGURA 34. Graus médios atribuídos na avaliação visual das latas EA contendo extrato de tomate: (a) estocagem a 23°C, (b) estocagem a 30°C e (c) estocagem a 35°C	121
FIGURA 35. Graus médios atribuídos na avaliação visual das latas EU contendo extrato de tomate: (a) estocagem a 23°C, (b) estocagem a 30°C e (c) estocagem a 35°C	122

FIGURA 36. Diagramas de intervalos das médias dos valores de pressão interna e seus intervalos de confiança nas latas de extrato de tomate em função de: (a) tipo de lata, (b) época de estocagem e (c) temperatura de estocagem	126
FIGURA 37. Diagramas de intervalos das médias na avaliação do pH do extrato de tomate acondicionado nos dois tipos de lata: (a) amostra, (b) época de estocagem e (c) temperatura de estocagem.....	131
FIGURA 38. Diagramas de intervalos das médias na avaliação de acidez do extrato de tomate acondicionado nos dois tipos de lata: (a) amostra, (b) época de estocagem e (c) temperatura de estocagem	132
FIGURA 39. Diagramas de intervalos das médias na avaliação do teor de sólidos solúveis, em °Brix, do extrato de tomate acondicionado nos dois tipos de lata: (a) amostra, (b) época de estocagem e (c) temperatura de estocagem	133
FIGURA 40. Diagramas de médias da concentração de ferro (a) e de estanho (b) no extrato de tomate acondicionado nas latas EA e EU ao longo do tempo de estocagem a 23, 30 e 35°C	138
FIGURA 41. Representação gráfica dos valores médios observados (pontos) de concentração de metais no extrato de tomate acondicionado na lata EA em função do tempo de estocagem a 23, 30 e 35°C e da equação correspondente à regressão matemática destes dados (curva): (a) ferro, (b) estanho	144
FIGURA 42. Representação gráfica dos valores médios observados (pontos) de concentração de metais no extrato de tomate acondicionado na lata EU em função do tempo de estocagem a 23, 30 e 35°C e da equação correspondente à regressão matemática destes dados (curva): (a) ferro, (b) estanho	145
FIGUAR 43. Espectros de absorção na região do IV do verniz interno do corpo (a), tampa/fundo (b) e da região de soldagem (c) da lata E para pêssego em calda	150
FIGURA 44. Diagrama de distribuição de frequência para porosidade do verniz interno, em mA/lata, na lata E para pêssego em calda	151
FIGURA 45. Graus médios atribuídos na avaliação visual interna da lata E contendo pêssego em calda: (a) estocagem a 23°C, (b) estocagem a 30°C e (c) estocagem a 35°C	154

FIGURA 46. Graus médios atribuídos na avaliação visual interna da lata B contendo pêssego em calda: (a) estocagem a 23°C, (b) estocagem a 30°C e (c) estocagem a 35°C	155
FIGURA 47. Diagramas de intervalos das médias dos valores de pressão interna e seus intervalos de confiança nas latas de pêssego em calda em função de: (a) tipo de lata, (b) tempo de estocagem e (c) temperatura de estocagem.....	158
FIGURA 48. Diagramas de intervalos de médias dos resultados de pH no pêssego em calda acondicionado em latas E e B: (a) amostra, (b) época de estocagem e (c) temperatura de estocagem	162
FIGURA 49. Diagramas de intervalos de médias dos resultados de acidez no pêssego em calda acondicionado em latas E e B: (a) amostra, (b) época de estocagem e (c) temperatura de estocagem.....	163
FIGURA 50. Diagramas de intervalos de médias dos resultados de teor de sólidos solúveis em °Brix no pêssego em calda acondicionado em latas E e B: (a) amostra, (b) época de estocagem e (c) temperatura de estocagem.....	164
FIGURA 51. Diagramas de médias em função do tempo de estocagem a 23, 30 e 35°C no pêssego em calda acondicionado nas latas E e B: (a) ferro, (b) estanho.....	169
FIGURA 52. Representação gráfica dos valores médios observados (pontos) de concentração de metais no pêssego em calda acondicionado em lata E em função do tempo de estocagem nas condições de 23, 30 e 35°C e da equação correspondente à regressão matemática destes dados (curva): (a) ferro, (b) estanho	174
FIGURA 53. Representação gráfica dos valores médios observados (pontos) de concentração de metais no pêssego em calda acondicionado em lata B em função do tempo de estocagem nas condições de 23, 30 e 35°C e da equação correspondente à regressão matemática destes dados (curva): (a) ferro, (b) estanho	176

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1. Descrição das latas eletrossoldadas utilizadas para o acondicionamento de ervilha, extrato de tomate e pêssego em calda..... 39

TABELA 2. Características técnicas do processo de eletrossoldagem das diferentes embalagens em estudo 39

TABELA 3. Ensaios de avaliação da qualidade da solda..... 41

TABELA 4. Espessura e comprimento da sobreposição após a soldagem e valor calculado da sobreposição antes da soldagem das latas de ervilha, em mm 59

TABELA 5. Resultados da avaliação da resistência mecânica da solda das latas de ervilha, apresentados em frequência de ocorrência de falha 60

TABELA 6. Características observadas na avaliação visual da solda das latas EA e EU para ervilha 61

TABELA 7. Resultados da avaliação da seção longitudinal da solda das latas EA e EU para ervilha 62

TABELA 8. Espessura e comprimento da sobreposição após a soldagem e valor calculado da sobreposição antes da soldagem das latas de extrato de tomate..... 68

TABELA 9. Características observadas na avaliação visual da solda das latas EA e EU para extrato de tomate 70

TABELA 10. Resultados da avaliação da seção longitudinal da solda das latas EA e EU para extrato de tomate..... 70

TABELA 11. Espessura e comprimento da sobreposição após a soldagem e valor calculado da sobreposição antes da soldagem das latas de pêssego em calda 75

TABELA 12. Resultados da avaliação da resistência mecânica da solda das latas de pêssego em calda, apresentados em frequência de ocorrência de falha..... 77

TABELA 13. Características observadas na avaliação visual da solda das latas envernizadas e sem verniz para pêssego em calda..... 77

TABELA 14. Resultados da avaliação da seção longitudinal da solda das latas E e B para pêssego em calda 78

TABELA 15. Características das latas para acondicionamento de ervilha, identificadas como EA (com *side stripe* de verniz epóxi-amina) e EU (*side stripe* com verniz epóxi-uréia) 85

TABELA 16. Parâmetros determinados e calculados da recravação da tampa e do fundo da lata de ervilha EA e padrões mínimos e máximos..... 89

TABELA 17. Parâmetros determinados e calculados na avaliação da recravação da tampa e do fundo das latas de ervilha EU e padrões mínimos e máximos 89

TABELA 18. Resultados de vácuo, em cm de Hg, na ervilha acondicionada em latas com *side stripe* em verniz epóxi-amina e em verniz epóxi-uréia em função do tempo de estocagem à temperatura de 23, 30 e 35°C..... 94

TABELA 19. Resultados do pH na ervilha acondicionada em latas EA e EU em função do tempo de estocagem à temperatura de 23, 30 e 35°C 97

TABELA 20. Resultados da acidez total titulável em %, na ervilha acondicionada nas latas EA e EU em função do tempo de estocagem à temperatura de 23, 30 e 35°C..... 98

TABELA 21. Resultados de teor de sólidos solúveis, em graus Brix, na ervilha acondicionada nas latas EA e EU em função do tempo de estocagem à temperatura de 23, 30, 35°C..... 99

TABELA 22. Resultados da concentração relativa de oxigênio e hidrogênio no espaço livre das latas EA e EU no início e término do período de estocagem nas três temperaturas consideradas105

TABELA 23. Resultados da determinação da concentração de ferro na ervilha, em mg/kg, em função do tempo de estocagem nas temperaturas de 23, 30 e 35°C107

TABELA 24. Resultados da determinação da concentração de estanho na ervilha, em mg/kg, em função do tempo de estocagem nas temperaturas de 23, 30 e 35°C108

TABELA 25. Equações relativas à variação da concentração de ferro ([Fe]) na ervilha em função do tempo de estocagem (t) nos dois tipos de lata e três temperaturas, assim como os coeficientes de determinação (R^2) e o nível de significância observado (p_{obs}).....	111
TABELA 26. Características das embalagens utilizadas no acondicionamento de extrato de tomate, identificadas como EA (epóxi-amina) e EU (epóxi-uréia).....	114
TABELA 27. Parâmetros determinados e calculados para a recravação da tampa e do fundo da lata de extrato de tomate EA e padrões sugeridos.....	119
TABELA 28. Parâmetros determinados e calculados para a recravação da tampa e do fundo da lata de extrato de tomate EU e padrões sugeridos.....	119
TABELA 29. Resultados de pressão interna, em centímetros de mercúrio, no extrato de tomate acondicionado nas latas EA e EU em função do tempo de estocagem à temperatura de 23, 30 e 35°C.....	124
TABELA 30. Resultados do pH no extrato de tomate acondicionado em latas com <i>side stripe</i> em verniz epóxi-amina e em verniz epóxi-uréia em função do tempo de estocagem à temperatura de 23, 30 e 35°C.....	128
TABELA 31. Resultados de acidez em g de ácido cítrico em 100g de amostra, no extrato de tomate acondicionado em latas EA e EU em função do tempo de estocagem à temperatura de 23, 30 e 35°C	129
TABELA 32. Resultados do conteúdo de sólidos solúveis em graus Brix no extrato de tomate acondicionado em latas EA e EU em função do tempo de estocagem à temperatura de 23, 30 e 35°.....	130
TABELA 33. Resultados da concentração relativa de oxigênio e hidrogênio no espaço livre das latas EA e EU acondicionando extrato de tomate no início e término do período de estocagem nas três temperaturas consideradas.....	134
TABELA 34. Resultados da determinação da concentração de ferro no extrato de tomate, mg/kg, em função do tempo de estocagem nas temperaturas de 23, 30 e 35°C.....	136
TABELA 35. Resultados da determinação da concentração de estanho no extrato de tomate, em mg/kg, em função do tempo de estocagem nas temperaturas de 23, 30 e 35°C.....	137

TABELA 36. Regressões dos dados de concentração de ferro ([Fe]) no extrato de tomate acondicionado nas latas EA e EU em função do tempo de estocagem (t) nas três condições de temperatura.....	143
TABELA 37. Regressões dos dados de concentração de estanho ([Sn]) no extrato de tomate acondicionado nas latas EA e EU em função do tempo de estocagem (t) nas três condições de temperatura	143
TABELA 38. Resultados obtidos na análise instrumental de cor do extrato de tomate acondicionado nas latas EA e EU (intensidade).....	146
TABELA 39. Alterações relativas da cor do extrato de tomate durante a estocagem.....	147
TABELA 40. Características das embalagens utilizadas no acondicionamento de pêssego em calda, identificadas como E (lata envernizada internamente) e B (lata sem verniz interno ou branca).....	149
TABELA 41. Parâmetros determinados e calculados para a recravação da tampa e do fundo da lata E de pêssego em calda e padrões de referência.....	152
TABELA 42. Parâmetros determinados e calculados para a recravação da tampa e do fundo da lata B de pêssego em calda e padrões de referência.....	152
TABELA 43. Resultados do vácuo, em centímetros de mercúrio, no pêssego em calda acondicionado nas latas E (envernizadas internamente) e nas latas B (sem verniz interno) em função do tempo de estocagem à temperatura de 23, 30 e 35°C	157
TABELA 44. Resultados do pH no pêssego em calda acondicionado nas latas E e B em função do tempo de estocagem à temperatura de 23, 30 e 35°C	159
TABELA 45. Resultados de acidez em g de ácido cítrico em 100g de amostra, no pêssego em calda acondicionado em latas E e B em função do tempo de estocagem à temperatura de 23, 30 e 35°C.....	160
TABELA 46. Resultados de teor de sólidos solúveis, em graus Brix, no pêssego em calda acondicionado nas latas E e B em função do tempo de estocagem à temperatura de 23, 30 e 35°C	161
TABELA 47. Resultados da concentração de oxigênio e hidrogênio (%), presente no espaço livre das latas E e B no início e término do período de estocagem nas três temperaturas consideradas.....	165

TABELA 48. Resultados da determinação da concentração de ferro no pêssego em calda, em mg/kg, em função do tempo de estocagem nas temperaturas de 23, 30 e 35°C..... 167

TABELA 49. Resultados da determinação da concentração de estanho no pêssego em calda, em mg/kg, em função do tempo de estocagem nas temperaturas de 23, 30 e 35°C..... 168

TABELA 50. Regressão dos dados de concentração de ferro e de estanho no pêssego em calda acondicionado na lata E, em função do tempo de estocagem nas três condições de temperaturas 173

TABELA 51. Regressões dos dados de concentração de ferro e de estanho no pêssego em calda acondicionado na lata B, em função do tempo de estocagem nas três condições de temperatura..... 175

TABELA 52. Vida-de-prateleira calculada para ervilha, extrato de tomate e pêssego em calda, baseada nos limites máximos de estanho e ferro, quando acondicionados nos diferentes tipos de embalagens e estocados nas temperaturas de 23, 30 e 35°C..... 178

TABELA 53. Equações de regressão vida-de-prateleira (VP) x temperatura de estocagem (T) e índices Q₁₀ levantados para o extrato de tomate e o pêssego em calda condicionado em embalagens metálicas utilizando-se como parâmetro a dissolução metálica..... 179

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A

FIGURA A1. Seção transversal da recravação, identificando os parâmetros avaliados e equações correspondentes 197

FIGURA A2. Classificação do aperto da recravação pelo enrugamento do gancho do fundo..... 198

ESTUDO DE LATAS ELETROSSOLDADAS PARA ACONDICIONAMENTO DE ERVILHA, EXTRATO DE TOMATE E PÊSSEGO EM CALDA

RESUMO

Este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar latas eletrossoldadas quanto à qualidade da solda e ao seu desempenho em relação à interação embalagem/alimento, por meio de testes de estocagem, no acondicionamento de três tipos de produtos alimentícios: ervilha, extrato de tomate e pêssego em calda. Para cada tipo de produto foram estudadas duas alternativas de embalagem, seja pela variação do verniz de proteção da eletrossolda, seja pelo uso ou ausência de envernizamento interno na lata.

A qualidade da solda elétrica dos diferentes tipos de lata foi determinada por meio dos ensaios de avaliação visual (verificação da regularidade dos pontos de solda, presença de respingos, rabo de peixe), dimensional (determinação da espessura e do comprimento da sobreposição da solda antes e após a soldagem), de resistência mecânica (ensaios de ruptura e de alongamento do flange, expansão e reversão do cilindro) e metalográfica das seções longitudinal e transversal (para avaliação do grau de fusão e presença de virgula e inclusões) da costura eletrossoldada. Todos estes métodos, aplicados à avaliação da qualidade da solda, foram introduzidos especificamente para a realização deste estudo.

Os testes de estocagem foram realizados pelo período de 365 dias em três condições de temperatura, 23, 30 e 35°C, com avaliações periódicas, a intervalos de 90 dias, quanto à aparência visual interna das latas, nível de vácuo, análises químicas do produto (pH, acidez e sólidos solúveis), composição de gases no espaço livre (O₂ e H₂) e concentração de ferro e estanho no produto. As embalagens estudadas também foram caracterizadas quanto ao tipo e revestimento do material metálico e do envernizamento interno.

A avaliação da qualidade das latas eletrossoldadas permitiu verificar que o ensaio mais efetivo de determinação da qualidade foi a avaliação da microestrutura das seções longitudinal e transversal da solda, embora os diferentes parâmetros sejam complementares. As latas de ervilha apresentaram pequena alteração da qualidade, as latas de extrato de tomate apresentaram maior variação, com ocorrência de muitos defeitos e um dos tipos de

lata para pêssego em calda apresentou condição de fusão insuficiente, enquanto o outro tipo apresentou desvios de qualidade dentro da normalidade. Verificou-se que é fundamental a adequada distinção entre a condição aceitável e o limite da solda para cada tipo de embalagem, dependendo da aplicação final.

O teste de estocagem mostrou que, para a ervilha, a baixa intensidade de corrosão neste tipo de lata não permitiu diferenciação entre as duas latas estudadas, tornando desnecessário o investimento em melhor proteção da costura eletrossoldada; neste caso não se observou influência importante da temperatura de estocagem na interação embalagem/produto.

O extrato de tomate apresentou intensa corrosão interna no corpo e na região de soldagem, resultando em alteração da superfície interna, perda do vácuo e estufamento e dissolução de ferro e estanho no produto, os quais foram muito influenciados pela temperatura de estocagem. A lata com envernizamento da costura lateral com epóxi-amina apresentou desempenho um pouco superior em relação à lata com verniz epóxi-uréia na eletrossolda.

O pêssego em calda acondicionado em lata sem verniz interno apresentou dissolução normal de estanho e alteração uniforme da superfície das diferentes partes da lata, demonstrando que a utilização de verniz de proteção da eletrossolda é dispensável nas latas para este tipo de produto. A corrosão se desenvolveu pelo mecanismo de desestanhamento, foi fortemente acelerada pela temperatura de estocagem de 35°C, mostrando que é necessário o devido controle da temperatura ambiente para o desempenho adequado destas latas durante a estocagem. Na lata envernizada internamente, observou-se que a corrosão se concentrou nas discontinuidades do verniz e na costura lateral, desenvolvendo-se por mecanismo pontual e resultando inclusive na perfuração de algumas embalagens estocadas a 35°C. Observou-se um grande efeito do aumento da temperatura na aceleração do processo corrosivo.

EVALUATION OF WELDED CANS FOR THE PACKAGING OF PEAS, TOMATO PASTE AND PEACHES IN SYRUP

SUMMARY

The purpose of this study was to evaluate the welding quality and the performance of welded cans relative to the package/food interaction by means of storage tests in the packaging of three types of food products: peas, tomato paste and peaches in syrup. For each kind of product, two package alternatives were analysed as follows: one with the variation of the welding protective lacquer (for peas and tomato paste) and the other with the presence and the absence of the can internal lacquering.

The welding quality of the different types of cans was determined through visual evaluation tests (verification of the regularity of the welding overlap before and after welding), tests of mechanical resistance (rip test, test of expansion and partial reversion of the cylinder) and metalographic evaluation of the longitudinal and cross sections (to evaluate fusion and presence of commas and inclusions) of the welded seams. All the test methods to evaluate the welding quality were adapted for this study specifically.

Storage tests were conducted during 365 days in three temperature conditions, that is, 23, 30, 35°C, with periodical evaluations at intervals of 90 days relative to the internal visual appearance of the cans, vacuum level, chemical analyses of the product (pH, acidity and soluble solids), composition of the gases in the headspace (O₂ and H₂) and concentration of iron and tin in the product. The analysed packages were also characterized as to type and coating of the metallic material and of the internal lacquering.

The evaluation of the quality of the welded cans revealed that the most effective test to determine the quality was the microstructure evaluation of the longitudinal and cross sections of the welded area, although the different parameters are complementary. Pea cans had a slight quality alteration, tomato paste cans presented a higher variation with the occurrence of several defects and one of the types of peach can presented insufficient fusion condition, whereas the other showed normal quality deviations. The correct distinction between the

acceptable condition and the weld limit for each type of package, depending on the final application, was fundamental.

Storage tests showed that the low corrosion in the pea can did not permit the differentiation of the two analysed packages. Therefore, it is not necessary to invest in a better protection of the welded seam; in this case, the influence of the storage temperature on the product/package interaction was not relevant.

Tomato paste presented intense internal corrosion in the body and in the welded area, resulting in alteration of the internal surface, vacuum loss, swelling and iron and tin dissolution in the product, which were strongly influenced by the storage temperature. The can with epoxy-amina side stripe presented a slightly superior performance than the can with the epoxy-urea lacquer in the welding area.

The peach in syrup packaged in a can without lacquer presented high tin dissolution and even alteration of the surface in different parts of the can, which shows that the use of the weld protective lacquer is dispensable in cans for this kind of product. Such cans presented corrosion by the detinning mechanism, which was strongly accelerated by the storage temperature of 35°C, showing that it is necessary to control the environment temperature for the adequate performance of these cans during storage.

1 INTRODUÇÃO

Os alimentos são submetidos a vários tipos de situações desde o momento em que são removidos de seu meio natural até o consumo. Fatores físicos, químicos e microbiológicos incidem adversamente em maior ou menor grau sobre os alimentos, ao longo das distintas fases de comercialização, podendo ocasionar sua perda para o consumo, o que torna necessária uma adequada proteção mediante várias formas de atuação. É uma das funções primordiais da embalagem oferecer esta proteção.

Entre as múltiplas alternativas de embalagem para alimentos, encontram-se as embalagens metálicas, que reúnem características de grande importância no acondicionamento de alimentos como rigidez, impermeabilidade, facilidade de produção, entre outras.

As embalagens metálicas constituem-se a forma mais antiga de acondicionamento industrial de alimentos. Desde sua introdução, ocorrida no século XIX, várias evoluções tomaram lugar, relacionadas tanto com a produção do material metálico quanto com o processo de fabricação de latas.

O método tradicional de formação do fechamento (ou costura) lateral em latas de três peças para alimentos e bebidas foi por muitos anos a solda estanho/chumbo. A partir da década de 60, ocorreram proposições legislativas visando a redução do conteúdo de chumbo em recipientes para alimentos, fato este que levou os fabricantes de latas de três peças a buscar métodos alternativos para esse processo (PEARSON, 1984).

As opções levantadas são o uso de solda de estanho puro, as resinas termoplásticas e a soldagem elétrica. Destas, a primeira tem um alto custo e a segunda, embora encontrando alguma aplicação no mercado de bebidas, apresenta restrição de uso em recipientes para alimentos termoprocessados. Embora existam materiais que permitem este processo, existem limitações econômicas que resultam em pouca aceitação comercial.

A soldagem elétrica mostrou-se a melhor alternativa para a fabricação de embalagens para alimentos, tendo sido introduzida ainda nos anos 60 (NORMAN, 1976). O processo utilizado baseia-se na soldagem por resistência, ou seja, a fusão permanente de metais obtida pelo efeito de seu aquecimento resultante da passagem de corrente através do metal, que atua como uma resistência elétrica no circuito de soldagem, conjuntamente com a aplicação de pressão (CHIAPPE, 1970, FALKENBURG & MCGUINESS, 1980, SCHAERER, 1980). O resultado é a formação de uma solda homogênea, cuja resistência excede aquela do material ao qual foi aplicada.

O processo de soldagem por resistência vinha sendo usado há muitos anos, principalmente na produção de recipientes para produtos não alimentícios. Os avanços nessa tecnologia, como aumento da velocidade de produção e refinamento na sobreposição para soldagem, fizeram com que este método de formar a costura lateral fosse universalmente adotado para a produção de cilindros para latas de três peças de alimentos e bebidas (PEARSON, 1984).

Vários processos foram desenvolvidos, embora somente alguns tenham alcançado aceitação comercial, como o *Conoweld*, desenvolvido nos EUA pela *Continental Can Co*, e o *Soudronic AG*, de origem suíça (ARISTOTILE *et alii*, 1983, CHIAPPE, 1970, SODEIK, 1980).

O processo *Conoweld*, usado para produção de corpos de latas de folhas cromadas, principalmente nos EUA, envolve a passagem de corrente em roletes de cobre após a retirada mecânica do revestimento de cromo sobre o aço. A retirada do revestimento é efetuada com o objetivo de evitar a contaminação do eletrodo de cobre. Como consequência do processo, forma-se uma fase sólida soldada, que se mantém uniforme na área de sobreposição do material. Esse processo foi utilizado primeiramente para latas de bebidas e, mais tarde, para latas de aerossol e de alimentos, ambas em folha cromada (*tin free steel*) (CHIAPPE, 1970, SODEIK, 1980).

O processo *Soudronic* baseia-se no uso de uma fonte de corrente alternada sobre eletrodos de solda na forma de rolos rotativos e incorpora um dispositivo que alimenta um fio de cobre entre os eletrodos e o corpo da lata. O fio de cobre atua como um eletrodo intermediário e é continuamente renovado para a manutenção de uma superfície de contato limpa entre o eletrodo e materiais metálicos revestidos, sem necessidade de retirada prévia do revestimento. Aplica-se também uma pressão controlada durante a soldagem para garantir o contato adequado entre as extremidades sobrepostas do cilindro a ser soldado e para manter a forma desejada na região de solda (SCHAERER, 1980, SODEIK, 1980).

Desde sua implantação, esse sistema sofreu sucessivas modificações, visando a diminuição da área de sobreposição na costura lateral, uma vez que as partes sobrepostas não soldadas eram difíceis de serem protegidas contra a possível corrosão, tornando estas latas inadequadas para o acondicionamento da maioria dos produtos alimentícios. Como resultado final, tem-se o processo *Superwima*, onde a área de sobreposição, com largura de 0,15 a 0,50mm, é totalmente soldada.

As máquinas soldadoras *Soudronic* foram primeiramente usadas para produzir recipientes altos e de grandes volumes, seguindo-se a fabricação de latas de aerossol, latas de cerveja e outras aplicações. Atualmente, são utilizadas para uma grande variedade de latas para alimentos e bebidas.

Nos sistemas de soldagem elétrica, existe a possibilidade de se utilizar uma câmara com gás inerte, a fim de se evitar a oxidação da região de soldagem. Isso é importante para evitar a formação de óxidos superficiais não ligados ao metal, os quais podem prejudicar a aderência dos vernizes aplicados sobre esta região com o objetivo de protegê-la contra a corrosão (BARBIERI, 1983, FALKENBURG, 1980).

O envernizamento da região de soldagem é um tópico extremamente importante, uma vez que a lata eletrossoldada para alimentos somente pode ser introduzida em larga escala, se for possível proteger a região soldada com um alto grau de garantia contra a corrosão, devido à exposição do aço-base componente da folha metálica em decorrência do processo.

No Brasil, foram introduzidos os processos *Conoweld* e o *Soudronic*, os quais foram inicialmente utilizados principalmente na fabricação de latas para bebidas carbonatadas e conservas de produtos de baixa acidez. Com a introdução da lata de duas peças em alumínio no final de 1989, observou-se a tendência das indústrias alimentícias à substituição de sua aplicação para diversos outros produtos. Entretanto, essas indústrias dispunham de poucas informações sobre a qualidade e o desempenho das latas soldadas eletricamente, que variam de acordo com o processo utilizado, o material metálico e o tipo de proteção pelo uso de revestimentos orgânicos. Em consequência disto, há a necessidade de controle na produção de corpos de latas eletrossoldados e de especificações adequadas dos revestimentos orgânicos internos para cada aplicação. Como exemplo das possíveis alterações, pode-se citar o desenvolvimento de corrosão acentuada e mesmo o surgimento de vazamento na região de soldagem da embalagem e a ocorrência de falhas, como abertura de soldas com problema de fusão insuficiente ou de aquecimento em excesso, que provoca o enfraquecimento da eletrossolda.

Problemas desse tipo ocorreram em outros países. A título de exemplo, pode-se citar o caso ocorrido em 1985 em *Trinidad e Tobago*, onde o vazamento em latas eletrossoldadas de bebidas carbonatadas, provocado pela falta de controle do processo de soldagem, atingiu graves proporções, levando as indústrias enlatadoras a tentar abolir o uso deste tipo de lata naquele país (MADI, 1985).

No Brasil, foi estudado o desempenho das latas eletrossoldadas nacionais no acondicionamento de refrigerante sabor limão, onde foram detectadas diferenças significativas na qualidade dos dois tipos de embalagens

produzidas pelas tecnologias disponíveis naquele momento, ou seja, latas produzidas pelos processos de soldagem *Soudronic*, em folha-de-flandres, e *Conoweld*, em folha cromada (DANTAS *et alii*, 1988), assim como no acondicionamento de palmito (DANTAS *et alii*, 1993). Estes estudos são insuficientes, principalmente se considerarmos sua ampla aplicação para diferentes produtos alimentícios.

A inexperiência e a falta de informação podem levar as indústrias usuárias à especificação incorreta das embalagens a serem utilizadas para os diversos produtos alimentícios de sua fabricação e, assim, comprometer o sucesso deste importante avanço na tecnologia de fabricação de embalagens metálicas.

Desse modo, existe a necessidade de realização de estudos para as condições nacionais, que resultarão em importantes subsídios, tanto para a indústria produtora, quanto para a indústria consumidora de latas eletrossoldadas (indústrias alimentícias). Além disso, o conhecimento das características da solda elétrica e de seus possíveis defeitos torna-se cada vez mais fundamental, considerando-se os avanços na velocidade de produção de latas e a influência na qualidade da solda, tanto da variabilidade das folhas metálicas quanto das condições de regulação dos equipamentos de produção.

Para isso, foram abordadas duas áreas distintas de conhecimento:

- A adaptação e implantação de técnicas analíticas para a avaliação da qualidade das latas eletrossoldadas, envolvendo avaliação dimensional, visual, metalográfica e de resistência mecânica, além do levantamento das características e defeitos do processo de soldagem;
- A avaliação do desempenho de latas eletrossoldadas quanto à interação com produtos alimentícios acondicionados nestas embalagens e do seu efeito sobre a estabilidade dos alimentos, fundamental à adequada especificação de latas para diferentes aplicações.

Foram estudadas duas diferentes alternativas de latas eletrossoldadas quanto ao tipo de revestimento orgânico aplicado na região de soldagem ou quanto à própria especificação da lata no que se refere ao uso ou não de envernizamento interno, para o acondicionamento de produtos de alta representatividade no Brasil: a ervilha, o extrato de tomate e o pêssego em calda. Segundo a literatura, em 1990 foram produzidos, no Brasil, 187,1, 125,2 e 14,5 milhões de unidades de latas de legumes em conserva (200g), extrato de tomate (140g) e frutas em conserva (425-500g), respectivamente, correspondentes às capacidades utilizadas neste estudo, e que representavam 67,5, 22,6 e 57,0% dentre os diferentes tipos de embalagem para estes produtos (DATAMARK,

1991). Esta tendência de utilização de latas permaneceu nos anos seguintes, tendo correspondido, em 1996, a 73,0, 17,5 e 68,4% do total de embalagens empregadas no acondicionamento dos mesmos produtos (DATAMARK, 1997). Foram realizados testes de estocagem destes produtos fabricados no mercado brasileiro acondicionados em dois diferentes tipos de latas eletrossoldadas, utilizando-se três temperaturas de estocagem, de forma a se obter dados sobre a cinética das reações decorrentes da interação produto/embalagem. Paralelamente, as latas em estudo nesta etapa foram submetidas aos ensaios introduzidos para a avaliação da solda elétrica.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Materiais para a fabricação de latas para alimentos

As embalagens metálicas têm como matérias-primas principais as folhas metálicas à base de aço, as chapas de alumínio e os vernizes para o revestimento interno e externo. As folhas metálicas são produtos planos de aço de baixo teor de carbono, com espessura máxima de 0,45mm, revestidas por processo eletrolítico ou sem revestimento. Entre elas encontram-se a folha-de-flandres, a folha cromada, a folha não revestida e as folhas de baixo revestimento de estanho, que são alternativas à folha-de-flandres normal. O aço-base utilizado para a fabricação dos diferentes tipos de folhas é classificado, de acordo com sua composição química, nos tipos MR, D e L, sendo o primeiro o material de uso geral (CSN, s.d., ABNT, 1995).

A folha-de-flandres é a folha de aço revestida em uma ou em ambas as faces com camada de estanho metálico e óxido de cromo, protegida por uma película de óleo lubrificante. O estanho nesta folha pode se apresentar somente na forma metálica ou com camadas de estanho metálico e de liga FeSn_2 , dependendo da sua especificação. A folha cromada é a folha de aço revestida em ambas as faces com camadas de cromo metálico e óxidos de cromo, protegida com uma película de óleo lubrificante. A folha não revestida é a folha de aço sem revestimento, enquanto as folhas de baixo revestimento de estanho são folhas-de-flandres com camada de estanho inferior à tradicionalmente utilizada, cujo valor mínimo é $2,8\text{g/m}^2$ (CSN, s.d., ANJOS, 1989).

De acordo com a espessura final a ser obtida, as folhas são submetidas a diferentes processos de laminação. As folhas de simples redução são aquelas cuja sequência de produção compreende uma etapa de laminação a frio, seguida de recozimento e laminação de encruamento, sendo esta última com pequena deformação, conferindo também acabamento superficial ao produto; apresentam a espessura mínima de 0,18mm. As folhas metálicas duplamente reduzidas são submetidas a uma segunda etapa de laminação a frio após o recozimento das bobinas, na qual se obtém expressiva redução de espessura e conseqüente aumento de resistência mecânica (CSN, s.d.).

Em função do tipo de aço, do processo de laminação e do recozimento, as folhas metálicas podem apresentar diferentes têmperas, definidas como combinações interrelacionadas de propriedades mecânicas, que são habitualmente verificadas pelo ensaio de dureza Rockwell 30T (CSN, s.d.).

A folha-de-flandres é o principal material à base de aço; combina a resistência mecânica e a capacidade de conformação do aço com a resistência à corrosão, soldabilidade e boa aparência conferidos pelo estanho. É

formada por distintas camadas, ou seja, o aço-base, uma camada de liga FeSn_2 , formada no processo de refusão do estanho, que, juntamente com o tipo de acabamento do cilindro de laminação, confere o brilho ao material, uma camada de estanho na forma livre, uma camada de compostos de cromo na forma metálica e de óxidos, chamada de passivação e uma camada de óleo (ANJOS, 1989). As folhas-de-flandres podem ter revestimentos de diferentes tipos, caracterizados pela massa de estanho depositada nas duas faces. O revestimento pode ser igual (mesma massa nas duas faces), diferencial (massa maior em uma face) ou estar presente em uma só face. Os valores variam de 1,1 a $11,2\text{gSn/m}^2$ em cada face do material (CSN, s.d.). Para a folha cromada só há um tipo de revestimento, cujo total (óxido + metálico) varia entre 35 e 167mg/m^2 (ABNT, 1995).

Os vernizes são empregados nas embalagens metálicas com o objetivo principal de evitar o contato direto do metal com o produto alimentício, minimizando as reações de interação lata/alimento, tais como as reações de sulfuração e corrosão. Além disso, protegem o exterior da lata contra a corrosão provocada pelo meio ambiente e permitem o uso de folhas metálicas com menor revestimento de estanho ou mesmo de folhas não revestidas, reduzindo o custo da embalagem.

O bom desempenho do verniz aplicado é função da camada de revestimento, da aderência sobre a folha, do grau de cura e da porosidade. A camada e o tipo de verniz devem ser especificados de acordo com o produto a ser enlatado e com os processos de transformação mecânica que irá sofrer o material metálico envernizado. A aderência do verniz e o grau de cura estão diretamente relacionados com o tratamento térmico aplicado no processo de cura do revestimento. A porosidade do verniz pode estar relacionada ao tamanho da camada aplicada, que, de modo geral, tende a apresentar porosidade maior para menores camadas de revestimentos. Entretanto, as etapas de produção da embalagem também induzem a exposição metálica, pelas conformações mecânicas como a formação de frisos no corpo e na própria operação de recravação (união entre o corpo e a tampa) para o fechamento da embalagem.

Os requisitos específicos exigidos dos vernizes para contato com alimentos são a inércia química, a resistência à esterilização ou à pasteurização, para produtos termoprocessados, a resistência aos ácidos orgânicos e a resistência à sulfuração, no caso de acondicionamento de produtos que contenham enxofre.

As resinas básicas mais utilizadas na composição dos vernizes pertencem às seguintes classes: oleorresinosas, fenólicas, epoxídicas, vinílicas, acrílicas, alquídicas e polibutadiênicas. O verniz oleorresinoso é muito utilizado

para o acondicionamento de produtos sulfurosos quando adicionado de compostos de zinco, de forma a evitar as reações de sulfuração (formação de sulfetos de estanho ou de ferro).

Os vernizes epóxi-fenólicos reúnem praticamente todas as características necessárias aos vernizes para latas de alimentos, pela combinação das propriedades de impermeabilidade, dureza, inércia química, resistência a ácidos orgânicos e a altas temperaturas da resina fenólica, com as propriedades de flexibilidade, aderência e resistência química da resina epoxídica (ANJOS, 1989). Os agrupamentos destas resinas com diversas aminas (uréia, melamina) resultam em moléculas de boa reticulação, caracterizadas por boa resistência química, principalmente a produtos alcalinos, boa resistência à esterilização e aderência. Existem diversas variações deste tipo de verniz (MARSAL, 1991).

2.2 A soldagem elétrica aplicada à fabricação de latas para alimentos

Muitos desenvolvimentos e inovações foram introduzidos na área de fabricação de embalagens metálicas em todo o mundo a partir da década de 80. Embora tenham envolvido grandes investimentos e tecnologias completamente diferentes, muito pouco é percebido ou apreciado pelo consumidor, que compra o produto num supermercado ou loja de conveniência, sem atentar para as alterações introduzidas.

Entretanto, foi o consumidor quem, indiretamente, impulsionou esta evolução, que ocorreu devido a propostas de redução do conteúdo de chumbo em alimentos por parte dos órgãos legisladores, quando então se buscou uma alternativa ao método tradicional de fabricação de latas de três peças pela soldagem lateral do corpo com solda estanho/chumbo.

Assim, entre as alternativas possíveis, ou seja, o uso de solda de estanho puro, de resinas termoplásticas e a soldagem elétrica, a última foi universalmente adotada como uma técnica prioritária para fabricação de latas de três peças para alimentos e bebidas (PEARSON, 1984).

Soldadoras elétricas convencionais foram utilizadas nos anos 50 e 60 na fabricação de latas de três peças para tintas e outros produtos industriais. Entretanto, o operador tinha que ser bem habilitado para produzir uma solda aceitável. A contaminação constante dos eletrodos de rolo afetava o processo de soldagem em tal extensão, que se tornou realmente uma arte produzir recipientes livres de problemas de vazamento. Somente com desenvolvimentos ocorridos posteriormente foi possível alterar este panorama (EGGER, 1983).

No acondicionamento de alimentos, a lata soldada eletricamente foi primeiramente introduzida para aplicações especiais na década de 60. Dois tipos de sistemas de soldagem ganharam, a princípio, a aceitação comercial: o *Conoweld*, que foi desenvolvido com sucesso para a fabricação em alta velocidade de latas de folha cromada para cerveja pela *Continental Can Corporation*, nos EUA e o *Soudronic AG*, de origem suíça, cuja ênfase foi a fabricação de uma grande variedade de recipientes eletrossoldados em folha-de-flandres, aproveitando a experiência e conhecimento acumulados no uso deste material para aplicações em embalagens diversas (ARISTOTILE, 1983, CHIAPPE, 1970, SODEIK, 1980).

O uso de latas eletrossoldadas no setor alimentício teve um crescimento bastante rápido, a nível internacional, substituindo a lata soldada pelo processo convencional (Sn/Pb). No Brasil, esta tecnologia é hoje uma realidade, estando presente na quase totalidade dos produtos enlatados acondicionados em latas de três peças.

Além da eliminação da contaminação dos alimentos pelo chumbo, várias são as vantagens da fabricação de latas de três peças por soldagem elétrica, como descrito a seguir (MORGAN, 1985, DANTAS & FARIA, 1991):

- maior resistência mecânica da costura lateral, propiciando maiores temperaturas de processo e pressões internas;
- possibilidade de litografia em uma área maior, pois a reserva é reduzida à largura de cerca de 2mm;
- possibilidade de estilização da lata, com a utilização de novos formatos;
- possibilidade de formação de pescoço (*neck in*);
- possibilidade de utilização de materiais metálicos de menor custo;
- economia de material devido à menor sobreposição na formação de costura;
- eliminação da necessidade de materiais de solda e de fluxos;
- maior integridade do fechamento (recravação) da lata devido à menor espessura de material na junção da recravação com a costura lateral.

SCHAERER (1983) apresenta as características e vantagens do sistema de soldagem elétrica, citando sua possibilidade de uso para folha-de-flandres, folha cromada e outros materiais metálicos. Comenta sobre a facilidade de incorporação destas máquinas em qualquer linha de produção de latas de três peças, sobre os sistemas de envernizamento da região de soldagem e sobre o custo relativamente baixo de produção da lata

soldada eletricamente, justificando, assim, seu maior crescimento, quando comparada aos outros sistemas de fabricação de latas.

CATALÁ (1982) & MCKERNEN (1983) mencionaram a lata soldada eletricamente como um potencial para substituição da lata convencional. Este último revelou ter ocorrido uma redução significativa na quantidade de chumbo introduzido na cadeia alimentar proveniente das latas de três peças com solda Sn/Pb, em consequência dos melhoramentos da técnica de soldagem convencional e pela introdução das latas de duas peças e da lata soldada eletricamente. Sua previsão, no entanto, foi de que a lata de três peças com soldagem convencional deveria ser substituída pela eletrossoldagem até 1988, a despeito das melhorias alcançadas em sua tecnologia.

2.2.1 Princípio da Soldagem Elétrica

O princípio utilizado na soldagem elétrica de materiais metálicos é a soldagem por resistência, ou seja, a fusão instantânea de metais obtida pelo efeito de aquecimento pela passagem de corrente através de uma resistência elétrica existente no circuito de soldagem, simultaneamente à aplicação de pressão. O resultado é a formação de uma solda homogênea, cuja resistência mecânica excede aquela do material por ela ligado (CHIAPPE, 1970, GROSEMBACHER, 1982, RHEEM, s.d., DANTAS & FARIA, 1991).

A costura do corpo da lata é formada por uma série de pontos de solda aplicados nas superfícies laterais sobrepostas da folha metálica. Cada ponto de soldagem é formado mediante a passagem de corrente elétrica entre dois eletrodos de cobre, os quais ficam pressionados contra o lado interno e externo do cilindro pré-formado do material, cuja sobreposição das extremidades é precisamente controlada pela chamada "barra Z". Os corpos são previamente alimentados através de uma série de roletes de flexão, chamados desfibradores, que aliviam as tensões internas da folha, garantindo a formação uniforme do cilindro (KRAMER, s.d., PEARSON, 1984). A temperatura da solda resulta da conversão da energia elétrica conferida ao sistema em energia térmica pela resistência do material a ser soldado. Devido à corrente elétrica alternada e ao deslocamento sincronizado do cilindro, a soldagem se dá por pontos alinhados em justaposição (HOLLAENDER, 1989, NORMAN, 1976).

Por meio da regulação da duração e da intensidade da corrente elétrica de soldagem, são atingidas temperaturas entre 900 e 1500°C. A estas temperaturas o aço se torna maleável e deformável, porém não líquido. A condução de calor faz com que as áreas localizadas entre os pontos de solda adquiram a temperatura adequada à formação de uma costura firme e de consistência uniforme. Nem todo o calor gerado é aproveitado: nos pontos que são

submetidos a maior carga térmica, a redução necessária de calor é feita em primeira instância pelos eletrodos de cobre, que são resfriados a água, seguida da radiação de calor através do corpo que está sendo formado e pela radiação de calor para a atmosfera no caso de períodos longos de soldagem (GROSSENBACHER, 1982, HOLLAENDER, 1989).

Na soldagem por resistência, a potência (E) é gerada em cada elemento do circuito, na proporção de sua resistência elétrica (R) e do quadrado da corrente de soldagem, ou seja,

$$E_1 \sim I^2 R_1, E_2 \sim I^2 R_2, \text{ etc.} \quad (1)$$

A resistência total é a soma da resistência do material e da resistência dos contatos. A primeira é uma propriedade intrínseca do material-base e é pouco afetada por influências externas. É determinada pelas propriedades físicas do material, cujas partes serão soldadas, pela dimensão e forma da trajetória da corrente no material a ser soldado e pela temperatura da trajetória de corrente. A resistência de contato é gerada na interface entre dois materiais condutores em contato sob pressão, através dos quais flui uma corrente, sendo, portanto, fortemente dependente das características superficiais do material a ser soldado e da pressão aplicada. No caso da soldagem de corpos de latas, ocorre entre as seguintes superfícies de contato (GROSSENBACHER, 1982, SODEIK, 1980):

- eletrodo superior e corpo da lata
- corpo da lata e corpo da lata
- corpo da lata e eletrodo inferior

A resistência de contato depende grandemente dos contaminantes na interface e da pressão externa, que promove um contato íntimo entre as duas superfícies (SODEIK, 1980).

Uma vez que as superfícies a serem soldadas não são perfeitamente planas, ocorre primeiro o contato de algumas pequenas áreas, as quais se deformam, dependendo da pressão de contato e do calor gerado. A superfície de contato aumenta pela deformação plástica dos pontos de contato existentes e pela criação de novos pontos de contato. O processo continua até que toda a área entre em contato. A resistência de contato é, portanto, efetiva somente por um determinado tempo durante o processo de soldagem. A eficácia da resistência de contato começa no início do fluxo de corrente e permanece até que os materiais a serem soldados estejam fundidos na fina camada superior da superfície de contato total (GROSSENBACHER, 1982).

A soldagem elétrica por rolo é um método de soldagem por ponto onde o eletrodo de soldagem constitui-se em um rolo. Pode-se produzir, conforme a frequência de corrente e o deslocamento do material, pontos separados ou sobrepostos. Os eletrodos de rolos são utilizados para transportar a peça a ser soldada, assim como para o suprimento de corrente e pressão (GROSSENBACHER, 1982).

A soldagem elétrica para fabricação de corpos de latas para produtos alimentícios pode ser realizada em câmaras com gás inerte, a fim de evitar a oxidação da região de soldagem. Os óxidos superficiais formados na eletrossolda não se apresentam suficientemente ligados ao metal e podem causar o destacamento dos vernizes aplicados sobre esta região com o objetivo de proteger a soldagem contra a corrosão, principalmente em regiões que apresentam deformações mecânicas (BARBIERI, 1983, FALKENBURG, 1980).

2.2.2 Principais Tecnologias Disponíveis

A tecnologia de soldagem elétrica aplicada à fabricação de corpos de latas para alimentos é essencialmente baseada na soldagem pontual por resistência usando uma fonte de corrente alternada. Com base neste princípio, vários processos foram desenvolvidos, como é descrito em seguida.

Conoweld

O sistema *Conoweld* foi desenvolvido pela *Continental Can Corporation* nos EUA, após anos de tentativas que se iniciaram na década de 40. A grande dificuldade era controlar o calor e a pressão a altas velocidades de produção (CHIAPPE, 1970). Seu desenvolvimento foi grande nos EUA para fabricação de latas em folha cromada, inicialmente para cerveja e posteriormente para latas de aerossol e de alguns alimentos (MORGAN, 1985).

O processo envolve a passagem de corrente em roletes de cobre. Devido ao problema de contaminação dos roletes pelo cromo da folha a ser soldada, este revestimento é mecanicamente removido, numa largura de 2-3mm nas duas extremidades da folha, imediatamente antes da soldagem. A folha é sobreposta numa largura de cerca de 1,0mm, e, com a aplicação de corrente alternada com onda quadrada e a ação do calor e pressão forma-se uma fase sólida e contínua de 1,3mm de largura, e cuja espessura corresponde a cerca de 1,7 vezes aquela da folha metálica. Os equipamentos permitem a fabricação de latas a velocidades superiores a 500 unidades/minuto (CHIAPPE, 1970, MORGAN, 1985).

Existe instalada no Brasil uma linha de eletrossoldagem *Conoweld*, que produzia latas para bebidas carbonatadas até o final da década de 80, tendo sido convertida para produção de latas para alimentos em função da substituição do uso destas embalagens por latas de duas peças em alumínio para bebidas.

Soudronic

O sistema desenvolvido na Suíça pela *Soudronic AG* baseia-se no uso de uma fonte de corrente alternada de onda senoidal sobre dois eletrodos de solda, na forma de rolos rotativos, um situado sobre o outro, resultando na soldagem por ponto. O cilindro do corpo da lata é posicionado de tal forma que o eletrodo inferior esteja dentro dele. De maneira a evitar o problema de rápida contaminação e deformação do eletrodo, o equipamento incorpora um dispositivo que alimenta um fio de cobre entre os eletrodos e o corpo da lata. O fio de cobre atua como um eletrodo intermediário e é continuamente renovado para a manutenção de uma superfície de contato limpa entre o eletrodo e o cilindro. Devido a esse sistema de renovação, pode-se soldar materiais metálicos revestidos, sem necessidade de retirada prévia do revestimento, uma vez que a contaminação com estanho, que iria influenciar as soldas subseqüentes é evitada, garantindo uma resistência elétrica praticamente constante. O fio de cobre, por sua vez, não é afetado e é recuperado ao preço de 60% de seu custo original. Aplica-se também uma pressão controlada durante a soldagem para garantir um ótimo contato entre as extremidades sobrepostas do cilindro a ser soldado e para manter a forma desejada na região da solda (MORGAN, 1985, SCHAERER, 1980, SODEIK, 1980).

Este sistema sofreu sucessivas modificações desde sua implantação. As primeiras máquinas foram desenvolvidas para linhas de baixa produção de recipientes de grande volume e atingiram velocidade de soldagem de 15m/min. A sobreposição das extremidades da folha correspondia a uma largura de 2-4mm e os pontos de soldagem correspondiam a um quarto desta largura; era a chamada solda *butterfly*. As latas produzidas por este processo eram inadequadas para o acondicionamento de produtos alimentícios, uma vez que as extremidades não soldadas eram muito difíceis de serem protegidas com vernizes contra a possível corrosão (MORGAN, 1985, NORMAN, 1976, SCHAERER, 1980, SODEIK, 1980).

As melhorias realizadas levaram à produção, em 1975, de corpos de latas onde a sobreposição foi reduzida a 0,8mm e cujas máquinas atingiam velocidade de até 50m/min. Estas soldadoras, denominadas WIMA (*Wire Mash*), produziam latas para acondicionamento de bebidas e alimentos e foram seguidas pelas máquinas

Superwima, lançadas em 1978 e onde a sobreposição na região soldada é de 0,15 a 0,5mm, dependendo do modelo do equipamento (MORGAN, 1985, SCHAEERER, 1980, SODEIK, 1980).

O sistema *Superwima* apresenta as seguintes vantagens em relação aos anteriores:

- menor sobreposição de material, portanto menor consumo de energia;
- redução da zona de soldagem afetada pelo calor;
- menor efeito de endurecimento do material devido à menor temperatura;
- redução ainda maior da espessura da solda;
- superfície da região eletrossoldada lisa e própria para a aplicação de vernizes protetores.

Paralelamente ao seu desenvolvimento, a tecnologia *Soudronic* foi revisada e modificada em diversos aspectos, os quais permitiram seu atual elevado nível de qualidade atual. Entre eles merece destaque o tipo de fonte de corrente. Para velocidade de soldagem de 50m/min ou maiores, testes mostraram que a corrente alternada com onda senoidal, atualmente em uso, permite a obtenção de soldas cujo centro é submetido a maior ativação térmica que as superfícies interna e externa. Conseqüentemente, apesar de 100% soldada, a costura lateral permanece com alguma elasticidade.

Atualmente, as máquinas *Soudronic* para produção de corpos eletrossoldados para latas de alimentos podem produzir até 800 corpos/min, correspondendo à soldagem máxima de 115m/min, dependendo do modelo. Solda folhas com espessura de 0,14 a 0,28mm, produzindo latas de 52 a 105mm de diâmetro e 60 a 180mm de altura, havendo ainda outros modelos para latas de maior dimensão, que operam a menor velocidade de produção (SOUDRONIC, 1996).

Cevolani

O sistema *Cevolani* foi desenvolvido na Itália e também utiliza a soldagem por rolos com fio de cobre renovado continuamente. A geração da corrente de solda é feita por um sistema próprio, que produz uma onda quadrada, a qual apresenta uma passagem muito rápida entre a semi-onda positiva e a semi-onda negativa e uma intensidade pouco variável em toda a extensão de cada semi-onda. Este sistema permite uma distribuição de energia regular, permitindo velocidades de soldagem da ordem de 60m/min a uma alimentação elétrica de 50Hz de frequência. A soldagem resultante é contínua e praticamente uniforme (CEVOLANI s.d.).

A sobreposição das extremidades do corpo tem largura mínima de 0,3mm. As máquinas *Cevolani* podem produzir 600 unidades/min de latas com diâmetro variável entre 52 e 105mm e altura de 75 a 185mm, sendo que a espessura da folha deve ser, no máximo, 0,20mm para diâmetro de 52mm e até 0,22mm para diâmetros maiores (CEVOLANI, s.d.).

Vários equipamentos *Cevolani* foram fabricados no Brasil pelas Indústrias de Máquinas Kramer.

Schuler

Estas máquinas são produzidas pela Companhia *Schuler*, da Alemanha, que iniciou a fabricação de máquinas para soldagem de latas em 1939, embora não específicas para alimentos. Em 1984, a Companhia *Schuler* possuía algumas máquinas no mercado, trabalhando a alta eficiência, cuja principal característica é a utilização da *LCS (Low Cycle Square Wave)* ou onda quadrada de baixo ciclo. Segundo esta empresa, quando este tipo de onda é utilizado, o valor de pico de corrente é muito menor que aquele da onda senoidal e o tempo de pico para pico é independente da frequência. Isto significa que se pode alcançar altas velocidades de soldagem utilizando uma baixa frequência, no caso 50Hz. A soldagem por onda quadrada é menos dependente das condições presentes no ponto de soldagem (PANKNIN, 1984).

Outros sistemas

Várias outras tecnologias estão disponíveis, as quais possuem algumas variações entre si quanto à velocidade de soldagem, tipo de fonte de corrente, dimensões da lata e características da folha, entre outras, mas fundamentalmente formam corpos de latas para produtos alimentícios pelo princípio de soldagem por resistência, os quais podem ser transformados em latas de diferentes formatos. Entre elas estão as máquinas produzidas pela "Fael" na Suíça e pela "N.P.W. Technical Laboratory Co." do Japão (N.P.W Technical Laboratory, s.d., FAEL, 1991).

2.2.3 Fatores de Influência no Processo de Eletrossoldagem

A tecnologia de soldagem elétrica evoluiu desde sua implantação para a fabricação de latas, chegando, atualmente, a sobreposições da ordem de 0,4mm e velocidade de produção de até 115m/min, correspondendo a 800 latas/minuto (SOUDETRONIC, 1996).

Com a produção a maiores velocidades, os parâmetros de soldagem tornam-se mais críticos, assim como as características físicas e mecânicas do material a ser soldado. Entretanto, estes requisitos estão sendo continuamente alterados, paralelamente à evolução da própria tecnologia de soldagem elétrica de corpos para latas. Assim, enquanto as primeiras máquinas apresentavam como requisito uma quantidade significativa de estanho na forma livre para que fosse possível a soldagem, atualmente considera-se possível soldar folhas não revestidas pelo mesmo processo.

Conforme abordado anteriormente, na soldagem por resistência a geração de calor ocorre em cada elemento do circuito proporcionalmente à sua resistência elétrica e ao quadrado da corrente de soldagem (equação 1). Distinguem-se dois tipos de resistências elétricas: a resistência por volume e a resistência de contato.

As resistências de volume são razoavelmente uniformes e variam linearmente com a espessura das folhas, enquanto as resistências de contato são fortemente dependentes das características superficiais da folha e da pressão de união entre as mesmas. Neste aspecto, a folha-de-flandres possui uma excelente superfície para soldagem por resistência, devido ao fato de que o estanho, em função de sua fusão, quando aquecido a 232°C, se deforma com tal facilidade, sob compressões moderadas, que os óxidos, óleo e contaminantes presentes na sua superfície são facilmente deslocados pelo movimento físico da camada (SODEIK, 1980).

É desejável que a maior parte da resistência elétrica total, ou seja, a somatória das resistências, seja originada no próprio aço, o que promoverá seu aquecimento de forma uniforme para a obtenção da temperatura de soldagem desejável (SODEIK, 1980, THE LATEST, 1985).

Os parâmetros básicos que influenciam a soldagem são a corrente, a pressão e a velocidade. Além deles, o revestimento e a espessura do material a ser soldado são variáveis igualmente importantes. De acordo com o aumento da espessura da folha, é necessária corrente de maior intensidade; conseqüentemente, uma variação de espessura em um mesmo lote provoca variação na qualidade da soldagem. Da mesma forma, é necessária

corrente mais alta para revestimentos maiores de estanho, que também causa uma diminuição da amplitude no estabelecimento dos parâmetros ótimos de soldagem.

O estanho aplicado na folha metálica tem importância devido à sua influência na resistência elétrica durante o processo de soldagem. NORMAN (1976) cita que, em experimentos realizados, a soldagem de folha-de-flandres com revestimento de estanho de até $5,6\text{g/m}^2$ não apresentou problemas para uma mesma condição de operação do equipamento, enquanto valores maiores levaram à redução da velocidade de produção. JAQUES (citado por THE WELDED, 1983) também comenta que a melhor qualidade da soldagem ocorre para folhas de baixo revestimento de estanho, sendo que é necessário haver algum estanho na forma livre, o que também é abordado por HOLLAENDER (1989) e SCHAEERER (1980). GROTH (citado por THE WELDED, 1983) diz que é necessário um revestimento de estanho de, no mínimo, 1g/m^2 para obter uma soldagem de boa qualidade.

KIMURA *et alii* (1990), estudando a soldabilidade de uma folha com revestimento de Ni-Fe-Sn e liga Sn-Fe, observaram que a resistência de contato aumenta para camada de estanho metálico inferior a $0,1\text{g/m}^2$, tendo concluído que a soldabilidade deste material pode ser avaliada pelos dois parâmetros, a resistência de contato e a quantidade de estanho metálico residual após a cura do verniz. As camadas mínimas de estanho e níquel seriam $0,8\text{g/m}^2$ e 8 a 16mg/m^2 , respectivamente.

Segundo THE LATEST (1985), é possível a soldagem pelo sistema *Soudronic* de folhas com baixo revestimento de estanho ($\leq 1\text{g/m}^2$), sendo que há a necessidade de haver, no mínimo, $0,5\text{g/m}^2$ de estanho na forma livre. Neste caso, a rugosidade da superfície exerce uma importante influência. Folhas *LTS (Low Tin Steel)* diferenciais são soldadas com dificuldade.

SODEIK (1980) realizou testes de soldagem com folhas estanhadas de baixo revestimento, sem estanho na forma livre, em equipamento *Soudronic ABM 250*. Observou a formação frequente de "soldas frias", não ligadas, adjacentes a regiões de soldagem superaquecidas, provavelmente causadas pelo alto coeficiente de fricção da folha, resultando em uma alimentação desuniforme dos corpos de latas a serem soldados. O autor concluiu que a existência de 30nm de estanho livre na superfície faz uma grande diferença na soldabilidade elétrica destes materiais.

ALLOUF & MERGEY (1980) descrevem o desenvolvimento de um material de baixo revestimento de estanho para soldagem elétrica, a chamada folha *Welcco*, que possui uma camada muito pequena de estanho na forma

livre, seguida de camada protetiva de cromo e de óxido de cromo. A soldabilidade do material, influenciada pelas suas características superficiais, foi avaliada em testes de laboratório pela medida da resistência elétrica e confirmada em equipamento comercial *Soudronic*.

Avaliando a soldabilidade de folhas de baixo revestimento de estanho, WARWICK (1986) utilizou as medidas de resistência elétrica de contato e um novo método, objetivando selecionar materiais em laboratório anteriormente à realização de testes em máquinas soldadoras. Neste teste, é feito um grande número de soldagens para cada valor estabelecido de tensão primária aplicada e a percentagem de soldas de boa qualidade é registrada. Os resultados confirmaram que as condições de soldagem de folha-de-flandres são menos críticas que para os outros materiais.

O aumento da pressão de soldagem é um recurso passível de ser utilizado para alcançar condições de soldagem similares às daquelas da folha-de-flandres E 2,8/2,8 em materiais onde a característica de fusão a baixas temperaturas inerente ao estanho livre da folha-de-flandres não esteja presente. Isto provoca a diminuição da resistência de contato, que entretanto deve ser bem dimensionada devido à relação entre a pressão e a corrente de soldagem e à sua influência na qualidade final da solda.

SODEIK *et alii* (1988) realizaram estudos para verificar as condições envolvidas na soldagem de folhas de baixo revestimento de estanho, especialmente aquelas com menos de $2,8\text{g/m}^2$ em uma das faces. Verificaram que com a redução da camada de estanho, a faixa passível de variação da corrente é reduzida, o que torna mais crítico o estabelecimento das condições de soldagem e a influência da variação normal das propriedades do material.

Este problema foi resolvido com o desenvolvimento de materiais especiais, cuja soldagem foi avaliada para diferentes pressões. Os autores concluíram que materiais com camadas de estanho consideravelmente menores que $2,8\text{g/m}^2$ podem ser soldados com sucesso nas pressões de soldagem mais altas, tendo determinado que a corrente disponível mínima necessária equivale a 400A (SODEIK *et alii*, 1988).

Outra característica da folha metálica de importância para a soldagem é a têmpera do aço-base, que deve ser controlada visando principalmente evitar problemas de fraturas no corpo das latas. NORMAN (1976) comenta que para latas de pequeno diâmetro deve-se usar materiais mais dúteis (T52), enquanto em latas de diâmetro $\geq 130\text{mm}$ pode-se usar T61. JAUQUES (citado por THE WELDED, 1983) mostra que é possível obter soldas de

boa qualidade em folha-de-flandres variando de T50 a T61 em aço de teor de carbono de, no máximo, 0,1%, sendo que as melhores soldas são obtidas no material de maior dureza.

A operação de calandragem, ou seja, a formação do cilindro, a partir de uma folha plana, é uma operação influenciada pelo material. Para o transporte dos corpos na máquina de soldagem e para a operação de soldagem propriamente dita, é necessário que a largura da sobreposição das duas extremidades da folha seja extremamente constante. Se houver variação nas propriedades do material e as condições de trabalho da máquina não forem alteradas, provavelmente ocorrerão variações na qualidade da soldagem. Verificou-se que a facilidade de formação do cilindro depende principalmente do limite de resistência à tração do aço. A diferença entre materiais fabricados pelo processo de recozimento em caixa e pelo de recozimento contínuo mostra que é impossível misturar os dois tipos, o que foi confirmado na prática.

JAQUES (citado por THE WELDED, 1983) também afirma que, além do limite de resistência à tração, a espessura e dureza são outras propriedades importantes na formação do cilindro. GROTH (citado por THE WELDED, 1983) comenta que a espessura e têmpera devem ser controladas precisamente devido ao seu efeito na operação de formação do corpo.

A soldagem da folha cromada apresenta desvantagens, como a necessidade de limpeza da margem a ser soldada em ambos os lados, alto desgaste do equipamento e uma baixa velocidade de soldagem.

Avaliando materiais alternativos à folha-de-flandres, SODEIK (1980) comenta que a folha não revestida estocada por vários dias e a folha cromada apresentam uma resistência de superfície muito alta e com grande dispersão entre as diferentes avaliações. Menciona, entretanto, que o uso de um acessório para limpeza cuidadosa da superfície da folha não revestida ou cromada poderia torná-las soldáveis pelo processo *Soudronic*.

BLACK & HELWIG (1984) avaliaram, entre outros fatores, a soldabilidade pelo processo de soldagem elétrica de novos materiais metálicos desenvolvidos para fabricação de latas para alimentos, de forma a verificar comparativamente a sua adequação. Foram estudados a folha niquelada e quatro tipos de folha-de-flandres com baixo revestimento de estanho, sendo que a variação devia-se à quantidade de estanho e de compostos de cromo de passivação e à condição com e sem refusão do estanho. Como parâmetro de avaliação da soldabilidade foi utilizada a microestrutura da solda, tanto na seção transversal como longitudinal, verificando-se a ocorrência de fusão completa. Verificaram que a folha niquelada e um tipo de folha-de-flandres de baixo revestimento de

estanho, nas condições sem e com refusão do estanho, apresentaram boa soldabilidade, enquanto os materiais restantes apresentaram a condição de solda incompleta.

TAKANO *et alii* (1984) avaliaram as características de uma folha-de-flandres onde a liga FeSn₂ foi produzida em condições específicas (temperatura entre 500 e 630°C em atmosfera de H₂ e N₂), de forma a se obter uma camada totalmente ligada, a qual teria a função de impedir a difusão do ferro e do estanho nas etapas posteriores de utilização da folha metálica, onde o estanho livre, aplicado após a formação de liga nas condições descritas, seria mantido em um nível de 0,3g/m², necessário à boa soldabilidade em máquinas com a tecnologia WIMA. Utilizou-se a determinação da resistência por contato do material, importante para a qualidade de solda e dos limites superior e inferior de corrente de solda, pela avaliação da ocorrência de respingos e de resistência insuficiente, avaliados visualmente e pelo ensaio de ruptura, respectivamente.

SHIMIZU *et alii* (1992) estudaram ainda um novo tipo de folha metálica, denominada WHT, que se trata de folha com uma camada de cromo metálico (70-150mg/m²), uma camada intermediária de estanho (0,2-0,4g/m²) e uma camada superficial de cromato (5-20mg/m²), aplicados sobre o aço, em comparação com outros materiais, em relação às características de soldabilidade, aderência de verniz, resistência à corrosão e resistência à abrasão no processo de soldagem elétrica. Este material foi desenvolvido objetivando principalmente a obtenção de boa soldabilidade em linhas de maior velocidade de produção. Para isso, o aço-base foi inicialmente revestido com uma camada de cromo metálico, seguindo uma camada fina de estanho e um terceiro revestimento (externo) com compostos de cromo. A primeira camada tem como objetivo reduzir a formação de liga FeSn₂ durante o envernizamento da folha metálica, permitindo que mesmo com o pequeno revestimento de estanho aplicado seja mantida a quantidade mínima de estanho livre necessária ao processo de soldagem. A avaliação da soldabilidade foi realizada pela determinação da microestrutura das seções transversal e longitudinal, tendo-se verificado um desempenho excelente deste novo material.

SIMON *et alii* (1992) realizaram um amplo estudo objetivando verificar as características da folha-de-flandres que influenciam a condição de soldagem, como o tipo de revestimento, a rugosidade e a contagem de picos (exposição do ferro) e o processo de recozimento do aço, e concluíram que, dentro dos limites estudados, nenhum parâmetro sozinho se correlaciona bem com a qualidade da solda, enquanto uma análise quadrática mostrou que as características superficiais de rugosidade e contagem de picos combinadas mostraram-se como os fatores determinantes na previsão da qualidade da solda.

A geometria do fio de cobre também influencia a eletrossoldagem. ELZINGA *et alii* (1996) desenvolveram uma alternativa de geometria do fio de cobre utilizado como eletrodo de solda para reduzir a ocorrência de respingos na solda, permitindo assim a utilização de intervalos mais amplos de variação de corrente no equipamento de solda. Desta forma, o perfil retangular tradicional do fio de cobre foi substituído pelo perfil trapezoidal, resultando em melhoria de desempenho no processo de soldagem, conforme confirmado na avaliação de eletrossoldas produzidas com três especificações de revestimento de estanho na folha-de-flandres e em dois diâmetros distintos.

O *Steel Packaging Council* (SPC) do *American Iron and Steel Institute* (AMERICAN...,1997) apresentaram o programa realizado sobre avaliação de soldagem a alta velocidade de folha-de-flandres, onde o objetivo foi o melhor conhecimento sobre a influência dos materiais e de parâmetros dos equipamentos na soldabilidade elétrica. Os parâmetros selecionados foram a espessura e o revestimento de estanho da folha, o conteúdo de carbono do aço, o processo de recozimento, o número de ciclos de cura e a velocidade de soldagem. Verificaram que nenhum método único fornece a medida da integridade da solda, que o conteúdo de carbono e o método de recozimento não influenciam a soldabilidade, que em velocidades maiores a soldabilidade aumenta com o aumento do revestimento de estanho e que existe influência de número de ciclos de cura na soldabilidade.

2.2.4 Características e Avaliação da Solda Elétrica

Os parâmetros básicos que controlam a qualidade da soldagem determinam o comprimento, a profundidade de penetração e a forma do *mugget*, ou seja, do ponto de fusão das duas superfícies sobrepostas, durante o processo de soldagem, pelo pulso de corrente e cujo conjunto constitui a costura lateral eletrossoldada.

A microestrutura da soldagem depende fundamentalmente do calor gerado em cada parte da interface entre as superfícies a serem soldadas. A altos níveis de fornecimento de calor ocorre a fusão da interface do aço-base, formando pontos de soldagem sobrepostos.

O *mugget*, em geral, toma a forma de um cone alongado, embora varie com os parâmetros de soldagem utilizados. Também pode ser obtida uma estrutura consistindo de uma série de pontos separados por uma ligação difusa no estado sólido (NORMAN, 1976).

Segundo JAQUES (citado por THE WELDED, 1983), o tamanho dos *nuggets* é indiretamente proporcional à espessura da folha, mas dentro da variação tolerável de espessura de folha (correspondente a ~ 8,5%), não devendo ocorrer variação no seu tamanho se as condições de soldagem forem mantidas constantes.

A produção de uma solda consistente com apenas uma estreita sobreposição entre as extremidades do corpo da lata é consideravelmente mais difícil, por exigir uma soldagem contínua. Numa solda de boa qualidade, a sobreposição da série de pontos individuais deve ser controlada de tal forma que cada elemento da soldagem lateral irá alcançar a temperatura mínima de cerca de 900°C, para que ocorra uma boa ligação da base sólida e ainda nenhum elemento da solda deve exceder o ponto de fusão do material-base, correspondente a cerca de 1500°C para aço de baixo teor de carbono. Se o ponto de fusão for ligeiramente excedido em algumas posições, o metal fundido é forçado para fora da solda, na forma de respingos (*splash*), o que pode levar a problemas de corrosão, uma vez que não podem ser adequadamente recobertos pelo verniz aplicado na costura lateral. Assim, os respingos devem ser evitados pelo controle cuidadoso da temperatura máxima alcançada (SODEIK, 1980).

O superaquecimento do material também provoca seu enfraquecimento, levando à ocorrência de fratura do flange e à formação de inclusões de ar, as quais podem se tornar porosas e, em consequência disso, podem se romper (HOLLAENDER, 1989, NORMAN, 1976, MORGAN, 1985).

Da mesma forma, a temperatura mínima da soldagem deve ser controlada cuidadosamente. Nos sistemas mais antigos, quando usados para produtos que não sofrem processo de esterilização, a ligação insuficiente entre pontos de soldagem que não se sobrepunham era compensada pelo efeito de solda de estanho, que ocorria com o estanho devido ao seu baixo ponto de fusão, nos intervalos entre os pontos soldados corretamente (NORMAN, 1976, SODEIK, 1980). Embora fosse aceito para produtos não críticos, este efeito não é suficiente quando se trata de estreita sobreposição das extremidades do corpo de latas que devem suportar uma alta pressão interna durante a esterilização térmica, uma vez que a "solda de estanho" tem resistência mecânica muito baixa.

As principais causas de variação na temperatura de soldagem devem-se a flutuações na pressão do eletrodo, mudanças na sobreposição do material e a variações da resistência elétrica, entre outras (SODEIK, 1980).

HOLLAENDER (1989) realizou um estudo para avaliar, entre outros fatores, a influência da corrente elétrica e das condições de soldagem na sua qualidade. Produziu corpos de latas utilizando quatro diferentes intensidades de corrente de soldagem, ou seja, um limite inferior, uma regulação normal, um limite superior e uma corrente

excessiva, na faixa de formação de respingos. A avaliação foi realizada pela verificação das microestruturas da solda, nas diversas condições obtidas, para dois tipos de materiais, ou seja, uma folha-de-flandres E 2,8/2,8 produzida por recozimento em caixa e uma folha-de-flandres produzida por recozimento contínuo. Observou a ocorrência de solda fria, normal e deformada, inclusive apresentando respingos.

SIMON *et alii* (1992), avaliando 37 diferentes tipos de folha-de-flandres quanto à influência das suas características superficiais (revestimento de estanho, rugosidade, processo de recozimento do aço) sobre a qualidade da soldagem, utilizaram a verificação da microestrutura das seções transversal e longitudinal da solda. Não apresentam detalhes sobre a preparação do material para a análise, restringindo-se à informação sobre a realização de polimento e ataque químico dos cortes transversais e longitudinais e avaliação com aumentos de 100 e de 200 vezes, respectivamente.

SHIMIZU *et alii* (1992) e BLACK & HELWIG (1984) aplicaram a avaliação da microestrutura das seções transversais e longitudinais da solda para verificação da soldabilidade de novos materiais metálicos para latas. Já TAKANO *et alii* (1984) utilizaram a avaliação visual e o ensaio de ruptura neste tipo de verificação, assim como ELZINGA *et alii* usaram o ensaio de ruptura para definir o limite inferior de soldagem e a avaliação visual da costura eletrossoldada para definir o limite superior de soldagem.

Os principais parâmetros dimensionais da solda são a espessura da solda, a sobreposição antes da soldagem, a sobreposição após a soldagem e o paralelismo. Durante a soldagem, o material é deformado pela combinação de calor e pressão. A espessura da solda está relacionada com a sobreposição antes e após a soldagem e com o grau de extrusão formado, sendo uma indicação das condições de soldagem. Em geral corresponde de 1,4 a 1,6 vezes a espessura da folha simplesmente reduzida e de 1,6 a 1,8 vezes a espessura da folha duplamente reduzida.

A sobreposição antes da soldagem corresponde à área que será aquecida pela corrente. Deve ser bem controlada, uma vez que alterações para baixo do previsto podem causar inconsistência ao longo ou entre cilindros e, no sentido oposto, provocam variação no grau de fusão do material ao longo do processo de soldagem.

A sobreposição após a soldagem está diretamente relacionada com o grau de extrusão, ou seja, deslocamento do material metálico para fora na lateral da região sobreposta. A distância de extremidade a extremidade deste material é definida como sobreposição após a soldagem e corresponde normalmente de 0,1 a 0,3mm a mais que a sobreposição antes da soldagem. Valores abaixo desta faixa podem indicar ausência de fusão e ocorrência de

solda fria, enquanto valores acima podem significar extrusão excessiva ou severa e formação de solda enfraquecida, possivelmente com ocorrência de respingos.

As superfícies interna e externa da costura lateral eletrossoldada devem ser paralelas uma em relação à outra, na seção transversal, para garantir o contato correto e a uniformidade da pressão na interface, durante o processo de soldagem. A falta de paralelismo normalmente está associada à alta extrusão em uma superfície de soldagem e fusão incompleta na outra.

Embora a extrusão seja uma característica normal da solda, que pode se apresentar em limites normais ou inferiores e excessivos, sendo neste caso identificada como defeito, outras características observadas na solda são indesejadas, sendo referidas como defeitos, como é o caso do respingo, do rabo de peixe e das vírgulas.

O respingo, como mencionado anteriormente, é a projeção na forma de ponta aguda do aço fundido. O rabo de peixe é um defeito associado à extremidade da região eletrossoldada, definido como o material que se estende longitudinalmente além da extremidade de corte do corpo da lata. Embora um pequeno nível de formação de rabo de peixe não possa ser evitado, seu prolongamento pode causar problema no manuseio da lata, flangeamento e recravação.

As vírgulas são pequenas cavidades que podem existir na solda. Localizam-se a partir de um ponto próximo à extremidade, na direção do centro da solda e do início para trás, ao longo do *nugget*. Algumas vírgulas estão completamente contidas na solda, enquanto outras podem ser visualizadas como uma fenda ou uma rachadura na superfície da solda onde o *nugget* encontra a extremidade cortada. Devem ser eliminadas porque, quando do acondicionamento de alguns produtos, podem provocar a formação de sítios para ocorrência de corrosão acelerada. Além disso, podem provocar o rompimento do material durante as operações de ondulação do corpo e formação de pescoço (*neck in*) das latas, levando ao surgimento de vazamento. A combinação dos fatores vírgulas, fina camada de verniz e formação de bolhas no verniz pode resultar em problemas de corrosão e perfuração (ARISTOTILE *et alii*, 1983).

Assim, a avaliação da qualidade da solda elétrica deve envolver os seguintes parâmetros (DANTAS & FARIA, 1991):

- Avaliação dimensional da espessura da solda, sobreposição antes e a após a soldagem e do paralelismo;

- Avaliação visual, para verificação da extrusão, respingos, rabo de peixe, falta de solda ou solda incompleta em determinados trechos;
- Avaliação da resistência mecânica, envolvendo os ensaios de ruptura, alongamento do flange, expansão, reversão e da esfera;
- Avaliação da microestrutura das seções transversal e longitudinal da solda, para verificação do grau de fusão e da ocorrência de defeitos como as vírgulas e inclusões de ar.

2.3 Aplicação de *side stripe* na eletrossolda

Em função do deslocamento do estanho da folha-de-flandres na região correspondente à solda, o aço encontra-se exposto nesta região. Além disso, a estrutura da solda apresenta um desnível ou *degrau*, devido à diferença entre sua espessura e a espessura da folha. Assim, no acondicionamento de grande parte dos produtos alimentícios, o desempenho da lata eletrossoldada é função da qualidade de proteção da região de soldagem por meio de revestimentos orgânicos, o chamado *side stripe*, que forma uma barreira ao acesso dos alimentos, evitando o desenvolvimento do processo de corrosão.

A qualidade do *side stripe* depende do tipo de verniz e das características inerentes aos processos de aplicação e cura utilizados, embora deva ser mencionado que a condição de soldagem também exerce importância, em função da possibilidade de ocorrência de defeitos na solda, conforme mencionado no item 2.1.

Os vernizes utilizados no *side stripe* de latas eletrossoldadas podem ser líquidos ou em pó. Nestas duas classes podem ser encontrados vernizes termoplásticos e termofixos, de acordo com as resinas-base utilizadas na formulação.

Os vernizes líquidos podem ser subdivididos entre aqueles em solução, como os produtos tradicionais à base de resina epóxi, vinílica, acrílica, poliéster, poliuretano, etc. e aqueles em dispersão, onde se incluem os organossóis e os vernizes pigmentados com alumínio ou dióxido de titânio (DANTAS & FARIA, 1991).

Os vernizes líquidos apresentam a tendência de escoamento no *degrau* da solda, em função da sua tensão superficial, no intervalo de tempo entre a sua aplicação e a cura, e, portanto, em geral não conferem um revestimento adequado da solda, havendo sempre a possibilidade de ocorrência de exposição da superfície metálica (PEARSON, 1984).

A otimização da proteção conferida pelo *side stripe* visando a mínima exposição da superfície metálica é realizada por meio do aumento da camada aplicada. Entretanto, os vernizes líquidos em solução apresentam limitações para aumento de camada, em função da possibilidade de formação de bolhas à medida que a camada aumenta. Os vernizes em dispersão, do tipo organossol, são menos susceptíveis à ocorrência deste problema (PEARSON, 1984).

Os vernizes em pó permitem um excelente revestimento da área soldada, sendo possível a obtenção de filmes com espessura elevada sem a formação de bolhas. Podem ser produzidos com resinas termoplásticas, à base de poliéster, ou termofixos, à base de resina epóxi ou epóxi-poliéster. Os primeiros são muito flexíveis e recobrem perfeitamente o *degrau* da região soldada, resultando em desempenho muito bom. A espessura mínima necessária para a obtenção de uma camada sem poros depende do tamanho da partícula do verniz em pó (FREI-AG, 1990).

O verniz em pó termofixo possui partículas de tamanho inferior ao verniz termoplástico, de forma a apresentar as características necessárias ao processo de aplicação, o que resulta em menor camada. É um revestimento relativamente duro, podendo ocorrer fratura em operações mecânicas da lata, como a formação de frisos no corpo (FREI-AG, 1990).

Os vernizes em pó apresentam custo superior aos vernizes líquidos, sendo o dos termoplásticos superior ao dos termofixos. Em função dos requisitos necessários para a produção de micropartículas, sua produção somente é viável em larga escala, o que restringe o número de unidades de produção, não sendo fabricado no Brasil.

Existem dois sistemas básicos de aplicação de *side stripe* utilizando-se vernizes líquidos, a aplicação por rolo e por aspersão, enquanto os vernizes em pó são aplicados apenas por *spray*, em sistema eletrostático. Invariavelmente, a aplicação é efetuada sobre a superfície do metal ainda aquecida a cerca de 100°C, em consequência do calor residual da operação de soldagem. Cada sistema de aplicação possui limites próprios de teor de sólidos e viscosidade para cada verniz a ser aplicado. Os métodos por *spray*, por exemplo, limitam o teor máximo de sólidos, enquanto os sistemas de aplicação por rolos requerem altos teores de sólidos, elevada viscosidade e uso de solventes com alto ponto de ebulição para uma fácil e estável aplicação do *side stripe*. A ausência de poros e o grau de revestimento da solda são resultado do equilíbrio entre a espessura do filme e o limite para a ocorrência de bolhas no filme (PEARSON, 1984).

A aplicação de *side stripe* por rolos emprega um rolo metálico para transferir o verniz de um pequeno reservatório para a região soldada, à medida em que o cilindro eletrossoldado, ainda aquecido, é transportado no

equipamento. Este método permite a aplicação de verniz com elevada viscosidade e alto teor de sólidos, sendo o verniz organossol particularmente indicado para este processo (FREI-AG, s.d.).

Este sistema de aplicação apresenta como vantagens a economia, alta precisão de aplicação e grande versatilidade, podendo-se utilizar praticamente todos os tipos de vernizes líquidos (SEAM..., s.d.). Como desvantagens, deve-se citar a possibilidade de distribuição irregular do verniz em função de movimentos laterais da lata ou de variações em seu perfil e a ocorrência das chamadas linhas de trem, ou seja, áreas com maior camada de verniz, formadas pela pressão lateral dos rolos. Estas desvantagens têm sido progressivamente superadas nos equipamentos mais modernos (FREI-AG, s.d.).

Os sistemas de aplicação por *spray* geralmente são mais complexos que os sistemas por rolos, pois envolvem utilização de elevada pressão e bicos de precisão para a fluidização do verniz. Nestes sistemas há a possibilidade de aplicação excessiva de verniz, principalmente quando se trata de verniz líquido, o que pode ser um problema, à medida em que os equipamentos de cura do verniz baseiam-se no aquecimento localizado na região revestida. Assim, maiores quantidades de verniz, além da faixa de aquecimento, permanecem não curadas, podendo causar problemas de contaminação do produto acondicionado com solventes residuais, além de que o desempenho em relação à impermeabilidade e aderência do verniz ao substrato metálico são influenciados pelo grau de cura.

Este sistema requer ainda um balanço adequado e equilibrado dos solventes utilizados, de modo que se obtenham filmes parcialmente secos antes do cilindro eletrossoldado atingir a unidade de cura, evitando-se, assim, a formação de bolhas (DANTAS & FARIA, 1991).

Entre os sistemas de aplicação de *side stripe* por *spray*, três tipos aplicam-se à utilização de vernizes líquidos, onde a variação refere-se à forma como é realizada a vaporização do verniz. São eles os sistemas com pulverização por ar comprimido, os sistemas de atomização do líquido e os sistemas com fluidização.

O quarto sistema de aplicação por *spray* é específico para a utilização de verniz em pó, sendo realizado por meio da aplicação eletrostática, onde as partículas de pó são carregadas eletrostaticamente, à medida em que passam por um dispositivo de elevada voltagem, sendo, então, depositadas na região soldada pelo efeito de atração entre as cargas elétricas (FREI-AG, 1990).

2.4 Processos de corrosão e estudos de compatibilidade embalagem metálica/alimento

A corrosão é um dos fatores envolvidos na limitação da vida útil dos produtos enlatados, além das alterações físicas, químicas e organolépticas, que modificam gradualmente a qualidade do produto (HOLLANDER & SEDLMAYR, 1989).

O termo corrosão inclui todos os processos químicos e eletroquímicos pelos quais um material metálico passa do estado elementar para o oxidável, devido a interações com o ambiente. Representa a tendência dos metais puros e ligas de se transformarem em compostos termodinamicamente mais estáveis. Em muitos casos, este ataque é acompanhado por deterioração física da embalagem como estufamento e perfuração. A corrosão pode ser acelerada pela presença de oxigênio e outros compostos, como o nitrato e o dióxido de enxofre (MANNHEIM & PASSY, 1982).

A corrosão de latas de alimentos, assim como os processos de corrosão de materiais metálicos, é caracterizada pela dissolução anódica do metal com formação de íons:



Os íons podem passar do eletrodo para a solução ou formar sais insolúveis que precipitam na sua superfície. Pode haver formação de uma camada de óxido ou hidróxido na superfície, que pode posteriormente ser oxidada. Tais camadas são porosas, facilitando a corrosão (como no caso de folhas estanhadas) ou compactas e não porosas, formando uma camada protetora (como ocorre no alumínio) (MANNHEIM & PASSY, 1982).

Na maioria dos casos, a corrosão é acompanhada de liberação de hidrogênio ou consumo de oxigênio. Outras reações catódicas podem ocorrer, consumindo os elétrons liberados na dissolução anódica do metal. A reação de corrosão em latas de folha-de-flandres e folha cromada é essencialmente eletroquímica e ocorre em um meio aquoso pela formação de células galvânicas. Tais células são formadas quando dois metais de diferentes potenciais de dissolução são colocados em contato: o metal mais ativo - o anodo - é dissolvido, protegendo o metal passivo (mais nobre) - o catodo (MANNHEIM & PASSY, 1982, MASSINI, 1973).

2.4.1 Mecanismos de corrosão

Corrosão em latas sem verniz interno

O mecanismo de corrosão da folha-de-flandres varia de acordo com o tipo e composição do alimento acondicionado.

No acondicionamento de alimentos pouco agressivos, o estanho comporta-se anodicamente, com total proteção catódica do aço. Como resultado da interação lata/alimento, ocorre, então, um desestanhamento normal e uniforme, de modo que a dissolução do estanho, que se incorpora ao alimento pela quase total formação de complexos com os ânions de ácidos orgânicos, e a evolução de hidrogênio, que em grande parte se acumula no espaço-livre da lata, ocorrem lentamente, resultando em adequada vida-de-prateleira do produto. A área de aço exposto determina a velocidade de corrosão, cuja reação, de acordo com o que foi descrito, ocorre sob controle catódico.

Nesta condição, característica de produtos cítricos, do pêssego em calda e de outros produtos ácidos acondicionados em latas brancas (não envernizadas internamente), o processo de corrosão compreende três etapas distintas conforme descrito a seguir (MANNHEIM & PASSY, 1982; MASSINI, 1973).

No primeiro estágio, o óleo e as camadas de óxidos são removidos da superfície da lata e a taxa de dissolução de estanho é bastante elevada, devido à presença de oxigênio dissolvido no produto e/ou contido no espaço-livre da lata, o qual atua como um forte despolarizante catódico, devido à eventual presença de outras substâncias despolarizantes e, em muitos casos, pela elevada temperatura do tratamento térmico durante o processamento da conserva. A corrosão é preferencialmente do estanho, mas não ocorre de modo totalmente homogêneo, pois há um ataque mais acentuado na região da linha de água (interface entre o alimento e o espaço-livre), devido à ocorrência de aeração diferencial. Em geral, esta etapa tem a duração de 4 a 15 dias, e o hidrogênio produzido parece difundir-se através do aço para o ambiente externo.

O segundo estágio é geralmente caracterizado por uma velocidade de corrosão do estanho muito menor do que no primeiro e por um longo período de duração. A taxa de corrosão é quase constante, até que a progressiva dissolução do estanho e proliferação das células galvânicas permitam a exposição de aço em uma extensão em que o estanho resultante não ofereça mais uma proteção eficaz. Dessa forma, aumentam os sítios para a reação de evolução de hidrogênio e estas áreas ditam a velocidade de corrosão. A exposição do aço é governada pela

integridade e inércia eletroquímica da liga FeSn₂, de modo que quanto mais homogênea e contínua for esta camada, melhor é a resistência à corrosão no estágio final.

O terceiro estágio, no qual grandes áreas de aço encontram-se expostas, é caracterizado por uma elevada taxa de dissolução do ferro e do estanho residual na superfície. Este período, como o primeiro, é curto em relação ao segundo estágio, havendo uma rápida evolução de hidrogênio, que se acumula no espaço-livre da lata, causando perda de vácuo, como consequência da semi-reação catódica. Em casos extremos, pode ocorrer estufamento ou perfuração da lata. Considerando-se, porém, como limite à vida-de-prateleira da conserva o teor de estanho em solução, este estágio é de pouca importância, uma vez que o término da vida útil deve ocorrer durante a segunda etapa do processo de corrosão (MANNHEIM & PASSY, 1982, FARIA, 1989, ROBERTSON, 1993).

O processo descrito corresponde a um desestanhamento normal. Outras situações podem ocorrer, conforme resumido abaixo (MANNHEIM & PASSY, 1982, FARIA, 1989, ROBERTSON, 1993):

Desestanhamento rápido - o estanho é suficientemente anódico para proteger o aço, mas a corrente de corrosão é elevada. Deste modo, a taxa de dissolução e a evolução de hidrogênio são altas, podendo ocorrer falha precoce da embalagem. As causas para esse fenômeno podem estar ligadas às grandes áreas expostas do aço, devido à qualidade deficiente da folha-de-flandres, às características eletroquímicas do aço, à presença no alimento de complexantes de íons estanhosos extremamente estáveis, tornando o estanho muito mais anódico, e à presença de substâncias fortemente despolarizantes. Esta situação é característica de produtos derivados de tomate e produtos cítricos agressivos, como suco de limão.

Desestanhamento parcial e ocorrência de "pites" - o estanho é anódico ao aço, mas os anodos locais presentes no aço o tornam muito mais anódico do que o estanho, de modo que a proteção catódica conferida pelo estanho é limitada. O aço exposto continua a se corroer, ocorrendo falha precoce da embalagem por perfuração ou estufamento por hidrogênio. Este comportamento é típico em latas de folha-de-flandres produzidas com aço de baixa qualidade ou quando produtos problemáticos são acondicionados, como ameixas, devido aos pigmentos naturais presentes, ou néctar de pêra, devido a variações na relação de ácidos cítrico/málico em sua composição.

Formação de "pites" - neste caso não ocorre a inversão de polaridade, de modo que o aço é anódico ao estanho. A velocidade da corrosão é resultado do efeito da corrente do acoplamento bimetalico e de correntes anódicas locais. Assim, o ferro nas áreas de aço exposto se dissolve e a corrosão pontual ocorre a uma taxa correspondente à combinação das duas correntes, de modo que a falha da embalagem ocorre por

estufamento devido à evolução de hidrogênio ou por perfuração. Este mecanismo é raro e pode ocorrer quando alimentos altamente corrosivos, como picles ou bebidas carbonatadas formuladas com ácido fosfórico, são acondicionados em latas brancas.

Corrosão em latas envernizadas

O processo de corrosão em latas envernizadas é mais complexo do que o de latas brancas e depende não somente da qualidade do aço-base, da camada de liga e do revestimento de estanho, mas também da película de passivação, do tipo de verniz e da qualidade de envernizamento.

A eficácia de um verniz está diretamente relacionada à sua habilidade em agir como barreira a gases, vapores, líquidos e íons, impedindo a interação do eletrólito com a superfície protegida.

A espessura do revestimento afeta fortemente o desempenho de uma lata envernizada. Produtos agressivos, como concentrado de tomate, requerem maior camada de revestimento quando comparados com produtos pouco agressivos. Em geral, quanto maior a espessura da película de verniz, menor é sua porosidade.

A grosso modo, a localização do processo de corrosão em latas envernizadas corresponde às áreas de falha do verniz, por meio de poros e riscos, sendo dificultada a ação do estanho como anodo de sacrifício.

De modo geral, a película de verniz permanece intacta ao se produzir o desestanhamento das áreas descobertas, verificando-se o destacamento desta película na medida em que o estanho se dissolve. Como a área de contato metal/eletrólito é pequena, a dissolução de estanho é lenta. Este tipo de corrosão é chamado *subpelicular* e resulta na perda de aderência do verniz com o aparecimento de coloração escura nestas regiões, prejudicando sensivelmente o aspecto interno da embalagem. Segundo MANNHEIM & PASSY (1982), esta coloração escura, meio acinzentada, é característica da liga FeSn_2 , a qual, por ser mais passiva que o estanho e o ferro, não permite que a corrosão continue ocorrendo.

Em certas ocasiões, por ausência de substâncias complexantes do estanho ou pela presença de complexantes estáveis do ferro, mantém-se a ordem teórica dos potenciais eletroquímicos do par Fe/Sn , pelo que o ferro atua como anodo (FARIA, 1989). Como consequência, verifica-se um processo diferente do anterior, a corrosão concentra-se sobre a superfície com envernizamento e estanhamento irregular, desenvolvendo-se até o aço-base na forma de corrosão por *pite* ou pontual e, em casos extremos, conduz à perfuração da lata.

Este mecanismo ocorre com maior frequência em latas envernizadas, como consequência da proporção das áreas expostas dos metais ser mais equilibrada e dificultar a ação do estanho como anodo de sacrifício (FARIA, 1989).

Existe uma interrelação entre as propriedades dos alimentos, do material utilizado para embalagem, do processo tecnológico e das condições de estocagem na influência sobre a vida-de-prateleira de um produto; na verdade, um efeito sinérgico pode acelerar a corrosão.

Os alimentos são sistemas bioquímicos complexos que apresentam uma larga faixa de variação de pH e propriedades de tamponamento; eles contêm ácidos, oxigênio, pigmentos e outros ingredientes como sal, açúcar, condimentos e fosfatos - os quais podem acelerar ou inibir a corrosão. Os principais aceleradores de corrosão em alimentos são o oxigênio, nitrato, compostos de enxofre, trimetilaminas, antocianinas, etc. (MANNHEIM, 1986).

Existem várias classificações dos alimentos, que variam conforme o critério adotado. STUMBO (1965) apresenta uma classificação segundo o pH, visando a determinação das condições de processamento térmico necessárias à estabilidade dos produtos, ou seja, de alimentos de baixa acidez, que apresentam pH acima de 4,5, alimentos ácidos, cujo pH varia entre 4,0 e 4,5 e alimentos de alta acidez, cujo pH é menor que 4,0.

MARSAL (1986) apresenta uma classificação sob o ponto de vista da interação embalagem/alimento, distinguindo três grupos de produto, quais sejam, os sulfurosos, os pouco agressivos e os ácidos agressivos.

Os produtos sulfurosos contêm grande quantidade de proteínas que possuem aminoácidos sulfurados, como a metionina e a cisteína, que se decompõem durante o tratamento térmico da conserva, resultando em compostos de enxofre passíveis de se combinar com os metais constituintes da embalagem. São eles os vegetais leguminosos (feijão, ervilha, milho), os vegetais folhados (couve-flor e espinafre), os produtos cárneos e alguns derivados do leite.

Entre os alimentos pouco agressivos encontram-se aqueles que se beneficiam com a presença do estanho na manutenção das características organolépticas, principalmente a cor, como o palmito, o cogumelo, o pêssego, entre outros, os sucos e compotas de frutas pouco agressivas, que não contenham pigmentos antocianínicos e os produtos de tomate.

Os produtos ácidos agressivos são as frutas e os legumes com pigmentos antocianínicos, tais como o morango, a cereja, a ameixa e a beterraba e produtos de alta acidez, como suco de laranja e limão.

Os despolarizantes também aceleram a corrosão, uma vez que possuem alto potencial de óxido-redução e são prontamente reduzidos pelo hidrogênio formado em reações catódicas. Alguns despolarizantes são introduzidos no alimento de forma natural, como os compostos de enxofre em produtos cárneos e vegetais, os pigmentos antocianínicos em frutas e o oxigênio, e outros são aditivos intencionais, como os fungicidas que contêm enxofre e os nitratos (MANNHEIM, 1986, MASSINI, 1975, FAO, 1986).

Além da composição do produto, a interação embalagem/alimento também é afetada por fatores tecnológicos, envolvendo a prática de enlatamento, e pelos fatores ambientais (LOPEZ, 1987b, MANNHEIM, 1986, FAO, 1986).

Os fatores tecnológicos são o nível de enchimento, o vácuo, a exaustão, o fechamento da embalagem, entre outros, que possibilitam a remoção dos gases oclusos no produto ou presentes no espaço-livre, principalmente o oxigênio, além de garantirem uma adequada relação entre sólido e líquido de enchimento, no caso de produtos específicos. Além disso, o correto controle da exaustão permite que seja evitado ou minimizado o início de processo corrosivo anteriormente ao fechamento da embalagem.

A influência da temperatura de estocagem tem sido relatada por muitos autores, uma vez que exerce forte influência na vida-de-prateleira dos alimentos enlatados (LOPEZ, 1987b, FAO, 1986, BRITTON, 1975, LABUZA, 1982). A degradação natural dos produtos pelo aumento da temperatura é rápida, o que pode acelerar o processo de corrosão.

As principais consequências da interação embalagem/alimento são a perda de vácuo, a produção de gás hidrogênio e consumo de oxigênio, a alteração da superfície interna da embalagem, a dissolução de metais e a perfuração do material, resultando em perda de integridade da embalagem (CATALÁ, 1985). Assim, no acompanhamento do desempenho de embalagens em relação à interação, estes são os principais fatores considerados.

Segundo a literatura, a única abordagem realmente válida para levantamento do desempenho de embalagens para determinação da vida-de-prateleira dos produtos é pela realização de testes de estocagem (ITRI, s.d.).

A avaliação do desempenho de latas eletrossoldadas foi realizada por alguns autores por meio de estudos de estabilidade. MAHADEVIAH *et alii* (1983) investigaram a utilização da lata de folha-de-flandres soldada eletricamente (*Soudronic*) como uma alternativa à soldada com Sn/Pb. Determinaram a vida-de-prateleira de quatro produtos: batata em salmoura, concentrado de tomate, suco e polpa de manga acondicionados em latas

soldadas eletricamente e envernizadas internamente e tendo como padrão a lata convencional. Concluíram que a lata soldada eletricamente apresentou um desempenho semelhante ao da lata convencional para esses produtos alimentícios.

BARBIERI *et alii* (1983) avaliaram o desempenho das latas de folha-de-flandres soldadas pelo processo *Soudronic* usando como referência a embalagem soldada com liga Sn/Pb para feijão, ervilha, concentrado e suco de tomate e pêssego em xarope. Os parâmetros considerados foram a concentração de ferro nos produtos e a aparência visual da lata, durante o período de armazenamento de dois anos. Verificaram que os teores de ferro nos produtos acondicionados nas latas com solda elétrica mantiveram valores semelhantes àqueles encontrados na lata de três peças com solda Sn/Pb.

CHIAPPE (1970) apresentou dados de enlatamento de cerveja e refrigerantes em latas de folha cromada soldadas pelo processo *Conoweld* e em latas de folha-de-flandres soldadas pelo processo convencional. A comparação do desempenho dos dois tipos de latas foi feita com base no teor de ferro encontrado no produto, durante o período de armazenamento de seis meses. Concluíram que o desempenho, em termos de migração de ferro das latas de folha cromada para cerveja e refrigerantes, foi aceitável e forneceu essencialmente o mesmo resultado que a lata de folha-de-flandres.

DANTAS *et alii* (1988) estudaram o desempenho de latas de folha-de-flandres produzidas pelo processo *Soudronic* e de latas de folha cromada produzidas pelo processo *Conoweld*, paralelamente à avaliação de latas em folha-de-flandres soldadas com liga Sn/Pb, no acondicionamento de refrigerante de limão. A vida-de-prateleira do produto foi determinada por teste de estocagem pelo período de seis meses em duas condições de temperatura, 23 e 35°C. Os principais parâmetros considerados foram a avaliação visual das embalagens, o conteúdo de ferro e a avaliação sensorial do produto. Os três tipos de lata em folha-de-flandres apresentaram bom desempenho durante os seis meses de estocagem, enquanto a lata eletrossoldada em folha cromada sofreu um processo de corrosão acentuado, principalmente na região de soldagem. A avaliação sensorial do refrigerante permitiu detectar sua deterioração de sabor durante a estocagem, o que ocorreu independentemente da embalagem estudada.

DANTAS *et alii* (1993) avaliaram latas eletrossoldadas para palmito com *side stripe* em vernizes epóxi-fenólico e organossol, por meio de teste de estocagem com avaliações periódicas da embalagem, do conteúdo de ferro e avaliação organoléptica do produto, tendo verificado que este último parâmetro é o mais importante na perda de

qualidade do palmito, juntamente com a alteração da aparência interna da lata. O *side stripe* com verniz organossol mostrou desempenho superior ao epóxi-fenólico.

2.5 Estimativa de vida-de-prateleira dos diferentes produtos

A vida-de-prateleira dos alimentos enlatados é função de fatores intrínsecos e extrínsecos ao alimento, conforme ilustrado na Figura 1. As alterações intrínsecas, como teores de vitaminas, aminoácidos, textura, sabor, ocorrem tanto de forma independente como dependente dos fatores extrínsecos, ou seja, existe a possibilidade de interferência entre si.

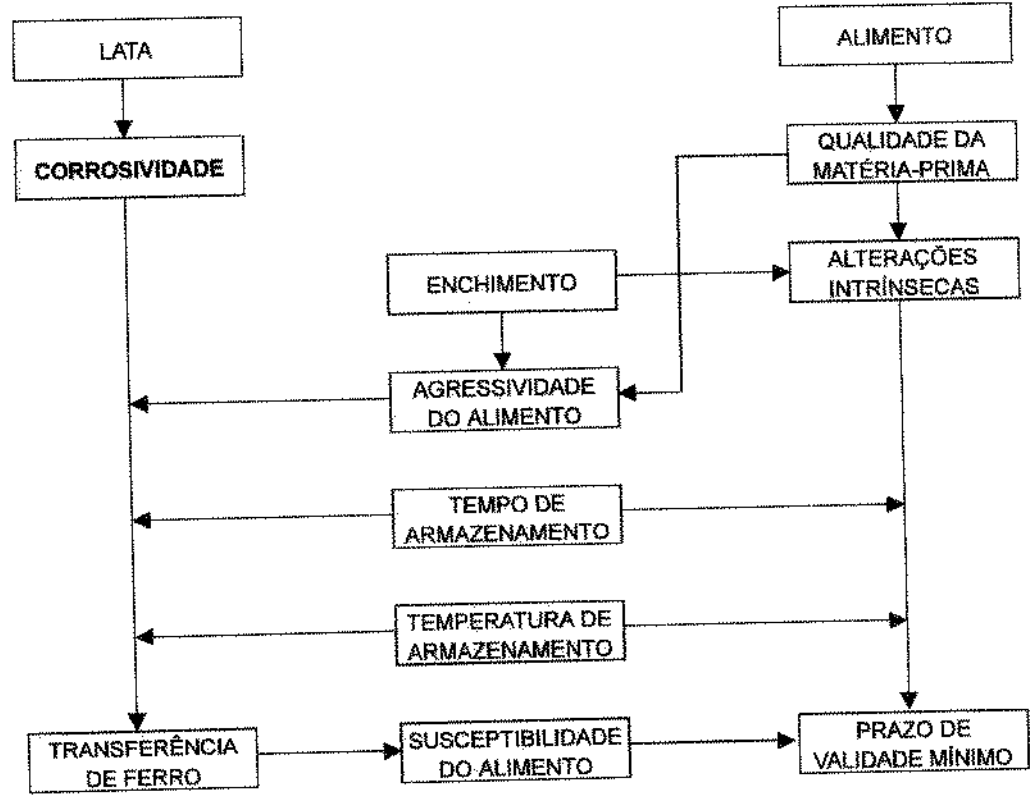


FIGURA 1. Fatores de influência sobre a vida-de-prateleira de alimentos enlatados (HOLLAENDER & SEDLMAYR, 1989).

LABUZA (1982) apresenta um levantamento amplo sobre a cinética de perda de qualidade de frutas e vegetais enlatados durante o processamento, onde os principais parâmetros considerados são a perda de tiamina e de clorofila, as alterações de cor, de textura e de sabor. Em relação à alteração durante a estocagem, embora a literatura seja limitada, os principais fatores mencionados são a qualidade organoléptica (provocada por reações

de escurecimento não-enzimático, envelhecimento ou redução da intensidade de sabor), a alteração de cor (desbotamento de pigmentos do tipo carotenóides, etc) e da textura (amolecimento a altas temperaturas, desintegração a temperaturas muito baixas). As alterações no conteúdo de vitaminas, embora ocorram, tendem a ser mais lentas que as restantes.

Do ponto de vista da alteração da embalagem, a vida-de-prateleira é determinada por vários fatores, como a qualidade sensorial, o nível de vácuo (ou ausência de estufamento), a aparência visual interna e a concentração de metais dissolvidos, uma vez que todos estes fatores podem ser alterados como consequência da corrosão interna da lata, sendo que os principais fatores considerados são a dissolução dos metais estanho e ferro e a aparência visual da superfície interna.

A dissolução de estanho tem sentido prático apenas em latas sem aplicação de verniz interno, uma vez que o conteúdo máximo deste metal nos alimentos é estabelecido pela Legislação Brasileira pelo Decreto nº 55.871 de 26/03/65 e corresponde a 250mg/kg. Nas latas sem verniz interno, a alta área de estanho exposto possibilita que este atue como anodo de sacrifício, dissolvendo-se e portanto protegendo catodicamente o ferro. Nas latas envernizadas, mesmo quando ocorre o mecanismo de corrosão subpelicular, onde o estanho se dissolve sob o verniz, destacando-o, na maioria dos produtos é pouco provável que a concentração de 250mg/kg de estanho seja atingida. Além disso, nestes casos, o nível de alteração da superfície interna será grande, de modo que o critério de rejeição do produto será preferencialmente a avaliação visual interna da embalagem.

O ferro, por se tratar de um elemento essencial ao organismo humano, não possui restrição do ponto de vista toxicológico, não havendo na Legislação Brasileira limites com relação aos produtos aqui tratados (ABIA, 1996). Entretanto, este metal apresenta a desvantagem de conferir sabor aos produtos, identificado como metálico, quando presente em determinadas concentrações. HOLLAENDER & SEDLMAYR (1989) estudaram a alteração organoléptica de diferentes classes de produtos pelo ferro, tendo verificado que produtos com média susceptibilidade a este elemento, onde se enquadram, de forma geral, os vegetais, apresentam alteração de sabor no intervalo de concentração de 25 a 45mg/kg. Já os produtos com baixa susceptibilidade à alteração de sabor sofrem alteração a partir de concentração de 50mg/kg, enquanto produtos com alta susceptibilidade, como a cerveja e o purê de maçã, sofrem alteração a partir da concentração nos intervalos de 0,3 a 1,5mg/kg e 15 a 20mg/kg, respectivamente. HOLLAENDER (1995) apresenta como concentrações-limite para a detecção e para o reconhecimento de sabor metálico em ervilha as concentrações de ferro entre 35-40ppm e 40-50ppm, respectivamente.

Uma vez que a temperatura de estocagem altera a velocidade das diferentes reações passíveis de ocorrência nos alimentos, LABUZA (1982) estabeleceu como forma de medida da sensibilidade do alimento a alterações em função da temperatura a determinação do índice Q_{10} , definido pelo quociente entre a vida-de-prateleira do produto à temperatura de estocagem(T) e a vida-de-prateleira do mesmo produto à temperatura de estocagem ($T+10^{\circ}\text{C}$). O levantamento do índice Q_{10} para cada sistema produto/embalagem é de grande utilidade na previsão da sua vida-de-prateleira em diferentes condições.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

3.1.1 Embalagens

O presente estudo envolveu a avaliação de latas eletrossoldadas para acondicionamento de três produtos alimentícios (ervilha, extrato de tomate e pêssego em calda), conforme descrito no item 3.1.2, sendo que foram estudados dois tipos de embalagem para cada um dos produtos. A variação entre as latas concentrou-se no tipo de verniz de proteção da costura lateral eletrossoldada para o extrato de tomate e para a ervilha e na utilização da lata com e sem envernizamento interno, incluindo a costura lateral, para o pêssego em calda.

A Tabela 1 apresenta a descrição das embalagens utilizadas, que foram produzidas pela Etti Produtos Alimentícios Ltda., no caso das latas para extrato de tomate e de ervilha, e pelas indústrias Metalúrgica Mococa S.A. e Olivebra Industrial S. A. Divisão Guerreiro, no caso das latas para pêssego em calda sem e com envernizamento interno, respectivamente. A mesma Tabela apresenta também a codificação adotada para os diferentes tipos de lata, ou seja, as latas para acondicionamento de ervilha e de extrato de tomate foram identificadas como lata EA (com *side stripe* em verniz epóxi-amina modificada, produzido pela BASF S/A, código 1163-0001) e lata EU (com *side stripe* em verniz epóxi-uréia, produzido pela Tintas Coral Ltda., código 1064/3956) e as latas para pêssego em calda como lata E (envernizada internamente, sendo o *side stripe* com verniz epóxi-fenólico, produzido pela Courtoulds International Ltda., número IP3190 - 7083) e lata B (sem verniz interno). Um dos tipos de embalagem era proveniente da produção normal das empresas enlatadoras dos alimentos, ou seja, a Etti Produtos Alimentícios Ltda., no caso da ervilha e do extrato de tomate e a Extrafruta Indústria de Alimentos Ltda., no caso do pêssego em calda, enquanto o segundo tipo foi produzido especialmente para o estudo e a variação referia-se ao tipo de verniz aplicado na costura lateral (*side stripe*) nas latas para ervilha e extrato de tomate e à ausência de envernizamento interno na lata para pêssego em calda. Em todos os casos de envernizamento da costura lateral foram aplicados vernizes líquidos, por meio de equipamentos Nordson em sistema por aspersão (*spray*).

TABELA 1. Descrição das latas eletrossoldadas utilizadas para o acondicionamento de ervilha, extrato de tomate e pêssego em calda.

Produto	Embalagem 1	Embalagem 2
Ervilha (peso líquido drenado 200g)	Lata de uso normal na empresa alimentícia	Produção para o estudo
	Verniz interno: C, T, F, S ¹	Verniz interno: C, T, F, S ¹
	Costura lateral: verniz epóxi-uréia ²	Costura lateral: verniz epóxi-amina ²
	Identificação: lata EU	Identificação: lata EA
	Dimensões Ø x h (mm) ³ : 73 x 95	
Extrato de tomate (peso líquido 140g)	Lata de uso normal na empresa alimentícia	Produção para o estudo
	Verniz interno: C, T, F, S ¹	Verniz interno: C, T, F, S ¹
	Costura lateral: verniz epóxi-uréia ²	Costura lateral: verniz epóxi-amina ²
	Identificação: lata EU	Identificação: lata EA
	Dimensões Ø x h (mm) ³ : 52 x 74	
Pêssego em calda (peso líquido drenado 450g)	Lata de uso normal na empresa alimentícia	Produção para o estudo
	Verniz interno: C, T, F, S ¹	Sem verniz interno no C, T, F, S ¹
	Costura lateral: verniz epóxi-fenólico ²	Identificação: lata B
	Identificação: lata E	
	Dimensões Ø x h (mm) ³ : 99 x 119	

¹ C/T/F/S: corpo/ tampa/ fundo/ eletrossolda.

² Os vernizes referem-se à costura lateral interna.

³ Ø x h: diâmetro x altura nominais

A Tabela 2 apresenta as características técnicas do processo de eletrossoldagem das diferentes embalagens em estudo.

TABELA 2. Características técnicas dos equipamentos de eletrossoldagem das latas.

	Ervilha e Extrato de tomate	Pêssego em calda	
	Latas EA/EU	Lata E	Lata B
Produtor	Soudronic AG	Soudronic AG	Soudronic AG
Modelo	FBB 5501 R	BWM 6000	BWM 2000 norma
Velocidade de soldagem (m/min)	60	60	30,4
Produção máxima (número de latas / min)	500	300 - 320	300
Corrente de soldagem (A)	3500	3900 - 4000	3450
Pressão de soldagem (daN)	48	40 - 45	45
Sobreposição nominal (mm)	0,5	0,5	0,5

3.1.2 Produtos alimentícios

Com base em um levantamento junto às indústrias brasileiras produtoras de embalagens metálicas sobre suas linhas de produção e quanto ao mercado de alimentos enlatados no Brasil (DATAMARK, 1990, 1991), foi possível estabelecer como objeto deste estudo as latas eletrossoldadas destinadas ao acondicionamento dos seguintes produtos:

- a. **Ervilha** (*Pisum sativum L.*) - vegetal leguminoso de baixa acidez ($\text{pH} \cong 6,3$), pertencente à classe de alimentos sulfurosos devido ao fato de conter proteínas compostas por aminoácidos que apresentam enxofre. Estes produtos podem desenvolver as chamadas reações de sulfuração, ou seja, formação de sulfeto de ferro ou de estanho pela interação com o material metálico, o que causa aparência desagradável na embalagem.
- b. **Extrato de tomate** (*Lycopersicum esculentum mill*) - alimento ácido ($\text{pH} \cong 3,0$) de conhecida agressividade aos materiais metálicos. Devido à presença de ácido cítrico em sua composição, a corrosão da lata ocorre pelo mecanismo de desestanhamento, onde o estanho da folha-de-flandres desempenha o papel indicado ao seu uso, de anodo de sacrifício. O estudo envolvendo dois tipos de vernizes de proteção da costura lateral ou eletrossolda pretendeu comparar diferentes especificações e verificar a sua possível influência na intensidade de corrosão.
- c. **Pêssego em calda** (*Prunus persica L.*) - embora de média acidez ($\text{pH} \cong 3,7$), as frutas claras, denominação dada àquelas frutas que possuem pigmentos não antocianínicos, têm suas características organolépticas (cor e sabor) favorecidas pela presença de estanho. A comparação de duas especificações de embalagem (Tabela 1) objetivou verificar a influência desta condição na interação embalagem/produto, quando da utilização de latas eletrossoldadas.

3.2 Métodos

3.2.1 Avaliação da qualidade da solda

As metodologias para avaliação da qualidade da solda, apresentadas na Tabela 3, foram iniciadas e/ou adaptadas para o desenvolvimento desta pesquisa a partir de algumas informações disponíveis na literatura (NORMAN,

1976, PRECISION TOOLS, s.d., LEVY & BAESSLER, 1992) e, principalmente, de conhecimentos obtidos em contato direto com produtores e usuários de equipamentos e de insumos para a produção de latas eletrossoldadas, como a Frei AG (Suíça), a Vernicolor (Suíça), a Kramer (Brasil) e a American National Can Company (EUA).

Objetivando disponibilizar as metodologias de forma organizada, foi elaborado o manual técnico *Avaliação de latas eletrossoldadas* (FARIA *et alii*, 1993), em parceria com outros pesquisadores nos temas abordados. Neste manual, o conteúdo relativo aos ensaios de avaliação da qualidade da eletrossolda propriamente dita, descritos a seguir, são de autoria de DANTAS.

TABELA 3. Ensaios de avaliação da qualidade da solda¹.

Avaliação	Ensaio/característica avaliada
Avaliação visual da solda	Extrusão
	Respingos ou pontas agudas
	Formato e regularidade da solda
	Rabo de peixe
	Fraturas
Avaliação dimensional	Espessura da solda
	Comprimento da sobreposição após a soldagem
	Comprimento da sobreposição antes de soldar
	Paralelismo
Ensaios mecânicos	Ensaio da esfera
	Ensaio de ruptura
	Ensaio de expansão
	Ensaio de alongamento do flange
	Ensaio de reversão
Avaliação metalográfica das seções transversal e longitudinal	Fusão
	Virgula
	Inclusão de ar

¹ DANTAS & FARIA (1991), FARIA *et alii*. (1993).

• Caracterização dimensional da solda

Foram determinados, em duas posições e em duas unidades de lata, o comprimento da sobreposição após a soldagem e a espessura da solda, e verificada a condição de paralelismo da solda, tomando-se cortes transversais obtidos com cortadeira munida de sistema de lubrificação em duas posições e em duas unidades de lata, conforme será descrito para a avaliação do grau de fusão. A avaliação dimensional foi feita em sistema de análise de imagem da N.P.W. Technical Laboratory Co., modelo My Scope, com resolução de 0,001mm, utilizando-se aumento de 90 vezes. A partir destes dados, foi calculada a sobreposição antes da soldagem.

A sobreposição antes da soldagem é determinada para verificar a adequação da sobreposição, onde serão aplicadas a corrente e a pressão de solda, uma vez que estes parâmetros exercem importante influência no grau de fusão do material (FARIA *et alii*, 1993).

- **Avaliação da resistência mecânica da solda**

A avaliação da resistência mecânica da solda foi determinada pelos ensaios de ruptura, de expansão, de alongamento do flange e de reversão das latas, utilizando-se equipamento Kramer munido dos acessórios específicos para os diâmetros 73 e 99mm. Estas avaliações não foram conduzidas nas latas de extrato de tomate por indisponibilidade de acessórios para o diâmetro 53mm.

Para cada ensaio realizaram-se determinações em 15 latas de cada tipo.

No ensaio de ruptura, o cordão eletrossoldado é tracionado em ângulo de 90° a partir de um corte em formato de triângulo, onde apenas o cordão é mantido inalterado. Deve ser possível a remoção completa do cordão sem rompimento, o que seria considerado falha.

No ensaio de expansão, o corpo-de-prova é submetido a uma expansão do diâmetro na extremidade da lata de cerca de 15% e a costura eletrossoldada deve ser mantida íntegra. A ocorrência de fratura na eletrossolda é indicativa de falha.

Os ensaios de alongamento do flange e o de reversão promovem respectivamente o aumento do flange em cerca de 5mm e a completa reversão do cilindro. Também neste caso o critério de falha é a ocorrência de rompimento na costura eletrossoldada (FARIA *et alii*, 1993, KRAMER, s.d.).

- **Avaliação visual da solda**

A avaliação visual da solda foi conduzida a olho nu e utilizando-se um estereoscópio Olympus modelo SZ 1145TR, operando com aumento de 20 vezes. Foram avaliadas três unidades de cada tipo de lata.

As principais características e/ou defeitos das soldas avaliadas são descritas abaixo (DANTAS & FARIA, 1991, ARISTOTILE *et alii*, 1983):

- extrusão, se normal ou em excesso
 - forma e espaçamento dos pontos de solda
 - existência de respingos
 - existência de *rabo de peixe*
 - presença de fraturas
- **Avaliação da microestrutura da solda**

A avaliação da microestrutura da solda foi realizada em seções longitudinais e transversais da solda retiradas de três unidades de lata (BLACK & HELWIG, 1984, SHIMIZU *et alii*, 1992, DANTAS, 1995). Em cada unidade foram tomadas três seções longitudinais, correspondentes à entrada, ao centro e à saída da soldadora, identificadas como E, C e S, respectivamente, e duas seções transversais nas posições intermediárias, sendo a primeira (T1) entre a entrada da soldadora e o centro e a segunda (T2) entre o centro e a saída da soldadora. Adotou-se como critério que a entrada da soldadora correspondia à extremidade próxima à tampa da lata.

Procedeu-se o corte das seções longitudinais e transversais em cortadeira para metais, com lubrificação, e o embutimento a frio, em resina acrílica, dos corpos-de-prova devidamente posicionados em ângulo reto com a superfície de apoio, utilizando suporte específico, seguindo-se a preparação da superfície com seqüência de lixas de carbeto de silício de granas 220, 320, 400 e 600, polimento com alumina 1µm e o ataque químico da superfície polida com solução de picral (solução saturada de ácido pícrico), no caso das seções longitudinais e nital (solução de ácido nítrico a 10%) para as seções transversais (ITRI, 1982, FASANO, 1980, DANTAS, 1995).

Após a preparação, procedeu-se a avaliação do grau de fusão em relação à possível presença de linha de separação das duas extremidades soldadas nas diferentes seções e da ocorrência de defeitos como vírgulas, ou seja, pequenas cavidades presentes na solda (DANTAS & FARIA, 1991). Nas seções longitudinais, observou-se ainda a condição de uniformidade do processo de soldagem entre as regiões de entrada, centro e saída da eletrossoldadora.

Estas avaliações foram realizadas em sistema My Scope da N.P.W. Technical Laboratory Co. LTD, munido de câmara e lentes para aumento de 90 e de 300 vezes.

3.2.2 Estudo de desempenho na estocagem

3.2.2.1 Caracterização das embalagens

As latas foram caracterizadas quanto a espessura, dureza e revestimentos metálico e orgânico, realizando-se determinações em três unidades de cada amostra para cada parâmetro analisado.

- **Espessura da folha**

Foi determinada por leitura direta com micrômetro de ponta esférica Mitutoyo, com resolução de 0,001mm, tomando-se 10 medidas por lata (ABNT, 1995, FARIA *et alii*, 1990, CATALÁ, 1976).

- **Dureza superficial da folha de aço**

Determinada conforme normas ABNT NBR 7407 (1982) e NBR 6671 (1991), utilizando-se um durômetro para ensaio superficial Rockwell, marca Wilson Rockwell, modelo 503S. O verniz aplicado às amostras foi previamente retirado por meio de solvente (acetona) para a realização do ensaio. Foram tomadas 10 medidas por lata.

- **Determinação da camada de estanho na folha-de-flandres**

A quantidade de estanho aplicada sobre a folha metálica foi determinada pelo método coulométrico, segundo a norma ABNT 8481 (1984), que consiste na remoção do estanho da superfície por meio de eletrólise em condições padronizadas e na sua quantificação, aplicando-se a Lei de Faraday.

Utilizou-se um sistema potenciostato/galvanostato EG&G, modelo 273A, operando por meio do programa EG& G354 (DANTAS *et alii*, 1996).

As condições de análise foram as seguintes:

densidade de corrente: $5\text{mA}/\text{cm}^2$

área do corpo-de-prova: $20,0\text{cm}^2$

eletrólito: ácido clorídrico p.a. 1N

eletrodo de referência: calomelano saturado

contra-eletrodo: eletrodo de platina

Foram tomadas medidas em duplicata em 3 latas de cada tipo.

• Determinação da camada de cromo na folha cromada

A camada de cromo metálico foi determinada nas faces interna e externa das tampas/fundos das latas pelo método coulométrico, utilizando-se um sistema potenciostato/galvanostato EG&G modelo 273A, operando por meio do programa EG&G 354 (FARIA *et alii*, 1990, MILANESE, 1984). A camada de óxido de cromo foi determinada pelo método coulométrico, após extração com hidróxido de sódio 10N a quente, baseado na reação do cromo com a difenilcarbazida. Utilizou-se curva de calibração apropriada (ABNT, 1985). O resultado obtido corresponde à média de 3 determinações.

As condições de análise na determinação de cromo metálico foram:

densidade de corrente: $0,6\text{mA}/\text{cm}^2$

área do corpo-de-prova: $20,0\text{cm}^2$

eletrólito: solução de fosfato monobásico do sódio bihidratado a 10% (p/v), pH 7,0

eletrodo de referência: calomelano saturado

contra-eletrodo: eletrodo de platina

• Camada seca de verniz

Trata-se da quantificação, por gravimetria, do peso da película seca de verniz em uma determinada área. Foi determinada em corpos-de-prova cortados em prensa específica, fornecendo uma área de $25,81\text{cm}^2$, enquanto na região de soldagem os corpos-de-prova foram cortados manualmente com dimensões de cerca de 6mm x

90mm e a área foi calculada pelo método de pesagem, utilizando-se a densidade do aço (FARIA *et alii*, 1990, CATALÁ, 1977).

A pesagem dos corpos-de-prova foi feita em balança analítica Mettler com resolução de 10^{-4} g. Realizou-se determinação em duplicata em 3 unidades de cada tipo de lata.

- **Porosidade do verniz**

Determinada utilizando-se um equipamento WACO Enamel Rater Test, ao qual foi adaptado um multímetro digital Hewlett Packard modelo 3465 A, para leituras de corrente da ordem de 10^{-5} A. O método consiste na determinação da corrente que flui entre um contra-eletrodo de aço inoxidável e a amostra, através das descontinuidades da camada de verniz, ao se aplicar uma voltagem fixa (6,2V). Utilizou-se como eletrólito uma solução de sulfato de sódio p.a. a 2% adicionada de 0,1% de tensoativo dodecilhidrogeniosulfato de sódio ($C_{12}H_{25}NaO_4S$) (BRITTON, 1975, WILKENS ANDERSON, s.d.).

Foram avaliadas 50 unidades de cada tipo de lata, formadas pelo conjunto corpo e fundo, exceção feita às latas de pêssgo em calda, para as quais realizou-se determinação em 17 unidades.

- **Identificação do verniz**

Os vernizes do corpo, tampa, fundo e região de soldagem das latas foram identificados por espectrofotometria de absorção na região do infravermelho, em equipamento Perkin Elmer, modelo FTIR 1650, que percorre a variação espectral de 4400 a 400cm^{-1} .

Os filmes de verniz utilizados no ensaio foram extraídos do substrato metálico por meio da imersão em ácido clorídrico concentrado, seguindo-se de lavagem em água e de montagem em unidades de cartão para análise por transmitância e comparação com espectros padrão (FARIA *et alii*, 1990, MARSAL & TILLON, 1987, MARSAL, 1973). A avaliação foi realizada em duplicata.

- **Aderência**

A aderência do verniz do corpo, tampa e fundo das latas foi determinada por meio do ensaio de fita adesiva, após traçado de uma grade com 12 riscos (6 por 6) em ângulo reto e separados de 1mm (ABNT, 1988, ASTM, 1990). O grau de aderência foi atribuído baseando-se na escala mostrada na Figura 2. O resultado obtido é média de 3 avaliações.

Grau de aderência	Descrição	Aspecto
G0	Os cantos dos cortes em grade são retos. Sem nenhuma parte destacada	
G1	Nos cruzamentos dos cortes em grade destacam-se pequenas partículas (partes) da pintura. Área destacada de cerca de 5% da área quadriculada	
G2	O verniz destaca-se nos cruzamentos e/ou ao longo dos cortes. Área destacada cerca de 15% da área quadriculada.	
G3	O verniz destaca-se ao longo dos cortes em grade parcial e/ou total; também pode ocorrer destacamento parcial e/ou total de algumas áreas quadriculadas. Área destacada de cerca de 35% da área quadriculada.	
G4	O verniz destaca-se em forma de faixa e/ou de algumas quadriculas, parcial e/ou totalmente. Área destacada cerca de 65% ou mais da área quadriculada.	

FIGURA 2. Escala descritiva para avaliação da aderência de verniz por meio de ensaio de fita adesiva.

- **Determinação do grau de cura**

O grau de cura do verniz do corpo, tampa e fundo das latas foi determinado utilizando-se o método de dissolução por meio de solventes, sendo verificado o número de ciclos necessários para a remoção do verniz, quando é feita fricção com algodão embebido em metil-etil-cetona ou em butil glicol. O método de absorção do

corante vermelho de bromopirogalol em metanol para o verniz do corpo e/ou fundo foi utilizado apenas para confirmação de resultados. Cada ensaio foi realizado em 3 corpos-de-prova (DANTAS *et alii*, 1996, WIGGINS & GREEN, 1996).

- **Exame de recravação**

Aplicou-se o procedimento de avaliação da seção transversal, utilizando-se o sistema de análise de imagem My Scope da N.P.W. Technical Laboratories Co., operando com lente para aumento de 90 vezes (METAL BOX, 1973, METAL BOX, 1961, DOUBLE, 1996, DANTAS *et alii*, 1996). Foram tomadas duas seções transversais separadas por 120° e distantes cerca de 60° da costura lateral, por meio de serra para seção transversal de recravação Wilkens Anderson Co. Primeiramente, foram realizadas as medições de profundidade do rebaixo, espessura da recravação e espessura das folhas do corpo e tampa/fundo, utilizando-se um relógio comparador Mitutoyo com ponta de agulha e resolução de 10^{-2} mm, um micrômetro para recravação Starret com resolução de 10^{-2} mm e um micrômetro digital de ponta esférica Mitutoyo com resolução de 10^{-3} mm, respectivamente. As avaliações foram realizadas em 3 unidades de latas.

A partir dos parâmetros determinados foram calculados a sobreposição dos ganchos da tampa e corpo ou sobreposição relativa calculada (SR), o enganchamento do gancho do corpo (EGC) e a compactação (C). O aperto da recravação do fundo também foi determinado pela avaliação do enrugamento do gancho do fundo, após a abertura da recravação (DANTAS *et alii*, 1996).

Os resultados obtidos foram comparados com os valores sugeridos por DANTAS *et alii* (1996) para a condição normal de recravação de latas.

O Anexo A apresenta na Figura A1 uma seção transversal de recravação, identificando os parâmetros avaliados, assim como as equações relativas aos cálculos realizados. A Figura A2 deste mesmo Anexo apresenta a escala de classificação do aperto do gancho do fundo.

3.2.2.2 Processamento dos produtos

a. Ervilha - *Pisum sativum* L.

O processamento da ervilha foi realizado em unidade industrial da Etti Produtos Alimentícios Ltda., Jundiaí, SP, segundo o fluxograma simplificado descrito na Figura 3.

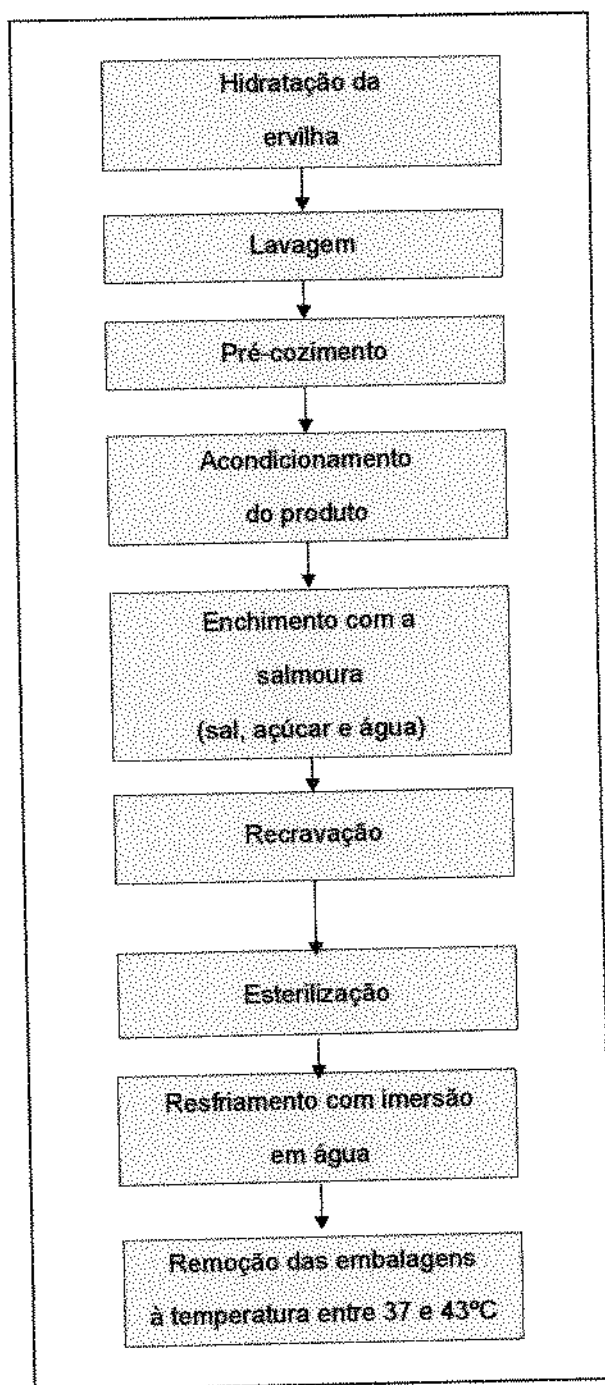


FIGURA 3. Fluxograma simplificado de processamento da ervilha.

b. Extrato de tomate - *Lycopersicum esculentum* mill

O processamento do extrato de tomate foi realizado também em unidade industrial da Etti Produtos Alimentícios Ltda., Jundiaí, SP, segundo o fluxograma simplificado descrito na Figura 4. Partiu-se do produto concentrado e acondicionado em tambores.

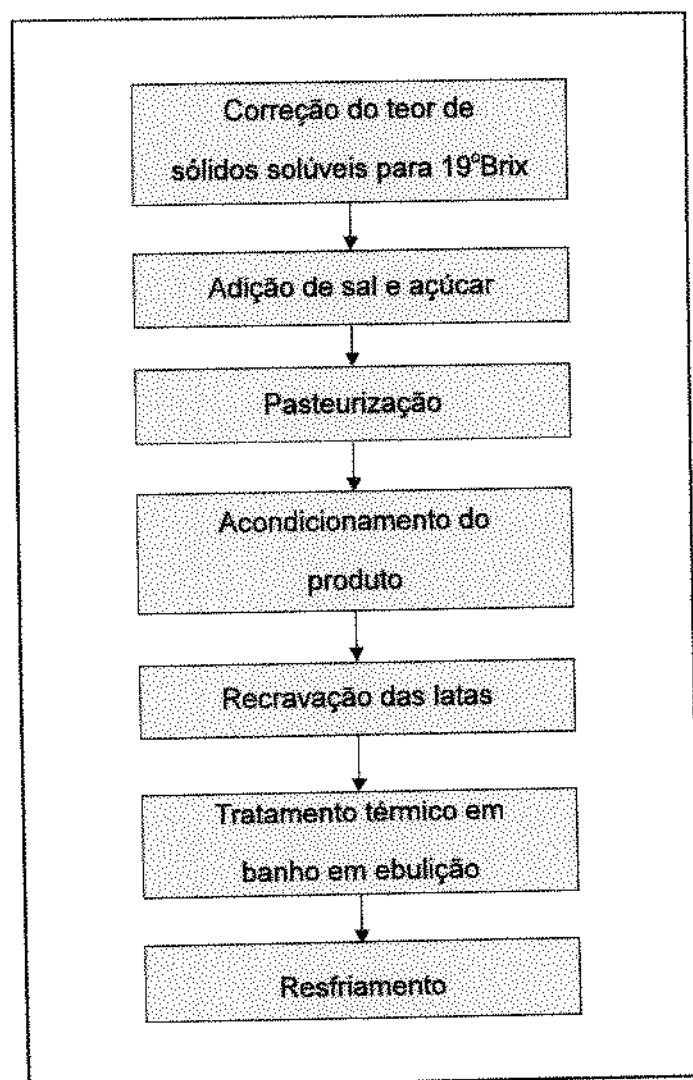


FIGURA 4. Fluxograma simplificado de processamento do extrato de tomate.

c. Pêssego em calda - *Prunus persica* L.

O processamento do pêssego foi realizado na empresa Extrafruta Indústria de Alimentação Ltda., Pelotas, RS. O produto foi preparado conforme fluxograma simplificado apresentado na Figura 5. Foram utilizados pêssegos da variedade Magno, produzidos em propriedade do enlatador.

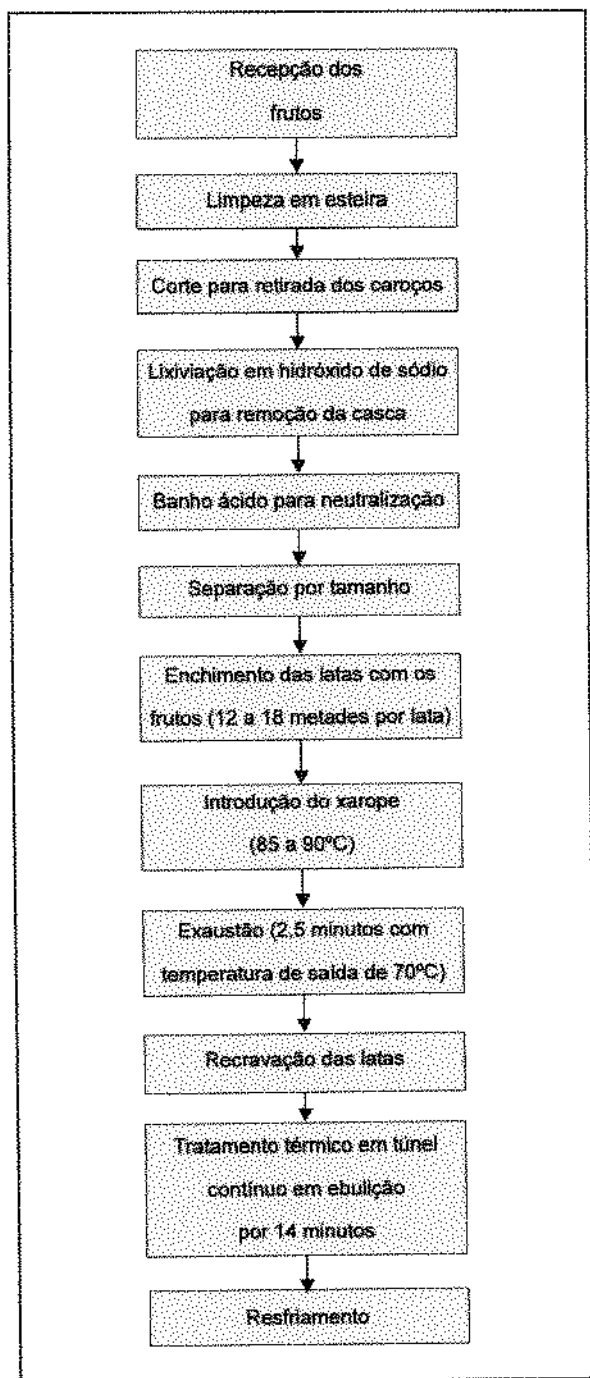


FIGURA 5. Fluxograma simplificado de processamento do pêssego em calda.

3.2.2.3 Avaliações periódicas

As avaliações periódicas foram realizadas nos produtos estocados pelo período de 12 meses em câmaras com três condições de temperatura controlada, ou seja, $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$, $(30 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ e $(35 \pm 3)^{\circ}\text{C}$. As diferentes amostras foram analisadas após o processamento e em intervalos de tempo de 90 dias. A avaliação do pêssego em calda foi realizada também aos 420 dias de estocagem.

Para cada determinação no produto e/ou lata foram utilizadas 3 unidades de cada amostra em cada época e temperatura de estocagem.

- **Avaliação visual interna das latas**

Foram utilizadas classificações de qualidade quanto à aparência e intensidade de corrosão independentes para a lata sem verniz interno e para a lata envernizada, nas posições corpo, tampa e fundo e uma para a região de soldagem, como descrito abaixo. A avaliação foi feita separadamente para as diversas partes da lata, ou seja, tampa, fundo, corpo e região de soldagem (ASTM, 1990b, MADI *et alii*, 1982, CATALÁ, 1977).

Lata sem verniz interno - Corpo, tampa e fundo

GRAU 1 - Superfície em bom estado, sem corrosão.

GRAU 2 - Ataque ligeiro e generalizado (superficial) com revelação dos grãos de estanho.

GRAU 3 - Ataque médio. Presença de pontos de corrosão e/ou riscos em toda a superfície.

GRAU 4 - Ataque intenso; desestanhamento profundo e localizado, com áreas de aço descoberto (coloração cinza escuro).

GRAU 5 - Ataque muito intenso; desestanhamento uniforme e quase total.

Lata sem verniz interno - Região de soldagem

GRAU 1 - Sem evidência de ataque corrosivo na solda ou regiões adjacentes.

GRAU 2 - Início de ataque corrosivo na extremidade da solda, com até 30% da área soldada corroída. Marcas do eletrodo de solda com início de corrosão, apresentando no máximo 30% do comprimento com ataque corrosivo. Na região adjacente ao cordão de solda pode-se detectar no máximo 5 pontos de corrosão.

GRAU 3 - Ataque contínuo na solda e/ou nas marcas de eletrodo de solda, com corrosão em 30 a 50% do seu comprimento ou da altura das latas. Região adjacente com no máximo 10 pontos de corrosão.

GRAU 4 - Solda e marcas do eletrodo com 50 a 80% de sua área corroída. Na região adjacente pode-se detectar até 15 pontos de corrosão.

GRAU 5 - Solda e marcas do eletrodo com mais de 80% de sua área corroída. Região adjacente com mais de 15 pontos de corrosão.

Lata com verniz interno - Corpo, tampa e fundo

GRAU 1 - Verniz bem aplicado, sem falhas ou manchas. Ausência de processo corrosivo. Detecção de no máximo 10 pequenos pontos de corrosão espalhados na superfície.

GRAU 2 - Presença de 11 a 40 pontos de corrosão espalhados na superfície. Ausência de riscos ou manchas no verniz.

GRAU 3 - Mais de 40 pontos de corrosão espalhados na superfície. Presença de riscos, manchas ou concentração de corrosão em áreas específicas.

GRAU 4 - Aspecto ruim. Quase toda a superfície tomada por pontos de corrosão pequenos e grandes. Presença de riscos ou manchas.

GRAU 5 - Aspecto totalmente inaceitável. Desestanhamento quase total sob o verniz, na forma pontual ou não, associado à presença de riscos em toda a superfície.

Lata com verniz interno - Região de soldagem

GRAU 1 - Sem evidência de ataque corrosivo na solda. Região de soldagem com verniz bem aplicado, ausência de riscos ou ataque corrosivo.

GRAU 2 - Início de ataque corrosivo em uma extremidade da solda, com até 30% do cordão de solda corroído. Na região adjacente à solda pode-se detectar no máximo 5 pontos de corrosão.

GRAU 3 - Ataque contínuo em uma extremidade da solda e corrosão em 30 a 50% do cordão de solda. Região de soldagem com até 10 pontos de corrosão.

GRAU 4 - Cordão de solda com 50 a 80% de sua área corroída. Na região de soldagem, pode-se detectar até 15 pontos de corrosão.

GRAU 5 - Cordão de solda com mais de 80% de sua área corroída e região de soldagem com mais de 15 pontos de corrosão.

- **Nível de vácuo ou de pressão interna positiva**

O nível de pressão interna negativa (vácuo) ou positiva foi determinado a cada época de estocagem utilizando-se um mano-vacuômetro Willy com capacidade de 30 pol Hg (76,2cmHg) e resolução de 0,5pol Hg (1,3cmHg), para vácuo, e capacidade de 15psi (1,05kgf/cm²), com resolução de 0,25psi (0,018kgf/cm²), para pressão positiva. Para a determinação, as latas foram colocadas a 23°C por 24h, para a obtenção de equilíbrio térmico. Foram realizadas determinações em 3 latas para cada tipo de amostra em cada época de análise (DANTAS *et alii*, 1996, HEALTH PROTECTION BRANCH, 1991).

- **Determinação da composição gasosa do espaço-livre**

Foi determinada quanto aos teores de oxigênio e hidrogênio, utilizando-se um cromatógrafo a gás CG modelo 2527, operando com detector de condutividade térmica com colunas Porapak-Q e peneira molecular.

Para a determinação, cada lata foi perfurada dentro de um recipiente com água e o gás do espaço-livre foi coletado com o auxílio de um funil, colocado na posição invertida, sendo transferido para uma proveta graduada, que permite a leitura direta do volume gasoso do espaço livre. Em seguida, o gás foi transferido para um funil de amostragem, ao qual se adaptou um septo para a retirada de alíquotas de 300µL de gás, com seringa hermética, para posterior análise no cromatógrafo a gás. Os resultados de cromatografia gasosa foram quantificados em um integrador processador e os percentuais de cada gás determinados com base nos seus tempos de retenção específicos na coluna utilizada, por meio de curvas de calibração previamente construídas (OLIVEIRA *et alii*, 1996, JEWEL, 1982).

Durante o período inicial de estocagem, geralmente não ocorre acúmulo de gás hidrogênio no espaço-livre, o que é explicado de várias maneiras, como por exemplo a ocorrência de redução do oxigênio como reação catódica preferencial da corrosão e o conseqüente consumo de H₂ ou a difusão de H₂ pelo material metálico (MANNHEIM & PASSY, 1982).

Assim, a composição gasosa foi utilizada apenas como orientação sobre a eficiência da redução da concentração de oxigênio no espaço-livre das latas e do volume de hidrogênio presente no final do período de estocagem, através da determinação no início do período de estocagem e após 12 meses de estocagem, em três unidades de cada tipo de lata.

As condições de análise foram:

- gás de arraste: argônio em fluxo de 20mL/min;
 - temperatura: coluna: 70°C
 vaporizador: 100°C
 detector: 140°C
 - corrente de operação do detector: 100mA
-
- **Determinação da concentração de ferro nos produtos**

O conteúdo de ferro nos produtos foi analisado por espectrofotometria de absorção atômica, em equipamento Varian modelo AA 475, dotado de sistema de duplo feixe, utilizando-se chama produzida com mistura de ar e acetileno (PRICE & ROOS, 1969, PERKIN ELMER, 1971).

As condições de análise foram:

- comprimento da onda: 284,3nm
- largura da fenda: 0,2nm
- corrente da lâmpada: 5mA
- estequiometria da chama: oxidante

Foram preparadas soluções aquosas das amostras, pesando-se 25g do produto homogeneizado, o qual foi digerido com ácido clorídrico concentrado, transferido para balão volumétrico de 50mL e diluído com água destilada, seguindo-se a sua filtragem em papel Whatman nº1. O filtrado foi então submetido à leitura de absorbância para determinação da concentração de ferro.

A curva de calibração foi preparada a partir de padrão de titrisol de ferro 1000ppm em concentrações compatíveis com a concentração de ferro na amostra. Fez-se adição de ácido clorídrico aos padrões, resultando na mesma concentração utilizada para a preparação dos produtos.

A cada período de estocagem foram analisadas, em duplicata, três unidades de cada tipo de lata.

- **Determinação da concentração de estanho**

Esta determinação foi conduzida utilizando-se a mesma preparação utilizada para a quantificação do ferro e o mesmo equipamento para leitura. As condições de análise foram:

- comprimento de onda: 286,3nm
- largura da fenda: 0,5nm
- corrente da lâmpada: 5mA
- estequiometria da chama: redutora

Também neste caso, a curva de calibração foi preparada a partir de padrão de titrisol de estanho (1000ppm) nas concentrações compatíveis com a concentração do metal na amostra e adicionando-se ácido clorídrico de forma a ter a mesma concentração utilizada na preparação do material (PRICE & ROOS, 1969).

- **Análises químicas de pH, acidez e sólidos solúveis**

Após homogeneização do conteúdo, os diversos produtos foram caracterizados quanto às análises químicas de pH, acidez e sólidos solúveis. Todas as determinações foram feitas em duplicata em três unidades de cada tipo de lata. O pH da ervilha, do extrato de tomate e do pêssego em calda foi determinado por medida eletrométrica direta em potenciômetro digital Orion Research modelo 701 (IAL, 1976, LOPEZ, 1987a).

A determinação da acidez foi realizada por titulação colorimétrica de 10,0g de amostra com hidróxido de sódio p.a. na concentração de 0,1N, utilizando-se fenolftaleína como indicador (IAL, 1976, LOPEZ, 1987a).

A determinação dos sólidos solúveis foi realizada à temperatura ambiente, por leitura direta em refratômetro Hergestell, sendo que os resultados foram corrigidos para a temperatura de 20°C (IAL, 1976).

- **Avaliação da cor**

Foi realizado um acompanhamento da cor do extrato de tomate, por medida instrumental específica aos 90, 180 e 270 dias de estocagem. A determinação foi efetuada à temperatura ambiente, com o conteúdo de cada lata homogeneizado com cuidado para não incorporar ar. Empregou-se um espectrofotômetro Macbeth-Comcor, modelo MS 1500 Plus e uma cubeta completamente cheia com o produto, sendo o sistema de leitura aplicado sobre o fundo da mesma. As condições de operação do equipamento foram as seguintes (WOLCOTT *et alii*, 1980):

configurações DREOL

ângulo de incidência de 10°

iluminante C

sistema de leitura CIE para os parâmetros L* (luminosidade), a* (vermelho), b* (amarelo)

3.2.3 Análise estatística dos resultados

Os resultados de dissolução de estanho e ferro ao longo do tempo de estocagem, em cada condição de temperatura, foram analisados estatisticamente utilizando-se análise de regressão linear e não-linear para determinação das equações matemáticas que melhor ajustassem os dados com a finalidade de previsão de valores em diferentes tempos. Para tanto, foram utilizados os programas *Statistica*, versão 5.0 e *Statgraphics*, versão 6.1.

Os critérios para avaliação dos ajustes foram o coeficiente de determinação R^2 e o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{adj}), que medem a adequação do ajuste e o nível de significância atingido pela equação de regressão dos dados experimentais (p_{obs}). Todos os testes de análise estatística foram realizados adotando-se o nível de erro de 5%.

Para analisar os resultados de pressão interna, concentração de ferro e de estanho, pH, acidez e sólidos solúveis em cada tipo de embalagem, ao longo do tempo de estocagem nas três condições de temperatura, utilizou-se a análise de variância a três e a dois critérios de classificação, para a verificação dos efeitos principais (tipo de lata, tempo e temperatura de estocagem) e a possível interação entre estes fatores. Foi utilizado o programa *Statgraphics*, versão 6.1, para a verificação das hipóteses de efeitos, aplicando-se o nível de erro de 5%.

Os dados experimentais que apresentaram diferença estatisticamente significativa foram submetidos a comparações pareadas das médias dos tratamentos, utilizando-se o teste *t*, também ao nível de erro de 5%.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliação da qualidade da solda elétrica

4.1.1 Latas de Ervilha

- Caracterização dimensional da solda

A Tabela 4 apresenta os resultados das determinações de espessura e comprimento da sobreposição da solda das latas de ervilha com *side stripe* em verniz epóxi-amina (EA) e epóxi-uréia (EU), assim como os valores calculados para a sobreposição antes da soldagem.

TABELA 4. Espessura e comprimento da sobreposição após a soldagem e valor calculado da sobreposição antes da soldagem das latas de ervilha, em mm¹.

Lata		Espessura da solda (ES)		Sobreposição após a soldagem (Sf)		Sobreposição antes da soldagem ² (Si)	
		T1	T2	T1	T2	T1	T2
EA	M	0,289	0,272	0,787	0,880	0,550	0,528
	DP	0,005	0,003	0,011	0,043	0,021	0,039
	Mín	0,285	0,268	0,764	0,831	0,535	0,479
	Máx	0,296	0,274	0,791	0,919	0,586	0,562
EU	M	0,289	0,286	0,846	0,848	0,627	0,610
	DP	0,003	0,006	0,034	0,013	0,040	0,024
	Mín	0,285	0,280	0,804	0,824	0,576	0,589
	Máx	0,291	0,291	0,878	0,858	0,661	0,636

M/DP/Mín/Máx: Média/Desvio-padrão/Valor mínimo/Valor máximo

1 Resultado da avaliação de dois corpos-de-prova

2 Valor calculado pela equação $S_i = (ES-EC) / EC \times S_f$, onde EC é a espessura da folha do corpo

T1/T2: Seções transversais tomadas entre a entrada e o centro e entre o centro e a saída da eletrossoldadora, respectivamente.

A espessura da solda, quando em material de dupla redução, deve variar entre 1,6 e 1,8 vezes a espessura da folha do corpo (DANTAS & FARIA, 1991). Em geral, quando este requisito não é atendido a qualidade da solda é alterada, existindo a possibilidade de ocorrência de aquecimento e pressão excessivos ou insuficientes no processo de eletrossoldagem. Analisando-se a Tabela 4, verifica-se que as latas EA e EU, cujas espessuras médias do corpo correspondiam a 0,170 e 0,166mm, respectivamente, apresentaram espessura da solda média de acordo com o intervalo ideal, correspondente a (0,272 - 0,306)mm e (0,266 - 0,299)mm.

O cálculo da sobreposição antes da soldagem da lata EA, a partir dos valores determinados para a sobreposição após a soldagem, mostrou que a sobreposição do material apresentou-se superior ao intervalo nominal entre 0,4 e 0,5mm, utilizado em equipamentos do tipo *Superwima* da *Soudronic* ou equivalentes (THE LATEST, 1985, LEVY, 1991). A sobreposição nominal para o equipamento utilizado na produção destas latas é de 0,5mm, conforme mostrado na Tabela 2, podendo ocorrer uma variação de $\pm 20\%$. As latas EU, porém, apresentaram valores máximos superiores ao intervalo apresentado, podendo significar tanto que a sobreposição antes da soldagem estava superior ao previsto, como que tenha ocorrido aquecimento excessivo no processo de soldagem, resultando em maior extrusão e, portanto, maior comprimento da sobreposição após a soldagem.

O paralelismo entre as superfícies superior e inferior da seção transversal da solda das latas EA e EU apresentava-se normal.

• Avaliação da resistência mecânica da solda

Os resultados da avaliação de ruptura, expansão, alongamento do flange e reversão dos dois tipos de latas de ervilha são apresentados na Tabela 5. Verifica-se que ambas as latas apresentaram porcentagem de falha alta nos diferentes ensaios. Vale mencionar, entretanto, que o ensaio de expansão e principalmente o de reversão não são indicados para a avaliação de latas de pequeno diâmetro, sendo que o diâmetro nominal de 73mm encontra-se no limite de aplicação. Além disso, quando se trata de material de dupla redução, onde a dureza da folha é maior, também este ensaio não deve ser aplicado (DANTAS & FARIA, 1991). A aplicação destes ensaios na avaliação das latas de ervilha foi realizada com o objetivo de confirmar esta condição.

TABELA 5. Resultados da avaliação da resistência mecânica da solda das latas de ervilha, apresentados em frequência de ocorrência de falha⁽¹⁾.

Ensaio	Lata EA (% de falha)	Lata EU (% de falha)
Ruptura	7	7
Expansão ⁽²⁾	100	7
Alongamento do flange	13	27
Reversão ⁽²⁾	13	33

⁽¹⁾ Resultado da avaliação de 15 latas

⁽²⁾ Determinações realizadas a título exploratório, não representando desempenho inadequado da embalagem

A avaliação da ductilidade do cordão de solda removido no ensaio de ruptura das latas EA permitiu verificar que todas as unidades avaliadas resistiram às deformações provocadas, significando que não há falta de ductilidade. Entretanto, 4 unidades (27%) apresentaram escamas ao longo do cordão, evidenciando a ocorrência de respingos durante o processo de soldagem. Nas latas EU, uma unidade de lata (7%) apresentou separação das partes sobrepostas, uma unidade (7%) apresentou escamas e a mesma porcentagem apresentou rompimento na avaliação da ductilidade.

Assim, na lata EA a alta porcentagem de falha, principalmente no ensaio de expansão, foi grandemente influenciada pela característica mecânica da folha-de-flandres, enquanto na lata EU observou-se que provavelmente tenha ocorrido irregularidade na condição de soldagem ao longo do cilindro, em função das porcentagens de falha nos ensaios de alongamento do flange e de reversão, além do resultado do ensaio de ruptura, onde em algumas regiões do cilindro ocorreu a separação das partes, indicativa de solda fria, e em outras houve formação de escamas e falta de ductilidade do cordão de solda, as quais indicam aquecimento excessivo, resultando em enfraquecimento da solda.

• Avaliação visual da solda

A Tabela 6 apresenta as observações realizadas na avaliação visual da solda, onde se verifica que aparentemente a condição da eletrossolda dos dois tipos de lata é similar. A ocorrência de respingos demonstra superaquecimento localizado do material, que pode ter sido causado por vários fatores, como a variação na espessura ou no revestimento de estanho da folha, a presença de contaminantes na superfície, como poeira, verniz ou oxidação, que prejudicam o contato elétrico, corrente excessiva, condição dos roletes ou do fio de cobre, problema na geometria da soldagem ou ainda falha elétrica.

Exceção feita à presença de respingos, as características restantes da solda, observadas pela avaliação visual, apresentaram-se normais.

TABELA 6. Características observadas na avaliação visual da solda das latas EA e EU para ervilha*.

Lata EA	Lata EU
Extrusão normal	Extrusão normal
Ponto de solda com formato quadrado	Ponto de solda com formato quadrado
Presença de vários respingos	Presença de vários respingos
Presença de rabo de peixe discreto	Presença de rabo de peixe discreto

* Resultado da avaliação de três latas

• Avaliação da microestrutura da solda

A Tabela 7 apresenta os resultados da avaliação da seção longitudinal das latas EA e EU, onde se observa que houve variação entre as três posições analisadas. As Figuras 6 e 7 apresentam fotomicrografias obtidas em sistema My Scope da seção longitudinal da eletrossolda das latas EA e EU, respectivamente, nas três posições (entrada, centro e saída da eletrossoldadora). Observa-se na Figura 6a que os pontos de solda, visualizados como regiões mais escuras, não se apresentam regulares e contínuos, existindo regiões onde não há evidência da fusão das duas extremidades do corpo, como é o caso da lateral direita, onde se visualiza a linha de separação do material sobreposto. Na Figura 6b, observa-se a solda como uma linha contínua, sem se identificar pontos específicos, e há a formação de várias vírgulas, visualizadas como reentrâncias negras na superfície inferior, o que ocorre também na Figura 6c. Neste caso, porém, é possível identificar os pontos de solda de forma contínua e regular.

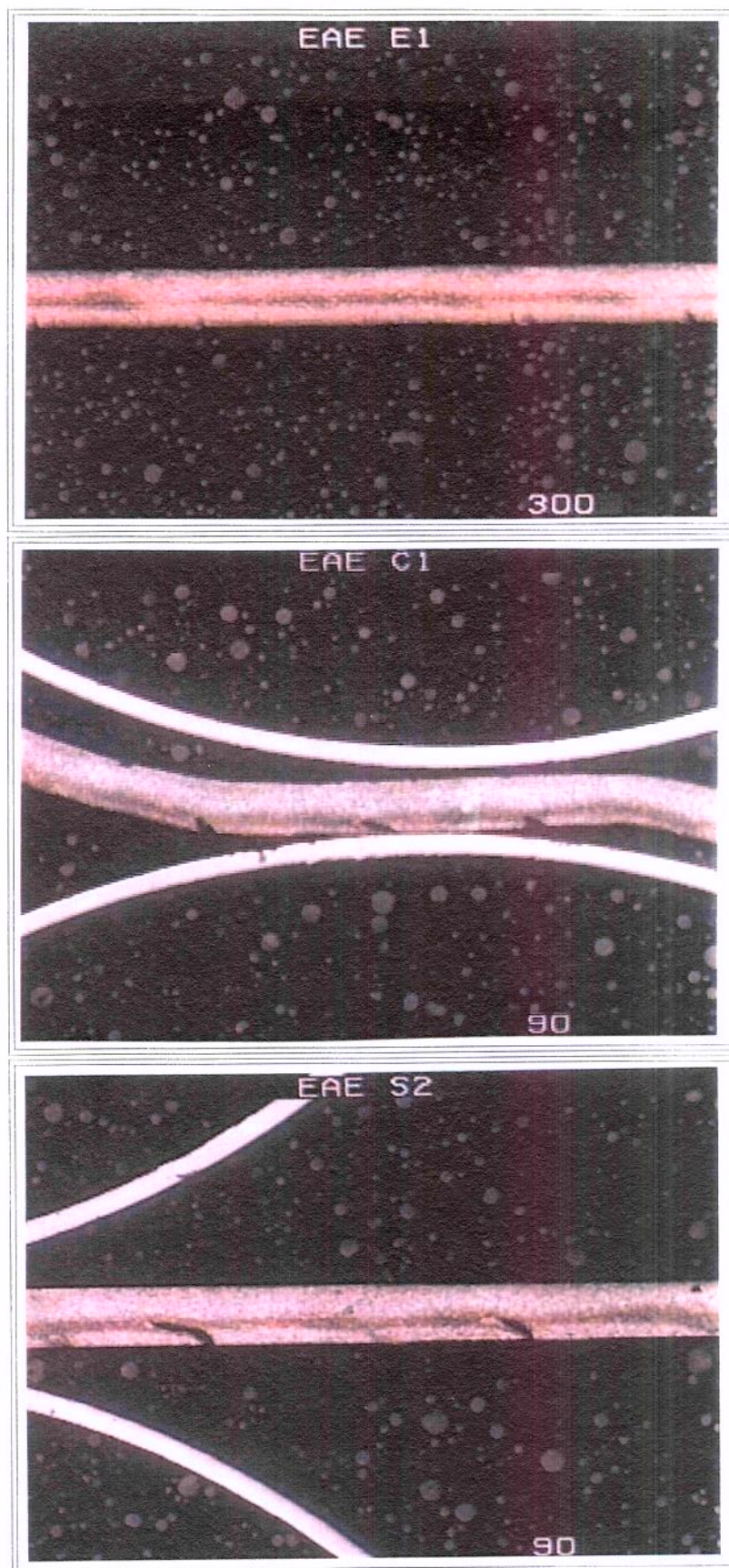
Na lata EU (Figura 7), observa-se situação muito similar à da lata EA, ou seja, na posição entrada a fusão estava incompleta, apresentando pontos não sobrepostos e visualizando-se a linha de separação do material. Nas posições centro e saída existem vírgulas e os pontos estão sobrepostos.

A Figura 8 apresenta fotografia obtida a partir de aumento de 300 vezes mostrando em detalhe a ocorrência de uma vírgula na posição entrada da lata EA.

TABELA 7. Resultados da avaliação da seção longitudinal da solda das latas EA e EU para ervilha*.

Posição	Lata EA	Lata EU
Entrada	Pontos de solda regulares e irregulares Sobreposição dos pontos variável Pequena evidência de linha de separação Pequena presença de vírgulas e nenhuma inclusão	Pontos de solda regulares e irregulares Maioria dos pontos não sobrepostos Evidência de linha de separação Presença marcante de vírgulas, nenhuma inclusão
Centro	Pontos regulares e sobrepostos Presença de vírgulas, nenhuma inclusão	Pontos irregulares sobrepostos e não sobrepostos Presença de vírgulas e ausência de inclusões Pequena evidência de linha de separação
Saída	Pontos regulares e sobrepostos Presença de vírgulas	Pontos irregulares sobrepostos e não sobrepostos Presença de vírgulas e ausência de inclusões Pequena evidência de linha de separação

* Resultado da avaliação em duas latas.



(a)

(b)

(c)

FIGURA 6. Fotomicrografias obtidas em sistema My Scope operando com aumento de 90 vezes, da seção longitudinal da lata EA para ervilha nas posições entrada (a), centro (b) e saída (c). As extremidades curvas presentes em (b) e (c) são o suporte metálico utilizado na montagem do corpo-de-prova para a avaliação.

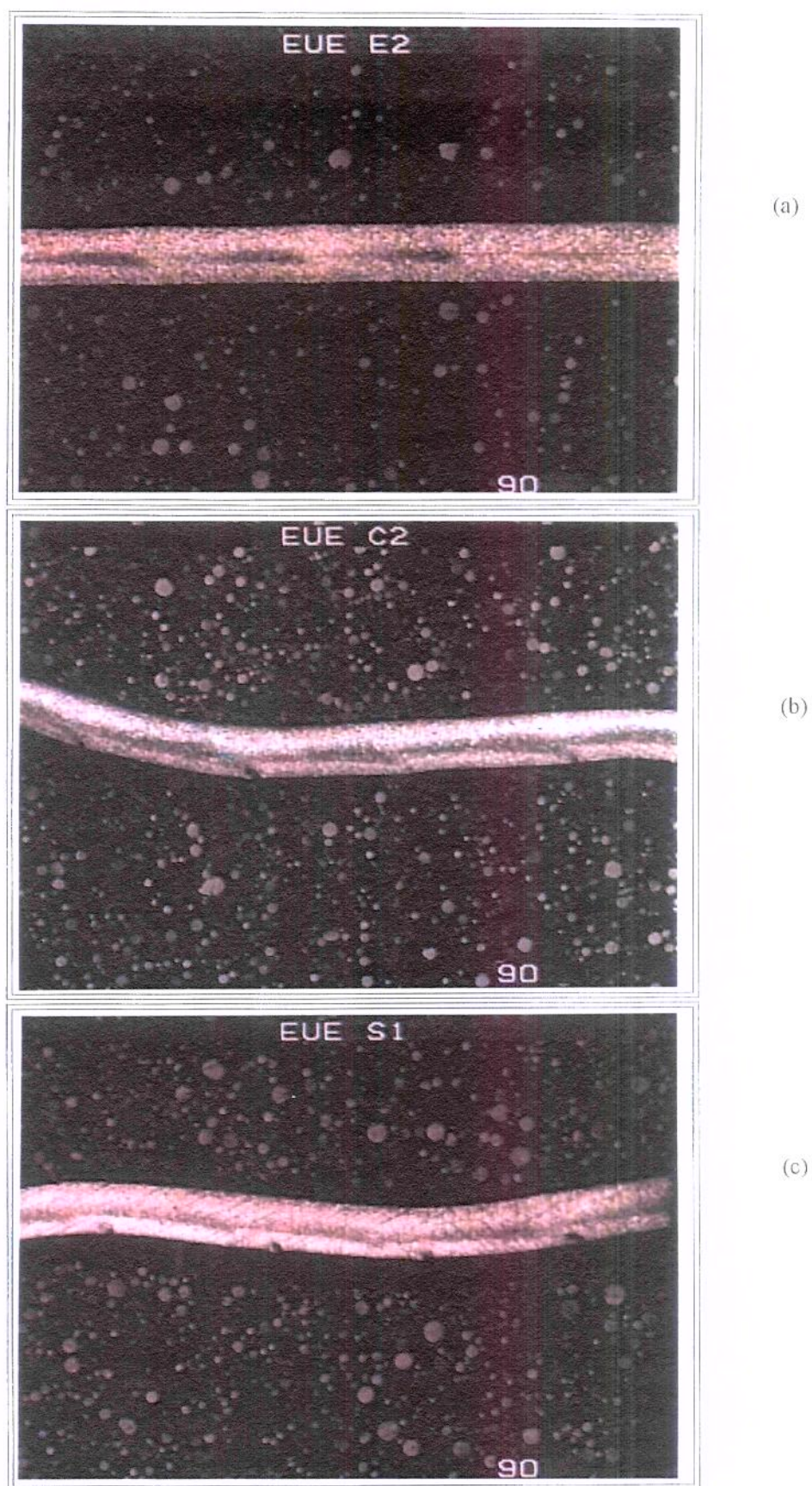
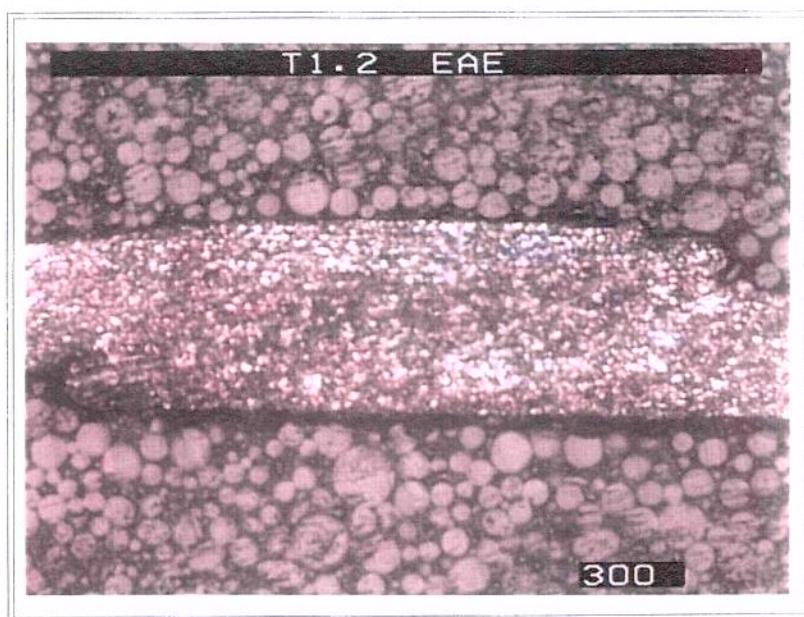


FIGURA 7. Fotomicrografias obtidas em sistema My scope, operando com aumento de 90 vezes, da seção longitudinal da lata EU para ervilha nas posições entrada (a), centro (b) e saída (c).

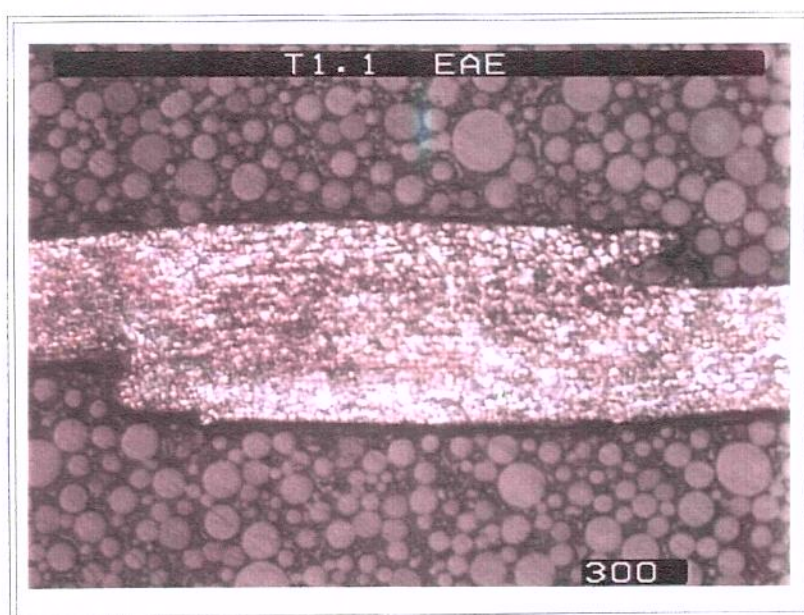


FIGURA 8. Fotomicrografia obtida em sistema My Scope operando com aumento de 300 vezes da seção longitudinal da lata EA para ervilha na posição entrada, mostrando a ocorrência de vírgula.

A avaliação da seção transversal permitiu verificar a ocorrência de extrusão, ou seja, projeção do aço quando fundido pelo efeito da temperatura e pressão na soldagem para as extremidades, entre normal e intensa e paralelismo e fusão adequados, conforme se verifica nas fotomicrografias apresentadas na Figura 9. Na lata EU, observaram-se resultados semelhantes, conforme exemplificado com uma solda apresentando extrusão excessiva (Figura 10).



(a)



(b)

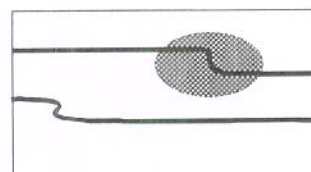


FIGURA 9. Fotomicrografias obtidas em sistema My Scope, operando com aumento de 300 vezes, da seção transversal da lata EA para ervilha: (a) extrusão intensa, (b) extrusão formando ponta.

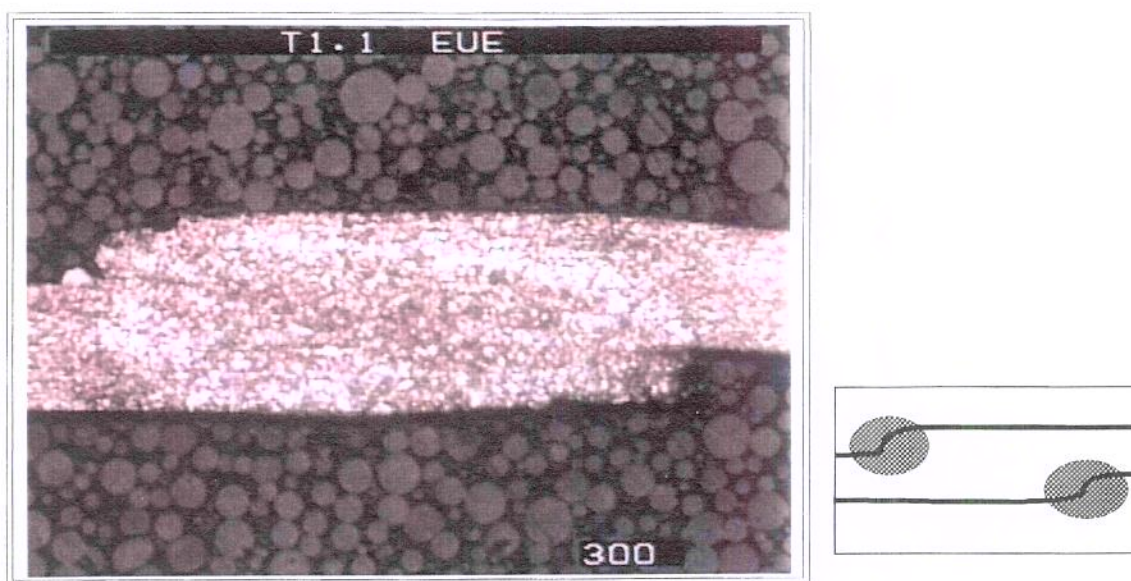


FIGURA 10. Fotomicrografia obtida em sistema My Scope, operando com aumento de 300 vezes, da seção transversal da lata EU para ervilha, mostrando extrusão um pouco em excesso.

A existência do degrau na eletrossolda, evidenciado nas fotomicrografias da seção transversal (Figuras 9a, 9b e 10), demonstra a importância da qualidade do envernizamento na costura lateral, uma vez que existe a tendência natural ao escoamento do verniz, quando aplicado na forma líquida, no intervalo de tempo entre sua aplicação e sua cura, permitindo a exposição de áreas do material metálico (PROTECTION, s.d., FALKENBURG & MCGUINNESS, 1980). Uma vez que a maior parte do estanho da folha-de-flandres é removida no processo de soldagem, esta região apresenta exposição de ferro. Além disso, a presença de vírgulas e respingos (ou pontas agudas) é problemática devido à dificuldade de recobrimento com verniz e pela formação de volume ocluso, acentuando a possibilidade de desenvolvimento de processo de corrosão. As vírgulas provocam, ainda, o enfraquecimento da resistência mecânica da solda (ARISTOTILE *et alii*, 1983).

Em produtos de baixa acidez, ou seja, com pouca agressividade à folha metálica, como é o caso da ervilha, a condição de revestimento da costura lateral com vernizes orgânicos é menos crítica em relação aos produtos ácidos. Entretanto, a existência de vírgulas pode resultar em microfraturas na eletrossolda causadas pela movimentação das paredes da lata devido à expansão de gases durante o aquecimento e a formação de vácuo interno na embalagem, resultando em perda de integridade.

Comparando os resultados das diferentes avaliações da solda, verifica-se que em ambas as latas para ervilha a condição de soldagem não foi ideal, sendo que as falhas observadas nos ensaios de resistência mecânica estão compatíveis com a ocorrência de fusão insuficiente nas extremidades, paralelamente à ocorrência de vírgulas,

além da influência da característica mecânica da folha. A existência de respingos muito provavelmente deve-se à variabilidade no material (espessura, revestimento) e/ou à presença de contaminações, uma vez que a solda não se caracteriza como resultante de excesso de temperatura.

Entretanto, não se observou ocorrência de problema de vazamento na eletrossolda para as latas analisadas, mostrando que não atingiu a condição-limite para a perda de integridade.

4.1.2 Latas de Extrato de tomate

• Caracterização dimensional da solda

A Tabela 8 apresenta os resultados das determinações de espessura e comprimento da sobreposição da solda das latas de extrato de tomate com *side stripe* em verniz epóxi-amina e epóxi-uréia, assim como os valores calculados para a sobreposição antes da soldagem.

TABELA 8. Espessura e comprimento da sobreposição após a soldagem e valor calculado da sobreposição antes da soldagem das latas de extrato de tomate, em mm¹.

Tipo de lata		Espessura da solda (ES)		Sobreposição após a soldagem (Sf)		Sobreposição antes da soldagem (Si) ²	
		T1	T2	T1	T2	T1	T2
Lata EA	M	0,324	0,324	0,803	0,833	0,431	0,443
	DP	0,005	0,007	0,015	0,059	0,014	0,011
	Mín.	0,319	0,313	0,784	0,770	0,419	0,428
	Máx.	0,330	0,330	0,818	0,892	0,449	0,457
Lata EU	M	0,333	0,326	0,881	0,965	0,487	0,506
	DP	0,009	0,005	0,023	0,040	0,026	0,039
	Mín.	0,324	0,319	0,858	0,905	0,462	0,464
	Máx.	0,341	0,330	0,905	1,014	0,513	0,550

M/DP/Mín./Máx.: Média/Desvio-Padrão/Valor mínimo/Valor máximo
1 - Resultado da avaliação de dois corpos-de-prova
2 - Valor calculado pela equação $S_i = (ES-EC) / EC \times S_f$, onde EC é a espessura da folha do corpo
T1/T2: Seções transversais tomadas entre a entrada e o centro e entre o centro e a saída da eletrossoldadora, respectivamente.

A espessura da solda, quando em material de simples redução, deve variar entre 1,4 e 1,6 vezes a espessura da folha do corpo. Em geral, quando não se satisfaz este requisito, a qualidade da solda é alterada, existindo a possibilidade de ocorrência de aquecimento e pressão demasiados no processo de eletrossoldagem, quando os valores são inferiores, ou a situação inversa, quando os valores são superiores (DANTAS & FARIA, 1991).

Analisando-se a Tabela 8, verifica-se que as latas EA e EU, cujas espessuras médias do corpo correspondiam a 0,211 e 0,214mm, respectivamente, apresentaram espessura da solda dentro do intervalo ideal, correspondente a (0,295 - 0,338)mm e (0,300 - 0,342)mm para as latas com *side stripe* epóxi-amina e epóxi-uréia, respectivamente.

O cálculo da sobreposição antes da soldagem, a partir dos valores determinados para a sobreposição após a soldagem, mostrou que na lata com *side stripe* em verniz epóxi-amina a sobreposição do material correspondia ao intervalo entre 0,4 e 0,5mm, utilizado em equipamentos do tipo *Superwima* da *Soudronic* ou equivalentes. A sobreposição nominal para o equipamento utilizado na produção destas latas é de 0,5mm, conforme mostrado na Tabela 3, podendo ocorrer uma variação de $\pm 20\%$. Entretanto, observou-se nas latas com *side stripe* em verniz epóxi-uréia que os valores máximos variaram entre as duas posições, sendo que a sobreposição antes da soldagem na posição T2, ou seja, mais próxima do fundo, apresentava-se superior. Uma vez que a sobreposição antes da soldagem corresponde à área que será aquecida pela corrente de solda, esta deve ser bem controlada, pois alterações para baixo do previsto podem causar inconsistência da solda ao longo do cilindro ou entre cilindros e, no caso oposto, provocam variação no grau de fusão mínimo do material ao longo da soldagem (SODEIK, 1990, HOLLAENDER, 1989).

O paralelismo entre as superfícies superior e inferior da seção transversal da solda das latas EA e EU apresentava-se normal.

- **Avaliação visual da solda**

A Tabela 9 apresenta as observações realizadas na avaliação visual da solda das latas de extrato de tomate, onde se verifica que a lata EA apresenta condição de soldagem normal. A lata EU, entretanto, apresenta formato do tipo ferradura, indicando a ocorrência de temperatura alta no processo, que resulta na formação de pontos curvos. Além disso, estas latas também apresentaram muitos respingos, confirmando o superaquecimento localizado do material, que pode ter sido causado por vários fatores, como a variação na espessura ou no revestimento de estanho da folha, a presença de contaminantes na superfície, como poeira, verniz ou oxidação, que prejudicam o contato elétrico, corrente excessiva, condição dos roletes ou do fio de cobre, problema de geometria da soldagem ou ainda falha elétrica.

TABELA 9. Características observadas na avaliação visual da solda das latas EA e EU para extrato de tomate*.

Lata EA	Lata EU
Extrusão normal	Extrusão normal
Ponto de solda com formato quadrado	Ponto de solda com formato ferradura
Presença de alguns respingos	Presença de muitos respingos
Presença de rabo de peixe discreto	Presença de rabo de peixe discreto

* Resultado da avaliação de três latas

• **Avaliação da microestrutura da solda**

A Tabela 10 apresenta os resultados da avaliação da seção longitudinal das latas EA e EU, onde se observa que existe variação entre as três posições analisadas. As Figuras 11 e 12 apresentam fotomicrografias obtidas em sistema My Scope da seção longitudinal da eletrossolda das latas EA e EU, respectivamente, nas três posições (entrada, centro e saída).

Verifica-se na Figura 11a a presença de alguns pontos de solda, evidenciados pelas regiões mais escuras no centro da seção longitudinal, que não estão sobrepostos um com o outro, ocorrendo também região à direita onde eles não estão evidentes. Nas Figuras 11b e 11c, os pontos se encontram sobrepostos e não é possível visualizar a linha de separação das duas faces.

Na Figura 12, as seções longitudinais das três posições da lata EU apresentam pontos sobrepostos e regulares, sem a presença de linha de separação.

TABELA 10. Resultados da avaliação da seção longitudinal da solda das latas EA e EU para extrato de tomate*.

Posição	Lata EA	Lata EU
Entrada	Pontos de solda irregulares e não sobrepostos	Pontos de solda regulares e irregulares
	Regiões com pontos não nítidos	Regiões com pontos sobrepostos ou não
	Evidência de linha de separação	Ausência de linha de separação
	Ausência de vírgulas e inclusões	Ausência de vírgulas e inclusões
Centro	Pontos regulares ou não e sobrepostos	Pontos regulares ou não e sobrepostos
	Ausência de linha de separação	Ausência de linha de separação
	Ausência de vírgulas e inclusões	Ausência de vírgulas e inclusões
Saída	Pontos regulares ou não e sobrepostos	Pontos regulares e sobrepostos
	Nenhuma ou pequena evidência de linha de separação	Ausência de linha de separação
	Ausência de vírgulas e inclusões	Ausência de vírgulas Presença de inclusões

* Resultado da avaliação de duas latas

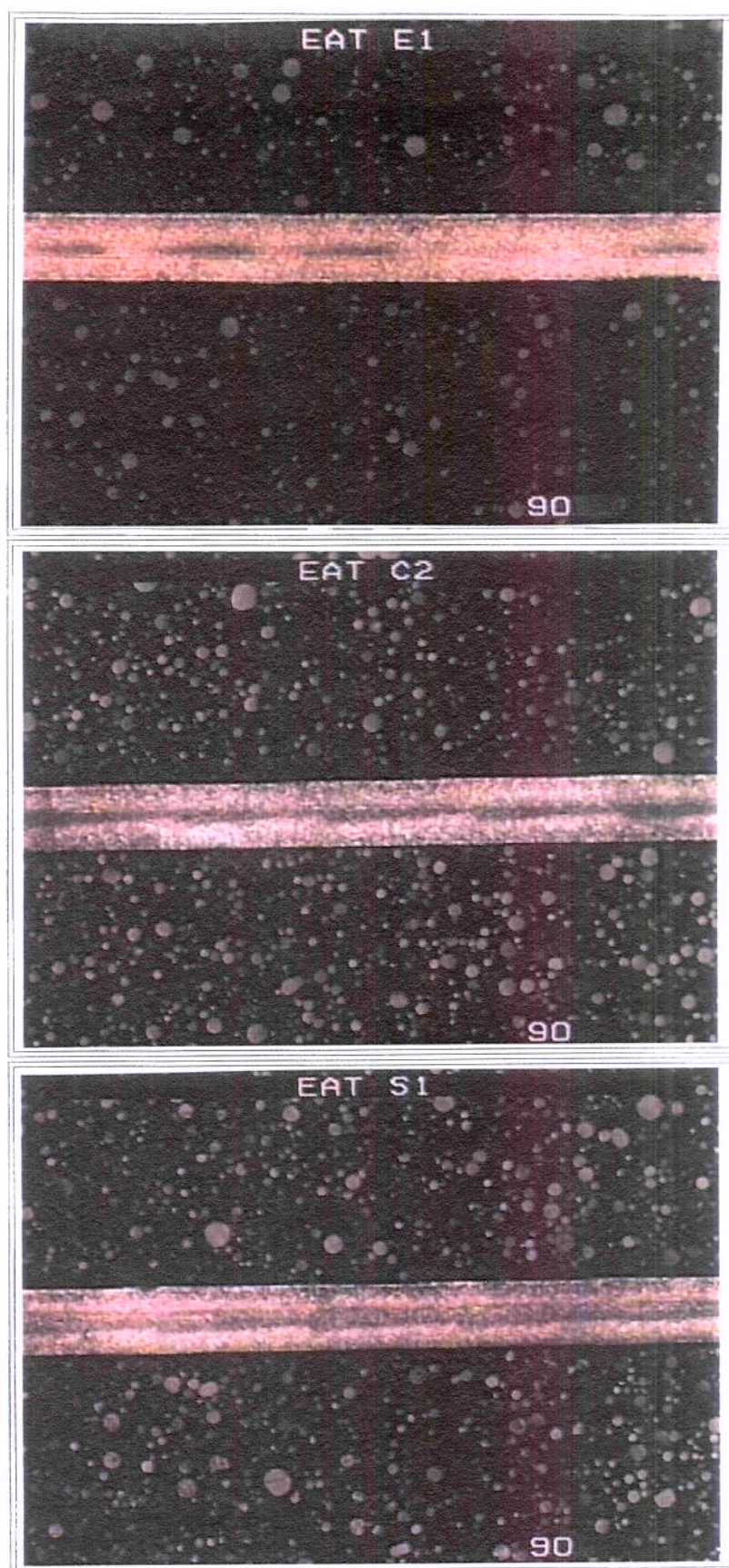


FIGURA 11. Fotomicrografias obtidas em sistema My Scope, operando com aumento de 90 vezes, da seção longitudinal da lata EA para extrato de tomate nas posições entrada (a), centro (b) e saída (c).

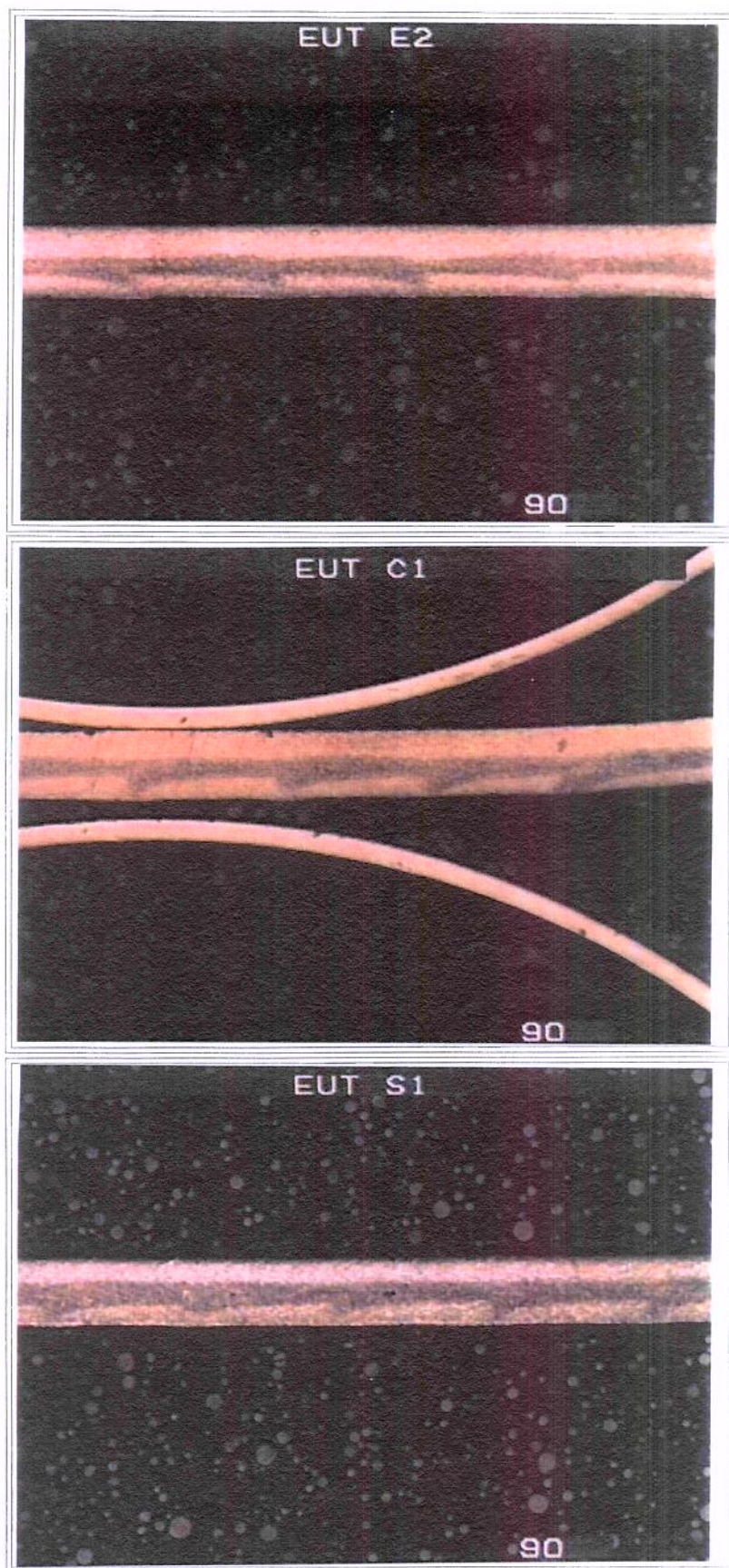
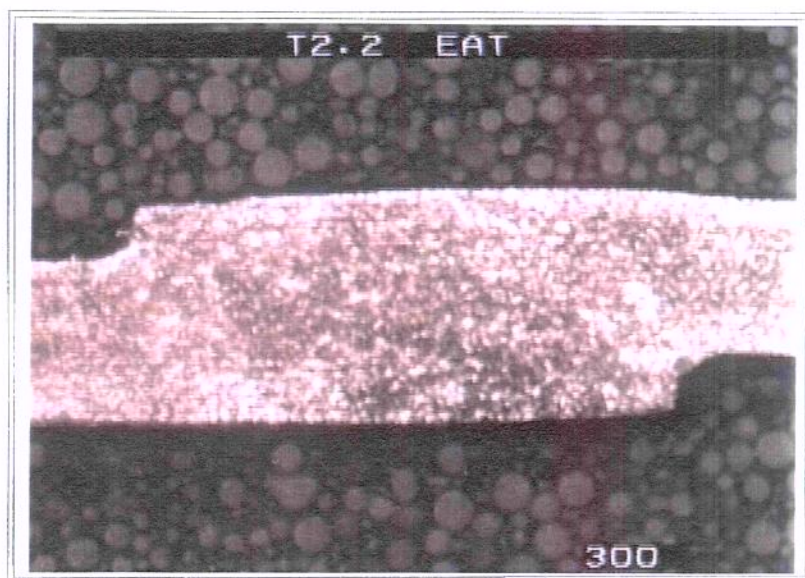
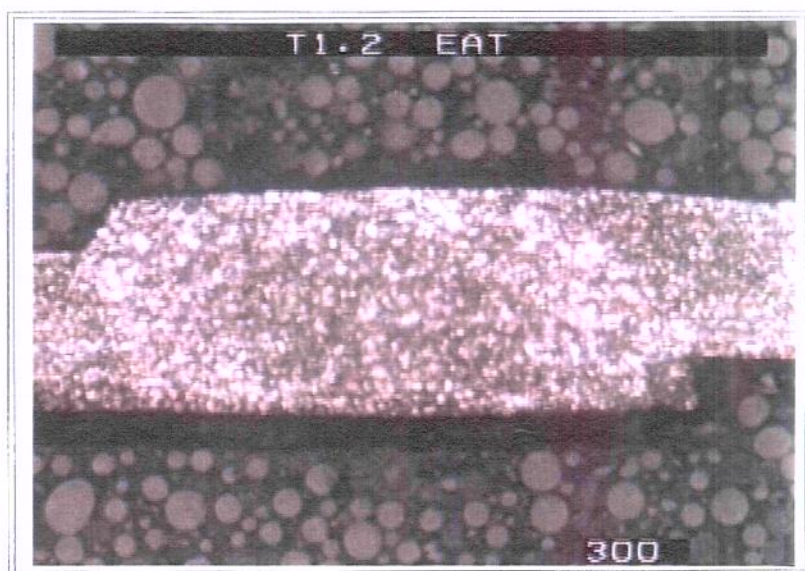


FIGURA 12. Fotomicrografias obtidas em sistema My Scope, operando com aumento de 90 vezes, da seção longitudinal da lata EU para extrato de tomate nas posições entrada (a), centro (b) e saída (c).

A avaliação da seção transversal da lata EA permitiu verificar a ocorrência de extrusão normal e/ou um pouco alterada e fusão e paralelismo adequados, conforme se verifica nas fotomicrografias apresentadas na Figura 13. Na lata EU observou-se que em algumas posições o centro da eletrossolda apresentava fusão adequada, enquanto nas extremidades foi possível a visualização da linha de separação, conforme se verifica na Figura 14(a). A Figura 14(b) apresenta fotomicrografia de outra seção transversal destas latas, onde se observa a ocorrência de extrusão excessiva, com a formação de respingo em uma das extremidades. O paralelismo apresentava-se razoável.



(a)



(b)

FIGURA 13. Fotomicrografias obtidas em sistema My Scope, operando com aumento de 300 vezes, da seção transversal da lata EA para extrato de tomate: (a) extrusão normal, (b) extrusão um pouco alterada.

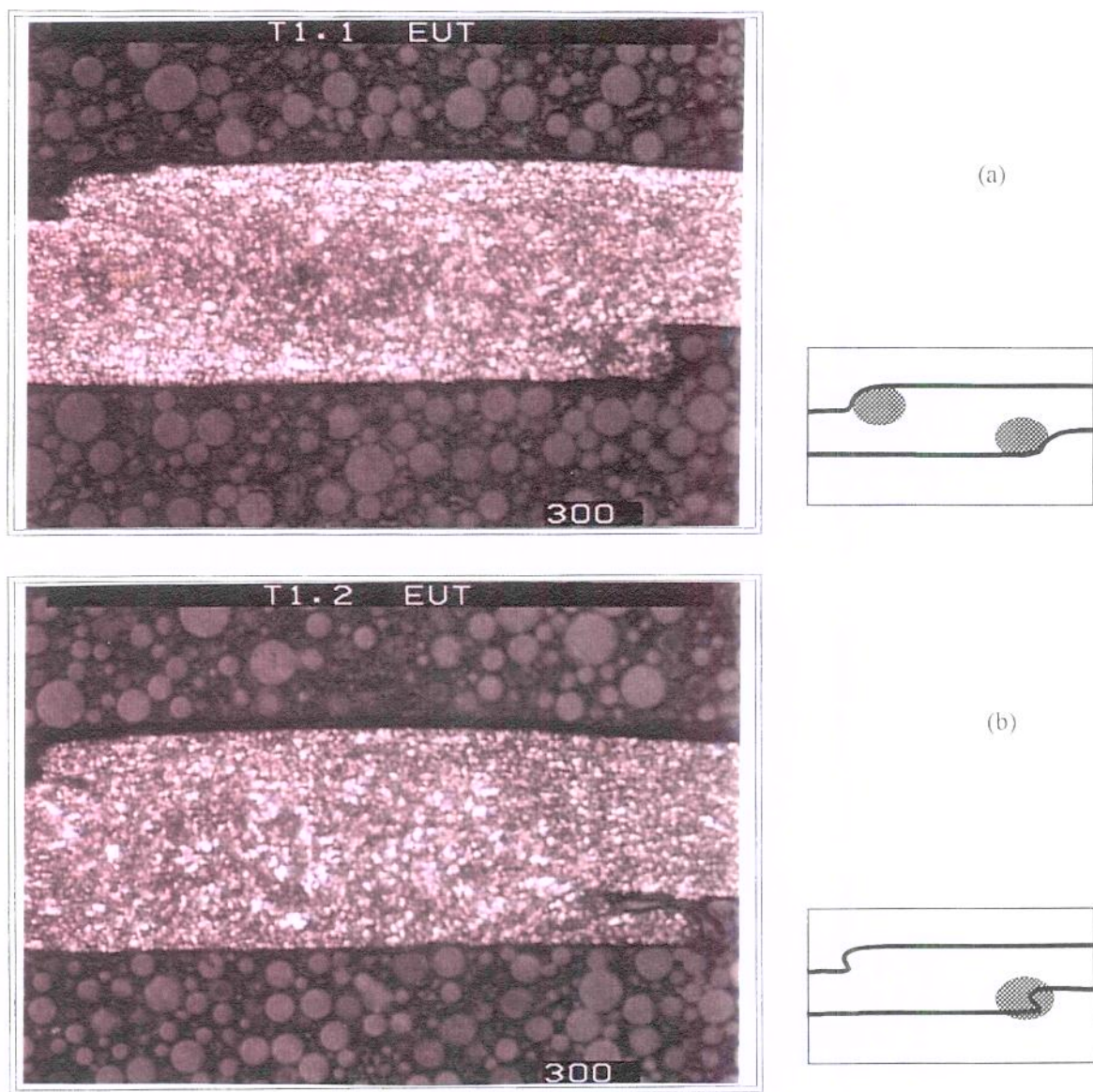


FIGURA 14. Fotomicrografias obtidas em sistema My Scope operando com aumento de 300 vezes da seção transversal da lata EU para extrato de tomate: (a) evidência de linha de separação na extremidade e presença de inclusão, (b) extrusão severa com formação de respingo.

Assim, verifica-se que as latas EA apresentaram condição adequada, enquanto as latas EU mostraram aquecimento excessivo em algumas posições, embora em ambos os casos o desempenho da eletrossolda em termos de manutenção de integridade das latas foi adequado.

Conforme citado anteriormente, a existência do degrau na eletrossolda, evidenciado nas fotomicrografias da seção transversal, demonstra a importância da qualidade do envernizamento na costura lateral, uma vez que existe a tendência natural ao escorrimento do verniz, quando aplicado na forma líquida, no intervalo de tempo entre sua aplicação e sua cura, permitindo a exposição de áreas do material metálico. Uma vez que o estanho da folha-de-flandres é praticamente removido em sua totalidade no processo de soldagem, esta região apresenta

exposição de ferro. Além disso, a presença de respingos ou pontas agudas é problemática, devido à dificuldade de recobrimento com verniz e à formação de volumes oclusos na eletrossolda, acentuando a possibilidade de desenvolvimento de processo de corrosão.

4.1.3 Latas de Pêssego em calda

- Caracterização dimensional da solda

A Tabela 11 apresenta os resultados das determinações de espessura e comprimento da sobreposição da solda das latas envernizada (E) e branca (B) de pêssego em calda, assim como os valores calculados para a sobreposição antes da soldagem.

TABELA 11. Espessura e comprimento da sobreposição após a soldagem e valor calculado da sobreposição antes da soldagem das latas de pêssego em calda, em mm¹.

Tipo de Lata		Espessura da solda (ES)		Sobreposição após a soldagem (Sf)		Sobreposição antes da soldagem ⁽²⁾ (Si)	
		T1	T2	T1	T2	T1	T2
Lata B	M	0,369	0,386	0,795	0,881	0,417	0,522
	DP	0,000	0,005	0,096	0,047	0,051	0,017
	Mín.	0,369	0,380	0,703	0,838	0,369	0,499
	Máx.	0,369	0,391	0,885	0,926	0,464	0,551
Lata E	M	0,395	0,393	0,776	0,726	0,623	0,577
	DP	0,010	0,003	0,039	0,044	0,007	0,039
	Mín.	0,386	0,391	0,736	0,682	0,618	0,536
	Máx.	0,408	0,397	0,811	0,777	0,635	0,632

M/DP/Mín/Máx = Média/Desvio-padrão/Valor mínimo/Valor máximo

1 - Resultado da avaliação de dois corpos-de-prova

2 - Valor calculado pela equação $S_i = (ES-EC) / EC \times S_f$, onde EC é a espessura da folha do corpo

T1/T2: Seções transversais tomadas entre a entrada e o centro e entre o centro e a saída da eletrossoldadora, respectivamente.

A espessura da solda, quando em material de simples redução, deve variar entre 1,4 e 1,6 vezes a espessura da folha do corpo (DANTAS & FARIA, 1991). Quando este requisito não é atendido, em geral a qualidade da solda é alterada, havendo a possibilidade de ocorrência de aquecimento e pressão demasiados ou insuficientes no processo de eletrossoldagem. Analisando-se a Tabela 11, verifica-se que a lata E, cuja espessura média do corpo equivalia a 0,219mm, apresentou espessura da solda muito superior ao intervalo ideal, correspondente a

(0,307 - 0,350)mm. Este fato é indicativo da ocorrência de aquecimento e pressão insuficientes, que podem resultar em grau de fusão insuficiente, ou seja, em solda fria, fato este que será verificado na avaliação da resistência mecânica e do grau de fusão da solda.

Para a lata branca, utilizando-se a espessura da folha do corpo, correspondente em média a 0,242mm, tem-se que o intervalo de variação ideal da espessura da solda seria entre 0,339 e 0,387mm. Observa-se a ocorrência de variação entre as posições T1 e T2, sendo que na seção T1 os valores encontram-se dentro do intervalo, enquanto na seção T2, próxima ao fundo, a espessura média encontra-se dentro do intervalo, mas o valor máximo foi superior ao intervalo ideal, podendo ter ocorrido solda fria, o que será avaliado posteriormente pela avaliação da resistência mecânica e do grau de fusão da solda.

O cálculo da sobreposição antes da soldagem, a partir dos valores determinados para a sobreposição após a soldagem, mostrou que na lata branca houve variação entre as duas posições analisadas, sendo que na posição T1, a sobreposição média do material correspondia ao intervalo entre 0,4 e 0,5mm, utilizado em equipamentos do tipo *Superwima* da *Soudronic* ou equivalente, embora tenha ocorrido valor individual abaixo de 0,4mm. Na posição T2, os valores apresentaram-se normais.

Na lata envernizada, ambas as posições de análise mostraram valores de sobreposição antes da soldagem acima de 0,5mm, e na posição T1 os valores apresentaram-se acima de 0,6mm, valor máximo considerando-se a variação permitida de $\pm 20\%$ sobre o valor de sobreposição nominal de 0,5mm, conforme a Tabela 3, o que deve ter influenciado a condição de fusão da solda.

O paralelismo entre as superfícies superior e inferior da seção transversal da solda das latas E e B apresentava-se normal.

- **Avaliação da resistência mecânica da solda**

Os resultados da avaliação de ruptura, expansão, alongamento do flange e reversão dos dois tipos de latas de pêssego em calda são apresentados na Tabela 12. Verifica-se que a lata envernizada apresentou falha apenas no ensaio de expansão, embora tenha apresentado imperfeições na avaliação dimensional, enquanto a lata branca apresentou pequena porcentagem de falha, o que indica que a variação na condição da solda entre as posições pode estar relacionada com a ocorrência de solda enfraquecida na região próxima à recravação do fundo.

TABELA 12. Resultados da avaliação da resistência mecânica da solda das latas de pêssego em calda, apresentados em frequência de ocorrência de falha*.

	Lata E (% de falha)	Lata B (% de falha)
Ruptura	0	0
Expansão	20	7
Alongamento do flange	0	7
Reversão	0	0

*Resultado da avaliação de 15 latas

• Avaliação visual da solda

A Tabela 13 apresenta as observações realizadas na avaliação visual da solda das latas de pêssego em calda, onde se verifica que as duas embalagens aparentemente apresentam condição normal de soldagem, embora a lata envernizada tenha mostrado um formato alterado, do tipo ferradura. As avaliações subseqüentes complementarão a avaliação visual da solda.

TABELA 13. Características observadas na avaliação visual da solda das latas envernizada e sem verniz para pêssego em calda*.

Lata envernizada	Lata sem verniz
Extrusão normal	Extrusão normal
Ponto de solda com formato ferradura	Ponto de solda com formato quadrado
Ausência ou presença de poucos respingos	Presença de poucos respingos
Ausência de rabo de peixe	Ausência de rabo de peixe

*Resultado da avaliação de três latas

• Avaliação da microestrutura da solda

A Tabela 14 apresenta os resultados da avaliação da seção longitudinal das latas envernizada (E) e sem verniz ou branca (B) para pêssego em calda, onde se observa que existe uma pequena variação entre as três posições analisadas. As Figuras 15 e 16 apresentam fotomicrografias obtidas em sistema My Scope da seção longitudinal da eletrossolda das latas E e B, respectivamente, nas três posições (entrada, centro e saída).

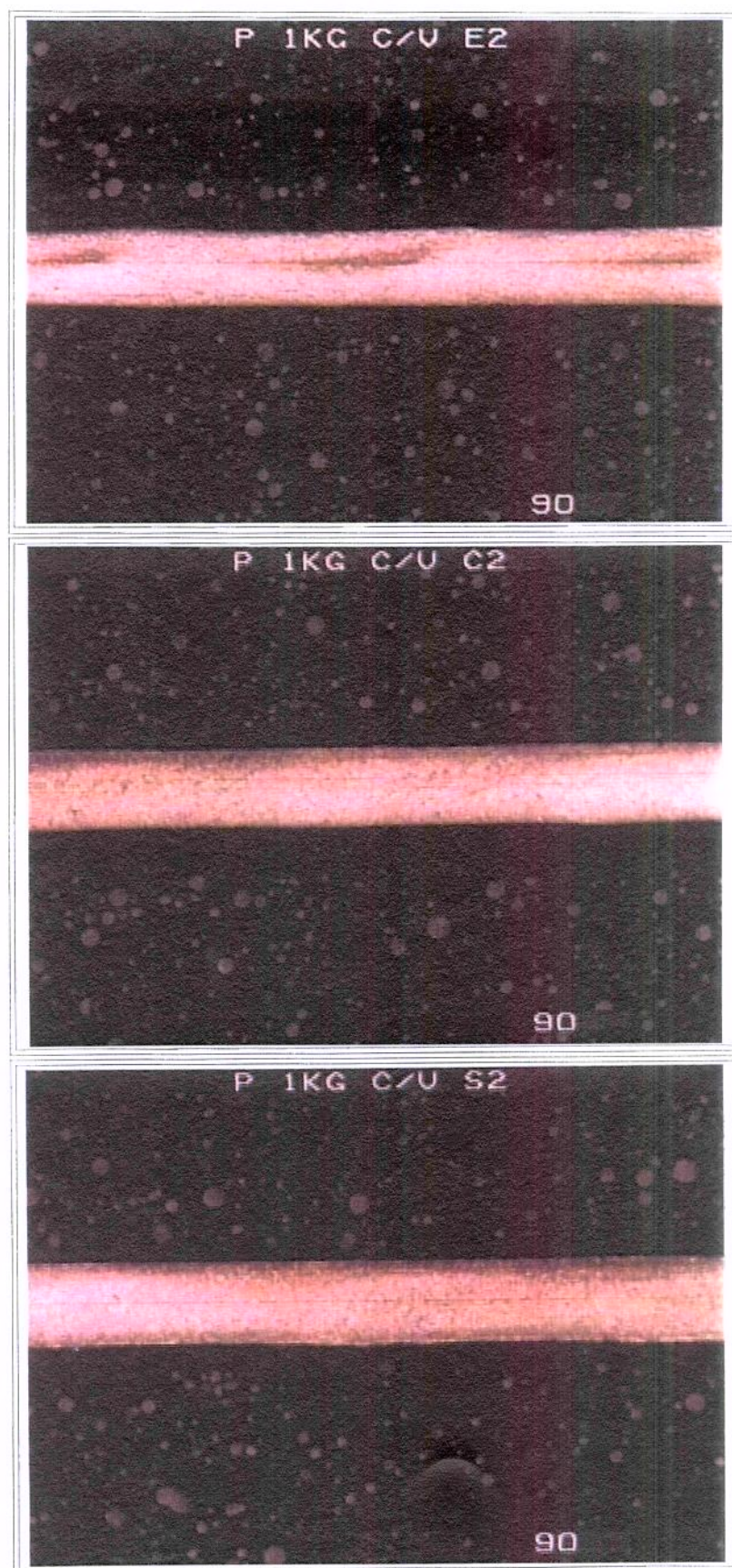
Verifica-se, na Figura 15a, a ocorrência de pontos de solda não sobrepostos e da linha de separação das faces; já nas posições centro e saída os pontos não foram revelados e a linha de separação das faces está praticamente contínua, mostrando condição de fusão incompleta (ou solda fria).

Na Figura 16, verificam-se seções longitudinais da lata B apresentando pontos sobrepostos (b e c) e não perfeitamente sobrepostos (a).

TABELA 14. Resultados da avaliação da seção longitudinal da solda das latas E e B para pêssego em calda*.

Posição	Lata E	Lata B
Entrada	Pontos de solda pouco ou não visíveis	Pontos de solda visíveis e não nítidos
	Pontos não sobrepostos	Pontos regulares ou não e sobrepostos ou não
	Ausência de vírgulas e inclusões	Ausência de vírgulas e inclusões
Centro	Pontos de solda não visíveis	Pontos regulares ou não e sobrepostos ou não
	Evidência de linha de separação	Ausência de linha de separação
	Ausência de vírgulas e inclusões	Ausência de vírgulas e inclusões
Saída	Pontos de solda não visíveis	Pontos regulares ou não e sobrepostos ou não
	Evidência de linha de separação	Linha de separação evidente ou não
	Ausência de vírgulas e inclusões	Ausência de vírgulas e inclusões

* Resultado da avaliação em duas latas.



(a)

(b)

(c)

FIGURA 15. Fotomicrografias obtidas em sistema My Scope, operando com aumento de 90 vezes, da seção longitudinal da lata E para pêssego em calda nas posições entrada (a), centro (b) e saída (c).

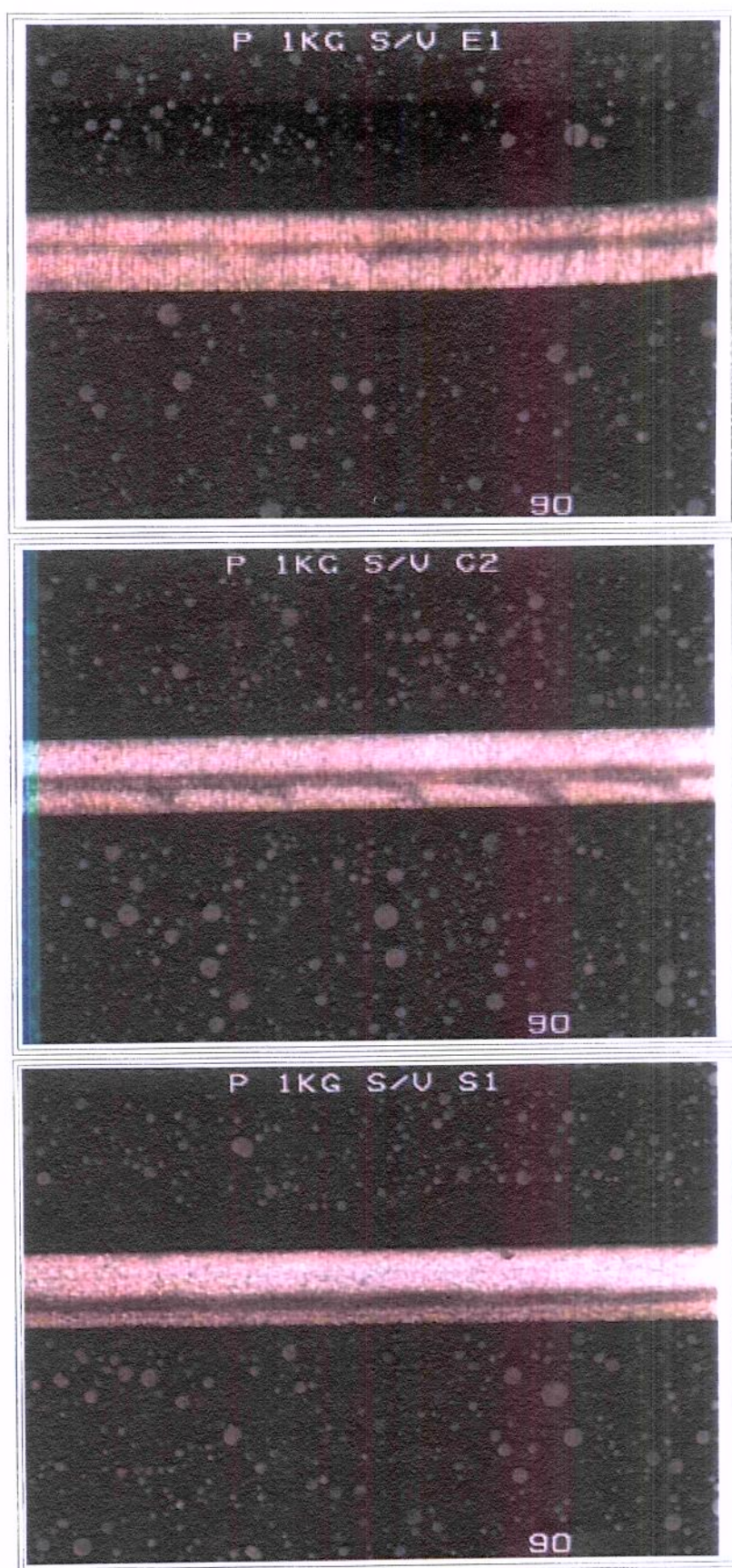


FIGURA 16. Fotomicrografias obtidas em sistema My Scope, operando com aumento de 90 vezes, da seção longitudinal da lata B para pêssego em calda nas posições entrada (a), centro (b) e saída (c).

A avaliação da seção transversal da lata E permitiu verificar a ocorrência de extrusão entre pequena e normal, paralelismo aceitável e fusão incompleta, uma vez que se observa em algumas regiões a presença de linha de separação, conforme se verifica na fotomicrografia apresentada na Figura 17. Portanto, a avaliação do grau de fusão confirmou a ocorrência de solda fria ao longo do cilindro; além disso, esta lata apresentou formato do ponto de solda do tipo ferradura, mostrando que deve ter sido formada com alta velocidade de produção, o que teria provocado a fusão insuficiente. Na lata B observou-se que a eletrossolda apresentava fusão, extrusão e paralelismo adequados e a ocorrência de virgulas, conforme se verifica nas fotomicrografias apresentadas na Figura 18.

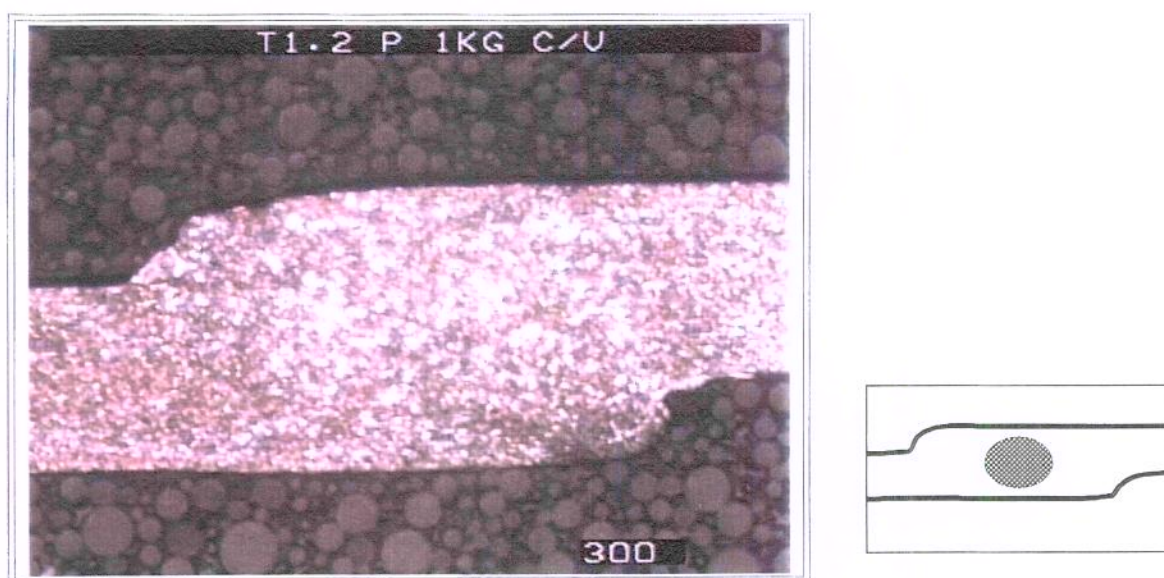


FIGURA 17. Fotomicrografia obtida em sistema My Scope, operando com aumento de 300 vezes, da seção transversal da lata E para pêssego em calda, mostrando a presença de linha de separação no centro da eletrossolda.

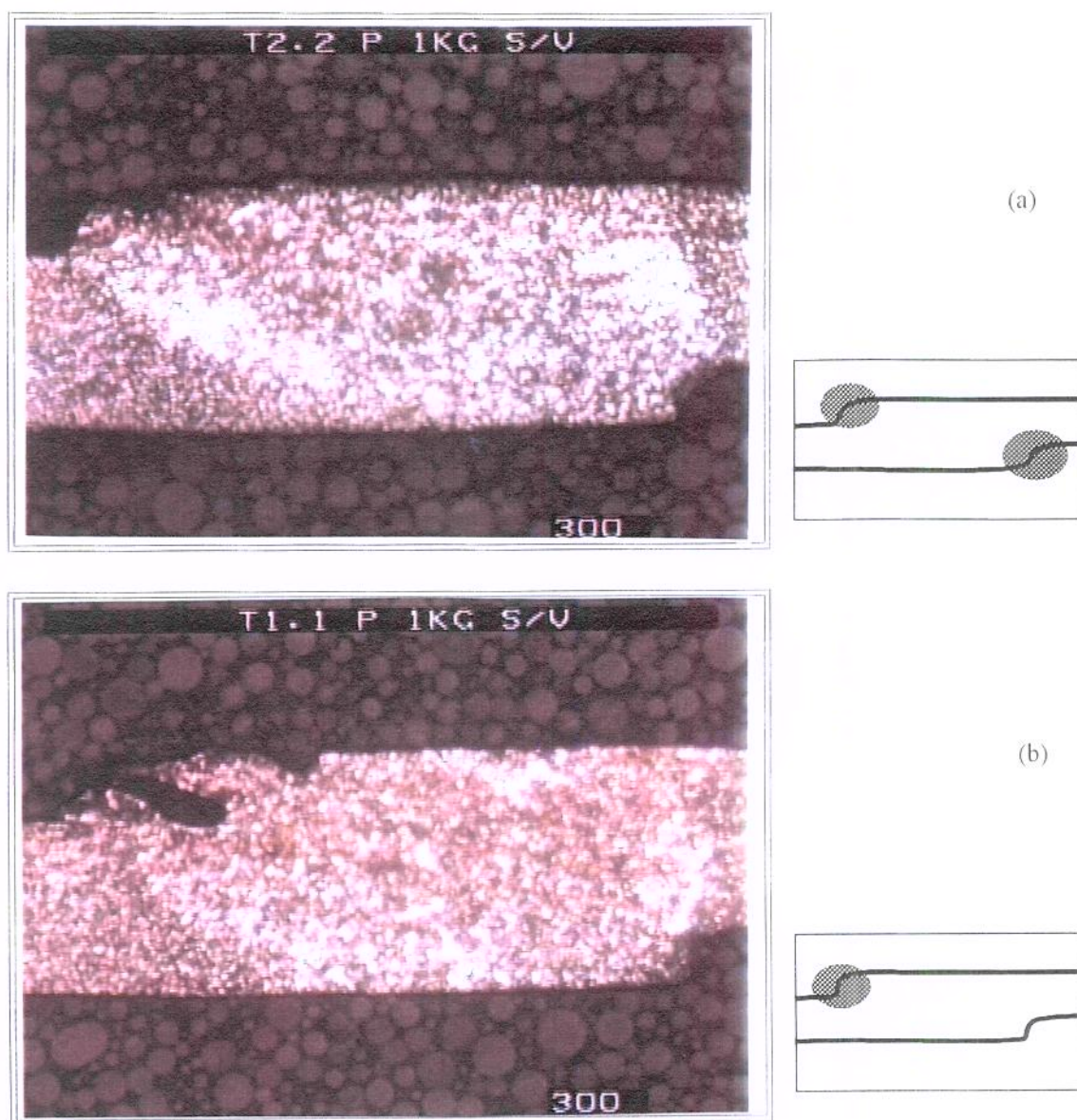


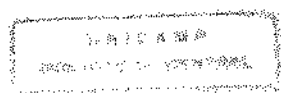
FIGURA 18. Fotomicrografias obtidas em sistema My Scope, operando com aumento de 300 vezes, da seção transversal da lata B para pêssego em calda: (a) condição normal, (b) presença de vírgula.

Verifica-se que, embora o ensaio de ruptura seja utilizado na avaliação de limite inferior de corrente de soldagem, ou seja, condição de solda fria, conforme citado por ELZINGA (1996), na avaliação da lata envernizada para pêssego em calda este ensaio não detectou a ocorrência de solda fria, que foi verificada pelas avaliações dimensional e metalográfica das seções transversal e longitudinal, além da verificação de pequena extrusão pela avaliação visual. Entretanto, na lata de ervilha, onde havia condição de solda ligeiramente incompleta nas extremidades, houve uma pequena porcentagem de falha pelo ensaio de ruptura, provavelmente influenciado pelo enfraquecimento da solda em região com aquecimento excessivo.

Isto demonstra que é necessário que a avaliação do grau de fusão seja muito criteriosa, sendo que a simples evidência de linha de separação das faces sobrepostas do material e a ocorrência de pontos de solda não sobrepostos, embora indiquem a ocorrência de solda fria ou não totalmente fundida, não são suficientes para confirmarem que a eletrossolda pode apresentar problema de vazamento. Vários autores apresentaram resultados de avaliação da fusão de solda por meio da verificação das seções transversal e longitudinal, mostrando diferentes condições de fusão, e que corroboram esta afirmação (BLACK & HELWIG, 1984, SHIMIZU *et alii*, 1992, TAKANO *et alii*, 1984, MIYAZAKI *et alii*, 1988, SIMON & TONER, 1992). Além disso, deve-se considerar todas as etapas a que a eletrossolda será submetida, seja na conformação mecânica da lata, para produção de frisos e/ou pescoço (redução do diâmetro na extremidade do corpo), seja na produção de expansões para obtenção de formatos diferenciados de lata e, mais importante, na própria formação do flange. Vale mencionar que foram desenvolvidos equipamentos de produção de flangeamento mais adequados às latas eletrossoldadas, de forma a reduzir o requisito de resistência para a extremidade da eletrossolda (THE LATEST, 1985). Na utilização final, também existem diferentes situações a que a embalagem pode ser submetida, dependendo das características do produto acondicionado e das condições de transporte e distribuição, as quais também determinam os requisitos de qualidade que a eletrossolda deve apresentar.

No acondicionamento de alimentos desidratados, por exemplo, a chamada “fusão do estanho”, ou seja, fusão apenas do revestimento de estanho (NORMAN, 1976), sem contemplar a fusão do aço, pode ser suficiente, enquanto as latas para produtos de baixa acidez, que sofrem processo de esterilização, e as latas para aerossóis, que são submetidas a altas pressões internas quando do uso, devem apresentar alta garantia de integridade da eletrossolda.

Assim, é necessário que a avaliação da qualidade da eletrossolda seja realizada pelos ensaios apresentados e também envolva a verificação da garantia de hermeticidade pela aplicação de ensaios de resistência à pressão interna ou a ciclos de pressão interna positiva e negativa. Além disso, para o estabelecimento das condições-limites da eletrossolda para cada aplicação deve-se utilizar um plano de amostragem, de forma que se obtenha uma amostra representativa do lote a ser avaliado.



4.2 Estudos de desempenho na estocagem

4.2.1 Lata de Ervilha

4.2.1.1 Caracterização das embalagens

A Tabela 15 apresenta os resultados da caracterização das latas para acondicionamento de ervilha. As folhas-de-flandres do corpo dos dois tipos de lata correspondiam ao revestimento nominal E5,6/5,6 (ABNT, 1995). Foram observadas pequenas diferenças na camada de verniz entre as latas (corpo e fundo/tampa), embora no *side stripe* essas variações sejam inerentes ao próprio verniz. A aderência do verniz aplicado na eletrossolda apresentava-se ruim, em função de não ter sido utilizada inertização com N₂ no processo de eletrossoldagem.

As Figuras 19 e 20 apresentam os espectros de absorção na região do infravermelho dos vernizes aplicados internamente no corpo, tampa/fundo e eletrossolda nos dois tipos de lata para ervilha. Verifica-se que os vernizes do corpo e tampa/fundo dos dois tipos de lata não apresentam diferença entre si. Por outro lado, embora a espectrofotometria de absorção no infravermelho seja extensivamente utilizada na identificação de vernizes aplicados em embalagens metálicas (MARSAL, 1973, MARSAL & TILLON, 1987, MAHADEVIAH, 1983), as diferenças observadas nos espectros dos vernizes do *side stripe* foram pequenas, ou seja, apenas em valores de número de onda de 1718cm^{-1} ocorreu maior absorbância no verniz epóxi-uréia, o que dificulta a sua diferenciação.

A Figura 21 apresenta os resultados da avaliação da porosidade do verniz interno na forma de diagrama de distribuição de frequência de latas em função de intervalos de corrente. Verifica-se que a lata com *side stripe* epóxi-amina apresenta maior frequência de latas com valores inferiores de corrente, demonstrando menor porosidade do verniz em relação à lata com *side stripe* epóxi-uréia. Como a especificação da camada de estanho e de verniz das duas latas é a mesma, pode-se atribuir ao envernizamento da costura eletrossoldada a diferença de porosidade da embalagem. Uma vez que não existem padrões normalizados de referência para a porosidade de verniz em embalagens metálicas e nem mesmo dados disponíveis na literatura sobre latas para ervilha, estes resultados serão posteriormente relacionados ao desempenho destas latas para acondicionamento de ervilha.

TABELA 15. Características das latas para acondicionamento de ervilha, identificadas como EA (com *side stripe* de verniz epóxi-amina) e EU (*side stripe* com verniz epóxi-uréia).

Determinações		Tipo de lata	
		EA	EU
Descrição		Lata cilíndrica de 3 peças com soldagem elétrica Superwima	Lata cilíndrica de 3 peças com soldagem elétrica Superwima
Material metálico	Corpo Fundo ⁽¹⁾	FL FCR	FL FCR
Camada de revestimento (I/E) ($\bar{x} \pm \sigma_x$)	Corpo (g/m^2) ⁽⁴⁾	4,81±0,35 / 5,16±0,52	4,78±0,16 / 4,69±0,08
	Fundo (mg/m^2) ⁽¹⁾⁽³⁾	72,8±1,5 / 63,2±0,8	72,8±1,5 / 63,2±0,8
Espessura (mm) ($\bar{x} \pm \sigma_x$) ⁽⁵⁾	Corpo	0,170 ± 0,018	0,166 ± 0,018
	Fundo ⁽¹⁾	0,182 ± 0,003	0,174 ± 0,019
Dureza superficial Rockwell 30T ($\bar{x} \pm \sigma_x$) ⁽⁵⁾	Corpo ⁽⁴⁾	73,8 ± 0,44	73,7 ± 0,22
	Fundo ⁽¹⁾⁽³⁾	66,7 ± 0,24	75,0 ± 0,20
Camada seca do verniz interno (g/m^2) ($\bar{x} \pm \sigma_x$) ⁽³⁾	Corpo	7,63 ± 0,39	8,53 ± 0,15
	Fundo ⁽¹⁾	6,90 ± 1,83	5,17 ± 0,50
	Solda	8,55 ± 0,17	8,70 ± 0,48
Aderência do verniz (grau) ⁽³⁾	Corpo	G0 - G1	G0
	Fundo ⁽¹⁾	G0	G0 - G1
	Solda	G3 - G4	G3 - G4
Grau de cura do verniz ⁽³⁾	Corpo	Bom	Razoável
	Fundo ⁽¹⁾	Razoável	Razoável
	Solda	Bom	Bom
Identificação do verniz ⁽³⁾	Corpo	OR/Zn	OR/Zn
	Fundo ⁽¹⁾	OR/Zn	OR/Zn
	Solda	EA	EU

EA/EU - epóxi-amina/epóxi-uréia

OR/Zn - óleo resinoso com óxido de zinco

FL - folha-de-flandres

FCR - folha cromada

I/E - interno/externo

($\bar{x} \pm \sigma_x$) - média ± erro padrão da média

(1) - fundo e tampa

(2) - resultado de 2 determinações

(3) - resultado de 3 determinações

(4) - resultado de 6 determinações

(5) - resultado de 10 determinações

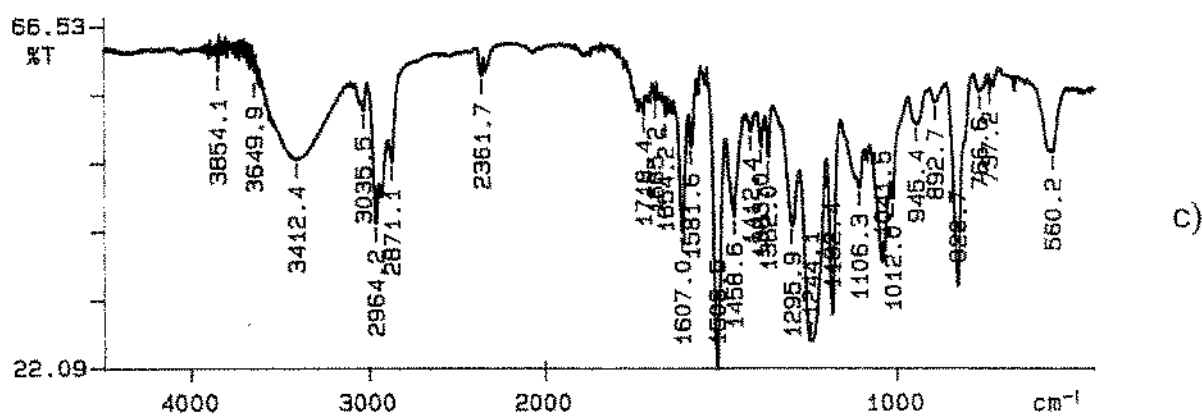
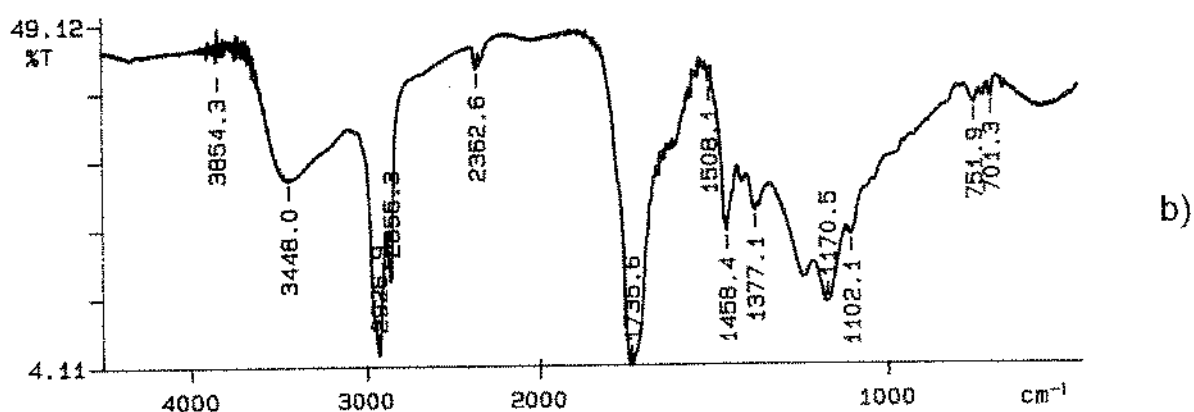
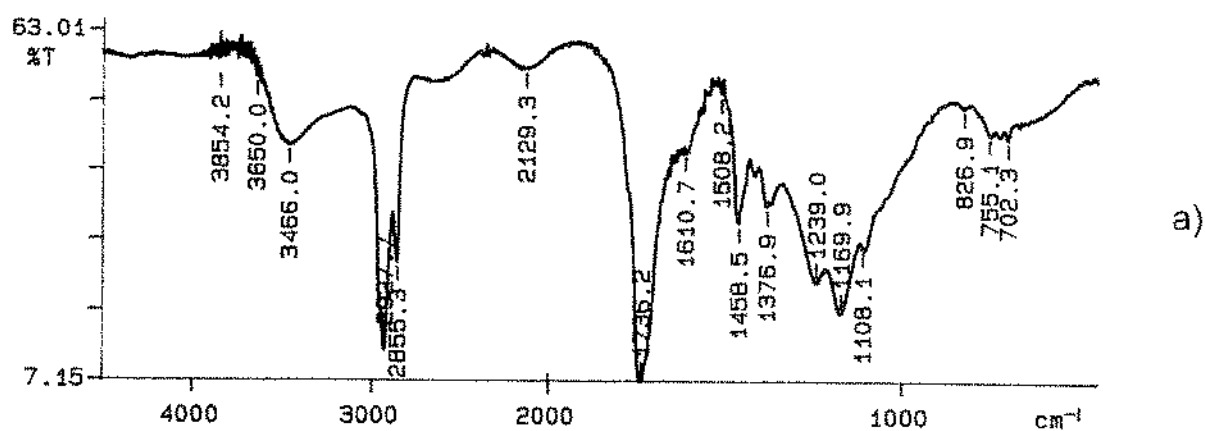


FIGURA 19. Espectros de absorção na região do IV para os vernizes do corpo (a), tampa/fundo (b) e eletrossolda (c) da lata de ervilha EA.

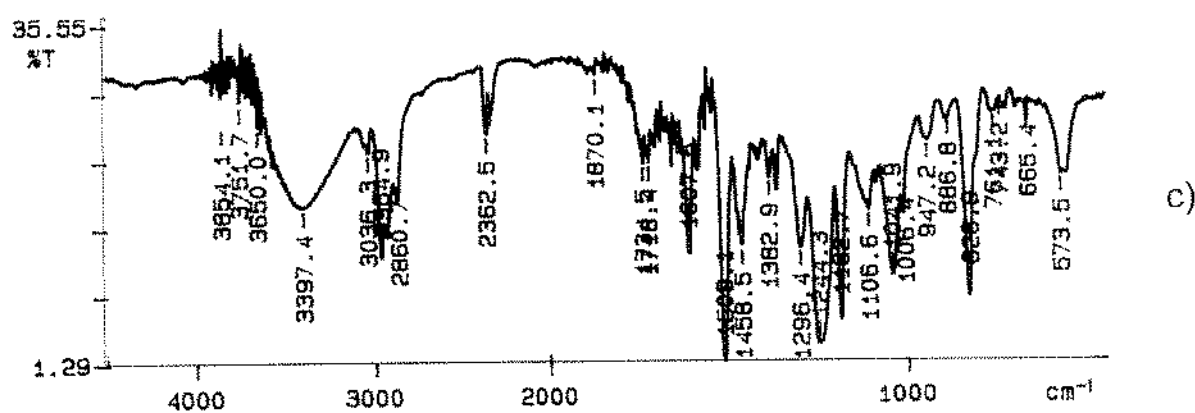
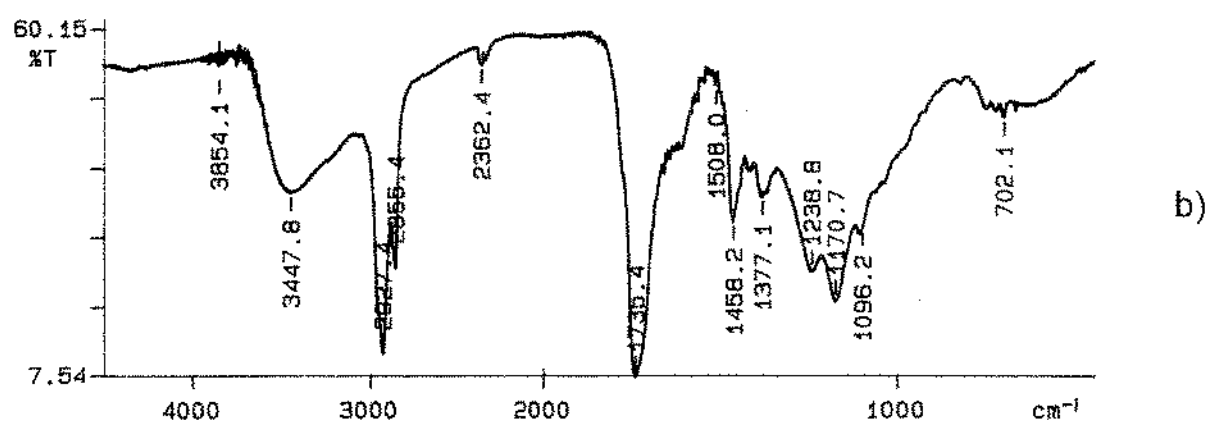
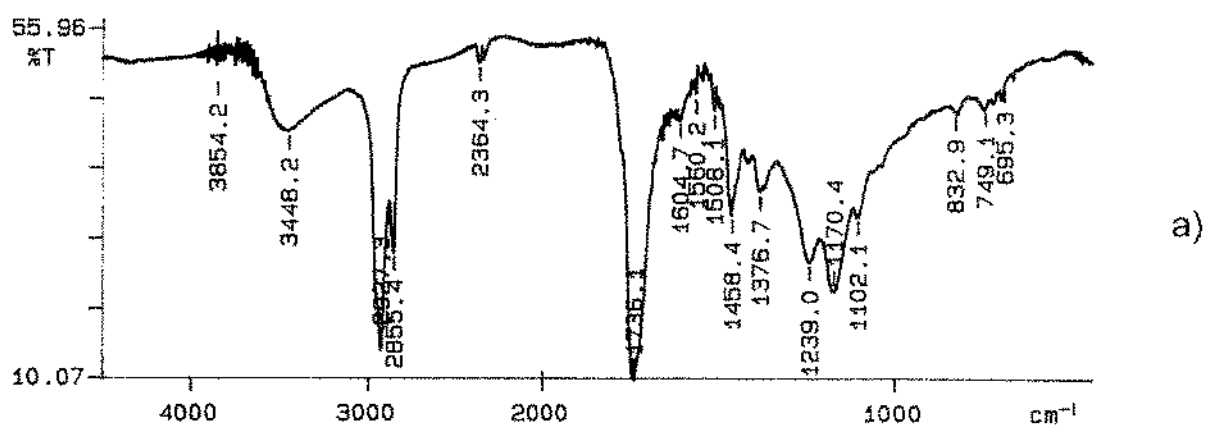


FIGURA 20. Espectros de absorção na região do IV para os vernizes do corpo (a), tampa/fundo (b) e eletrossolda (c) da lata de ervilha EU.

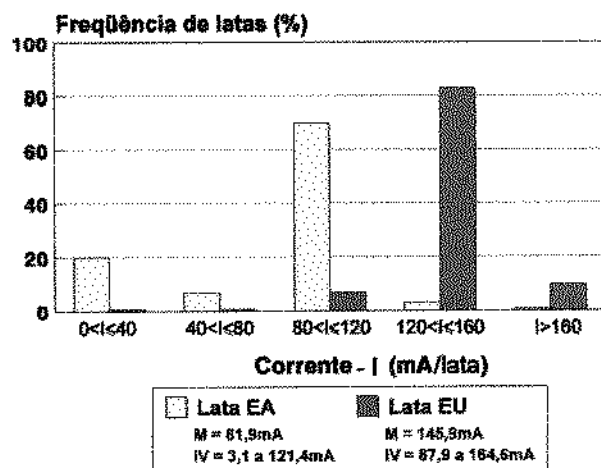


FIGURA 21. Diagramas de distribuição por frequência para a porosidade do verniz interno das latas EA e EU para acondicionamento de ervilha. Resultado de 50 determinações.

As Tabelas 16 e 17 apresentam os resultados da avaliação da recravação da tampa e do fundo das latas de ervilha EA e EU, respectivamente, assim como os padrões dimensionais, onde se verifica que em média as recravações da tampa e do fundo da lata EA apresentam-se adequadas, ocorrendo apenas alguns valores individuais em desacordo com o intervalo sugerido, que se basciam em especificações internacionais para a recravação e na própria experiência resultante de diferentes avaliações. Na lata EU, observa-se na recravação da tampa ocorrência dos valores médios de gancho da tampa (GT), sobreposição relativa (SR) e compactação (C) inferiores ao valor mínimo sugerido, enquanto na recravação do fundo apenas a compactação apresentou-se abaixo do normal (DANTAS *et alii*, 1996). Em ambos os casos, os valores de sobreposição linear (SL) ou relativa (SR) inferiores ao padrão mínimo, principalmente quando combinados ao resultado de compactação também abaixo do mínimo, podem representar risco de ocorrência de falta de integridade do fechamento das embalagens. A falta de integridade, por sua vez, além de tornar o produto potencialmente sujeito à deterioração, pode resultar em aceleração do processo de corrosão da embalagem, devido à ação do oxigênio (LOPEZ, 1987b).

TABELA 16. Parâmetros determinados e calculados da recravação da tampa e do fundo da lata de ervilha EA e padrões mínimos e máximos⁽¹⁾.

		GC	GT	HT	ER	SL	PR	SR	EGC	C	A
TAMPA	M	2,053	1,787	2,97	1,14	1,125		45,1	78,7	78,1	
	DP	0,115	0,110	0,07	0,04	0,182		7,3	4,0	2,5	
	Mín.	1,858	1,669	2,90	1,09	0,905		35,8	72,3	75,1	
	Máx.	2,149	1,926	3,07	1,18	1,399		56,5	83,1	81,3	
FUNDO	M	2,012	1,792	2,88	1,20	1,240	3,36	49,4	79,9	73,8	70
	DP	0,116	0,127	0,10	0,04	0,111	0,05	4,5	5,4	2,3	0
	Mín.	1,824	1,588	2,74	1,17	1,095	3,29	44,2	75,8	69,8	70
	Máx.	2,128	1,946	2,99	1,27	1,419	3,40	56,7	88,9	75,7	70
PADRÃO	Mín.	1,78	1,78	2,70		1,00	3,00	45	70	75	70
	Máx.	2,11	2,11	3,10			3,30				

M/DP/Mín/Máx: Média/Desvio-padrão/Valor mínimo/Valor máximo

GC- gancho do corpo (mm)

GT- gancho da tampa (mm)

HT- comprimento da recravação (mm)

ER- espessura da recravação (mm)

SL- sobreposição linear (mm)

(1) resultado de 6 determinações

PR- profundidade do rebaixo (mm)

SR- sobreposição relativa (%)

EGC- enganchamento do gancho do corpo (%)

C- compactação (%)

A- aperto (%)

TABELA 17. Parâmetros determinados e calculados na avaliação da recravação da tampa e do fundo das latas de ervilha EU e padrões mínimos e máximos⁽¹⁾.

		GC	GT	HT	ER	SL	PR	SR	EGC	C	A
TAMPA	M	2,081	1,678	2,91	1,16	1,072		44,2	80,9	73,6	
	DP	0,064	0,156	0,05	0,05	0,191		7,8	3,0	3,3	
	Mín.	2,020	1,493	2,85	1,09	0,872		35,1	76,1	68,3	
	Máx.	2,196	1,905	2,99	1,25	1,324		53,6	85,1	78,3	
FUNDO	M	2,012	1,824	2,90	1,20	1,244	3,41	48,4	78,4	71,5	63
	DP	0,19	0,056	0,05	0,02	0,126	0,06	6,4	6,8	1,1	6
	Mín.	1,858	1,743	2,82	1,17	1,122	3,35	40,9	70,5	70,6	60
	Máx.	2,196	1,885	2,97	1,21	1,453	3,49	59,2	87,7	73,0	70
PADRÃO	Mín.	1,78	1,78	2,70		1,00	3,00	45	70	75	70
	Máx.	2,11	2,11	3,10			3,30				

M/DP/Mín/Máx: Média/Desvio-padrão/Valor mínimo/Valor máximo

GC- gancho do corpo (mm)

GT- gancho da tampa (mm)

HT- comprimento da recravação (mm)

ER- espessura da recravação (mm)

SL- sobreposição linear (mm)

(1) resultado de 6 determinações

PR- profundidade do rebaixo (mm)

SR- sobreposição relativa (%)

EGC- enganchamento do gancho do corpo (%)

C- compactação (%)

A- aperto (%)

4.2.1.2 Avaliações periódicas

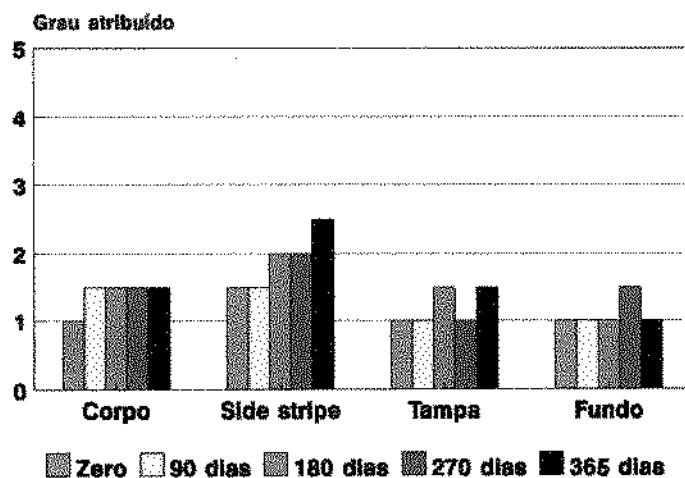
- Avaliação visual interna das latas

Os resultados obtidos na avaliação visual interna das latas contendo ervilha em salmoura e com *side stripe* em resina epóxi-amina e epóxi-uréia são apresentados nas Figuras 22 e 23, respectivamente.

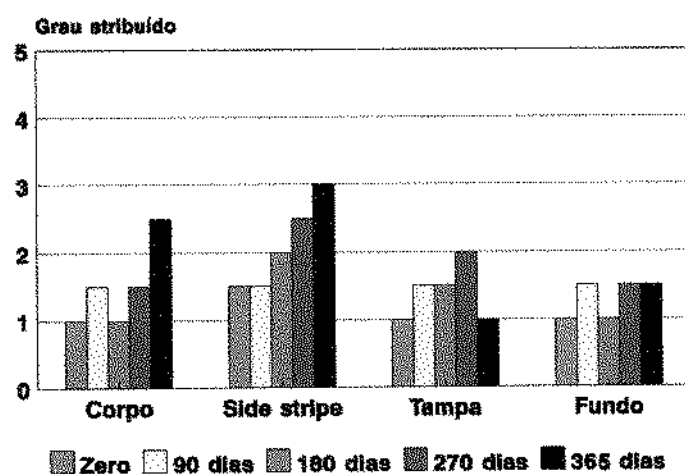
Tomando-se como limite de aceitação da embalagem, quanto ao seu aspecto interno e integridade, o Grau 3 das escalas descritivas consideradas (DANTAS *et alii*, 1993), observa-se, em geral, um desempenho ligeiramente superior das latas com *side stripe* de verniz epóxi-amina, que atingiu o limite de aceitação pelo aspecto do *side stripe* aos 365 dias nas condições de estocagem de 30°C e de 35°C e um aspecto aceitável nesta época de análise para a estocagem a 23°C. Para as latas com verniz epóxi-uréia, o limite de aceitação foi atingido também pelo *side stripe* aos 270 dias de estocagem a 30°C e aos 365 dias de estocagem a 35°C, neste caso influenciado também pelo aspecto do corpo, permanecendo aceitável aos 365 dias de estocagem a 23°C. O *side stripe* mostrou-se como a região mais crítica dessas latas do ponto de vista de interação com o produto, seguido do corpo das latas. A tampa e o fundo mantiveram-se praticamente inalterados durante o estudo.

Estes resultados mostram que, embora a ervilha seja um produto de baixa acidez, a presença de proteínas sulfurosas possibilita a formação de H₂S, principalmente no processamento térmico, o qual, juntamente com o cloreto de sódio presente na salmoura, pode ser agressivo ao material metálico (BRITTON, 1975, MARSAL, 1991). Nas latas avaliadas não se observou a ocorrência de sulfuração, mostrando que o verniz aplicado no corpo e tampa/fundo foi suficiente na prevenção das manchas, uma vez que promove a formação de sulfeto de zinco, de aparência incolor, que é imperceptível (MARSAL, 1991, MORGAN, 1985). Entretanto, na região de soldagem observou-se um pequeno nível de alteração nas duas embalagens, embora um pouco mais intensa na lata EU.

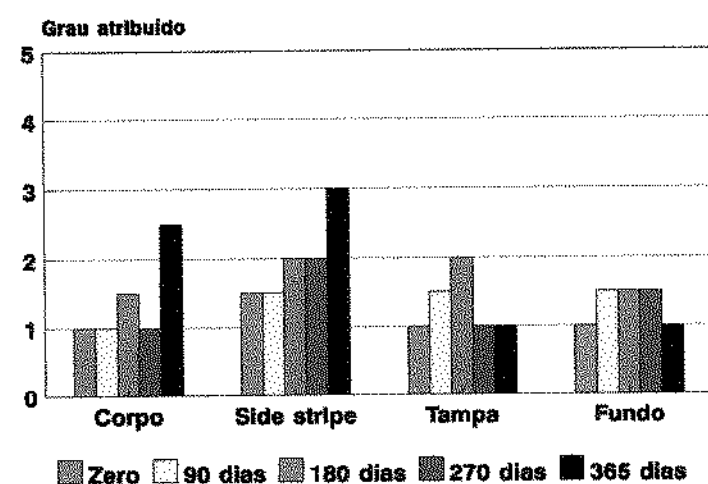
De forma geral, o efeito do aumento da temperatura na aceleração da velocidade de corrosão para a maioria dos produtos enlatados (MANNHEIM, PASSY, 1982, MANNHEIM, 1986) não foi observado para a ervilha, embora seja necessária a complementação desta avaliação com os resultados de outros parâmetros, como o nível de vácuo e a dissolução metálica.



a) 23°C

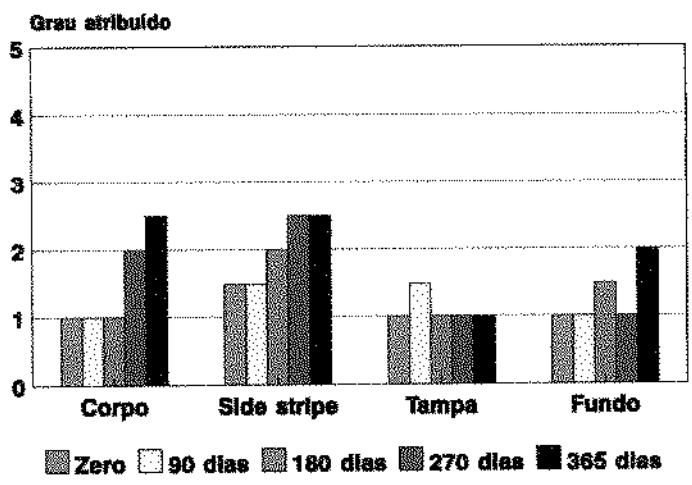


b) 30°C

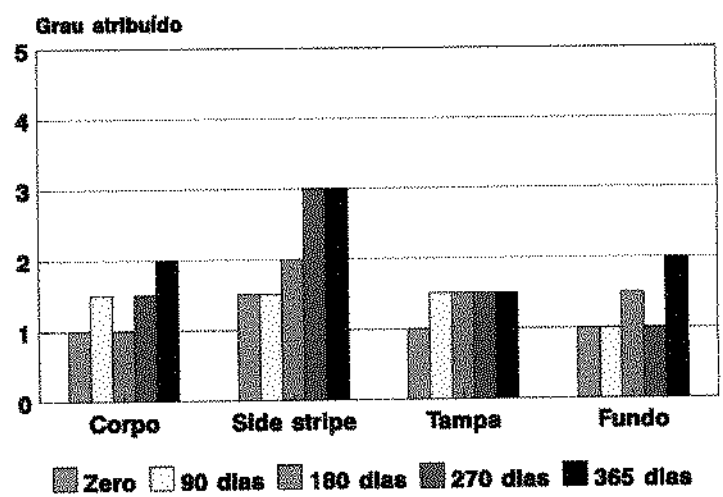


c) 35°C

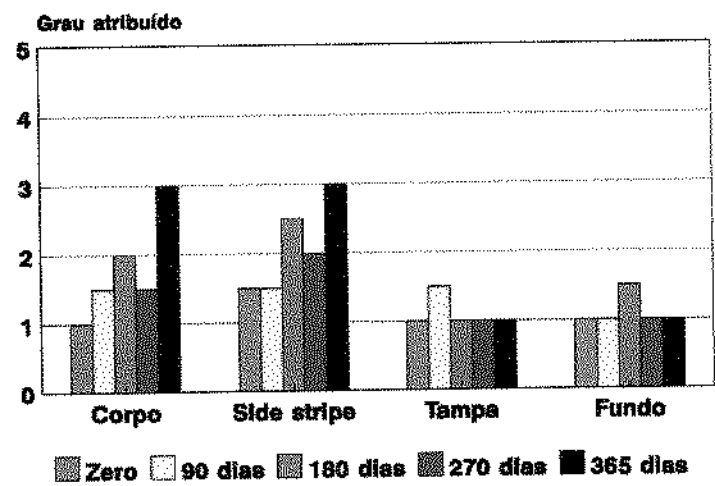
FIGURA 22. Graus médios atribuídos na avaliação visual interna da lata EA contendo ervilha em salmoura: (a) estocagem a 23°C, (b) estocagem a 30°C e (c) estocagem a 35°C.



a) 23°C



b) 30°C



c) 35°C

FIGURA 23. Graus médios atribuídos na avaliação visual interna da lata EU contendo ervilha em salmoura: (a) estocagem a 23°C, (b) estocagem a 30°C e (c) estocagem a 35°C.

- **Nível de vácuo na embalagem**

A Tabela 18 apresenta os resultados do nível de vácuo nos dois tipos de lata contendo ervilha em salmoura durante a estocagem à temperatura de 23, 30 e 35°C, onde se observa que, exceção feita ao nível inicial, o vácuo manteve-se praticamente inalterado durante os 365 dias de estocagem nas três condições de temperatura estudadas. As pequenas variações observadas são intrínsecas à variabilidade existente no produto enlatado, decorrentes do nível de enchimento da lata e das condições de processo, como temperatura da salmoura e exaustão (MANNHEIM, 1986). O nível de vácuo inicial apresentava-se de acordo com o recomendado na literatura, ou seja, entre 8 e 15 pol Hg (20,3 a 38,1 cm Hg) (CRUESS, 1973).

A análise estatística a três critérios de classificação permitiu verificar que os resultados de vácuo não diferem em função da amostra e da temperatura de estocagem, embora ocorra diferenciação em relação à época de estocagem, principalmente em função do nível de vácuo observado inicialmente um pouco inferior em relação aos períodos de avaliação restantes, que deve ser função da variabilidade da amostra, como comentado anteriormente, ou devido ao consumo de O₂ no processamento e no início da estocagem na oxidação de pigmentos e da própria embalagem, conforme evidenciado na Tabela 22, resultando no aumento do vácuo. A Figura 24 apresenta os diagramas das médias de vácuo, identificadas pelos quadrados centrais, e seus respectivos intervalos de confiança ao nível de 95%, nos dois tipos de lata de ervilha em função da amostra, da época de estocagem e da temperatura. Verificou-se, ainda, a existência de interação significativa apenas entre época e amostra, em função do menor valor de vácuo existente inicialmente.

Estes resultados demonstram que a variação do nível de vácuo da embalagem foi pequena e seu efeito ocorreu principalmente no período inicial de estocagem. Além disso, a diferença na especificação da embalagem não resultou em diferença importante de desempenho, assim como a temperatura não exerceu grande influência.

TABELA 18. Resultados de vácuo, em cm Hg, na ervilha acondicionada em latas EA e EU em função do tempo de estocagem à temperatura de 23, 30 e 35°C.

Tempo de estocagem (dias)		Lata EA			Lata EU		
		Temperatura (°C)			Temperatura (°C)		
		23	30	35	23	30	35
0	M	20,8	20,8	20,8	22,9	22,9	22,9
	DP	2,64	2,64	2,64	2,54	2,54	2,54
	Min.	17,8	17,8	17,8	20,3	20,3	20,3
	Máx.	22,9	22,9	22,9	25,4	25,4	25,4
90	M	26,2	24,6	25,4	24,6	25,4	26,7
	DP	1,47	1,47	0,00	2,92	2,54	2,21
	Min.	25,4	22,9	25,4	22,9	22,9	25,4
	Máx.	27,9	25,4	25,4	27,9	27,9	29,2
180	M	24,9	26,2	26,2	24,1	24,6	25,4
	DP	2,64	2,29	1,47	2,21	1,47	2,54
	Min.	22,9	23,6	25,4	22,9	22,9	22,9
	Máx.	27,9	27,9	27,9	26,7	25,4	27,9
270	M	27,2	24,6	25,4	22,9	22,9	23,6
	DP	1,47	1,47	0,00	0,00	2,54	1,47
	Min.	25,4	22,9	25,4	22,9	20,3	22,9
	Máx.	27,9	25,4	25,4	22,9	25,4	25,4
365	M	27,2	25,4	26,2	24,6	27,2	26,2
	DP	1,47	2,54	1,47	1,47	1,47	2,92
	Min.	25,4	22,9	25,4	22,9	25,4	22,9
	Máx.	27,9	27,9	27,9	25,4	27,9	27,9

M/DP/Min/Máx: Média/Desvio-padrão/Valor mínimo/Valor máximo

* Resultado de três determinações

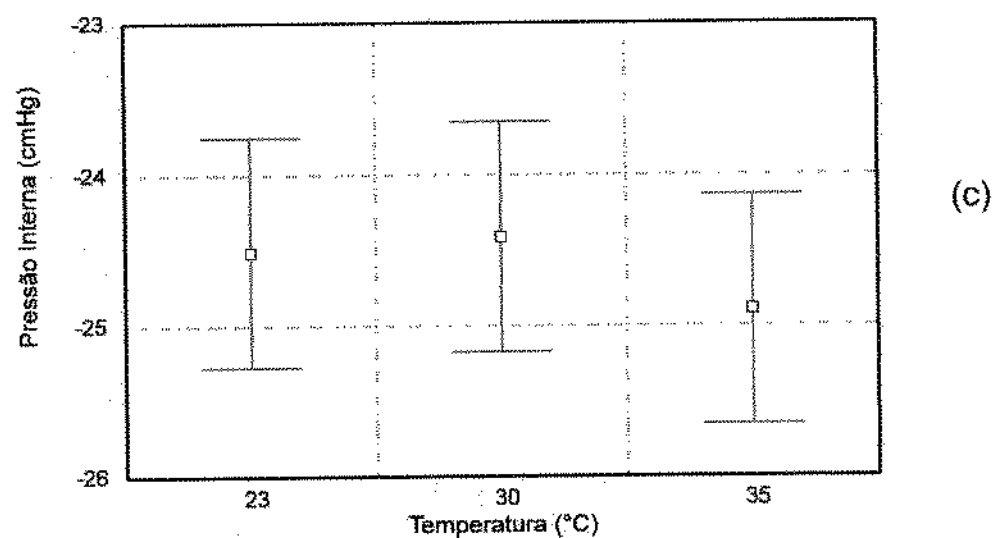
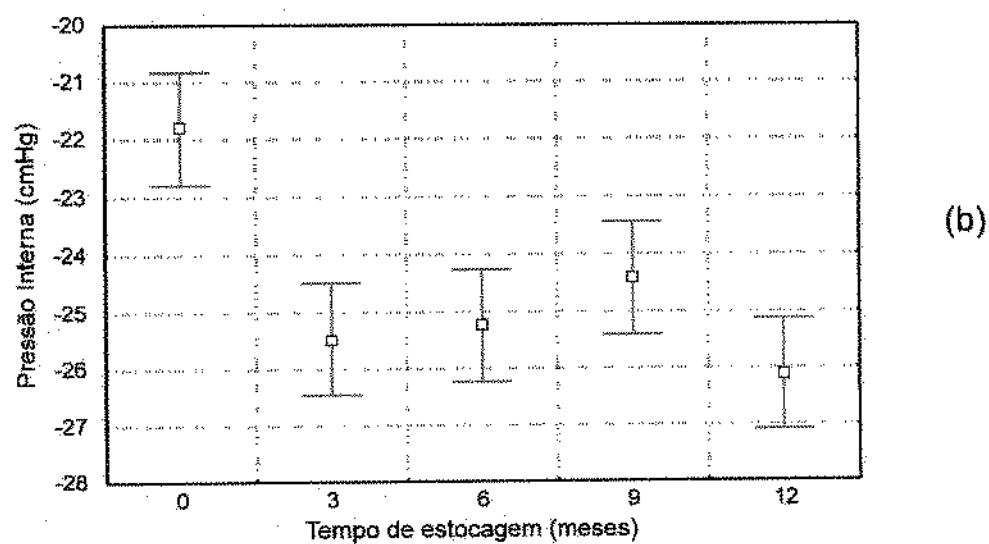
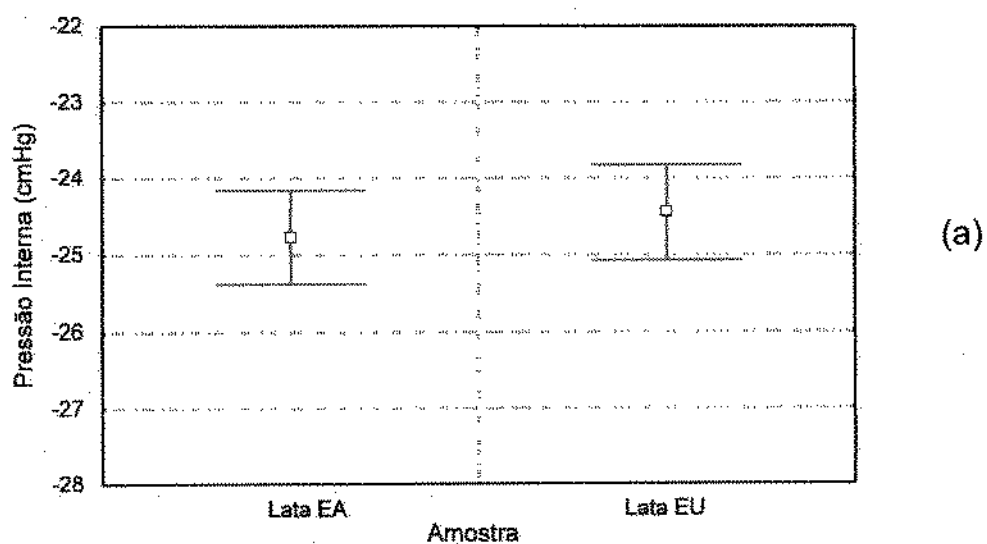


FIGURA 24. Diagramas de médias e respectivos intervalos de confiança ao nível de 95% do vácuo nas latas de ervilha em função da amostra (a), do tempo de estocagem (b) e da temperatura (c).

- **Determinação do pH, da acidez e do teor de sólidos solúveis no produto**

Os resultados de pH, de acidez e do teor de sólidos solúveis da ervilha acondicionada nos dois tipos de lata são apresentados nas Tabelas 19 a 21, respectivamente.

Verifica-se que houve uma redução no pH durante os 365 dias de estocagem nos dois tipos de lata, correspondente a 11, 14 e 14% na lata EA nas condições de 23, 30 e 35°C, respectivamente, e 24, 20 e 16% na lata EU para as mesmas condições.

A acidez aumentou em proporções superiores, correspondendo a 188, 174 e 153% na lata EA e a 190, 172 e 155% na lata EU, na mesma ordem das condições de estocagem, revelando influência inversa da temperatura.

Estas variações não estão relacionadas à interação embalagem/alimento, uma vez que, neste caso, a corrosão do material metálico levaria ao consumo dos íons H^+ na reação catódica, produzindo gás hidrogênio e conseqüente aumento do pH e deve ser explicada por alterações dos componentes da ervilha, independentes da embalagem, que resultaram na dissociação ou formação de ácidos.

Segundo SIMÕES (1993), o tratamento térmico aplicado para se obter esterilidade comercial de produtos de baixa acidez não permite a destruição de todos os esporos das bactérias termófilas, em virtude de sua alta resistência, sendo que a estabilidade do produto é controlada pela temperatura adequada de armazenamento. Entre as possibilidades de deterioração encontra-se a chamada acidez plana, que se caracteriza pela produção de ácido sem formação de gás.

PEARCE & WHEATON (citado por SIMÕES, 1993) demonstraram que latas de ervilha que continham esporos produtores de deterioração tipo acidez plana não apresentaram deterioração após meses de estocagem a 21°C, mesmo quando incubadas a 55°C, uma vez que os esporos perderam a viabilidade. Este fenômeno foi explicado por ITO (citado por SIMÕES, 1993) como a ocorrência de uma ativação térmica dos esporos, seguida de germinação, mas não ocorrendo um crescimento pós-germinativo. Assim, é possível que tenha ocorrido situação semelhante nas latas de ervilha aqui estudadas, levando à acidificação do produto, mas sem incorrer em plena deterioração.

TABELA 19. Resultados do pH na ervilha acondicionada nas latas EA e EU em função do tempo de estocagem à temperatura de 23, 30 e 35°C*.

Tempo de estocagem (dias)		Lata EA			Lata EU		
		Temperatura (°C)			Temperatura (°C)		
		23	30	35	23	30	35
0	M	6,27	6,27	6,27	6,25	6,25	6,25
	DP	0,08	0,08	0,08	0,05	0,05	0,05
	Mín.	6,20	6,20	6,20	6,20	6,20	6,20
	Máx.	6,35	6,35	6,35	6,30	6,30	6,30
90	M	6,50	6,32	5,88	6,30	6,28	6,27
	DP	0,00	0,03	0,03	0,00	0,03	0,06
	Mín.	6,50	6,30	5,85	6,30	6,25	6,20
	Máx.	6,50	6,35	5,90	6,30	6,30	6,30
180	M	5,40	5,53	5,33	5,23	6,13	5,63
	DP	0,35	0,06	0,25	0,06	0,06	0,25
	Mín.	5,00	5,50	5,10	5,20	6,10	5,40
	Máx.	5,60	5,60	5,60	5,30	6,20	5,90
270	M	5,87	5,77	5,80	5,77	5,83	5,77
	DP	0,06	0,06	0,17	0,12	0,12	0,06
	Mín.	5,80	5,70	5,60	5,70	5,70	5,70
	Máx.	5,90	5,80	5,90	5,90	5,90	5,80
365	M	5,60	5,37	5,40	4,73	5,03	5,27
	DP	0,20	0,12	0,10	0,12	0,06	0,15
	Mín.	5,40	5,30	5,30	4,60	5,00	5,10
	Máx.	5,80	5,50	5,50	4,80	5,10	5,40

M/DP/Mín/Máx: Média/Desvio-padrão/Valor mínimo/Valor máximo

* Resultado de três determinações

TABELA 20. Resultados da acidez total titulável, em %, na ervilha acondicionada nas latas EA e EU, em função do tempo de estocagem à temperatura de 23, 30 e 35°C*.

Tempo de estocagem (dias)		Lata EA			Lata EU		
		Temperatura (°C)			Temperatura (°C)		
		23	30	35	23	30	35
0	M	1,306	1,306	1,306	1,291	1,291	1,291
	DP	0,048	0,048	0,048	0,101	0,101	0,101
	Mín.	1,258	1,258	1,258	1,210	1,210	1,210
	Máx.	1,353	1,353	1,353	1,404	1,404	1,404
90	M	1,189	1,316	1,606	1,122	1,216	1,152
	DP	0,056	0,056	0,202	0,055	0,053	0,001
	Mín.	1,157	1,251	1,445	1,059	1,155	1,251
	Máx.	1,254	1,350	1,832	1,156	1,247	1,252
180	M	2,667	1,958	2,809	2,478	1,689	2,211
	DP	0,365	0,073	0,194	0,116	0,098	0,0597
	Mín.	2,369	1,895	2,601	2,369	1,609	1,657
	Máx.	3,074	2,037	2,985	2,601	1,799	2,843
270	M	3,631	3,593	3,583	3,000	3,557	3,549
	DP	0,182	0,256	0,076	0,259	0,070	0,093
	Mín.	3,500	3,403	3,500	2,750	3,490	3,490
	Máx.	3,838	3,884	3,650	3,267	3,650	3,656
365	M	3,761	3,580	3,301	3,777	3,508	3,298
	DP	0,017	0,518	0,163	0,046	0,429	0,031
	Mín.	3,743	2,988	3,147	3,728	3,069	3,277
	Máx.	3,777	3,954	3,472	3,819	3,926	3,333

M/DP/Mín/Máx: Média/Desvio-padrão/Valor mínimo/Valor máximo

* Resultado de três determinações

TABELA 21. Resultados de teor de sólidos solúveis, em graus Brix, na ervilha acondicionada nas latas EA e EU, em função do tempo de estocagem à temperatura de 23, 30 e 35°C.*

Tempo de estocagem (dias)		Lata EA			Lata EU		
		Temperatura (°C)			Temperatura (°C)		
		23	30	35	23	30	35
0	M	9,09	9,09	9,09	9,26	9,26	9,26
	DP	0,29	0,29	0,29	0,00	0,00	0,00
	Mín.	9,26	9,26	9,26	9,26	9,26	9,26
	Máx.	9,76	9,76	9,76	9,26	9,26	9,26
90	M	8,97	8,80	8,64	8,97	8,80	8,97
	DP	0,29	0,29	0,00	0,29	0,29	0,29
	Mín.	8,64	8,64	8,64	8,64	8,64	8,64
	Máx.	9,14	9,14	8,64	9,14	9,14	9,14
180	M	8,18	7,68	8,01	8,18	8,18	8,18
	DP	0,30	0,29	0,00	0,30	0,30	0,30
	Mín.	8,01	7,51	8,01	8,01	8,01	8,01
	Máx.	8,53	8,01	8,01	8,53	8,53	8,53
270	M	8,59	8,76	8,76	8,59	8,43	8,43
	DP	0,29	0,29	0,29	0,29	0,00	0,00
	Mín.	8,43	8,43	8,43	8,43	8,43	8,43
	Máx.	8,93	8,93	8,93	8,93	8,43	8,43
365	M	9,02	8,52	8,36	8,36	8,52	8,36
	DP	0,29	0,29	0,00	0,00	0,29	0,00
	Mín.	8,86	8,36	8,36	8,36	8,36	8,36
	Máx.	9,36	8,86	8,36	8,36	8,86	8,36

M/DP/Mín/Máx: Média/Desvio-padrão/Valor mínimo/Valor máximo

* Resultado de três determinações, corrigido para a temperatura de 20°C

A análise estatística dos dados a três critérios de classificação mostrou haver diferença significativa nos resultados de pH em função da época e da temperatura de estocagem. Entretanto, o valor de pH não diferiu significativamente em função do tipo de lata. Na análise global dos dados, observou-se que os valores de pH diminuíram em função da época de estocagem a partir dos 90 dias, conforme se verifica no diagrama de média e respectivos intervalos de confiança, apresentado na Figura 25. Observou-se existir interação significativa de todos os fatores (amostra, época e temperatura) nos resultados de pH da ervilha.

Em relação ao efeito da temperatura, observou-se que na lata EA os valores referentes às condições 23 e 30°C são próximos, enquanto na lata EU a proximidade ocorre nas condições 30 e 35°C. A Figura 26 apresenta diagramas das médias e respectivos intervalos de confiança do pH em função da temperatura, obtidos na análise de variância a dois critérios de classificação (temperatura e época) para cada tipo de lata estudado, onde se verifica na lata EA o efeito claro da maior temperatura na redução do pH, enquanto na lata EU ocorreu uma maior variação do pH a 23°C em relação às outras temperaturas.

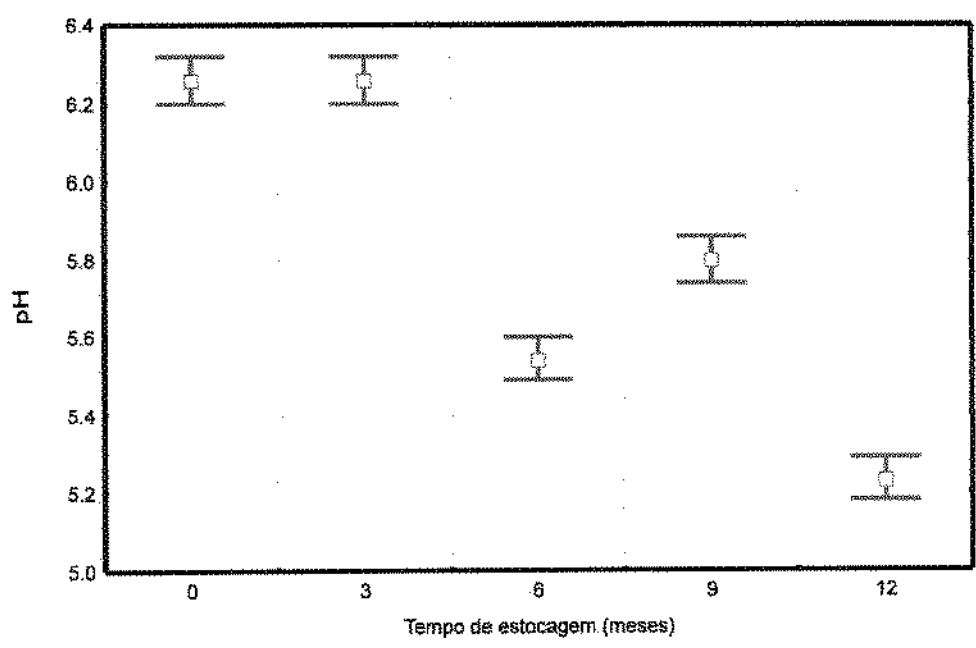


FIGURA 25. Diagrama de intervalos de confiança da média de pH da ervilha em função do tempo de estocagem e seus respectivos intervalos de confiança ao nível de 95%, obtidos na análise de variância a três critérios de classificação (tipo de lata, tempo e temperatura de estocagem).

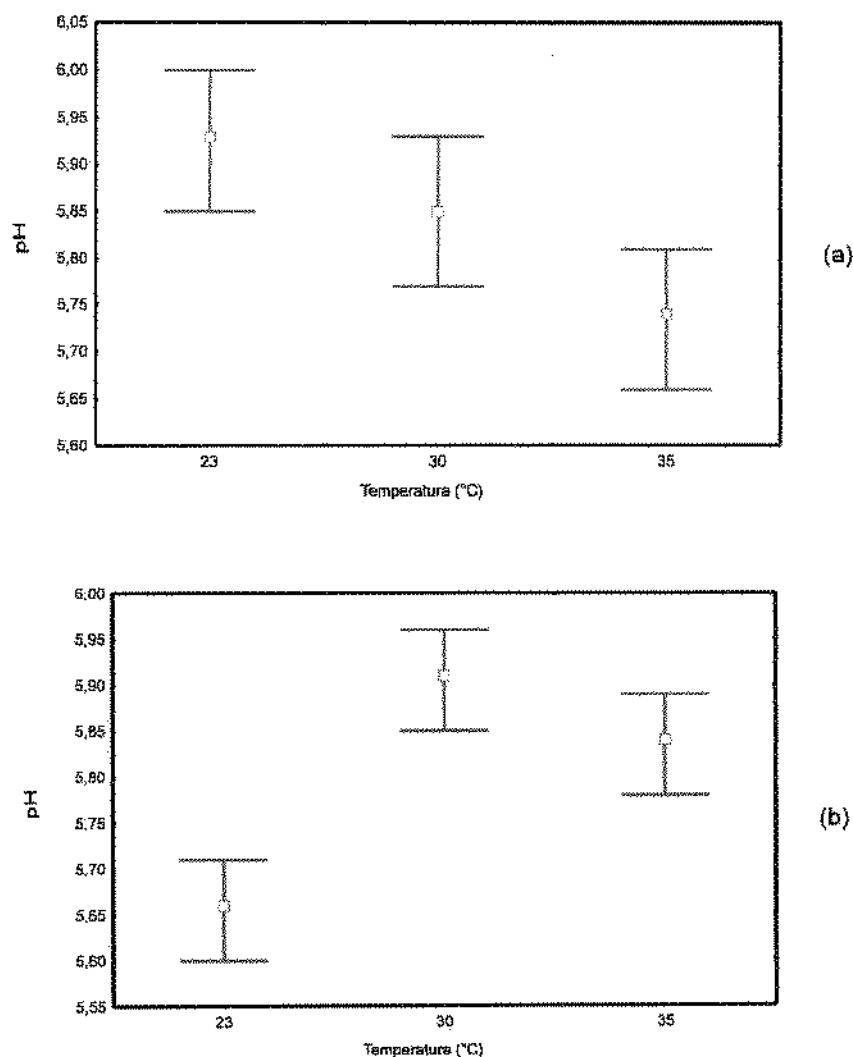


FIGURA 26. Diagramas de intervalos de confiança da média de pH da ervilha em função da temperatura de estocagem e seus respectivos intervalos de confiança ao nível de 95%, obtidos na análise de variância a dois critérios de classificação: (a) lata EA; (b) lata EU.

Em relação à acidez, observou-se na análise de variância a três critérios de classificação a ocorrência de diferença significativa nos resultados entre as duas amostras, entre as três temperaturas de estocagem e entre as diferentes épocas de avaliação. A Figura 27 apresenta diagramas de intervalos de confiança das médias dos resultados de acidez em função da amostra, da época de estocagem e da temperatura. Embora tenha ocorrido aumento de acidez em função do tempo (e em proporção inversa à temperatura de estocagem na lata EA - Figura 26a), a velocidade de reação foi baixa no período inicial, e se intensificou a partir dos 180 dias de estocagem nas diferentes temperaturas. O produto da lata EU apresentou acidificação um pouco menor que o da lata EA.

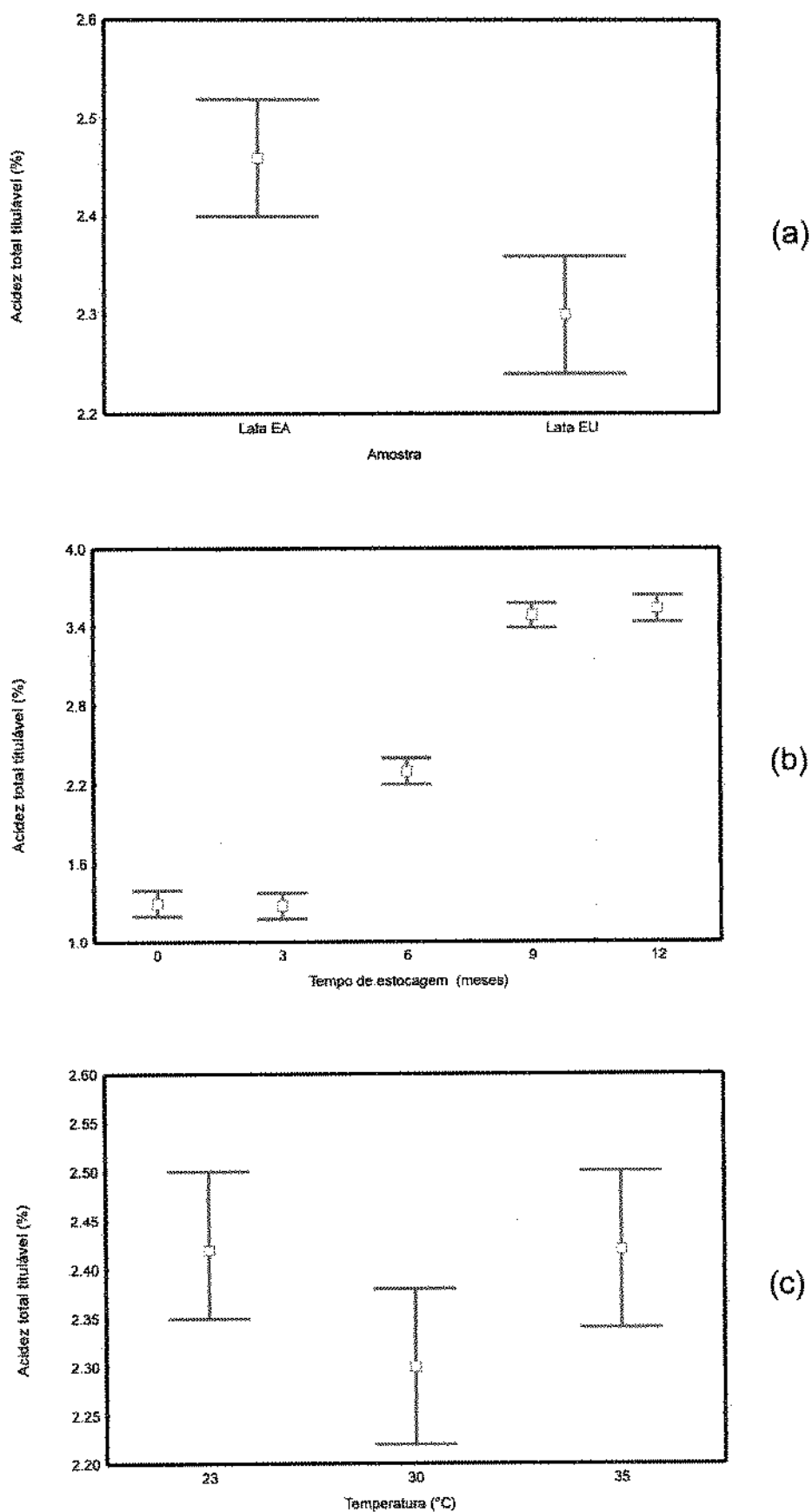


FIGURA 27. Diagramas de intervalos de confiança das médias de acidez da ervilha acondicionada nas latas EA e EU em função da amostra (a), do tempo de estocagem (b) e da temperatura (c).

A análise estatística dos resultados de acidez de cada amostra (lata EA e lata EU) a dois critérios de classificação (época e temperatura) mostrou a ocorrência de diferença significativa nos resultados em função da época de estocagem e não haver influência da temperatura.

Estes resultados estão de acordo com as alterações de pH, sendo mais um indicativo de que devem ser consequência de alterações nos constituintes da ervilha, independentes da embalagem.

Em relação ao teor de sólidos solúveis, verificou-se ocorrer diferença significativa na avaliação a três critérios de classificação apenas entre as épocas de estocagem, não ocorrendo entre as amostras e entre as temperaturas de estocagem. A Figura 28 apresenta diagramas de médias do conjunto de dados de "Brix e seus respectivos intervalos de confiança em função da amostra, da época de estocagem e da temperatura. A redução no conteúdo de sólidos solúveis está mais relacionada a alterações intrínsecas ao produto, como insolubilização de componentes (proteína, amido, lignina, etc.) (BOBBIO & BOBBIO, 1989) e consumo de açúcares pelos microrganismos responsáveis pelo desenvolvimento de acidez plana, à variabilidade entre unidades avaliadas e aos erros experimentais, do que representa uma alteração na amostra em consequência da interação produto/embalagem, o que significa que não tem sentido prático, embora tenha sido identificada na análise estatística. A pequena amplitude dos dados entre as épocas confirma essa situação, sugerindo que este parâmetro é dispensável na avaliação do desempenho de embalagens.

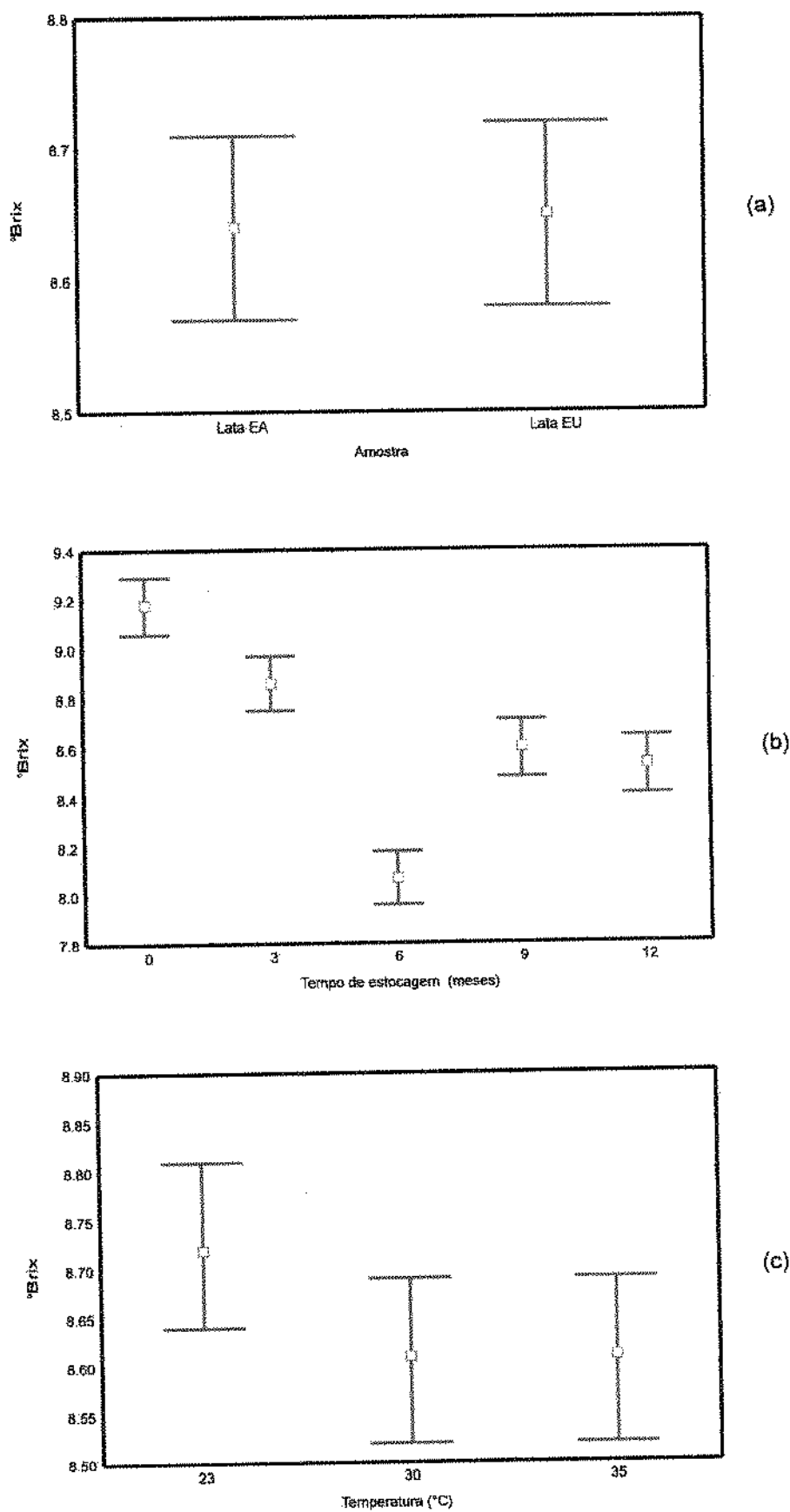


FIGURA 28. Diagramas de médias dos resultados de °Brix da ervilha acondicionada em latas EA e EU em função da amostra (a), da época (b) e da temperatura de estocagem (c).

• **Determinação da composição gasosa do espaço-livre das latas**

A Tabela 22 apresenta os resultados da composição gasosa do espaço-livre das latas EA e EU no início e após 365 dias de estocagem nas três condições de temperatura. O conteúdo de oxigênio inicialmente presente no interior dos dois tipos de lata foi reduzido a desprezível durante o período de estocagem de 365 dias nas três temperaturas consideradas, conforme ocorre normalmente em produtos enlatados (CATALÁ, 1985, FAO, 1986). O oxigênio presente no espaço-livre ou no produto age como despolarizante e acelera o processo de corrosão (FAO, 1986). O gás hidrogênio formado na reação catódica se acumula no espaço-livre da embalagem.

TABELA 22. Resultados da concentração relativa de oxigênio e hidrogênio no espaço livre das latas EA e EU contendo ervilha no início e término do período de estocagem nas três temperaturas consideradas⁽¹⁾.

Época/temperatura		Lata EA		Lata EU	
		O ₂	H ₂	O ₂	H ₂
Zero dia	M	12,46		13,33	
	DP	1,57		0,97	
	Mín	9,93	(2)	12,38	(2)
	Máx	13,36		14,31	
365 dias/23°C	M	0,61	4,79	0,76	2,23
	DP	0,17	3,57	0,07	1,44
	Mín	0,48	2,27	0,58	1,30
	Máx	1,00	7,32	0,85	3,90
365 dias/30°C	M	0,54	3,18	0,91	1,80
	DP	0,06	0,20	0,25	0,90
	Mín	0,43	3,00	0,62	1,30
	Máx	0,75	3,69	1,30	3,90
365 dias/35°C	M	0,55	5,24	0,81	2,60
	DP	0,06	3,39	0,15	0,40
	Mín	0,50	2,62	0,61	1,90
	Máx	0,70	11,8	1,20	3,30

M/DP/Mín/Máx: Média/Desvio-padrão/Valor mínimo/Valor máximo

(1) Resultado da determinação em três latas

(2) Resultado abaixo do limite de detecção do equipamento

Verifica-se que na lata com *side stripe* em verniz epóxi-amina, o consumo de oxigênio e a formação de hidrogênio em média foram maiores que na lata com *side stripe* epóxi-uréia, sugerindo que a intensidade de corrosão na primeira apresentou-se maior em relação à última nas latas analisadas. A concentração de oxigênio observada aos 365 dias nas três temperaturas na lata EA é atribuída à sensibilidade do equipamento e ao próprio erro de análise.

A baixa concentração de H_2 no início da estocagem indica que não houve alteração importante, sob o ponto de vista de corrosão, durante o processamento térmico do produto.

Aos 365 dias de estocagem, não se percebe influência importante da temperatura de estocagem nas concentrações de O_2 e H_2 nos dois tipos de lata, o que demonstra não ter ocorrido diferença importante na corrosão interna das latas de ervilha em função da temperatura de estocagem.

Observou-se ainda uma grande variação em resultados individuais, principalmente de concentração de hidrogênio na lata EA, que demonstra a ocorrência de variabilidade acentuada na amostra. Este fato influenciou o desempenho geral deste tipo de lata.

- **Determinação das concentrações de ferro e de estanho no produto**

Os resultados das concentrações de ferro e estanho na ervilha acondicionada nos dois tipos de lata e estocada nas três temperaturas são apresentados nas Tabelas 23 e 24, respectivamente.

TABELA 23. Resultados da determinação da concentração de ferro na ervilha, em mg/kg, em função do tempo de estocagem nas temperaturas de 23, 30 e 35°C⁽¹⁾.

Tempo de estocagem (dias)		Lata EA			Lata EU		
		Temperatura (°C)			Temperatura (°C)		
		23	30	35	23	30	35
0	M	11,17	11,17	11,17	10,71	10,71	10,71
	DP	0,92	0,92	0,92	0,40	0,40	0,40
	Mín.	10,52	10,52	10,52	10,23	10,23	10,23
	Máx.	12,35	12,35	12,35	11,12	11,12	11,12
90	M	12,47	15,08	13,26	13,23	13,56	14,76
	DP	0,26	0,53	0,69	0,67	1,36	0,37
	Mín.	12,19	14,45	12,74	12,38	12,26	14,43
	Máx.	12,75	15,59	14,15	13,71	15,23	15,20
180	M	14,93	14,64	15,72	15,06	16,72	16,79
	DP	0,34	0,59	1,83	1,29	0,43	0,48
	Mín.	14,51	14,18	13,46	13,43	16,41	16,38
	Máx.	15,17	15,39	17,45	16,14	17,25	17,38
270	M	14,25	17,67	14,88	15,86	17,30	16,94
	DP	1,52	0,98	1,78	1,33	0,56	1,17
	Mín.	12,67	16,59	13,02	14,82	16,72	15,60
	Máx.	16,04	18,74	16,97	17,55	17,95	18,19
365	M	18,53	19,24	19,41	19,31	17,77	18,07
	DP	4,45	1,03	3,91	0,98	0,89	0,97
	Mín.	13,78	18,16	14,42	18,05	16,65	17,30
	Máx.	23,67	20,42	22,54	20,01	18,54	19,30

M/DP/Mín/Máx: Média/Desvio-padrão/Valor mínimo/Valor máximo

(1) Resultado de três determinações

TABELA 24. Resultados da determinação da concentração de estanho na ervilha, em mg/kg, em função do tempo de estocagem nas temperaturas de 23, 30 e 35°C⁽¹⁾.

Tempo de estocagem (dias)		Lata EA			Lata EU		
		Temperatura (°C)			Temperatura (°C)		
		23	30	35	23	30	35
0	M	2,51	2,51	2,51	2,57	2,57	2,57
	DP	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10
	Mín.	2,40	2,40	2,40	2,45	2,45	2,45
	Máx.	2,59	2,59	2,59	2,65	2,65	2,65
90	M	1,80	1,90	2,50	1,76	1,99	2,38
	DP	0,27	0,37	0,45	0,20	0,32	0,25
	Mín.	1,43	1,45	1,93	1,63	1,64	2,10
	Máx.	2,09	2,23	2,85	2,00	2,35	2,64
180	M	2,53	2,52	2,46	2,72	1,99	2,18
	DP	0,19	0,12	0,46	0,35	0,23	0,29
	Mín.	2,31	2,45	2,15	2,37	1,77	1,90
	Máx.	2,70	2,64	3,04	3,13	2,28	2,52
270	M						
	DP						
	Mín.	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)
	Máx.						
365	M						
	DP						
	Mín.	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)
	Máx.						

M/DP/Mín/Máx: Média/Desvio-padrão/Valor mínimo/Valor máximo

(1) Resultado de três determinações

(2) Valores abaixo do limite de detecção do equipamento para as condições analíticas utilizadas.

Verifica-se que em ambos os tipos de lata ocorreram desempenhos bastante semelhantes em relação à dissolução de ferro ao longo do tempo de estocagem. Na lata com *side stripe* em verniz epóxi-amina o aumento observado representou 66, 72 e 74% para as temperaturas de 23, 30 e 35°C, respectivamente, em relação à concentração inicial de ferro, que se apresentou muito similar entre os dois tipos de lata. Observa-se, assim, um pequeno efeito da temperatura na aceleração da interação embalagem/produto. Na lata com epóxi-uréia no *side stripe*, entretanto, verificou-se o maior aumento na estocagem a 23°C (80%), enquanto a 30 e 35°C os resultados apresentaram-se bastante semelhantes (aumentos na concentração de 66 e 69%, respectivamente). Estas diferenças devem-se à variabilidade das latas individuais.

Embora não tenha sido quantificado o conteúdo de ferro na ervilha após enlatamento, anteriormente ao processamento térmico, pode-se atribuir à sua composição praticamente a totalidade do teor de ferro observado no início do período de estocagem, uma vez que, pela avaliação visual interna, apenas a eletrossolda

apresentava ligeira alteração. Além disso, verifica-se que a região de soldagem de ambos os tipos de lata sofreu a maior alteração pela avaliação visual (Figuras 22 e 23), confirmando que o aumento da concentração de ferro no produto foi devido à oxidação da região de soldagem.

Em relação ao estanho, pode-se dizer que a concentração permaneceu praticamente constante ao longo do tempo de estocagem para os dois tipos de lata e três temperaturas de estocagem, sendo que a variação encontrada deve-se principalmente à variabilidade da amostra, ou seja, entre unidades de lata, conforme observado por DANTAS *et alii.* (1993). A impossibilidade de determinação da concentração de estanho na ervilha a partir dos 270 dias de estocagem nas diferentes temperaturas pode ser devido à interferência do ferro presente no produto. Os valores apresentaram-se insignificantes quando comparados ao limite estabelecido pela Legislação Brasileira, correspondente a 250mg/kg (ABIA, 1996).

A Figura 29 apresenta a representação gráfica dos valores médios da concentração de ferro e estanho, respectivamente, nas latas com *side stripe* epóxi-amina e epoxi-uréia em função do tempo de estocagem nas três condições de temperatura, que permite melhor visualização dos dados.

A análise de variância a três critérios de classificação mostrou não haver diferença significativa na concentração de ferro entre as amostras e entre as temperaturas de estocagem, ocorrendo variação significativa apenas em função da época de estocagem. Não se observou qualquer interação entre os diferentes fatores considerados. Em relação ao estanho observou-se desempenho idêntico, com a diferença apenas da existência de interação entre o tempo e a temperatura de estocagem.

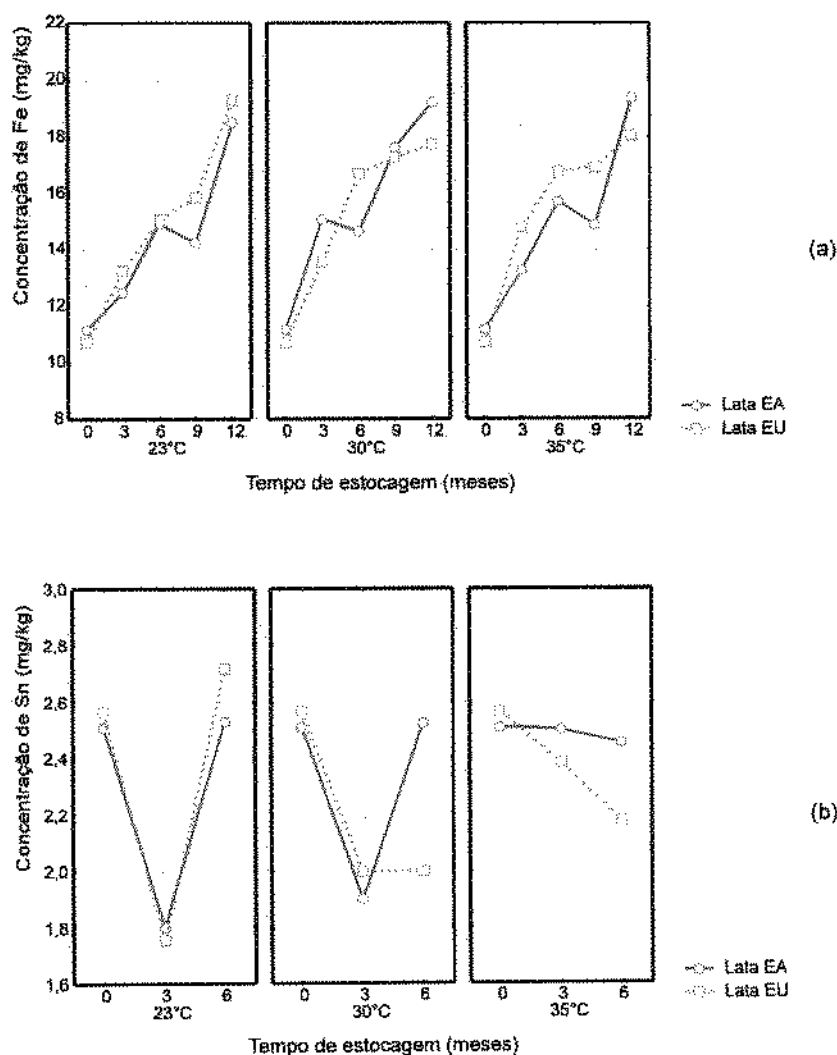


FIGURA 29. Concentração de ferro (a) e de estanho (b) na ervilha acondicionada nas latas EA e EU, em função do tempo de estocagem a 23, 30 e 35°C.

BARBIERI *et alii* (1983) observaram concentração de ferro em ervilha correspondente a 18ppm (ou mg/kg), em estudo de estocagem à temperatura de 20°C pelo período de cerca de um ano, mostrando grande concordância com os dados levantados neste estudo, tendo observado ainda que esta concentração mantém-se constante para períodos mais longos.

A Tabela 25 apresenta as equações de regressão que expressam os ajustes matemáticos para a variação da concentração de ferro ao longo do tempo de estocagem nas três temperaturas estudadas e dois tipos de lata, assim como os respectivos coeficientes de determinação e o nível de significância p_{obs} e a Figura 30 a representação gráfica destas regressões. Observa-se que na lata EA as correlações para os dados a 23 e a 35°C,

embora estatisticamente significativas, são insuficientes para a utilização na previsão da concentração de ferro com base no tempo de estocagem, o mesmo ocorrendo na lata EU para as condições de estocagem de 30 e 35°C.

TABELA 25. Equações relativas à variação da concentração de ferro ([Fe]) na ervilha, em função do tempo de estocagem (t), nos dois tipos de lata e três temperaturas, assim como os coeficientes de determinação e o nível de significância observado (p_{obs}).

Tipo de lata	Temperatura de estocagem	Equação	Coeficiente de determinação R ²	Nível de significância
				p _{obs} (1)
Lata EA	23°C	[Fe] = 10,98 + 0,018 . t	0,8716	0,0204
	30°C	[Fe] = 11,84 + 0,021 . t	0,9137	0,0111
	35°C	[Fe] = 11,28 + 0,020 . t	0,8756	0,0194
Lata EU	23°C	[Fe] = 10,88 + 0,021 . t	0,9683	0,0024
	30°C	[Fe] = 11,67 + 0,020 . t	0,8762	0,0192
	35°C	[Fe] = 12,10 + 0,019 . t	0,8397	0,0206

(1) p_{obs} < 0,05 demonstra que a correlação é estatisticamente significativa

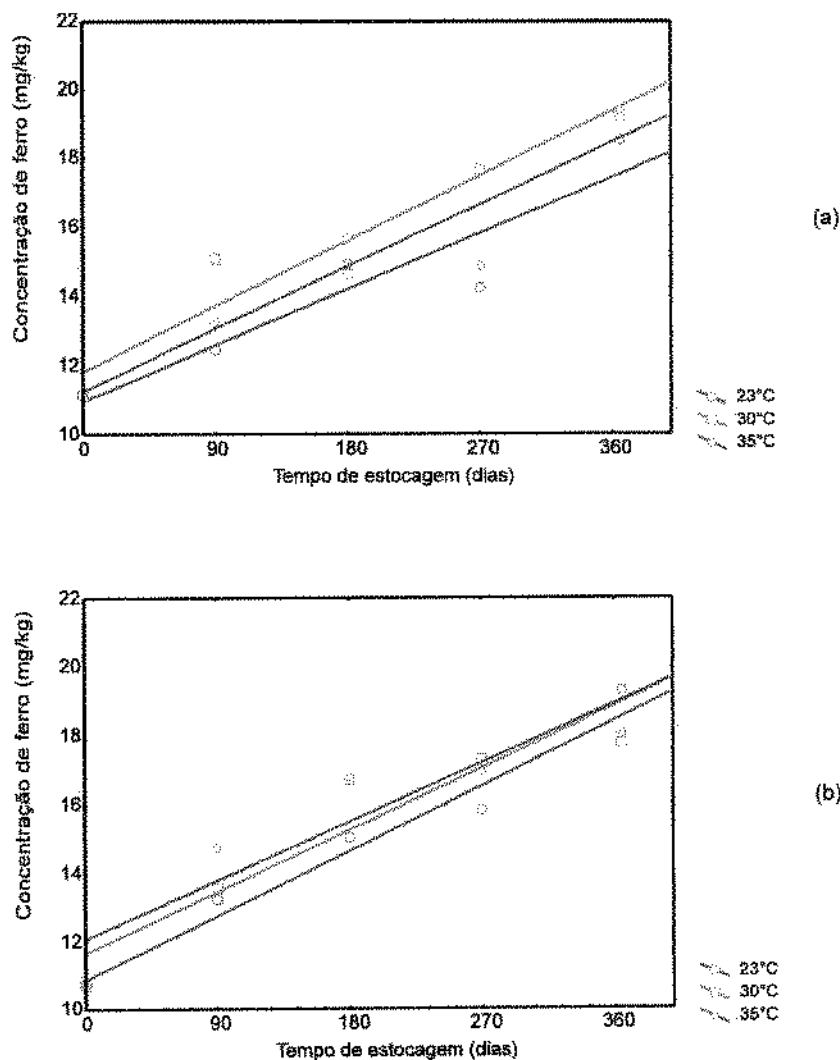


FIGURA 30. Representação gráfica dos valores médios observados (pontos) e das regressões matemáticas (curva) da concentração de ferro na ervilha acondicionada na lata EA (a) e EU (b), em função do tempo de estocagem a 23, 30 e 35°C.

Nas latas EA e EU verificou-se a tendência natural de aumento da velocidade de reação com o aumento da temperatura de estocagem, conforme descrito por vários autores (BRITTON, 1975, MANNHEIM, 1986, MARSAL, 1991), embora em pequena intensidade, devido à própria variação na condição interna entre unidades de lata e principalmente à pequena interação observada, ou seja, baixa velocidade de reação. A variação no pH e na acidez sugere a possibilidade de desenvolvimento de bactérias produtoras de acidez plana, embora a confirmação e explicação do efeito da temperatura somente seria possível numa abordagem específica. Os valores de ferro no final da estocagem apresentaram-se bastante próximos entre os tipos de lata e temperaturas, demonstrando que o melhor efeito de proteção da costura eletrossoldada conferido pelo verniz

epóxi-amina, confirmado pela avaliação da porosidade interna, não refletiu em melhoria importante de desempenho das latas, sendo assim dispensável a alteração do verniz normalmente em uso.

Além disso, a proteção em relação à ocorrência de sulfuração foi suficiente em ambas as latas, uma vez que não se observou formação de manchas internas no corpo ou na região de soldagem nos dois tipos de lata.

Comparando-se os resultados de composição gasosa, de avaliação visual interna do *side stripe* e da concentração de ferro, verifica-se que a composição gasosa indica maior interação produto/embalagem na lata EA em relação à lata EU, enquanto os parâmetros restantes mostram desempenhos semelhantes ou inversos. Este fato deve ter sido causado pelo nível de vácuo inicial ligeiramente menor na lata EA e/ou pela influência da diferença no corpo da lata, além do *side stripe*.

Em resumo, os dois tipos de embalagem apresentaram desempenhos semelhantes e pequena intensidade de reação com a ervilha, sendo que o ponto crítico foi a região de soldagem, demonstrando que um rígido controle de qualidade da solda e a aplicação adequada do verniz (*side stripe*) são fundamentais para a manutenção da qualidade do produto.

4.2.2 Extrato de tomate

4.2.2.1 Caracterização das embalagens

A Tabela 26 apresenta os resultados da caracterização das latas com *side stripe* em verniz epóxi-amina (EA) e em verniz epóxi-uréia (EU) para acondicionamento de extrato de tomate. As Figuras 31 e 32 apresentam os espectros de absorção na região do infravermelho do verniz do corpo, fundo e região de soldagem das latas EA e EU, respectivamente, cuja identificação foi baseada na comparação com espectros-padrão dos diferentes vernizes.

TABELA 26. Características das embalagens utilizadas no acondicionamento de extrato de tomate, identificadas como EA (epóxi-amina) e EU (epóxi-uréia).

Determinações		Tipo de lata	
		Lata EA	Lata EU
Descrição		Lata cilíndrica de 3 peças com soldagem elétrica <i>Superwima</i>	Lata cilíndrica de 3 peças com soldagem elétrica <i>Superwima</i>
Material metálico	Corpo Fundo ⁽¹⁾	FL FCR	FL FCR
Camada de revestimento (I/E) ($\bar{x} \pm \sigma_x$)	Corpo (g/m ²) (4) Fundo (mg/m ²) ⁽¹⁾ (3)	7,81±0,28/ 4,57±0,11 71,3±3,4/ 67,1±2,2	4,80±0,13/ 4,20±0,39 71,3±3,4/ 67,1±2,2
Espessura (mm) ($\bar{x} \pm \sigma_x$) (5)	Corpo Fundo ⁽¹⁾	0,211±0,022 0,210±0,022	0,214±0,023 0,208±0,022
Dureza Superficial Rockwell 30T ($\bar{x} \pm \sigma_x$) (5)	Corpo Fundo ⁽¹⁾	65,0 ± 0,14 67,4 ± 0,29	63,0 ± 0,3 65,7 ± 0,22
Camada seca de verniz interno (g/m ²) ($\bar{x} \pm \sigma_x$) (3)	Corpo Solda Fundo ⁽¹⁾	13,34±0,51 9,32±0,31 8,87±1,16	4,62±0,11 6,25±0,50 5,18±0,92
Aderência de verniz (Grau) (3)	Corpo Fundo ⁽¹⁾ Solda	G0 - G1 G0 G0 - G1	G0 G0 G0
Grau de cura do verniz (3)	Corpo Fundo ⁽¹⁾ Solda	Boa Boa Boa	Boa Boa Boa
Identificação do verniz (2)	Corpo Fundo ⁽¹⁾ Solda	OR OR EA	EF OR EU

OR - verniz oleorresinoso

EU - verniz epóxi-uréia

EA - verniz epóxi-amina

EF - verniz epóxi-fenólico

FL - folha-de-flandres

FCR - folha cromada

I/E - interno/externo

($\bar{x} \pm \sigma_x$) - média ± erro padrão da média

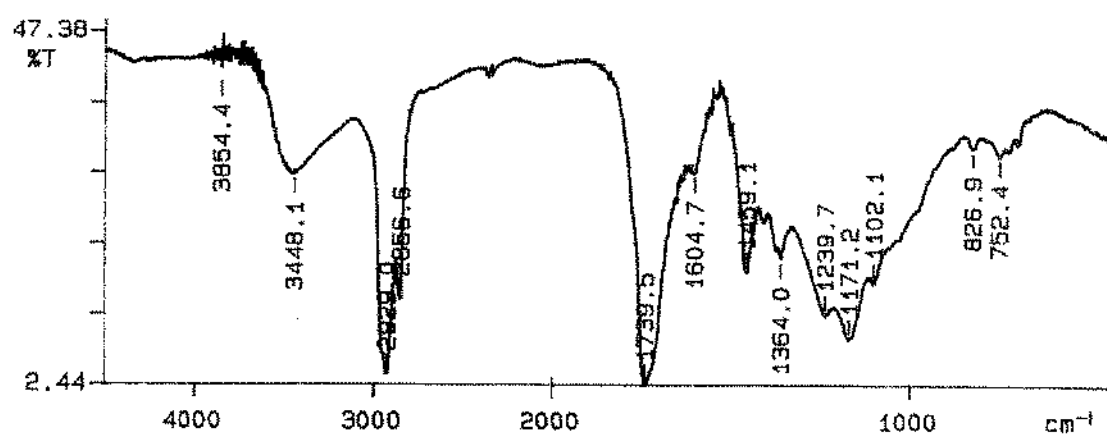
(1) - fundo e tampa

(2) - resultado de 2 determinações

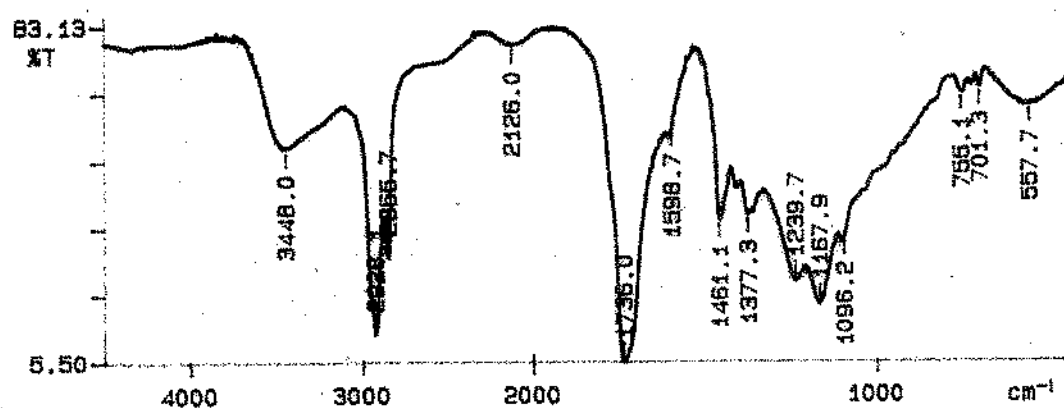
(3) - resultado de 3 determinações

(4) - resultado de 6 determinações

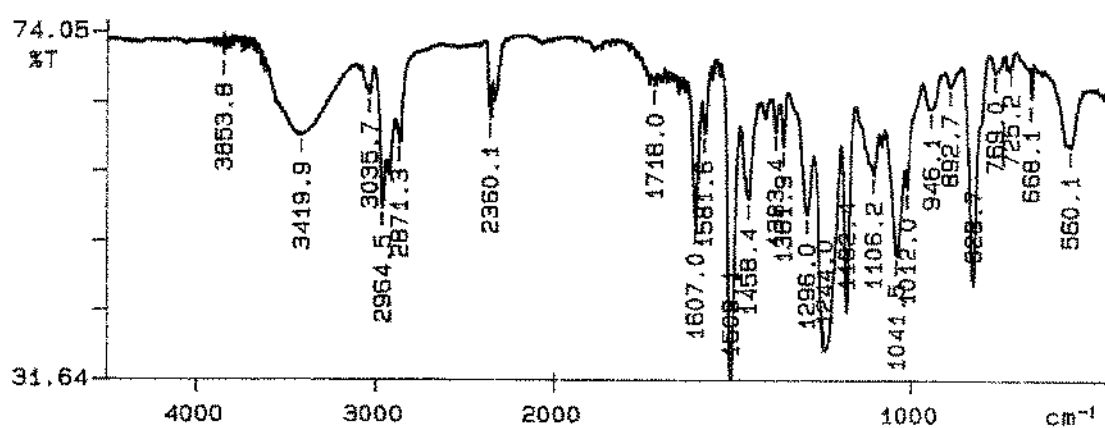
(5) - resultado de 10 determinações



a)



b)



c)

FIGURA 31. Espectros de absorção na região do IV dos vernizes do corpo (a), tampa/fundo (b) e eletrossolda (c) da lata EA de extrato de tomate.

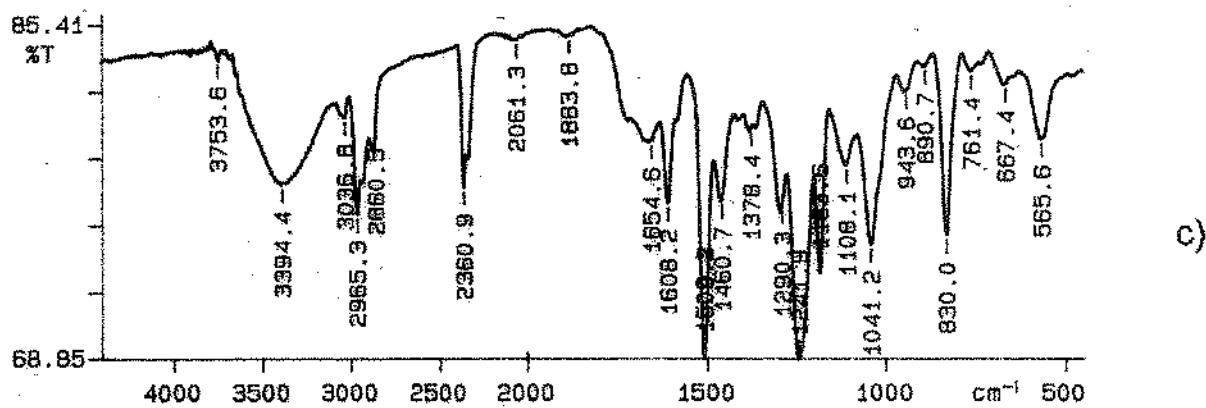
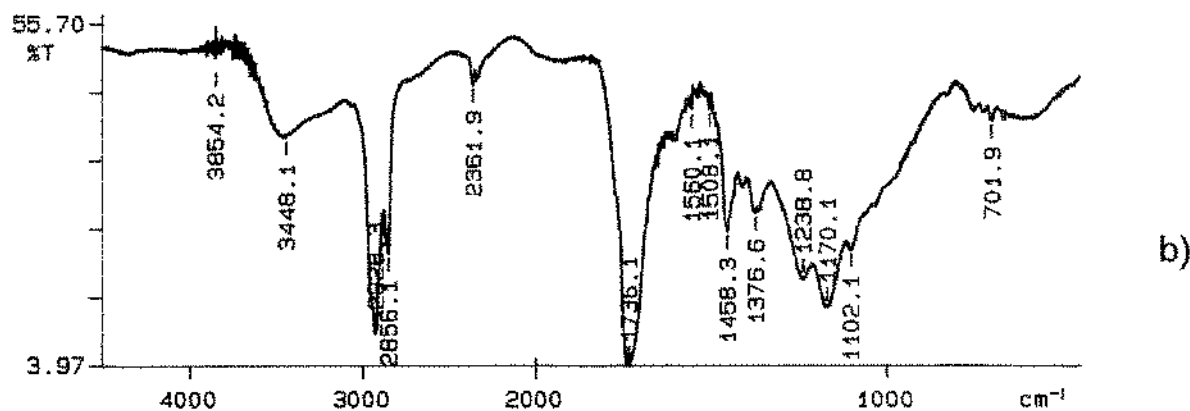
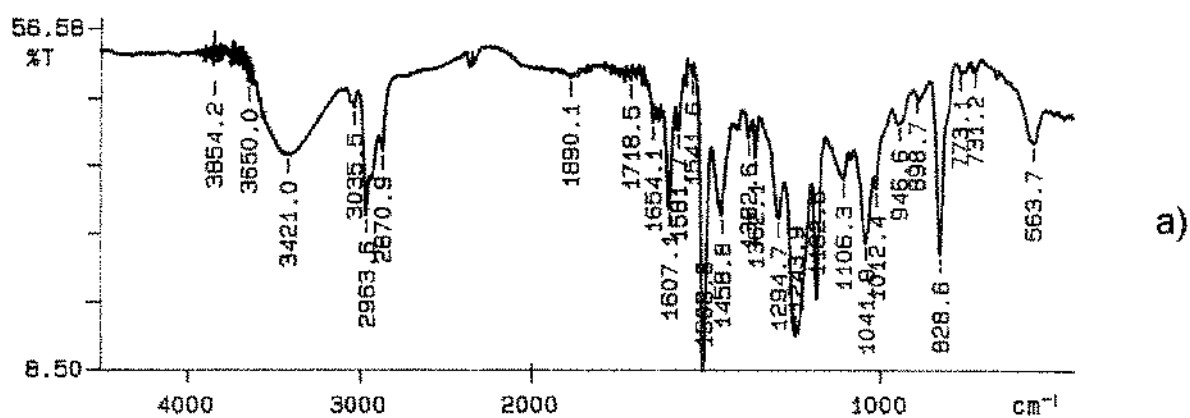


FIGURA 32. Espectros de absorção na região do IV dos vernizes do corpo (a), tampa/fundo (b) e eletrossolda (c) da lata EU de extrato de tomate.

As folhas-de-flandres do corpo dos dois tipos de latas para extrato de tomate apresentaram diferença na face interna; os revestimentos nominais das latas EA e EU eram do tipo D8,4/5,6 e E5,6/5,6, respectivamente (ABNT, 1995). Também o revestimento orgânico aplicado internamente nas diferentes partes apresentaram diferenças em relação ao tipo e à camada, demonstrando que, embora a especificação estabelecida para as duas latas previsse variação apenas no envernizamento da eletrossolda, as embalagens fornecidas para o estudo mostraram outras diferenças, as quais foram mantidas, uma vez que o estudo encontrava-se em andamento.

A maior camada de verniz presente na lata EA fornece maior proteção contra a corrosão a esta lata, uma vez que a intensidade de corrosão varia inversamente à espessura do verniz (MARSAL, 1991). Por outro lado, o verniz do corpo da lata EU, o epóxi-fenólico, devido à sua menor permeabilidade a íons, apresenta desempenho superior ao óleoresinoso aplicado na lata EA.

A Figura 33 apresenta diagramas de distribuição por frequência para a porosidade do verniz interno nas latas para acondicionamento de extrato de tomate, onde se verifica que a lata com *side stripe* epóxi-amina apresenta maior frequência de latas com faixas de correntes mais baixas em relação à lata com *side stripe* epóxi-uréia, o que demonstra uma melhor proteção do envernizamento na primeira. Comparando-se este resultado com as diferenças na camada de verniz interno, observa-se a influência da espessura do verniz na porosidade.

Entretanto, o efeito da porosidade varia conforme o produto. Segundo REZNIC (1990), baixos revestimentos de estanho têm desempenho melhor que a alta estanhagem, quando se utiliza o mesmo verniz em latas para produtos de tomate, conforme verificado em estudo com materiais com porosidades similares.

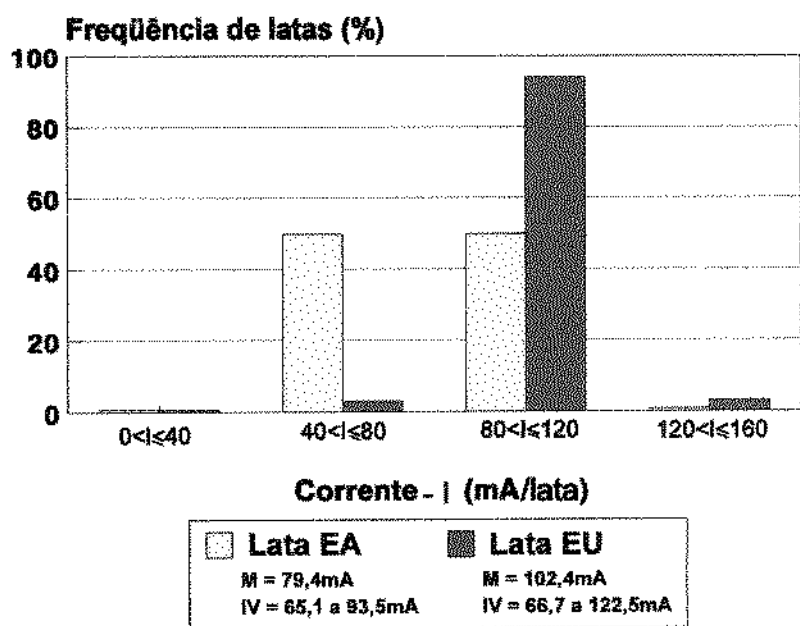


FIGURA 33. Diagramas de distribuição de frequência para a corrente determinada no ensaio de porosidade das latas EA e EU para acondicionamento de extrato de tomate. Resultado de 50 unidades.

As Tabelas 27 e 28 apresentam os resultados da avaliação da recravação da tampa e do fundo das latas de extrato de tomate EA e EU, respectivamente, assim como os valores mínimo e máximo sugeridos por DANTAS *et alii* (1996). Estes padrões baseiam-se em especificações internacionais para a recravação e da própria experiência resultante de diferentes avaliações. Verifica-se, nos dois tipos de lata, a ocorrência de dimensões médias adequadas, não se identificando qualquer problema crítico, embora ocorram alguns valores individuais em discordância com o intervalo. Nas recravações da tampa e do fundo da lata EA e do fundo da lata EU não existe risco de comprometimento da integridade do fechamento da lata em função destas variações, enquanto na recravação da tampa da lata EU a existência de embalagens com baixa sobreposição relativa (SR) e baixa compactação (C) pode vir a estar relacionada a este tipo de problema.

TABELA 27. Parâmetros determinados e calculados para a recravação da tampa e do fundo da lata de extrato de tomate EA e padrões sugeridos⁽¹⁾.

		GC	GT	HT	ER	SL	PR	SR	EGC	C	A
TAMPA	M	2,223	1,819	2,97	1,33	1,336		57,2	87,4	79,5	
	DP	0,039	0,064	0,07	0,05	0,106		6,7	2,2	2,8	
	Mín.	2,189	1,757	2,86	1,25	1,189		48,9	84,4	76,8	
	Máx.	2,291	1,939	3,06	1,37	1,514		69,2	90,4	84,2	
FUNDO	M	2,171	1,941	3,04	1,28	1,366	3,27	55,8	82,8	82,1	80
	DP	0,062	0,045	0,03	0,02	0,052	0,05	2,4	1,7	1,0	0
	Mín.	2,095	1,858	2,98	1,26	1,277	3,21	52,0	81,4	80,9	80
	Máx.	2,264	1,993	3,07	1,30	1,432	3,34	59,2	85,9	83,5	80
PADRÃO	Mín.	1,78	1,78	2,70		1,00	3,00	45	70	75	70
	Máx.	2,11	2,11	3,10			3,30				

M/DP/M in./Máx.: Média/Desvio-Padrão/Valor mínimo/Valor máximo

GC - gancho do corpo (mm)

PR - profundidade do rebaixo (mm)

GT - gancho da tampa (mm)

SR - sobreposição relativa (%)

HT - comprimento da recravação (mm)

EGC - enganchamento do gancho do corpo (%)

ER - espessura da recravação (mm)

C - compactação (%)

SL - sobreposição linear (mm)

A - aperto (%)

(1) resultado de 6 determinações

TABELA 28. Parâmetros determinados e calculados para a recravação da tampa e do fundo da lata de extrato de tomate EU e padrões sugeridos⁽¹⁾.

		GC	GT	HT	ER	SL	PR	SR	EGC	C	A
TAMPA	M	2,228	1,814	3,00	1,36	1,336		55,2	86,4	77,6	
	DP	0,026	0,111	0,06	0,04	0,157		8,4	2,2	2,5	
	Mín.	2,203	1,649	2,94	1,31	1,068		44,3	83,7	73,6	
	Máx.	2,264	1,919	3,10	1,43	1,473		64,3	89,0	80,3	
FUNDO	M	2,233	1,918	3,04	1,25	1,371	3,32	57,0	85,1	83,9	80
	DP	0,064	0,019	0,09	0,02	0,109	0,02	6,3	3,8	1,0	0
	Mín.	2,142	1,892	2,90	1,24	1,176	3,28	47,3	78,2	82,8	80
	Máx.	2,331	1,939	3,13	1,27	1,473	3,35	65,4	88,8	84,8	80
PADRÃO	Mín.	1,78	1,78	2,70		1,00	3,00	45	70	75	70
	Máx.	2,11	2,11	3,10			3,30				

M/DP/M in./Máx.: Média/Desvio-Padrão/Valor mínimo/Valor máximo

GC - gancho do corpo (mm)

PR - profundidade do rebaixo (mm)

GT - gancho da tampa (mm)

SR - sobreposição relativa (%)

HT - comprimento da recravação (mm)

EGC - enganchamento do gancho do corpo (%)

ER - espessura da recravação (mm)

C - compactação (%)

SL - sobreposição linear (mm)

A - aperto (%)

(1) resultado de 6 determinações

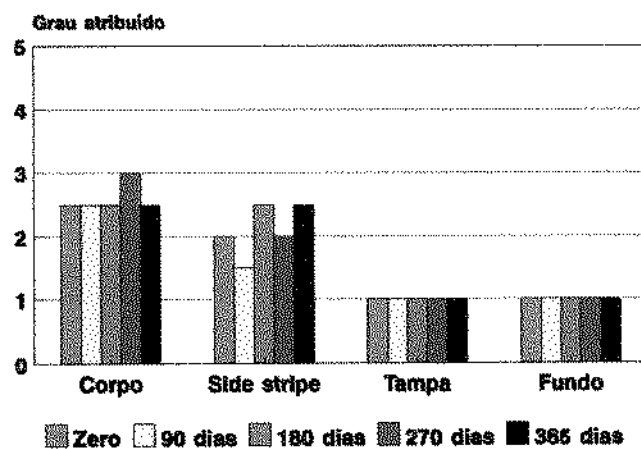
4.2.2.2 Avaliações periódicas

- Avaliação visual interna das latas

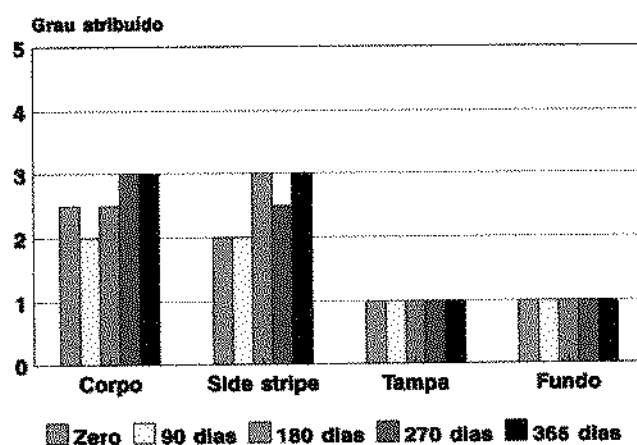
No acondicionamento de extrato de tomate, as regiões mais críticas da lata, em relação à interação com o produto, foram o corpo e o *side stripe*, como pode ser observado nas Figuras 34 e 35 para as latas com *side stripe* em epóxi-amina e epóxi-uréia, respectivamente, tendo sido atingido o limite de aceitação quanto ao aspecto interno do corpo aos 270 dias, na temperatura de estocagem de 23°C, para os dois tipos de lata. Na lata com *side stripe* epóxi-amina, nas condições de estocagem de 30 e 35°C, também se observou o mesmo desempenho, ou seja, o limite de aceitação foi atingido pelo corpo na avaliação aos 270 dias de estocagem, enquanto a 30°C o *side stripe* atingiu o limite de aceitação aos 180 dias. A lata EU mostrou o efeito gradativo do tempo na perda da qualidade visual da lata, na qual verificou-se condição inaceitável quanto ao aspecto interno do corpo aos 180 dias e aos 90 dias para a estocagem a 30 e 35°C, respectivamente. Avaliando-se detalhadamente o *side stripe* dos dois tipos de lata, verifica-se que a lata com resina epóxi-amina apresentou, em geral, melhor desempenho que a lata com epóxi-uréia. As tampas e fundos permaneceram praticamente inalteradas em ambas as amostras e nas três condições de temperatura de estocagem estudadas.

Estes resultados, quando comparados com a especificação da lata, mostram a influência positiva da maior camada de verniz aplicada na lata EA e, portanto, menor porosidade do verniz, na redução da interação lata/produto. Em ambos os tipos de lata observou-se o efeito do aumento da temperatura de estocagem na aceleração da velocidade de reação entre o extrato de tomate e a embalagem, conforme descrito na literatura (LOPEZ, 1987, MANNHEIM, 1986).

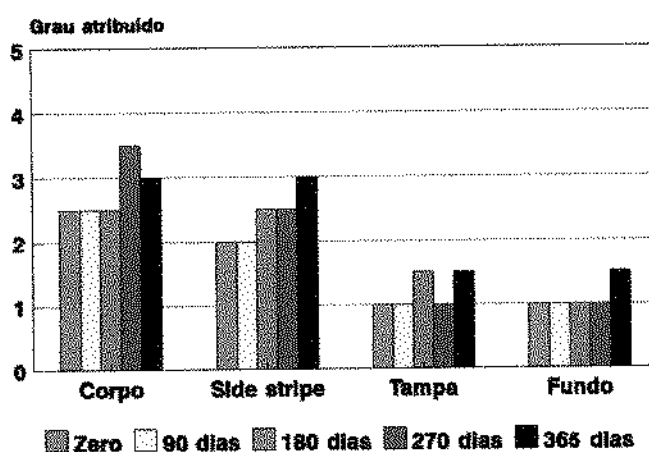
A alteração da superfície interna do corpo das latas de extrato de tomate mostrou a ocorrência de corrosão subpelicular, ou seja, houve dissolução do estanho a partir das descontinuidades do verniz, caracterizada pela formação de manchas escuras, e o seu conseqüente destacamento (MARSAL, 1991). Entretanto, na região de soldagem, a alteração da superfície mostrou que houve a corrosão do aço.



a) 23°C

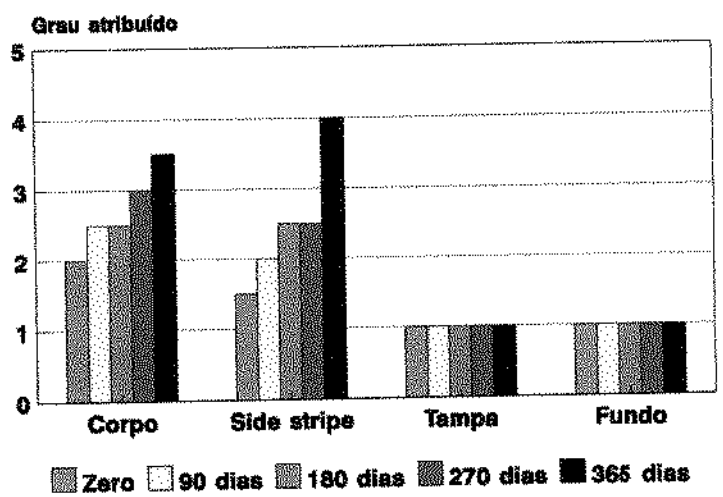


b) 30°C

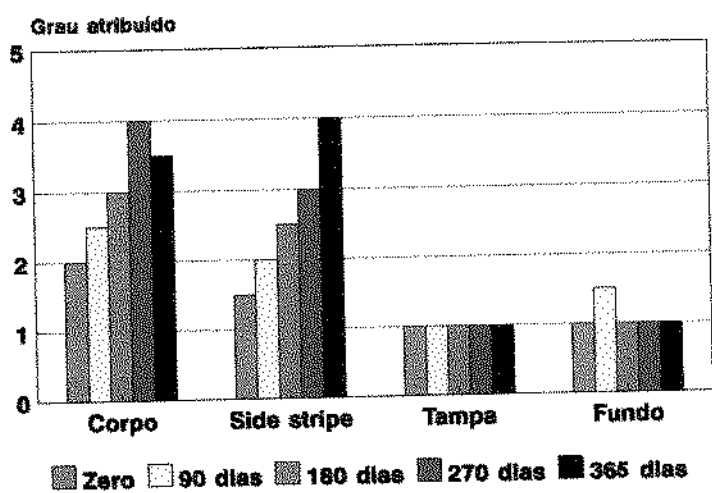


c) 35°C

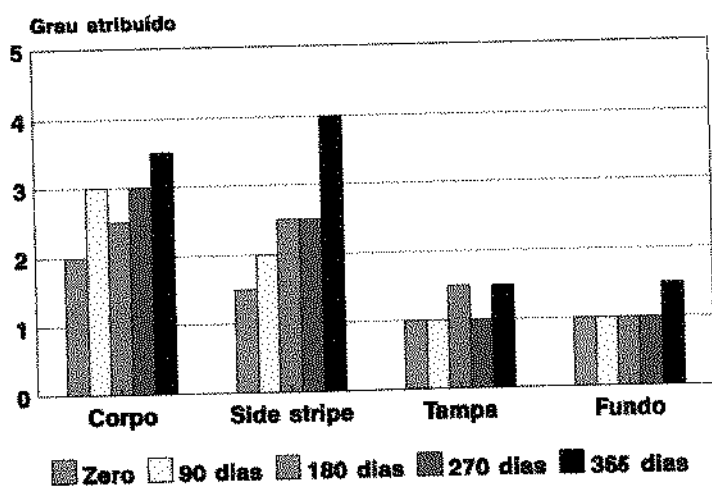
FIGURA 34. Graus médios atribuídos na avaliação visual das latas EA contendo extrato de tomate: (a) estocagem a 23°C, (b) estocagem a 30°C e (c) estocagem a 35°C.



a) 23°C



b) 30°C



c) 35°C

FIGURA 35. Graus médios atribuídos na avaliação visual das latas EU contendo extrato de tomate: (a) estocagem a 23°C, (b) estocagem a 30°C e (c) estocagem a 35°C.

- **Nível de pressão interna na embalagem**

A Tabela 29 apresenta os resultados do nível de pressão interna nos dois tipos de lata em estudo contendo extrato de tomate e estocadas nas três condições de temperatura. Observa-se que a lata EA apresentava vácuo muito inferior ao da lata EU no início da estocagem, evidenciando a ocorrência de alguma variação de processo que não foi detectada a tempo de ser controlada (MANNHEIM, 1986).

O nível de vácuo e o teor de oxigênio no interior da lata dependem da efetividade da exaustão e da temperatura de fechamento; sua influência na vida-de-prateleira dos alimentos tem sido verificada por alguns autores. HIRST & ADAM (citado por FAO..., 1986) mostraram que a omissão da exaustão resultou em reduções de 1/3 e praticamente 2/3 na vida-de-prateleira de *loganberries* e ameixas, respectivamente. LOPES (citado por FAO..., 1986) mostrou que a velocidade de corrosão em latas com diferentes níveis de espaço-livre e vácuo variou em proporção direta com o tamanho do espaço-livre e na proporção inversa com o vácuo. Assim, o menor nível inicial de vácuo deve ter influenciado o desempenho deste sistema (lata EA/extrato de tomate).

Verifica-se na lata com *side stripe* em verniz epóxi-amina o efeito acelerador da temperatura de estocagem na perda de vácuo nas embalagens, o mesmo ocorrendo na lata com verniz epóxi-uréia. A comparação entre os dois tipos de lata em cada temperatura de estocagem foi prejudicada pela diferença no nível inicial de vácuo, menor na embalagem com verniz epóxi-amina.

A lata com *side stripe* epóxi-amina apresentou pressão interna positiva a partir dos 365, 270 e 180 dias para as temperaturas de estocagem de 23, 30 e 35°C, respectivamente. Na lata EU, apenas na estocagem a 35°C observou-se ocorrência de pressão interna positiva, a partir dos 270 dias de estocagem. Este fato foi bastante influenciado pela condição diferente no vácuo inicial entre as duas amostras, não significando, necessariamente, que a qualidade da lata EA fosse inferior.

TABELA 29. Resultados de pressão interna, em centímetros de mercúrio, no extrato de tomate acondicionado em latas EA e EU, em função do tempo de estocagem à temperatura de 23, 30 e 35°C*.

Tempo de estocagem (dias)		Lata EA			Lata EU		
		Temperatura (°C)			Temperatura (°C)		
		23	30	35	23	30	35
0	M	-10,2	-10,2	-10,2	-19,6	-19,6	-19,6
	DP	-2,54	-2,54	-2,54	-1,47	-1,47	-1,47
	Min.	-12,7	-12,7	-12,7	-20,3	-20,3	-20,3
	Máx.	-7,6	-7,6	-7,6	-17,8	-17,8	-17,8
90	M	-14,5	-17,0	-9,7	-22,1	-14,5	-12,2
	DP	-1,47	-1,47	-4,09	-3,89	-3,89	-0,74
	Min.	-15,2	-17,8	-12,7	-25,4	-17,8	-12,7
	Máx.	-12,7	-15,2	-5,08	-17,8	-10,2	-11,4
180	M	-12,7	-9,4	10,4	-18,3	-7,6	-5,1
	DP	0,00	-3,05	2,64	-2,64	-4,39	-2,54
	Min.	-12,7	-12,7	7,9	-20,3	-10,2	-7,6
	Máx.	-12,7	-7,6	13,2	-15,2	-2,5	-2,5
270	M	-4,3	4,3	27,9	-4,3	-3,8	35,1
	DP	-1,47	2,54	6,05	-2,64	-1,27	-15,21
	Min.	-5,1	1,27	21,1	-6,4	-5,1	26,4
	Máx.	-2,5	6,35	31,5	-1,3	-2,5	52,6
365	M	11,4	17,5	43,9	-9,4	-9,7	36,1
	DP	8,48	6,05	3,05	-8,92	-3,20	3,99
	Min.	5,3	10,4	42,2	-17,8	-12,7	31,5
	Máx.	21,1	21,3	47,5	0,0	-6,4	39,4

M/DP/Min/Máx: Média/Desvio-padrão/Valor mínimo/Valor máximo

* Resultado de três determinações

A análise de variância dos dados a três critérios de classificação mostrou que existe diferença significativa entre as duas amostras, entre as épocas e as temperaturas de estocagem. A Figura 36 apresenta os diagramas de médias de pressão interna em função dos efeitos principais (amostra, época e temperatura) e seus respectivos intervalos de confiança ao nível de 95%. Verifica-se um aumento progressivo no nível de pressão interna das latas ao longo do tempo de estocagem e o efeito positivo do aumento da temperatura no aumento da pressão interna, ou seja, da perda do nível de vácuo.

A avaliação dos dados de pressão interna por meio de diagramas tipo “Box and Whisker” em função da amostra permitiu verificar a ocorrência de muitos pontos atípicos na lata EU, ou seja, ocorrência de alguns valores individuais de pressão interna muito diferentes do valor médio, o que demonstra ter havido grande variabilidade na amostra.

Observou-se, ainda, a ocorrência de interações entre os diferentes fatores, exceção feita à combinação amostra e temperatura.

MAHADEVIAH *et alii* (1983) estudaram o desempenho de um tipo de lata eletrossoldada sem verniz interno no corpo e com verniz aplicado na costura eletrossoldada para acondicionamento de concentrado de tomate, avaliando o vácuo, a aparência visual interna e o sabor após processamento e após 3, 9 e 12 meses de estocagem em temperatura ambiente (25-30) e 37°C, tendo observado aos 12 meses redução de 70% no nível de vácuo em relação ao valor inicial à temperatura ambiente e ocorrência de estufamento à temperatura de 37°C, neste caso observado a partir de 9 meses. Em relação à alteração interna, as latas apresentavam no final do período de estocagem forte alteração da superfície do corpo e *side stripe* intacto.

Comparando esses dados com os observados neste estudo, verifica-se desempenho muito similar ao da lata EU.

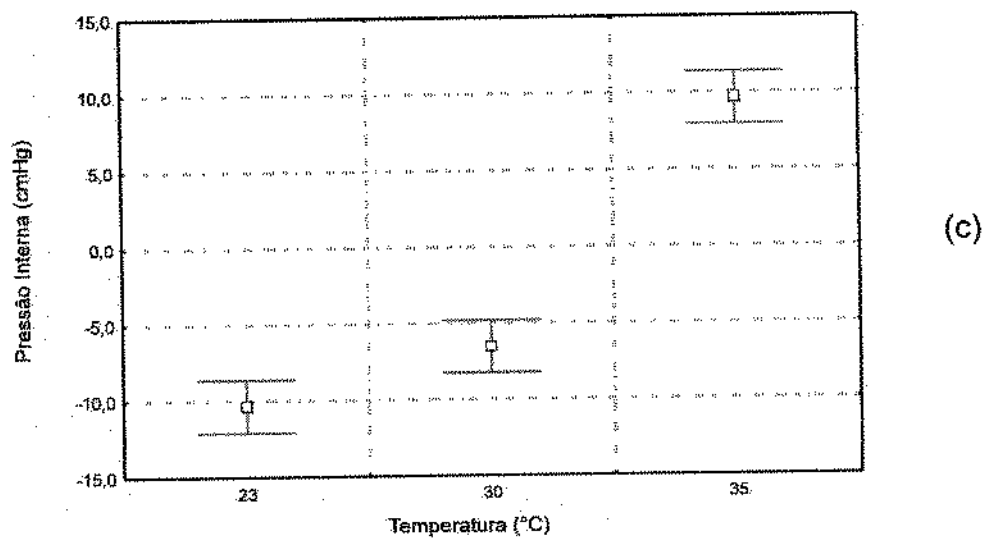
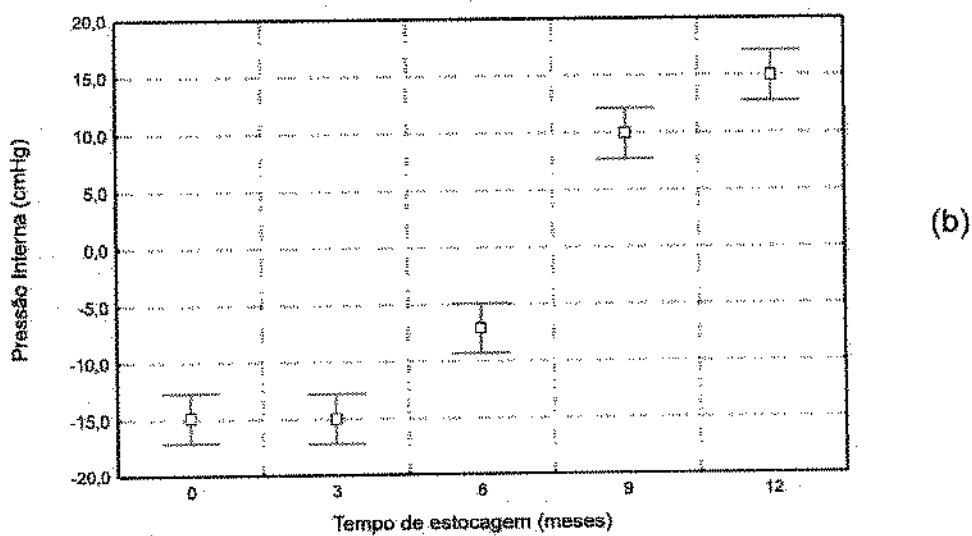
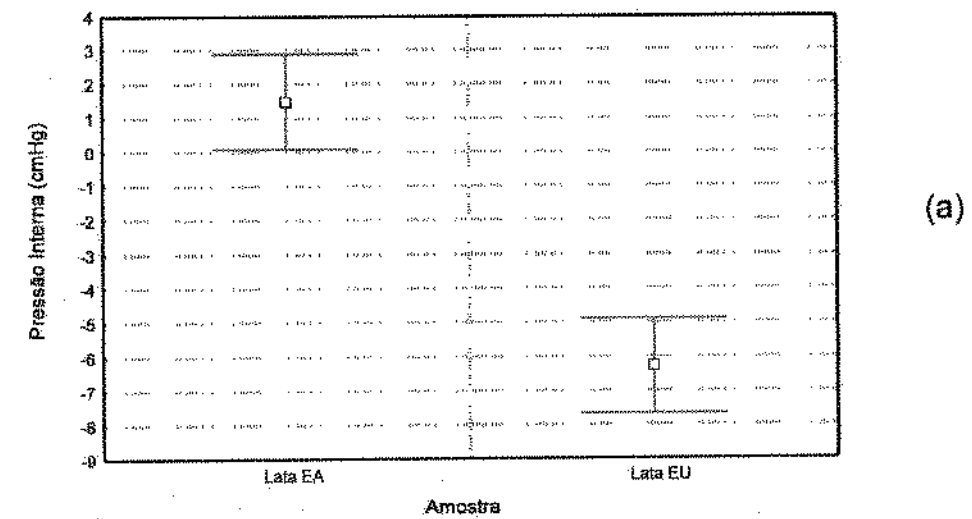


FIGURA 36. Diagramas de intervalos das médias dos valores de pressão interna e seus intervalos de confiança nas latas de extrato de tomate em função de: (a) tipo de lata, (b) época de estocagem, (c) temperatura de estocagem.

- **Determinação do pH, da acidez e dos sólidos solúveis do extrato de tomate**

As Tabelas 30 a 32 apresentam os resultados de pH, acidez e teor de sólidos solúveis, respectivamente, no extrato de tomate acondicionado nos dois tipos de lata, por 365 dias, em condições de temperatura de 23, 30 e 35°C. Verifica-se a ocorrência de aumento no valor de pH, tendo apresentado diferença significativa entre as duas amostras, entre as três condições de temperatura e entre as épocas de estocagem. A Figura 37 apresenta diagramas de intervalos das médias de pH para estes três fatores de influência. Verifica-se, entretanto, que a variação do pH em função da época de estocagem para cada amostra e temperatura não obedece a uma tendência única, mostrando que provavelmente seja decorrente principalmente da variabilidade da amostra e do erro experimental. O mesmo se observa na comparação dos resultados para as diferentes temperaturas estudadas, onde se observa que o aumento da temperatura resultou em menor variação do pH em relação ao valor inicial. A análise de variância dos dados referentes a cada embalagem a dois critérios de classificação confirmou a mesma influência dos fatores principais (tempo e temperatura), o que demonstra que a variação do pH não é um fator discriminatório na verificação de desempenho de embalagens para acondicionamento de extrato de tomate. Todos os fatores verificados (amostra, época e temperatura de estocagem) interagiram entre si quanto ao pH.

TABELA 30. Resultados do pH no extrato de tomate acondicionado em latas com *side stripe* em verniz epóxi-amina e em verniz epóxi-uréia, em função do tempo de estocagem à temperatura de 23, 30 e 35°C.*

Tempo de estocagem (dias)		Lata EA			Lata EU		
		Temperatura (°C)			Temperatura (°C)		
		23	30	35	23	30	35
0	M	3,80	3,80	3,80	3,83	3,83	3,83
	DP	0,00	0,00	0,00	0,15	0,15	0,15
	Mín.	3,80	3,80	3,80	3,70	3,70	3,70
	Máx.	3,80	3,80	3,80	4,00	4,00	4,00
90	M	4,10	4,20	4,07	4,13	4,17	4,03
	DP	0,00	0,00	0,06	0,06	0,03	0,06
	Mín.	4,10	4,20	4,00	4,10	4,15	4,00
	Máx.	4,10	4,20	4,10	4,20	4,20	4,10
180	M	3,97	3,23	3,33	3,37	2,70	3,72
	DP	0,18	0,38	0,12	0,23	0,17	0,03
	Mín.	3,80	2,80	3,20	3,10	2,50	3,70
	Máx.	4,15	3,50	3,40	3,50	2,80	3,75
270	M	4,50	4,50	4,40	4,50	4,40	4,40
	DP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Mín.	4,50	4,50	4,40	4,50	4,40	4,40
	Máx.	4,50	4,50	4,40	4,50	4,40	4,40
365	M	4,12	4,08	4,00	4,03	4,02	3,93
	DP	0,03	0,03	0,00	0,03	0,03	0,06
	Mín.	4,10	4,05	4,00	4,00	4,00	3,90
	Máx.	4,15	4,10	4,00	4,05	4,05	4,00

M/DP/Mín/Máx: Média/Desvio-padrão/Valor mínimo/Valor máximo

* Resultado de três determinações

TABELA 31. Resultados de acidez em g de ácido cítrico em 100g de amostra, no extrato de tomate acondicionado em latas EA e EU, em função do tempo de estocagem à temperatura de 23, 30 e 35°C*.

Tempo de estocagem (dias)		Lata EA			Lata EU		
		23	30	35	23	30	35
0	M	0,963	0,963	0,963	0,936	0,936	0,936
	DP	0,030	0,030	0,030	0,013	0,013	0,013
	Mín.	0,932	0,932	0,932	0,921	0,921	0,921
	Máx.	0,992	0,992	0,992	0,946	0,946	0,946
90	M	0,916	0,901	0,916	0,929	0,932	0,940
	DP	0,008	0,004	0,015	0,015	0,006	0,003
	Mín.	0,911	0,897	0,901	0,914	0,927	0,937
	Máx.	0,926	0,905	0,931	0,945	0,939	0,943
180	M	0,954	0,941	1,019	0,954	0,968	0,997
	DP	0,010	0,009	0,020	0,007	0,008	0,003
	Mín.	0,942	0,931	0,996	0,949	0,960	0,996
	Máx.	0,962	0,949	1,033	0,961	0,976	1,001
270	M	0,875	0,904	0,938	0,898	0,928	0,943
	DP	0,007	0,008	0,008	0,011	0,015	0,008
	Mín.	0,868	0,895	0,929	0,890	0,917	0,935
	Máx.	0,882	0,910	0,943	0,911	0,946	0,951
365	M	0,920	0,939	0,976	0,943	0,955	0,989
	DP	0,015	0,022	0,007	0,008	0,005	0,005
	Mín.	0,910	0,925	0,970	0,935	0,950	0,984
	Máx.	0,937	0,965	0,983	0,951	0,960	0,993

M/DP/Mín/Máx: Média/Desvio-padrão/Valor mínimo/Valor máximo

* Resultado de três determinações

TABELA 32. Resultados do conteúdo de sólidos solúveis em graus Brix no extrato de tomate acondicionado em latas EA e EU, em função do tempo de estocagem à temperatura de 23, 30 e 35°C*.

Tempo de estocagem (dias)		Lata EA			Lata EU		
		23	30	35	23	30	35
0	M	18,13	18,13	18,13	17,96	17,96	17,96
	DP	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
	Mín.	17,80	17,80	17,80	17,80	17,80	17,80
	Máx.	18,20	18,20	18,20	18,30	18,30	18,30
90	M	18,22	18,22	18,22	18,22	18,22	18,22
	DP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Mín.	18,22	18,22	18,22	18,22	18,22	18,22
	Máx.	18,22	18,22	18,22	18,22	18,22	18,22
180	M	18,28	18,28	18,28	18,28	18,28	18,28
	DP	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
	Mín.	17,95	17,95	17,95	17,95	17,95	17,95
	Máx.	18,45	18,45	18,45	18,45	18,45	18,45
270	M	17,95	17,95	17,95	17,95	17,95	17,95
	DP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Mín.	17,95	17,95	17,95	17,95	17,95	17,95
	Máx.	17,95	17,95	17,95	17,95	17,95	17,95
365	M	18,28	18,45	18,45	18,45	18,45	18,45
	DP	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Mín.	17,95	18,45	18,45	18,45	18,45	18,45
	Máx.	18,45	18,45	18,45	18,45	18,45	18,45

M/DP/Mín/Máx: Média/Desvio-padrão/Valor mínimo/Valor máximo
 * Resultado de três determinações. Valores corrigidos para a temperatura de 20°C

Em relação à acidez, verifica-se que há diferença significativa nos dados entre as amostras, época e temperatura de estocagem. De maneira similar ao observado nos dados de pH, o efeito da época de estocagem nos resultados de acidez não seguiram uma tendência clara. A comparação entre os valores no início e no término do período de estocagem mostra que na lata EA ocorreu uma redução na acidez nas condições de estocagem de 23°C e 30°C, enquanto a 35°C e nas três temperaturas para a lata EU observou-se o inverso, ou seja, a acidez aumentou. Além disso, o efeito da temperatura mostrou-se variável, embora na avaliação global dos dados mostre uma tendência de aumento da acidez a temperaturas maiores. Estes comentários são ilustrados pelos diagramas de intervalos de médias apresentados na Figura 38. Também neste caso, a análise de variância a dois critérios de classificação dos dados referentes a cada embalagem mostrou o mesmo desempenho. A avaliação das interações mostrou efeito significativo apenas entre amostra e época e entre época e temperatura.

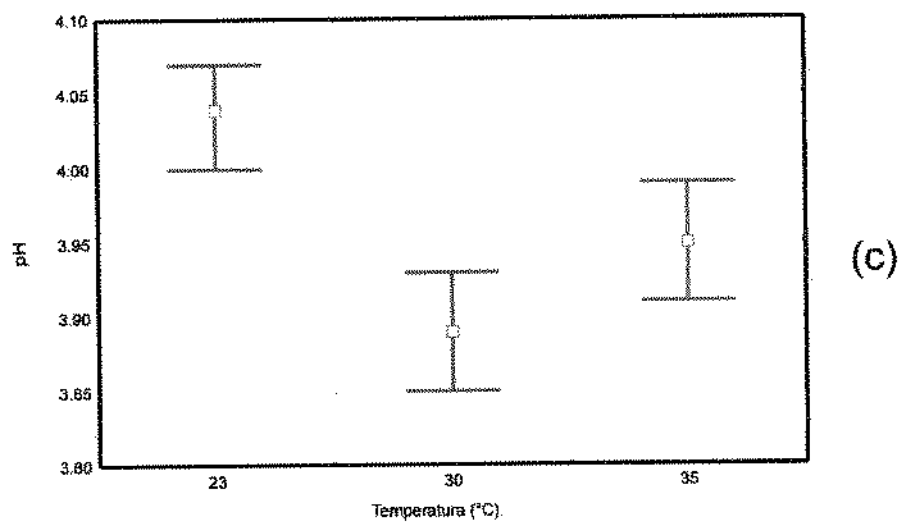
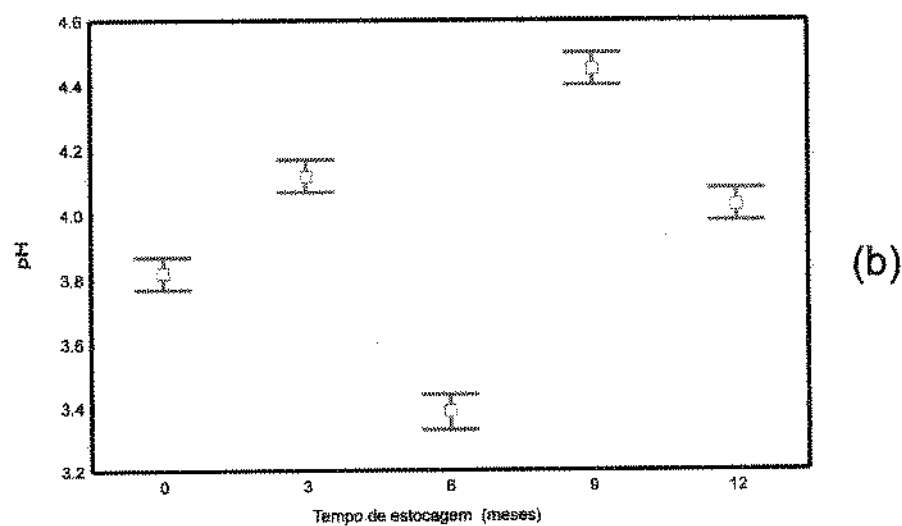
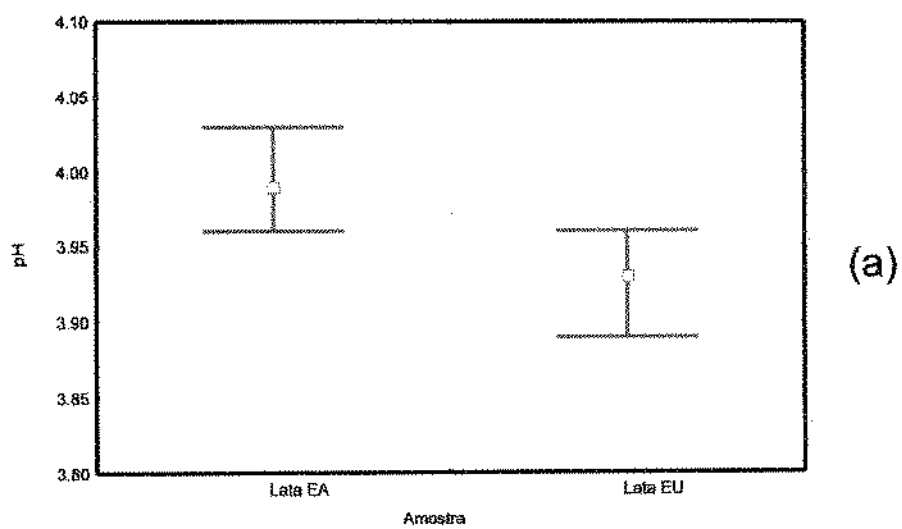


FIGURA 37. Diagramas de intervalos das médias na avaliação do pH do extrato de tomate acondicionado nos dois tipos de lata: (a) amostra, (b) época de estocagem, (c) temperatura de estocagem.

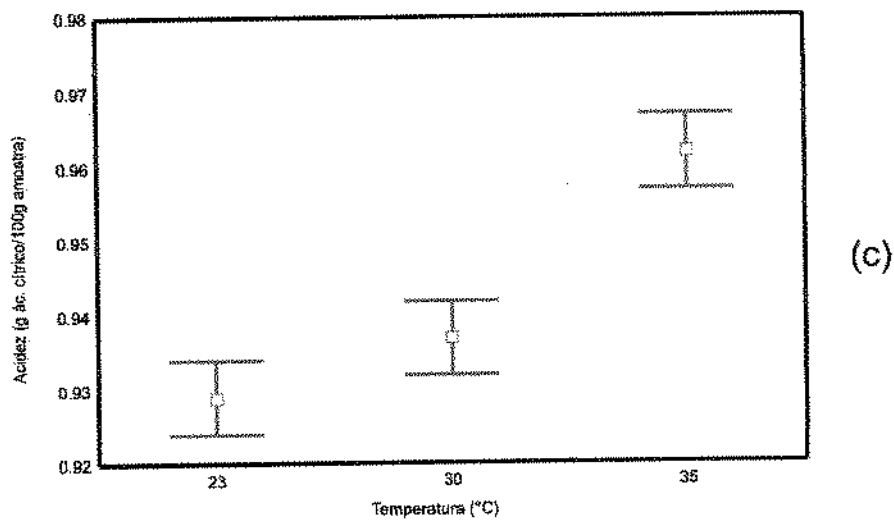
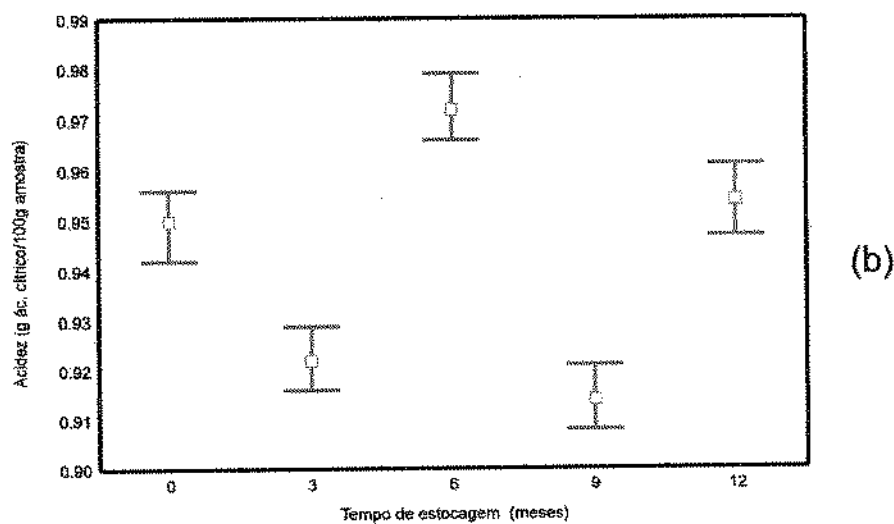
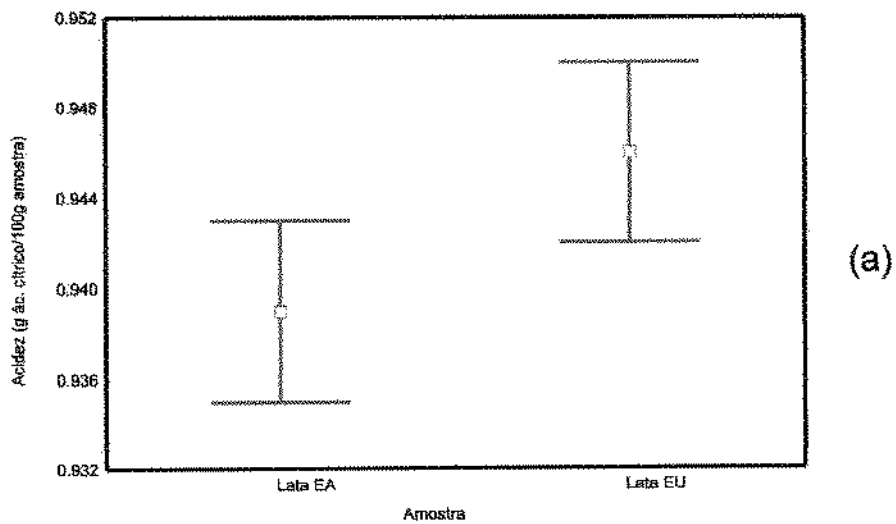


FIGURA 38. Diagramas de intervalos das médias na avaliação de acidez do extrato de tomate acondicionado nos dois tipos de lata: (a) amostra, (b) época de estocagem, (c) temperatura de estocagem.

Em relação aos dados de teor de sólidos solúveis, verifica-se diferença significativa apenas entre as épocas de estocagem , ou seja, não houve influência da amostra e da temperatura no teor de sólidos solúveis do extrato de tomate. A Figura 39 apresenta os diagramas de médias e seus respectivos intervalos de confiança a 95% para a amostra (tipo de lata), época de estocagem e temperatura. Neste caso, verifica-se uma certa tendência de aumento do teor de sólidos solúveis no extrato de tomate ao longo do tempo de estocagem, a qual foi mais intensa na lata com *side stripe* epóxi-uréia. Verificou-se, ainda, que não existe interação significativa entre os diferentes fatores.

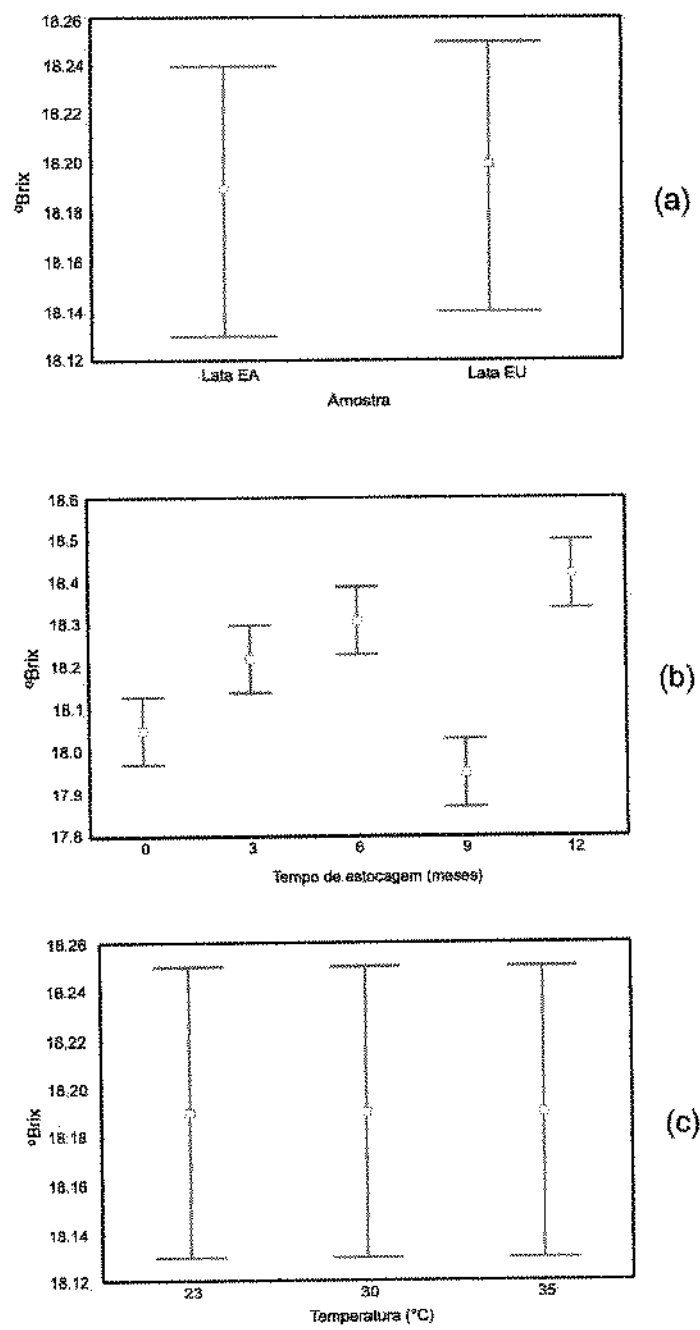


FIGURA 39. Diagramas de intervalos das médias na avaliação do teor de sólidos solúveis, em °Brix, do extrato de tomate acondicionado nos dois tipos de lata: (a) amostra, (b) época de estocagem, (c) temperatura de estocagem.

• Determinação da composição gasosa do espaço-livre das latas

A Tabela 33 apresenta os resultados da composição gasosa do espaço-livre das latas EA e EU para acondicionamento de extrato de tomate no início e após 365 dias de estocagem, nas três condições de temperatura.

TABELA 33. Resultados da concentração relativa de oxigênio e hidrogênio no espaço-livre das latas EA e EU acondicionando extrato de tomate no início e término do período de estocagem nas três temperaturas consideradas⁽¹⁾.

Época/temperatura		Lata EA		Lata EU	
		O ₂	H ₂	O ₂	H ₂
Zero dia	M	1,40	0,24	1,30	0,47
	DP	0,40	0,05	0,60	0,13
	Mín.	0,75	0,20	1,00	0,30
	Máx.	2,00	0,30	2,00	0,65
365 dias/23°C	M	0,20	42,53	0,27	31,24
	DP	0,05	0,45	0,04	1,68
	Mín.	0,14	41,76	0,21	28,58
	Máx.	0,22	42,91	0,39	32,54
365 dias/30°C	M	0,30	42,30	0,33	34,62
	DP	0,07	1,52	0,05	0,25
	Mín.	0,19	40,79	0,28	33,71
	Máx.	0,39	45,55	0,42	35,00
365 dias/35°C	M	0,04	59,89	0,24	64,49
	DP	0,02	3,17	0,02	0,82
	Mín.	0,00	55,99	0,23	63,59
	Máx.	0,10	63,82	0,26	65,65

M/DP/Mín/Máx: Média/ Desvio-padrão/ Valor mínimo/ Valor máximo

⁽¹⁾ Resultado da determinação em duplicata em três latas

Verifica-se em ambos os tipos de lata que a concentração de oxigênio no início da estocagem era pequena, provavelmente em função da condição de exaustão da lata e do seu consumo durante o processamento térmico principalmente na reação de corrosão; no final da estocagem sua concentração era desprezível nas diferentes temperaturas de estocagem e tipos de lata, conforme esperado em latas herméticas (FAO, 1986). Em relação ao hidrogênio, observou-se que a concentração no início da estocagem era maior na lata EU em relação à lata EA, embora nos dois casos os valores fossem bastante baixos. Aos 365 dias de estocagem, nas condições de temperatura de 23°C e 30°C, a lata EA apresentou valores de H₂ similares entre si, o mesmo ocorrendo na lata EU. Nas duas condições de temperatura, as concentrações de H₂ na lata EA foram um pouco superiores às da lata EU. Entretanto, na condição de estocagem de 35°C, a concentração de H₂ apresentou-se maior na lata EU

em relação à lata EA. Nos dois tipos de lata a concentração de H_2 apresentou-se maior na estocagem a $35^\circ C$ em relação às outras temperaturas.

Verificou-se que não houve uma grande variação nos resultados individuais de H_2 e de O_2 nas latas e temperaturas estudadas, excetuando-se apenas a concentração de hidrogênio na lata EA aos 365 dias de estocagem a $35^\circ C$.

Embora a porcentagem relativa de oxigênio no início da estocagem fosse praticamente idêntica nas duas latas, observou-se na avaliação da pressão interna que o vácuo encontrava-se menor na lata EA, o que significa que provavelmente havia maior volume de ar contido no espaço-livre neste tipo de lata. Assim, o volume de oxigênio disponível para agir como despolarizante catódico na reação com os íons H^+ , formando água, foi maior na lata EA, o que explica a maior concentração de H_2 nestas latas.

• Determinação das concentrações de ferro e de estanho no produto

As Tabelas 34 e 35 apresentam os resultados das concentrações de ferro e de estanho, respectivamente, no extrato de tomate acondicionado nos dois tipos de lata, em função do tempo de estocagem nas três temperaturas consideradas. A Figura 40 apresenta os diagramas de médias das concentrações de ferro (a) e estanho (b) em função do tempo referentes a estes dados.

Em ambos os tipos de embalagem a dissolução de ferro no extrato de tomate foi muito intensa ao longo do tempo de estocagem nas três temperaturas estudadas, representando aumentos de 8,6, 14,5 e 23,6 vezes a concentração inicial na lata com *side stripe* em epóxi-amina e 8,3, 11,1 e 25,5 vezes na lata com epóxi-uréia para as temperaturas de estocagem de 23, 30 e $35^\circ C$, respectivamente. Além disso, a dispersão dos dados individuais aumentou com o tempo de estocagem em ambos os tipos de lata.

Deve-se comentar que a dissolução de ferro deve ter sido influenciada pela presença de respingos na solda, observados nos dois tipos de lata, o que dificulta seu recobrimento pelo *side stripe* e, portanto, representa pontos críticos para o desenvolvimento de corrosão.

TABELA 34. Resultados da determinação da concentração de ferro no extrato de tomate, em mg/kg, em função do tempo de estocagem nas temperaturas de 23, 30 e 35°C*.

Tempo de estocagem (dias)		Lata EA			Lata EU		
		Temperatura (°C)			Temperatura (°C)		
		23	30	35	23	30	35
0	M	7,55	7,55	7,55	8,77	8,77	8,77
	DP	0,24	0,24	0,24	0,22	0,22	0,22
	Mín.	7,31	7,31	7,31	8,62	8,62	8,62
	Máx.	7,81	7,81	7,81	9,02	9,02	9,02
90	M	10,29	15,25	26,93	17,29	21,80	30,96
	DP	1,08	2,92	3,36	1,60	0,98	4,95
	Mín.	9,32	11,72	22,70	15,78	21,05	26,90
	Máx.	11,63	18,16	29,86	19,26	23,05	37,26
180	M	21,67	34,07	75,66	26,89	39,16	80,07
	DP	1,27	5,62	6,94	1,13	7,36	6,73
	Mín.	20,27	30,27	69,72	25,44	32,71	72,55
	Máx.	23,11	41,32	84,43	27,67	48,43	87,60
270	M	45,40	88,65	144,45	42,77	86,19	147,85
	DP	3,11	4,71	11,73	3,83	9,22	8,74
	Mín.	41,39	84,14	129,36	38,43	74,28	139,84
	Máx.	47,55	94,43	153,04	56,98	92,17	158,73
365	M	64,70	106,34	178,27	72,84	97,16	223,46
	DP	3,11	8,83	30,35	9,49	8,04	23,10
	Mín.	60,76	95,05	139,60	64,97	86,83	200,36
	Máx.	67,31	113,30	203,05	84,90	103,21	251,34

M/DP/Mín/Máx: Média/Desvio-padrão/Valor mínimo/Valor máximo

* Resultado de três determinações

TABELA 35. Resultados da determinação da concentração de estanho no extrato de tomate, em mg/kg, em função do tempo de estocagem nas temperaturas de 23, 30 e 35°C*.

Tempo de estocagem (dias)		Lata EA			Lata EU		
		Temperatura (°C)			Temperatura (°C)		
		23	30	35	23	30	35
0	M	1,95	1,95	1,95	2,23	2,23	2,23
	DP	0,30	0,30	0,30	0,10	0,10	0,10
	Mín.	1,57	1,57	1,57	2,18	2,18	2,18
	Máx.	2,20	2,20	2,20	2,32	2,32	2,32
90	M	5,68	5,65	5,48	2,22	3,03	4,51
	DP	2,00	1,11	0,29	0,73	0,79	1,06
	Mín.	3,17	4,31	5,10	1,62	2,06	3,20
	Máx.	7,47	6,76	5,72	3,14	3,75	5,54
180	M	5,51	6,85	6,95	4,18	4,81	6,17
	DP	0,92	1,07	0,24	0,71	0,40	0,89
	Mín.	4,48	5,83	6,73	3,31	4,51	5,41
	Máx.	6,54	8,16	7,23	4,85	5,32	7,31
270	M	6,91	7,72	8,66	4,00	4,83	5,81
	DP	1,05	0,72	1,15	0,79	0,36	1,37
	Mín.	5,95	6,86	7,61	3,31	4,59	4,29
	Máx.	8,22	8,46	10,09	5,00	5,29	7,35
365	M	7,35	9,18	9,56	4,82	6,93	6,23
	DP	0,45	1,30	2,10	1,05	1,74	0,51
	Mín.	6,77	7,68	7,57	3,47	5,18	5,61
	Máx.	7,68	10,58	12,14	5,58	9,02	6,73

M/DP/Mín/Máx: Média/Desvio-padrão/Valor mínimo/Valor máximo

* Resultado de três determinações

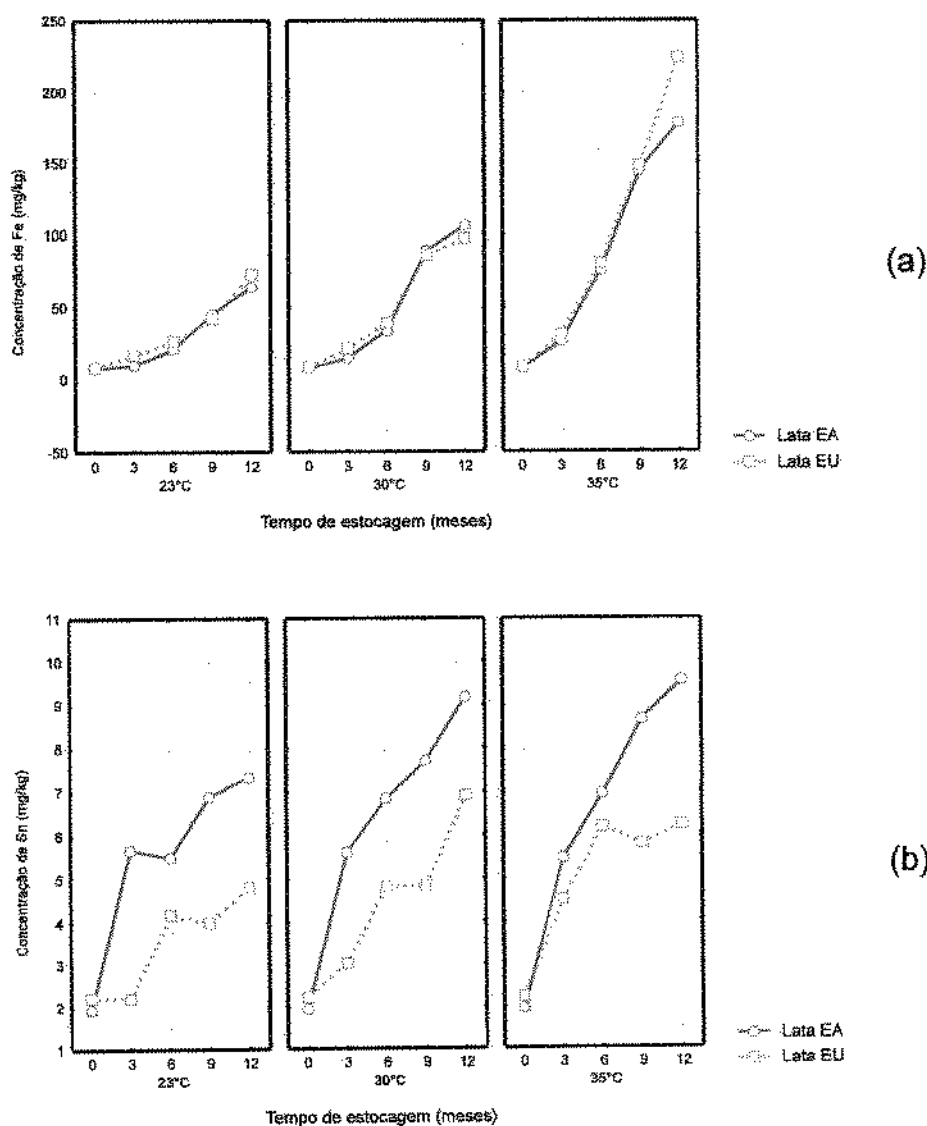


FIGURA 40. Diagramas de médias da concentração de ferro (a) e de estanho (b) no extrato de tomate acondicionado nas latas EA e EU ao longo do tempo de estocagem a 23, 30 e 35°C.

Em função de não se tratar de um metal tóxico, não existe limite máximo de ferro no extrato de tomate previsto na Legislação Brasileira. As concentrações de estanho no produto proveniente das duas latas estão muito abaixo do limite estabelecido (ABIA, 1996).

Observa-se que ocorreu um grande efeito da temperatura na dissolução de ferro nas duas embalagens. Nas primeiras épocas de avaliação, observou-se que a concentração de ferro na lata EU apresentava-se um pouco superior à observada no produto acondicionado na lata EA. A partir dos 270 dias de estocagem, entretanto, observa-se uma diferenciação mais significativa, com maior dissolução de ferro na lata EU nas temperaturas de 23°C e principalmente de 35°C, embora na condição de 30°C tenha ocorrido a situação inversa, ou seja, maior concentração

de ferro no extrato de tomate acondicionado na lata EA nas duas últimas épocas de avaliação, provavelmente em função da variabilidade da amostra. Este fato, comprovado pelo aumento da dispersão dos dados com o tempo, demonstra que a variabilidade de latas individuais torna necessária a determinação em um maior número de unidades em relação à concentração de metais.

DANTAS *et alii* (1993) também observaram uma grande dispersão de resultados individuais de estanho e ferro em latas eletrossoldadas envernizadas internamente para palmito, estocadas a 35°C pelo período de 2 anos, principalmente após períodos mais avançados de estocagem, tendo concluído que a variabilidade de latas individuais é evidenciada com o desenvolvimento do processo corrosivo.

A análise de variância a três critérios de classificação (amostra, tempo e temperatura) mostrou haver diferença significativa na concentração de ferro em relação aos três fatores principais (amostra, tempo e temperatura de estocagem) e que existe interação entre o tempo e a temperatura de estocagem e dos três fatores simultaneamente.

Em relação à dissolução de estanho, observa-se que também houve um aumento com o tempo de estocagem nas duas embalagens e três temperaturas de estocagem, embora com valores muito inferiores em relação aos valores observados para o ferro. Na lata EA, observou-se um rápido desestanhamento no período inicial de estocagem, variando de 1,95mg/kg no tempo inicial para aproximadamente 5,5mg/kg aos 90 dias de estocagem nas três temperaturas estudadas, sendo que, após este período, a dissolução de estanho foi mais lenta. Este fato demonstra que o efeito desestanhante do extrato de tomate foi observado neste tipo de lata no início da estocagem, seguindo-se a maior dissolução do ferro em função da alteração da relação de áreas expostas de Sn e Fe, tanto pelo aumento do ferro nas regiões do corpo onde o estanho se dissolveu, como na região de soldagem. Já na lata EU, a menor camada de verniz no corpo e pior proteção da região de soldagem orientaram para a maior dissolução do ferro. Deve-se lembrar que as camadas de revestimento de estanho e de verniz no corpo e na eletrossolda da lata EA apresentavam-se superiores às da lata EU, reduzindo a exposição do material-base no corpo da lata, sendo este um ponto crítico de exposição metálica, como observado na avaliação de porosidade das latas novas e na avaliação visual interna ao longo da estocagem. Já na lata EU, a menor camada de verniz no corpo e a pior proteção da região de soldagem orientaram para a maior dissolução do ferro. Por outro lado, o verniz do corpo da lata EU era o epóxi-fenólico, que apresenta melhor desempenho em relação à proteção contra a interação embalagem/produto, devido à menor permeabilidade a íons, quando comparado ao verniz oleorresinoso, aplicado no corpo da lata EA. Este fato, discordante do planejamento inicial do experimento,

resultou em prejuízo da avaliação comparativa do desempenho da proteção da eletrossolda por meio de verniz. Em contrapartida, mostrou o efeito das diferenças na especificação das latas na dissolução de metais.

O aumento da temperatura apresentou uma pequena influência no aumento da dissolução de estanho em ambos os tipos de lata. A análise estatística dos dados de concentração de estanho mostrou diferença significativa em relação aos três fatores considerados, sendo que a interação foi verificada apenas entre amostra e tempo de estocagem.

Em geral, produtos contendo ácido cítrico apresentam ataque preferencial ao estanho, devido à formação de complexos entre o ácido e este metal (MANNHEIM, 1986). Isto não foi observado em nenhuma destas embalagens, provavelmente devido à pequena relação entre as áreas expostas de estanho e ferro, uma vez que havia alta exposição de ferro na costura lateral. Entretanto, observou-se uma maior concentração de estanho na lata EA em relação à lata EU, que pode ser decorrente tanto do pior desempenho do envernizamento do corpo da lata EA, permitindo a permeação de ions e a conseqüente dissolução de estanho e a sua maior camada de revestimento, quanto da tendência à proteção catódica do ferro pelo estanho na lata com verniz epóxi-amina.

BARBIERI *et alii* (1983) observaram concentração de ferro de 12ppm e de 27ppm em concentrado de tomate acondicionado em latas eletrossoldadas e estocadas a 20°C por 1 e 2 anos, respectivamente, mostrando desempenho muito superior destas latas, em relação a este estudo, embora não haja informação sobre sua especificação.

ANJOS *et alii* (1995) avaliaram dois tipos de embalagem com capacidade para 200g (Ø73mm) para acondicionamento de purê de tomate, sendo o envernizamento normal e um sistema alternativo de verniz, por meio de estudo de estabilidade às temperaturas de 23 e 35°C. Na lata com verniz interno normal, muito semelhante ao avaliado neste estudo, verificaram concentrações de ferro e de estanho da ordem de 64 e 10mg/kg, respectivamente, após 360 dias de estocagem a 23°C, enquanto a 35°C os valores dos dois metais corresponderam a 101 e 31mg/kg, respectivamente.

A comparação destes resultados com os obtidos neste estudo foi limitada pela diferença no produto e na capacidade entre as embalagens, sendo que nas latas de menor capacidade ocorre uma intensificação dos efeitos da corrosão devido à maior relação entre a área da embalagem e a massa de produto. Entretanto, verificou-se que no estudo citado, de forma similar ao verificado para o extrato de tomate neste estudo (lata com 140g de

produto), não ficou muito evidente o efeito desestanhante do produto, tendo ocorrido alta dissolução de ferro, provavelmente também em função da qualidade do revestimento da região de soldagem das latas.

Avaliando latas para acondicionamento de tomate em fatias, PALMIERI *et alii* (1996) compararam diferentes folhas-de-flandres e vernizes para a produção de latas eletrossoldadas comerciais com diâmetro nominal de 73mm, por meio de teste de estocagem por até 30 meses nas temperaturas de 20 e de 36°C. Os sistemas de envernizamento interno do corpo, com epóxi-fenólico e organossol aplicados em duas camadas e verniz epóxi com pigmentação branca aplicado em uma camada, apresentaram pequena diferença de desempenho entre si, sendo que o sistema com organossol mostrou-se superior e o epóxi com pigmentação branca inferior, quando se utilizou como parâmetros a dissolução de ferro, o vácuo e a porcentagem de H₂ no espaço-livre. Após 30 meses de estocagem a 20°C, os conteúdos de ferro e de estanho nas diferentes embalagens variaram entre 12,8 e 17,6ppm e entre 10,1 e 14,7ppm, respectivamente, enquanto a 36°C os mesmos dados referentes a 18 meses de estocagem variaram entre 15,6 e 30,1([Fe]) e entre 10,3 e 21,7 ([Sn]). Os envernizamentos da costura eletrossoldada correspondiam a verniz organossol ou verniz em pó, mostrando desempenho superior neste caso em relação ao avaliado por ANJOS *et alii* (1995), assim como em relação a este estudo, embora novamente deva ser levada em consideração a diferença de capacidade nominal das latas.

Resumindo, as avaliações periódicas permitiram verificar que houve o desenvolvimento de processo intenso de corrosão interna nos dois tipos de lata, embora com alguma diferença. Na lata com verniz epóxi-amina, observou-se inicialmente a dissolução de estanho e um pouco de ferro, mostrando que a corrosão ocorreu principalmente nas regiões de descontinuidade do verniz no corpo. A partir dos 90 dias, observou-se que a concentração de estanho permaneceu praticamente constante e houve uma intensa dissolução de ferro, mostrando o mecanismo de corrosão pontual a partir dos locais de exposição do ferro no corpo, além da região de soldagem. Nesta fase, houve uma intensa produção de hidrogênio, com conseqüente perda de vácuo e estufamento das latas. Na lata com verniz epóxi-uréia ocorreu uma maior dissolução de ferro no período inicial de estocagem, devido à maior exposição do aço na região de soldagem, influenciada também pela presença de respingos, paralelamente à dissolução do estanho, mais lenta em relação à outra embalagem devido ao melhor desempenho do verniz do corpo. A dissolução do estanho estabilizou-se aos 270 dias, quando a redução da relação de áreas Sn/Fe tornou favorável o mecanismo de dissolução do ferro. Estas diferenças foram causadas pelas variações na especificação da lata, demonstrando o efeito da maior camada de estanho na folha-de-flandres e da qualidade de proteção com verniz tanto do corpo como da região de soldagem.

A intensidade de dissolução do ferro e a alteração da superfície interna foram maiores na lata com *side stripe* epóxi-uréia, embora a lata com epóxi-amina tenha apresentado maior nível de estufamento, decorrente do menor nível de vácuo inicial.

A literatura geralmente apresenta reações de zero ou de primeira ordem para representar a perda de qualidade dos alimentos em função do tempo de estocagem (LABUZA, 1982, ROBERTSON, 1993). Em relação à dissolução metálica devido à corrosão de latas, a variação em função do tempo depende do tipo de embalagem e do mecanismo e cinética de corrosão desenvolvidos, que por sua vez depende do produto, sendo em geral também apresentada como citado anteriormente (MANNHEIM & PASSY, 1982, MIGRATION, 1998, DANTAS *et alii*, 1993). Com o objetivo de analisar mais detalhadamente este parâmetro, foram aplicados diferentes tipos de regressão para o estabelecimento de modelos matemáticos relacionando a concentração de metais no produto com o tempo de estocagem. A análise da coerência entre os modelos correspondentes a diferentes temperaturas de estocagem, assim como dos seus níveis de significância, permitiram o estabelecimento de modelos preferenciais para a explicação dos dados e previsão da concentração dos metais após acondicionamento por períodos mais avançados. As Tabelas 36 e 37 apresentam diferentes equações de regressão para a concentração de ferro e de estanho no extrato de tomate, respectivamente, ao longo do período de estocagem nas três condições de temperatura estudadas, assim como os respectivos coeficientes de determinação R^2 e R^2_{adj} e o nível de significância p_{obs} . Observa-se que vários são os ajustes possíveis para os dados, embora o que melhor os explica varie entre as condições de temperatura. Na lata EA verifica-se na Tabela 36 que, enquanto para a temperatura de 23°C a melhor equação de regressão seja a primeira, a 35°C os dados são melhor explicados pela equação de regressão linear, embora não tenha sentido a previsão dos valores no tempo zero, onde a concentração de ferro seria negativa. Assim, adotou-se em todos os casos a equação apresentada em negrito na Tabela 36 como modelo matemático para explicar a dissolução de ferro no extrato de tomate acondicionado nos dois tipos de lata estudados.

Em relação ao estanho, verifica-se que, embora seja possível distinguir três etapas com diferentes cinéticas de dissolução, cujos dados são adequadamente explicados por um polinômio de segundo grau, a regressão linear é válida e significativa para as duas embalagens e três condições de temperatura, exceção feita à lata EU na estocagem a 35°C. Assim, em função da pequena concentração e, portanto, pequena influência do estanho dissolvido na vida útil do extrato de tomate, adotou-se como modelo a regressão linear, conforme se verifica nas equações apresentadas em negrito na Tabela 37.

TABELA 36. Regressões dos dados de concentração de ferro [Fe] no extrato de tomate acondicionado nas latas EA e EU em função do tempo de estocagem (t) nas três condições de temperatura.

Tipo de lata	Temperatura	Equação	R ²	R ² _{adj}	pobs(1)
EA	23°C	[Fe] = 8,015 + 4,4.10 ⁻⁴ * t ²	0,9859	0,9813	0,000710
		[Fe] = 8,3703 * EXP (0,00570 * t)	0,973560	0,964787	< 0,01
		[Fe] = 0,154275 + 0,164463 * t	0,932177	0,90957	0,007655
	30°C	[Fe] = 12,075 + 0,76.10 ⁻³ * t ²	0,9232	0,8976	0,009248
		[Fe] = 14,4593 * EXP (0,005664 * t)	0,911052	0,881402	< 0,01
		[Fe] = -2,931 + 0,2912 * t	0,9238	0,8984	0,009146
	35°C	[Fe] = 22,4967 + 1,30.10 ⁻³ * t ²	0,934382	0,912509	0,007279
		[Fe] = 26,88168 * EXP 0,005377 * t	0,920398	0,893863	< 0,01
		[Fe] = -4,72781 + 0,50430 * t	0,971403	0,961871	0,002059
EU	23°C	[Fe] = 11,05243 + 4,6.10 ⁻⁴ * t ²	0,993755	0,991673	0,000210
		[Fe] = 9,9611 * EXP 0,005445 * t	0,99885	0,998467	< 0,01
		[Fe] = 3,068669 + 0,169300 * t	0,93041	0,90722	0,007960
	30°C	[Fe] = 16,99235 + 0,68.10 ⁻³ * t ²	0,908553	0,878070	0,012075
		[Fe] = 17,6431 * EXP 0,005445 * t	0,903990	0,871987	< 0,01
		[Fe] = 2,671281 + 0,264888 * t	0,945736	0,927648	0,005455
	35°C	[Fe] = 19,51745 + 1,60.10 ⁻³ * t ²	0,986616	0,982155	0,000660
		[Fe] = 25,0715 * EXP 0,006087 * t	0,973055	0,964073	< 0,01
		[Fe] = -10,5932 + 0,6012 * t	0,965509	0,954012	0,002747
		[Fe] = 6,43302 + 0,230045 * t + 0,001017 * t ²	0,998127	0,996255	0,001873

⁽¹⁾ p < 0,05 demonstra que a correlação é significativa

TABELA 37. Regressões dos dados de concentração de estanho [Sn] no extrato de tomate acondicionado nas latas EA e EU em função do tempo de estocagem(t) nas três condições de temperatura.

Tipo de lata	Temperatura	Equação	R ²	R ² _{adj}	pobs(1)
EA	23°C	[Sn] = 2,3478 + 0,029830 * t - 0,000047 * t ²	0,9859	0,9813	0,099112 ⁽²⁾
		[Sn] = 3,129748 + 0,012786 * t	0,973560	0,964787	0,047663
		[Sn] = 4,044513 * 0,000028 * t ²	0,932177	0,90957	0,148000 ⁽²⁾
	30°C	[Sn] = 2,3178 + 0,30537 * t - 0,000034 * t ²	0,9232	0,8976	0,039437
		[Sn] = 2,885851 + 0,018156 * t	0,911052	0,881402	0,009374
		[Sn] = 4,054728 * 0,000043 * t ²	0,9238	0,8984	0,058387 ⁽²⁾
	35°C	[Sn] = 2,12258 + 0,036420 * t - 0,000044 * t ²	0,934382	0,912509	0,008713
		[Sn] = 2,867655 + 0,020179 * t	0,920398	0,893863	0,006768
		[Sn] = 4,194070 - 0,000047 * t ²	0,971403	0,961871	0,060405 ⁽²⁾
EU	23°C	[Sn] = 2,56033 + 0,000019 * t ²	0,993755	0,991673	0,058400 ⁽²⁾
		[Sn] = 2,106493 + 0,007644 * t	0,99885	0,998467	0,026379
	30°C	[Sn] = 2,135036 + 0,012326 * t	0,943638	0,924850	0,005778
		[Sn] = 2,810043 + 0,000032 * t ²	0,896576	0,862102	0,014580
	35°C	[Sn] = 2,316597 + 0,028331 * t - 0,000050 * t ²	0,958944	0,917889	0,041056
		[Sn] = 3,928011 + 0,000022 * t ²	0,487199	0,316265	0,189945 ⁽²⁾
		[Sn] = 3,149240 + 0,010181 * t	0,748166	0,664221	0,058345 ⁽²⁾

⁽¹⁾ p < 0,05 demonstra que a correlação é significativa

⁽²⁾ Regressão não significativa ao nível de erro de 5%

As Figuras 41 e 42 apresentam os pontos médios determinados e as curvas de regressão selecionadas para as concentrações de ferro e estanho no extrato de tomate acondicionado nas latas EA e EU, respectivamente.

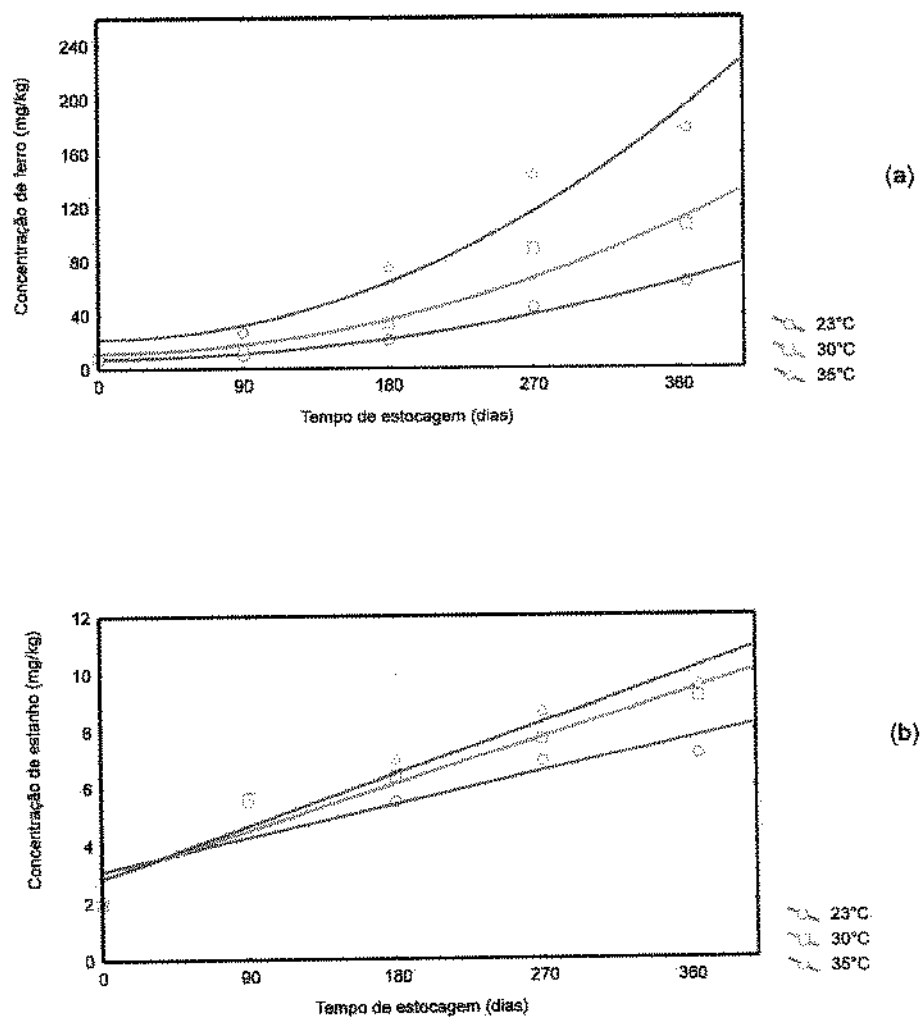


FIGURA 41. Representação gráfica dos valores médios observados (pontos) de concentração de metais no extrato de tomate acondicionado na lata EA em função do tempo de estocagem a 23, 30 e 35°C e da equação correspondente à regressão matemática destes dados (curva): (a) ferro, (b) estanho.

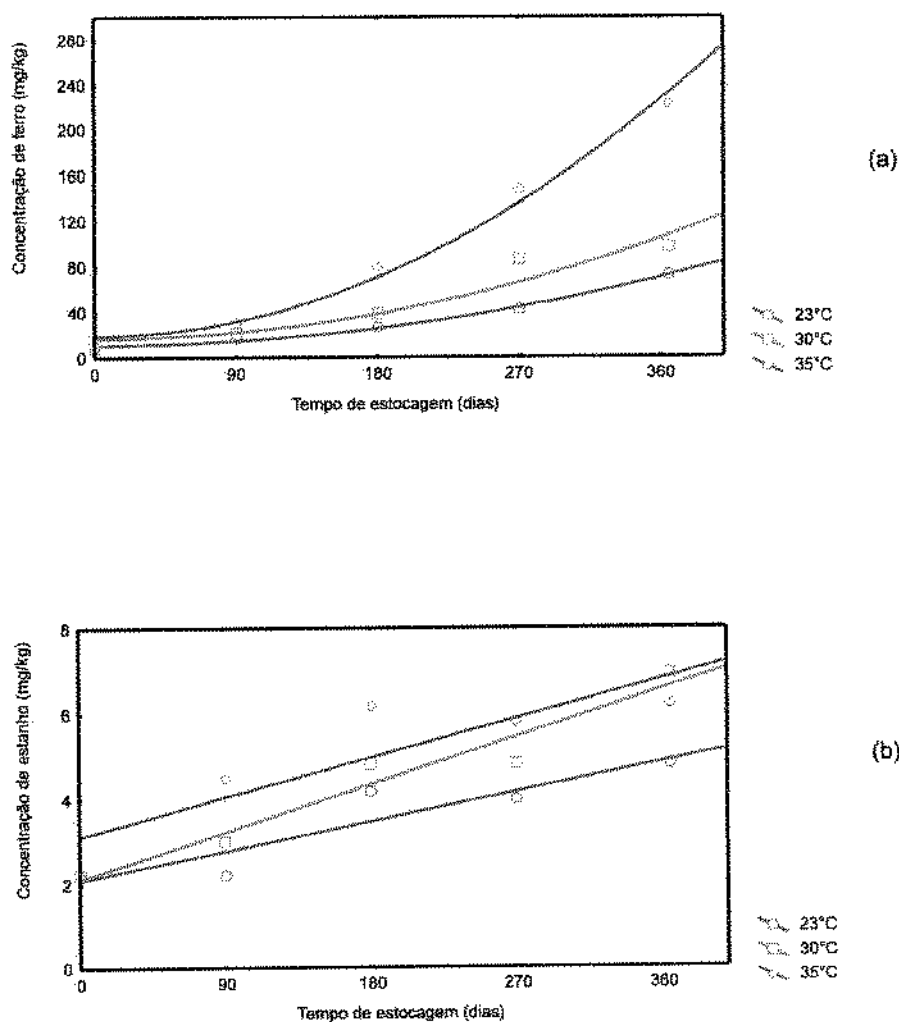


FIGURA 42. Representação gráfica dos valores médios observados (pontos) de concentração de metais no extrato de tomate acondicionado na lata EU em função do tempo de estocagem a 23, 30 e 35°C e da equação correspondente à regressão matemática destes dados (curva): (a) ferro, (b) estanho.

• Avaliação instrumental de cor

Os valores obtidos na medida instrumental de cor do extrato de tomate acondicionado nas latas com *side stripe* epóxi-amina e epóxi-uréia são apresentados na Tabela 38, onde se verifica a diminuição da intensidade na luminosidade e tons vermelho e amarelo com a estocagem, sendo as perdas mais significativas na medida em que se aumenta a temperatura de estocagem.

Em geral as alterações de cor foram relativamente maiores na lata com *side stripe* em epóxi-amina, o que pode ser verificado pela comparação dos valores antes da estocagem e após os 270 dias. Na Tabela 39 apresenta-se a

perda relativa de cor para cada amostra em relação aos valores iniciais, onde se observa que a maior alteração ocorreu na estocagem a 35°C para a intensidade da cor vermelha do produto.

TABELA 38. Resultados obtidos na análise instrumental de cor do extrato de tomate acondicionado nas latas EA e EU (intensidade).

TE	Parâmetro		Tempo de estocagem (dias)							
			Lata EA				Lata EU			
			zero ⁽¹⁾	90 ⁽¹⁾	180 ⁽²⁾	270 ⁽²⁾	zero ⁽¹⁾	90 ⁽¹⁾	180 ⁽²⁾	270 ⁽²⁾
23°C	L*	M	22,92	21,06	22,62	22,27	22,52	20,53	22,19	22,20
		DP	—	—	0,35	0,11	—	—	0,12	0,07
	a*	M	22,66	19,03	21,48	20,91	21,79	18,02	20,60	20,95
		DP	—	—	0,79	0,24	—	—	0,25	0,17
	b*	M	12,67	11,27	12,36	12,12	12,39	11,03	12,04	12,16
		DP	—	—	0,22	0,05	—	—	0,13	0,03
30°C	L*	M	22,92	21,25	22,37	22,08	22,52	20,46	21,80	21,79
		DP	—	—	0,36	0,26	—	—	0,12	0,03
	a*	M	22,66	19,19	21,13	20,38	21,79	18,07	20,12	20,20
		DP	—	—	0,70	0,51	—	—	0,10	0,04
	b*	M	12,67	11,39	12,23	11,95	12,39	11,02	11,87	11,97
		DP	—	—	0,20	0,11	—	—	0,03	0,02
35°C	L*	M	22,92	20,14	21,11	20,36	22,52	20,23	21,02	20,08
		DP	—	—	0,09	0,23	—	—	0,06	0,01
	a*	M	22,66	17,43	18,85	17,25	21,79	17,28	18,80	17,43
		DP	—	—	0,11	0,15	—	—	0,13	0,31
	b*	M	12,67	10,91	11,54	10,55	12,39	10,76	11,57	11,03
		DP	—	—	0,04	0,03	—	—	0,06	0,04

L* : luminosidade
a* : vermelho
b* : amarelo
M/DP : média/desvio-padrão
TE : temperatura de estocagem
⁽¹⁾ Resultado da determinação de uma lata
⁽²⁾ Resultado da determinação de três latas

TABELA 39. Alterações relativas da cor do extrato de tomate durante a estocagem.

Temperatura(°C)	Parâmetro	Diminuição relativa de intensidade durante a estocagem (%)	
		Lata EA	Lata EU
23	L*	2,8	1,4
	a*	7,7	3,7
	b*	4,3	1,8
30	L*	3,7	3,2
	a*	10,0	7,9
	b*	5,7	3,4
35	L*	11,2	10,8
	a*	23,7	20,0
	b*	14,0	11,0

$L^*/a^*/b^* = \text{luminosidade/vermelho/amarelo}$

LUH *et alii* (1958) estudaram o efeito da temperatura de estocagem na vida-de-prateleira e composição de purê de tomate enlatado. Concluíram que um dos parâmetros interessantes de avaliação da qualidade deste produto é a cor do soro, cujo escurecimento contribui para a alteração da cor do produto como um todo e explicaram este escurecimento devido à formação de compostos poliméricos insaturados de várias composições. Segundo estes autores, a formação destes compostos ocorre mais comumente via reação de Maillard (combinação química entre grupos carbonílicos e aminos) e por processo de caramelização (reação química entre açúcares e ácidos policarboxílicos). Além disso, a degradação do ácido ascórbico em furfural e dióxido de carbono parece também estar relacionada à reação de escurecimento. A velocidade do processo aumenta na medida em que é maior a temperatura de estocagem.

DAVIS & KEFFORD (citado por LUH, 1960) estudaram o escurecimento de molhos de tomate e concluíram que a ocorrência de reação entre ferro, taninos e oxigênio era um dos mecanismos responsáveis pela deterioração da cor.

O resultado da maior alteração de cor do extrato de tomate acondicionado na lata EA estocada por 270 dias nas temperaturas de 23, 30 e 35°C, em relação à lata EU, foram fortemente influenciados pelo menor vácuo inicial nestas latas e estão de acordo com os resultados de dissolução de ferro, também maiores nesta época. Estes resultados confirmam também o efeito da influência do ferro na alteração de cor de derivados de tomate.

4.2.3 Pêssego em calda

4.2.3.1 Caracterização das embalagens

A Tabela 40 apresenta os resultados da caracterização das latas brancas e envernizadas internamente para acondicionamento de pêssego em calda e a Figura 43 apresenta os espectros de absorção na região do IV dos vernizes aplicados internamente no corpo, tampa/fundo e região de soldagem da lata de pêssego envernizada. Na Figura 43a, verifica-se a sobreposição dos espectros dos vernizes óleoresinoso e epóxi-fenólico, cuja identificação foi baseada na comparação com espectros-padrão dos diferentes vernizes.

As folhas-de-flandres do corpo e do fundo/tampa da lata envernizada corresponderam ao revestimento nominal de estanho D8,4/5,6, enquanto na lata branca eram do tipo E11,2/11,2, ou seja, mesma camada em ambas as faces, embora o valor determinado tenha superado $11,2\text{g/m}^2$ (ABNT, 1995). O corpo da lata E possuía camada dupla de envernizamento interno, que confere maior proteção contra a interação produto/embalagem em relação à camada simples.

A Figura 44 apresenta diagrama de distribuição por frequência para a porosidade do verniz interno da lata envernizada internamente, onde 88% das latas apresentaram corrente entre 40 e 80mA/lata. A ocorrência de porosidade deveu-se principalmente à falha na região de soldagem e no corpo da lata, conforme observado pela inversão da polaridade no ensaio.

Estes valores indicam uma boa proteção pelo verniz, embora a ocorrência de pequena porcentagem de latas com alta porosidade (120mA) demonstre a existência de áreas descobertas pelo verniz, que podem representar pontos críticos na lata.

FARIA *et alii* (1992) apresentaram valores similares de porosidade do verniz interno em latas para abacaxi em calda, onde 70% das latas apresentaram corrente entre 60 e 80mA.

TABELA 40. Características das embalagens utilizadas no acondicionamento de pêssego em calda, identificadas como E (lata envernizada internamente) e B (lata sem verniz interno ou branca).

Determinações		Tipos de lata	
		Lata envernizada	Lata branca
Descrição		Lata cilíndrica de 3 peças com soldagem elétrica <i>Supervima</i>	Lata cilíndrica de 3 peças com soldagem elétrica <i>Supervima</i>
Material metálico	Corpo Fundo ⁽¹⁾	FL FL	FL FL
Camada de revestimento (g/m ²) (x ± σx) ⁽⁴⁾	Corpo I/E	7,24 ± 0,53 / 4,33 ± 0,14	13,51 ± 0,32 / 13,88 ± 0,39
	Fundo ⁽¹⁾ I/E	6,66 ± 0,18 / 4,29 ± 0,08	13,73 ± 0,17 / 15,34 ± 0,40
Espessura (mm) (x ± σx) ⁽⁵⁾	Corpo	0,219 ± 0,023	0,242 ± 0,026
	Fundo ⁽¹⁾	0,252 ± 0,027	0,237 ± 0,025
Dureza Superficial Rockwell 30T (x ± σx) ⁽³⁾	Corpo	66,6 ± 0,16	61,3 ± 0,37
	Fundo ⁽¹⁾	63,9 ± 0,10	62,3 ± 0,12
Aderência de verniz (Grau) ⁽³⁾	Corpo	G0	—
	Fundo ⁽¹⁾	G0	—
	Solda	G0 - G1	—
Grau de cura do verniz ⁽³⁾	Corpo	Bom	—
	Fundo ⁽¹⁾	Bom	—
	Solda	Bom	—
Identificação do verniz ⁽²⁾	Corpo	OR + EF	—
	Fundo ⁽¹⁾	OR	—
	Solda	EF	—
Camada seca do verniz interno (g/m ²) (x ± σx) ⁽³⁾	Corpo	8,99 ± 0,79	—
	Fundo ⁽¹⁾	7,52 ± 0,82	—
	Solda	8,77 ± 1,10	—

OR - verniz oleorresinoso

EF - verniz epóxi-fenólico

FL - folha-de-flandres

I/E - interno/externo

(x ± σx) - média ± erro-padrão da média

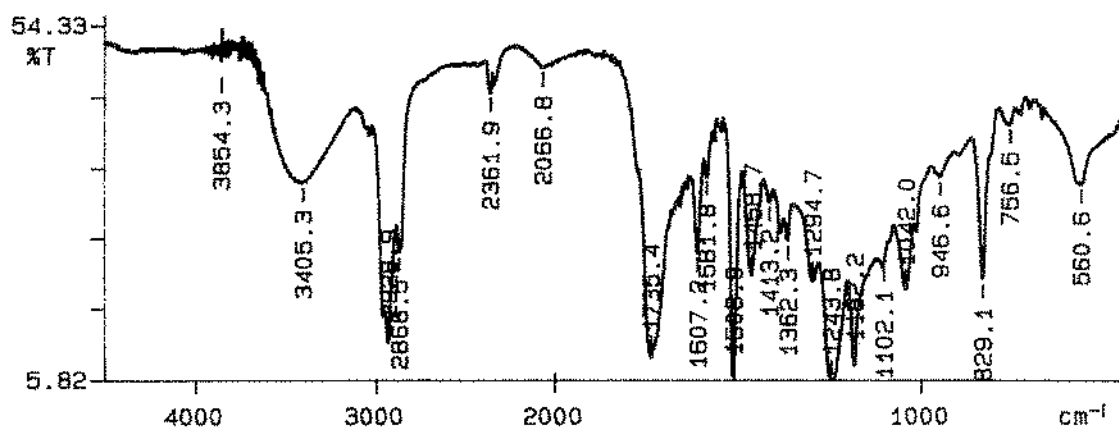
(1) fundo ou tampa

(2) resultado de 2 determinações

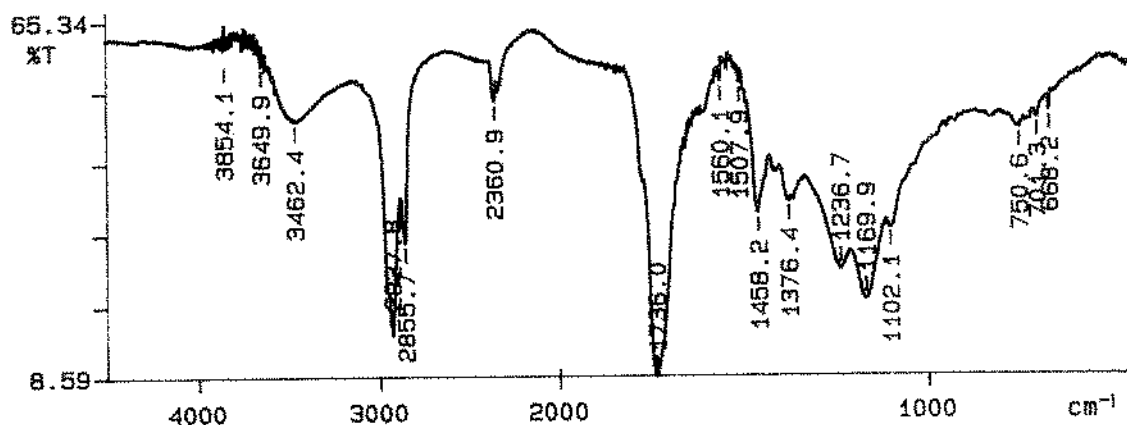
(3) resultado de 3 determinações

(4) resultado de 6 determinações

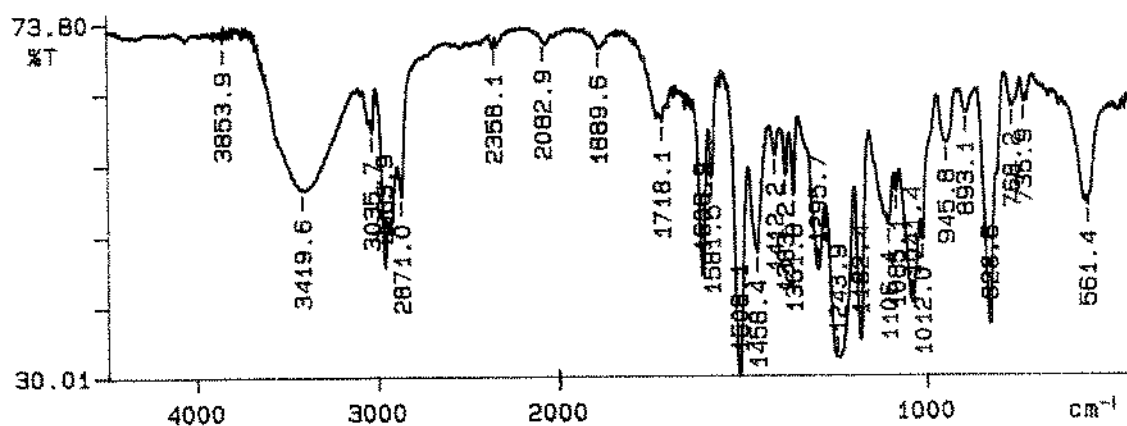
(5) resultado de 10 determinações



a)



b)



c)

FIGURA 43. Espectros de absorção na região do IV do verniz interno do corpo (a), tampa/fundo (b) e da região de soldagem (c) da lata E para pêssego em calda.

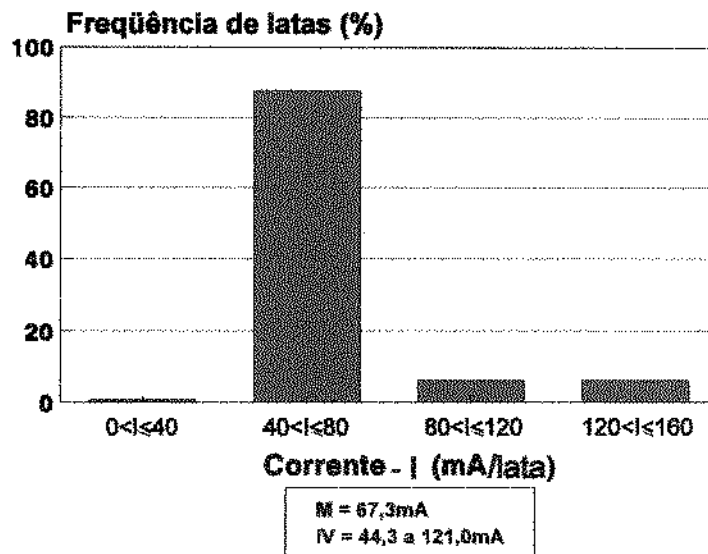


FIGURA 44. Diagrama de distribuição de frequência para a porosidade do verniz interno, em mA/lata, na lata E para pêssego em calda. Resultado de 17 unidades.

As Tabelas 41 e 42 apresentam os resultados da avaliação da recravação da tampa e do fundo das latas envernizadas e sem verniz interno para acondicionamento de pêssego em calda, respectivamente. Verifica-se em ambos os tipos de lata que a recravação da tampa apresentou valores médios de acordo com o intervalo sugerido (DANTAS *et alii*, 1996), embora tenham ocorrido alguns valores individuais em desacordo com o intervalo, dentre os quais a variação verificada na lata sem verniz interno é um pouco mais crítica, podendo vir a representar risco de falta de integridade do fechamento. Na recravação do fundo da lata envernizada o valor médio de altura da recravação, que estava em desacordo com o padrão, não representa problema, enquanto na lata branca observou-se valor individual de gancho do corpo (GC), gancho da tampa (GT), sobreposição relativa (SR) e enganchamento do gancho do corpo (EGC) inferiores ao mínimo recomendado, sendo que neste caso pode ocorrer problema de integridade.

TABELA 41. Parâmetros determinados e calculados para a recravação da tampa e do fundo da lata E de pêssego em calda e padrões de referência⁽¹⁾.

		GC	GT	HT	ER	SL	PR	SR	EGC	C	A
TAMPA	M	1,973	2,006	2,97	1,47	1,338		59,2	79,7	81,3	
	DP	0,125	0,053	0,05	0,08	0,150		8,4	6,1	4,4	
	Mín	1,791	1,932	2,90	1,37	1,149		48,0	70,6	73,7	
	Máx	2,115	2,081	3,02	1,62	1,514		69,0	85,8	87,2	
FUNDO	M	2,087	2,003	3,12	1,41	1,301	3,09	53,9	79,5	84,9	77
	DP	0,086	0,054	0,07	0,03	0,074	0,10	1,4	1,9	2,0	6
	Mín	1,973	1,926	3,02	1,36	1,250	2,95	52,5	77,3	82,9	70
	Máx	2,176	2,081	3,18	1,44	1,365	3,18	56,5	81,9	87,8	80
PADRÃO	Mín	1,78	1,78	2,70		1,00	3,00	45	70	75	70
	Máx	2,11	2,11	3,10			3,30				

M/DP/Mín/Máx: Média/Desvio-padrão/Valor mínimo/Valor máximo

GC - gancho do corpo (mm)

PR - profundidade do rebaixo (mm)

GT - gancho da tampa (mm)

SR - sobreposição relativa (%)

HT - comprimento da recravação (mm)

EGC - enganchamento do gancho do corpo (%)

ER - espessura da recravação (mm)

C - compactação (%)

SL - sobreposição linear (mm)

A - aperto (%)

(1) resultado de 6 determinações

TABELA 42. Parâmetros determinados e calculados para a recravação da tampa e do fundo da lata B de pêssego em calda e padrões de referência⁽¹⁾.

		GC	GT	HT	ER	SL	PR	SR	EGC	C	A
TAMPA	M	1,885	1,981	3,03	1,40	1,273		49,0	72,3	85,6	
	DP	0,104	0,161	0,10	0,06	0,153		4,8	2,6	3,6	
	Mín	1,730	1,703	2,84	1,33	1,014		41,6	68,6	80,2	
	Máx	2,034	2,135	3,12	1,49	1,453		56,2	75,8	89,8	
FUNDO	M	1,818	2,006	3,06	1,40	1,225	2,96	45,4	68,3	85,7	76
	DP	0,148	0,044	0,09	0,01	0,111	0,19	4,1	4,2	0,6	6
	Mín	1,669	1,966	2,95	1,38	1,115	2,65	41,0	64,4	84,8	70
	Máx	2,027	2,074	3,20	1,41	1,412	3,20	52,5	74,1	86,6	80
PADRÃO	Mín	1,78	1,78	2,70		1,00	3,00	45	70	75	70
	Máx	2,11	2,11	3,10			3,30				

M/DP/Mín/Máx: Média/Desvio-padrão/Valor mínimo/Valor máximo

GC - gancho do corpo (mm)

PR - profundidade do rebaixo (mm)

GT - gancho da tampa (mm)

SR - sobreposição relativa (%)

HT - comprimento da recravação (mm)

EGC - enganchamento do gancho do corpo (%)

ER - espessura da recravação (mm)

C - compactação (%)

SL - sobreposição linear (mm)

A - aperto (%)

(1) resultado de 6 determinações

4.2.3.2 Avaliações periódicas

- Avaliação visual interna das latas

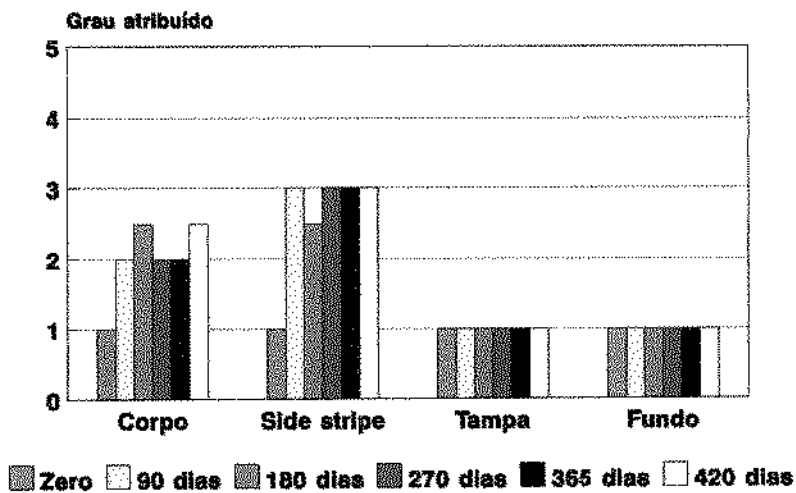
Os resultados médios relativos à avaliação visual interna das embalagens com envernizamento interno e sem envernizamento interno contendo pêssego em calda encontram-se nas Figuras 45 e 46, respectivamente.

Na lata E (Figura 45), a região mais crítica em termos de alteração da superfície foi a de soldagem. Na temperatura de 23°C, o limite de aceitação foi atingido aos 90 dias de estocagem, porém esta condição foi mantida até o final do estudo. A 30°C o limite foi atingido aos 270 dias, assim permanecendo até o final do estudo, enquanto a 35°C este limite foi atingido entre 270 e 365 dias, mostrando um desempenho inverso ao esperado para o efeito da temperatura, ou seja, de aumentar a velocidade das reações de interação produto/embalagem (MANNHEIM, 1986, BRITTON, 1975). Vale salientar, entretanto, que este fato provavelmente tenha ocorrido devido à variabilidade entre as latas individuais. O corpo das latas envernizadas apresentou alteração importante na estocagem a 30°C, tendo atingido o limite de aceitação entre os 180 e 270 dias, enquanto nas outras condições de temperatura a alteração do aspecto interno não tenha alcançado o limite de aceitação. As tampas e fundos apresentaram pequena alteração ao longo da estocagem nas três temperaturas estudadas.

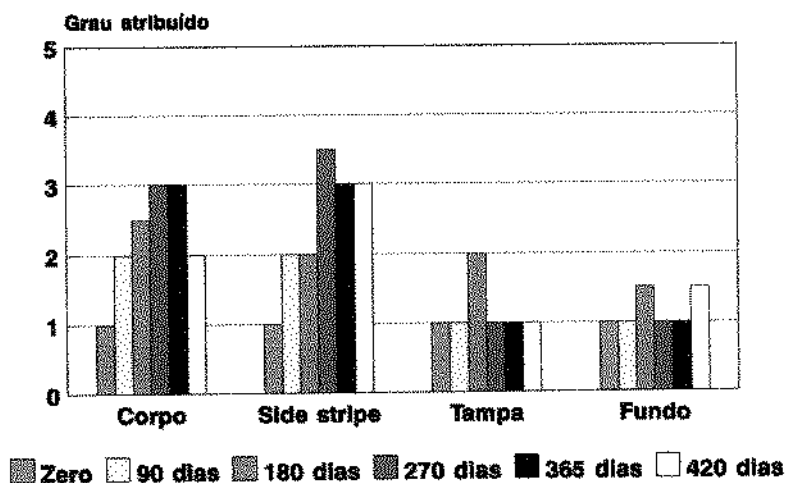
Na lata B (Figura 46) observou-se que a região mais crítica foi o corpo, para o qual foi atingido o limite máximo de aceitação quanto ao aspecto interno aos 90 dias de estocagem nas três temperaturas estudadas, enquanto para a tampa, fundo e costura lateral, este limite foi atingido entre 180 e 270 dias de estocagem nas três temperaturas estudadas, exceção feita à tampa na estocagem a 23°C e ao fundo na estocagem a 35°C, que atingiram o limite de aceitação entre 90 e 180 dias.

Estes resultados demonstram que, no acondicionamento de pêssego em calda em lata envernizada internamente e condição des aerada, o efeito do aumento da temperatura de estocagem na oxidação interna é importante, principalmente para valores acima de 30°C.

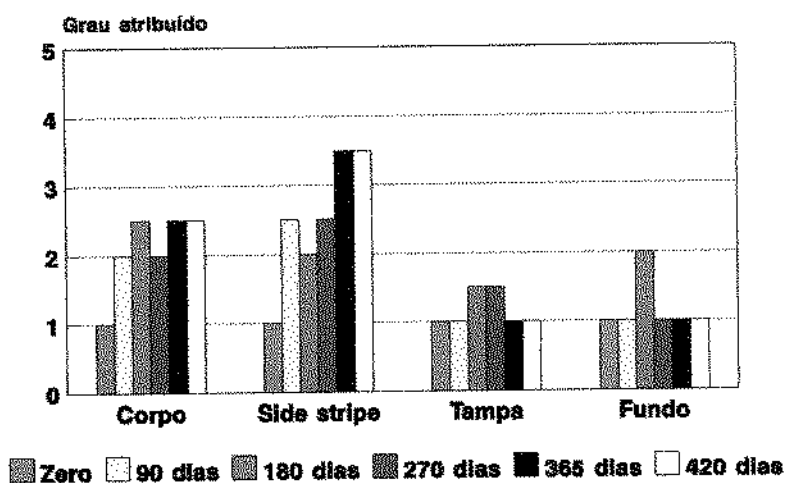
Observou-se, ainda, a ocorrência de perfuração em algumas embalagens de pêssego envernizadas internamente, ou seja, aos 270 dias de estocagem a 35°C, quatro unidades apresentaram perfuração na região de recravação do fundo e aos 365 dias de estocagem a 35°C seis unidades apresentaram perfuração nesta mesma posição, uma na junção da costura com a recravação do fundo e outra na costura eletrossoldada, totalizando doze latas perfuradas. Estas embalagens não foram consideradas na graduação pela escala de avaliação visual interna nas avaliações periódicas.



a) 23°C

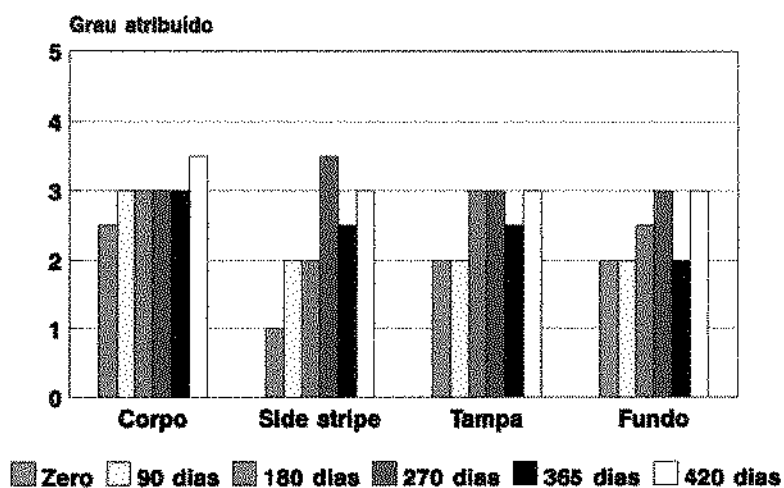


b) 30°C

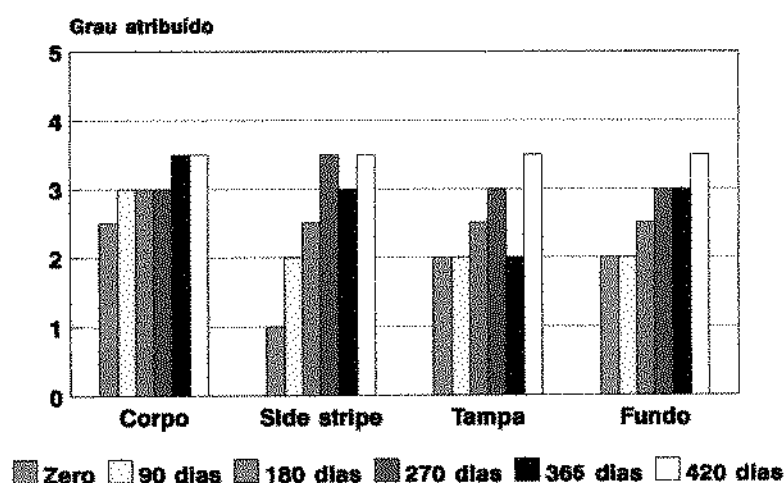


c) 35°C

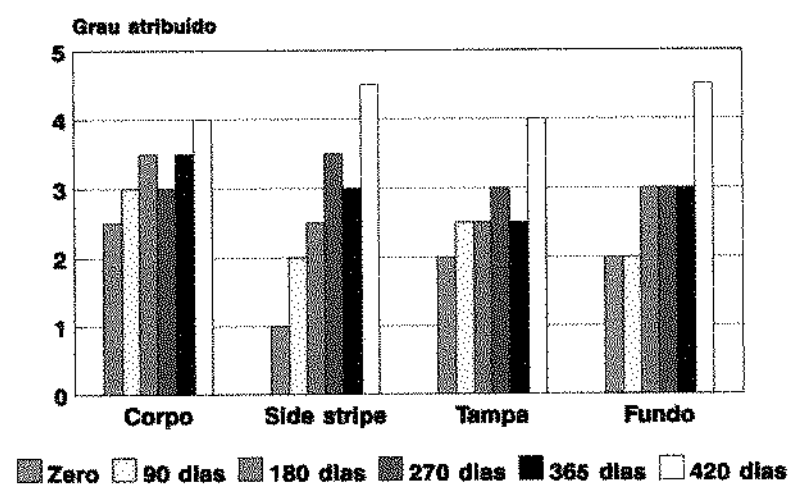
FIGURA 45. Graus médios atribuídos na avaliação visual interna da lata E contendo pêssego em calda: (a) estocagem a 23°C, (b) estocagem a 30°C e (c) estocagem a 35°C.



a) 23°C



b) 30°C



c) 35°C

FIGURA 46. Graus médios atribuídos na avaliação visual interna da lata B contendo pêssego em calda: (a) estocagem a 23°C, (b) estocagem a 30°C e (c) estocagem a 35°C.

Em relação à interação do corpo, tampa e fundo da lata envernizada, vale ressaltar que as áreas de maior intensidade de reação com conseqüente acúmulo de pontos de corrosão correspondem às regiões internas próximas às recravações da tampa e fundo, somente visíveis quando a lata é aberta por meio de abridor especial de recravação e após separação das partes mecanicamente pressionadas no processo de fechamento. Nestas áreas, a pressão exercida pelos roletes de recravação e a deformação mecânica sofrida pelo material provocam microfaturas no verniz. Desta forma, o material metálico fica exposto ao contato com o produto enlatado, resultando nas reações de interação intrínsecas ao sistema. As perfurações nas latas de pêssego estudadas ocorreram nestas posições em 90% dos casos.

- **Nível de vácuo na embalagem**

A Tabela 43 apresenta os resultados do nível de vácuo nas latas de pêssego em calda em função do tempo de estocagem. Verifica-se na lata envernizada internamente uma perda expressiva no nível de vácuo interno apenas na estocagem à temperatura de 35°C, equivalente a 58%, enquanto a 23 e 30°C os valores foram de 16 e 20%, respectivamente.

Na lata branca verifica-se uma perda expressiva no nível de vácuo ao longo dos 420 dias de estocagem nas temperaturas de 30 e 35°C, correspondentes a 47 e 55%, respectivamente, enquanto na estocagem a 23°C a perda média de vácuo foi de 2%. Estes dados demonstram um efeito importante da temperatura na perda de vácuo da embalagem de pêssego em calda sem verniz interno.

Assim, embora a condição interna fosse muito diferente, observou-se que o efeito da temperatura de estocagem, na condição de 35°C entre os dois tipos de embalagens estudados, foi muito similar aos 420 dias de estocagem. Além disso, na temperatura de estocagem de 23°C (mais amena), o nível de vácuo foi melhor mantido nas latas sem envernizamento interno.

Nos dois tipos de embalagem, o nível de vácuo inicial apresentava-se de acordo com o estabelecido pela Legislação Brasileira, correspondente ao máximo de 30cmHg (11,8polHg) (BRASIL, 1978).

Segundo KAMM *et alli* (1988), a corrosividade de latas brancas acondicionando frutas claras, mais especificamente pêra em xarope, é menor quando o vácuo inicial é igual ou superior a 16 polHg (41 cmHg), em relação ao vácuo de 10 a 13 pol Hg (25 a 33 cmHg). Embora no Brasil a prática seja o uso de latas envernizadas

internamente, o valor máximo estabelecido para vácuo inicial em latas de pêssego em calda pode ser um parâmetro a ser reavaliado.

A análise de variância dos dados de vácuo nas latas de pêssego em calda a três critérios de classificação mostrou que existiu diferença significativa entre as duas amostras, entre as épocas de estocagem e entre as temperaturas de estocagem. A Figura 47 apresenta os diagramas de médias de vácuo dos dados globais em função dos efeitos principais (amostra, tempo e temperatura de estocagem) e seus respectivos intervalos de confiança ao nível de 95%. A detrimento do uso ou não de verniz interno na embalagem, verificaram-se relações semelhantes, ou seja, um aumento progressivo no nível de pressão interna das latas ao longo do tempo de estocagem e o efeito positivo do aumento da temperatura no aumento da pressão interna, ou melhor, da perda do nível de vácuo.

TABELA 43. Resultados do vácuo, em centímetros de mercúrio, no pêssego em calda acondicionado nas latas E (envernizadas internamente) e nas latas B (sem verniz interno), em função do tempo de estocagem à temperatura de 23, 30 e 35°C.*

Tempo de estocagem (dias)		Lata E			Lata B		
		Temperatura (°C)			Temperatura (°C)		
		23	30	35	23	30	35
0	M	26,2	26,2	26,2	24,1	24,1	24,1
	DP	1,93	1,93	1,93	2,54	2,54	2,54
	Mín.	24,1	24,1	24,1	21,6	21,6	21,6
	Máx.	27,9	27,9	27,9	26,7	26,7	26,7
90	M	27,2	27,9	24,9	25,4	21,1	22,4
	DP	4,09	2,21	0,74	2,54	6,53	3,89
	Mín.	24,1	26,7	24,1	22,9	14,0	19,1
	Máx.	31,8	30,5	25,4	27,9	26,7	26,7
180	M	27,2	25,4	25,4	20,3	10,9	10,9
	DP	1,47	0,00	2,54	6,7	2,92	8,79
	Mín.	25,4	25,4	22,9	12,7	7,6	7,6
	Máx.	27,9	25,4	27,2	25,4	12,7	22,9
285	M	23,6	22,1	20,3	24,6	22,1	19,6
	DP	2,92	2,92	5,08	2,92	5,87	1,47
	Mín.	20,3	20,3	15,2	22,9	13,2	17,8
	Máx.	25,4	25,4	25,4	27,9	25,4	20,3
365	M	19,6	23,4	15,7	24,9	17,0	16,0
	DP	1,47	1,93	0,74	0,74	5,3	1,47
	Mín.	17,8	21,6	15,2	24,1	12,7	15,2
	Máx.	20,3	25,4	16,5	25,4	22,9	17,8
420	M	22,1	20,8	10,9	23,6	12,7	10,9
	DP	1,47	2,64	5,28	2,92	0,00	1,47
	Mín.	20,3	17,8	5,08	20,3	12,7	10,2
	Máx.	22,9	22,9	15,2	25,4	12,7	12,7

M/DP/Mín/Máx: Média/Desvio-padrão/Valor mínimo/Valor máximo

* Resultado de três determinações

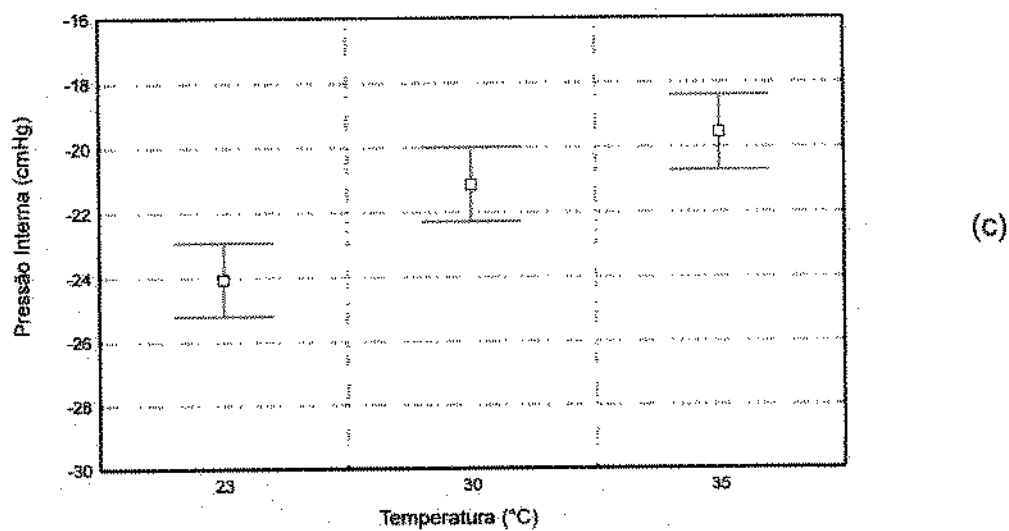
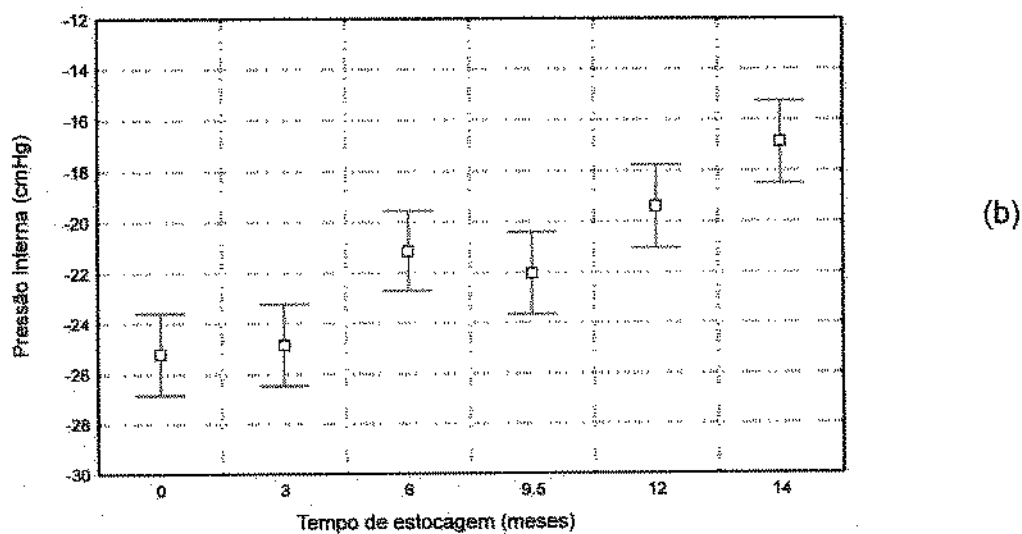
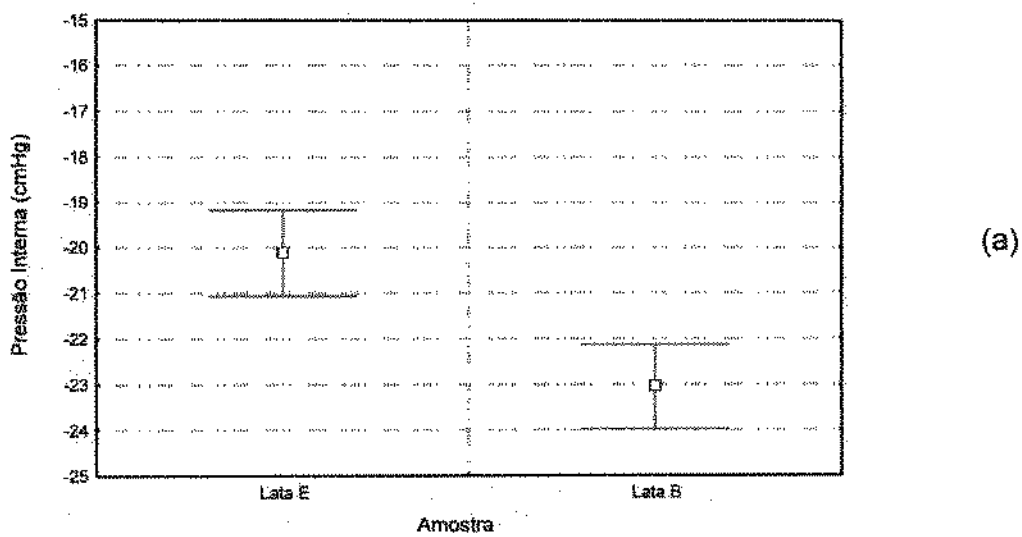


FIGURA 47. Diagramas de intervalos das médias dos valores de vácuo e seus intervalos de confiança nas latas de pêssego em calda em função de: (a) tipo de lata, (b) tempo de estocagem, (c) temperatura de estocagem.

• **Determinação do pH, da acidez e do teor de sólidos solúveis no pêssego em calda**

As Tabelas 44 a 46 apresentam os resultados do pH, da acidez e do teor de sólidos solúveis do pêssego em calda acondicionado nos dois tipos de lata, ao longo do período de estocagem nas três condições de temperatura, onde se verifica que, em geral, houve um decréscimo muito ligeiro no pH e um pequeno aumento da acidez ao longo do período de estocagem, enquanto o teor de sólidos solúveis permaneceu praticamente constante.

Segundo a *National Cannery Association* (citado por MINIONI, 1977), o pêssego em calda deve apresentar pH médio de 3,87 e variação no intervalo de 3,52 a 4,16. A mesma fonte apresenta como acidez média 0,35g de ácido cítrico/100g de amostra e intervalo de variação de 0,19 a 0,51g ácido cítrico/100g amostra. O teor de sólidos solúveis no pêssego em calda após equilíbrio deve situar-se entre 14 e 40°Brix (BRASIL, 1979). Com exceção da avaliação de pH aos 285 dias de estocagem e aos 180 dias em algumas temperaturas, o produto estudado apresentava-se de acordo com estes parâmetros.

TABELA 44. Resultados do pH no pêssego em calda acondicionado em latas E e B em função do tempo de estocagem à temperatura de 23, 30 e 35°C*.

Tempo de estocagem (dias)		Lata E			Lata B		
		Temperatura (°C)			Temperatura (°C)		
		23	30	35	23	30	35
0	M	3,72	3,72	3,72	3,70	3,70	3,70
	DP	0,03	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00
	Mín.	3,70	3,70	3,70	3,70	3,70	3,70
	Máx.	3,75	3,75	3,75	3,70	3,70	3,70
90	M	3,57	3,60	3,50	3,55	3,70	3,58
	DP	0,06	0,10	0,00	0,05	0,00	0,03
	Mín.	3,50	3,50	3,50	3,50	3,70	3,55
	Máx.	3,60	3,70	3,50	3,60	3,70	3,60
180	M	3,48	3,50	3,47	3,43	3,53	3,53
	DP	0,08	0,10	0,15	0,21	0,06	0,06
	Mín.	3,40	3,40	3,30	3,20	3,50	3,50
	Máx.	3,55	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60
285	M	3,40	3,37	3,40	3,40	3,40	3,40
	DP	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00
	Mín.	3,40	3,30	3,40	3,40	3,40	3,40
	Máx.	3,40	3,40	3,40	3,40	3,40	3,40
365	M	3,53	3,57	3,60	3,55	3,53	3,55
	DP	0,06	0,06	0,00	0,09	0,06	0,09
	Mín.	3,50	3,50	3,60	3,45	3,50	3,45
	Máx.	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60

M/DP/Mín/Máx: Média/Desvio-padrão/Valor mínimo/Valor máximo

* Resultado de três determinações

TABELA 45. Resultados de acidez em g de ácido cítrico em 100g de amostra, no pêssego em calda acondicionado nas latas E e B em função do tempo de estocagem à temperatura de 23, 30 e 35°C*.

Tempo de estocagem (dias)		Lata E			Lata B		
		Temperatura (°C)			Temperatura (°C)		
		23	30	35	23	30	35
0	M	0,322	0,322	0,322	0,331	0,331	0,331
	DP	0,023	0,023	0,023	0,027	0,027	0,027
	Mín.	0,297	0,297	0,297	0,304	0,304	0,304
	Máx.	0,344	0,344	0,344	0,357	0,357	0,357
90	M	0,305	0,356	0,319	0,357	0,340	0,342
	DP	0,015	0,010	0,007	0,012	0,017	0,011
	Mín.	0,288	0,345	0,311	0,345	0,324	0,331
	Máx.	0,315	0,365	0,325	0,369	0,358	0,352
180	M	0,326	0,330	0,354	0,325	0,344	0,352
	DP	0,014	0,020	0,003	0,009	0,012	0,003
	Mín.	0,316	0,317	0,351	0,319	0,337	0,350
	Máx.	0,383	0,354	0,357	0,336	0,358	0,356
285	M	0,369	0,381	0,374	0,368	0,383	0,379
	DP	0,007	0,003	0,002	0,009	0,005	0,002
	Mín.	0,362	0,378	0,372	0,361	0,378	0,377
	Máx.	0,375	0,383	0,375	0,378	0,387	0,382
365	M	0,342	0,330	0,379	0,334	0,365	0,400
	DP	0,025	0,025	0,007	0,018	0,033	0,003
	Mín.	0,315	0,302	0,371	0,315	0,328	0,397
	Máx.	0,364	0,349	0,384	0,350	0,392	0,403

M/DP/Mín/Máx: Média/Desvio-padrão/Valor mínimo/Valor máximo

* Resultado de três determinações.

TABELA 46. Resultados do teor de sólidos solúveis, em graus Brix, no pêssego em calda acondicionado nas latas E e B em função do tempo de estocagem à temperatura de 23, 30 e 35°C*.

Tempo de estocagem (dias)		Lata E			Lata B		
		Temperatura (°C)			Temperatura (°C)		
		23	30	35	23	30	35
0	M	19,84	19,84	19,84	19,60	19,60	19,60
	DP	0,17	0,17	0,17	0,49	0,49	0,49
	Mín.	19,64	19,64	19,64	19,04	19,04	19,04
	Máx.	19,64	19,64	19,64	19,94	19,94	19,94
90	M	19,55	20,21	19,88	19,55	19,88	19,88
	DP	0,58	0,29	0,00	0,58	0,00	0,00
	Mín.	18,88	19,88	19,88	18,88	19,88	19,88
	Máx.	19,88	20,38	19,88	19,88	19,88	19,88
180	M	19,72	20,05	20,55	19,72	20,22	20,05
	DP	0,00	0,76	0,76	0,00	0,00	1,04
	Mín.	19,72	19,22	19,72	19,72	20,22	19,22
	Máx.	19,72	20,72	21,22	19,72	20,22	21,22
285	M	19,54	20,04	19,71	19,37	20,04	20,37
	DP	0,00	0,50	0,29	0,29	0,50	0,29
	Mín.	19,54	19,54	19,54	19,04	19,54	20,04
	Máx.	19,54	20,54	20,04	19,54	20,54	20,54
365	M	19,79	20,12	20,12	20,12	20,45	19,95
	DP	0,29	0,50	0,00	0,50	0,29	0,29
	Mín.	19,62	19,62	20,12	19,62	20,12	19,62
	Máx.	20,12	20,62	20,12	20,62	20,62	20,12

M/DP/Mín/Máx: Média/Desvio-padrão/Valor mínimo/Valor máximo

* Resultado de três determinações. Valores corrigidos para a temperatura de 20°C

A análise de variância a três critérios de classificação mostrou que não houve diferença significativa no pH entre as amostras e entre as temperaturas de estocagem; o pH apresentou variação significativa apenas entre as diferentes épocas de estocagem. A Figura 48 apresenta diagramas de intervalos de médias globais de pH para os três critérios (tipo de lata, época de estocagem e temperatura de estocagem), ilustrando estes resultados.

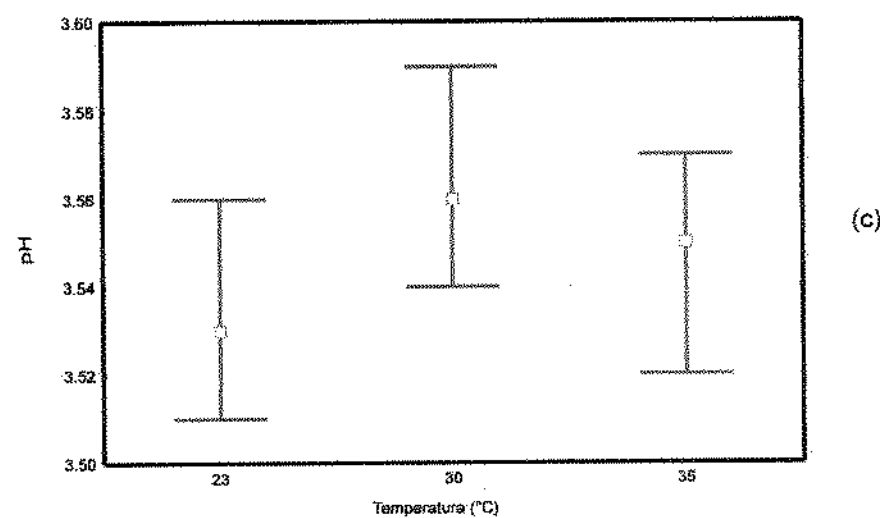
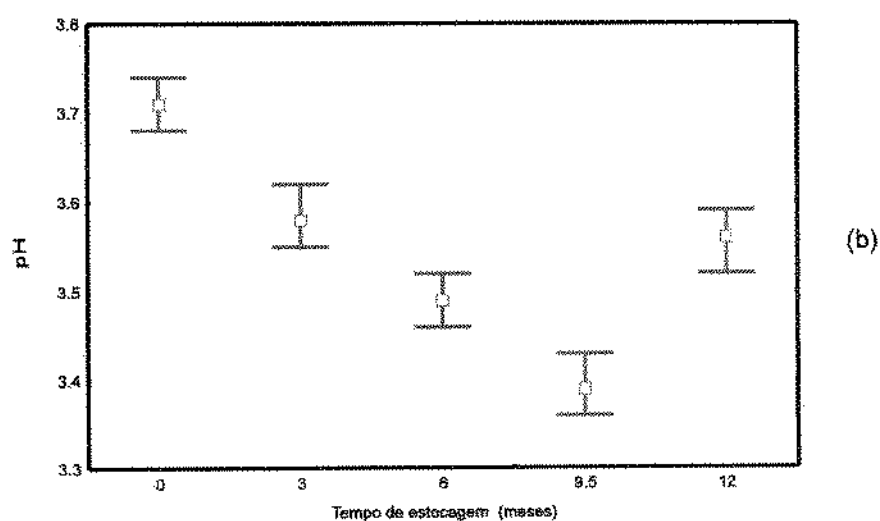
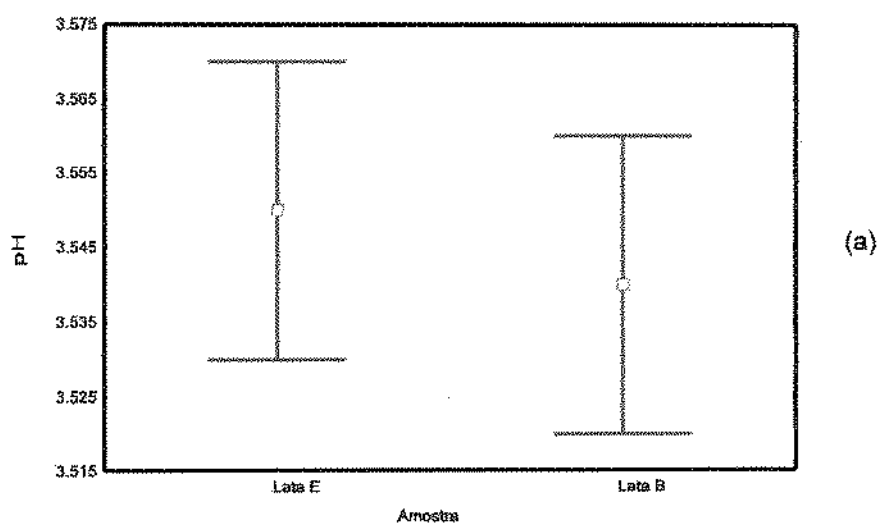


FIGURA 48. Diagramas de intervalos de médias dos resultados de pH no pêssgo em calda acondicionado em latas E e B: (a) amostra; (b) época de estocagem; (c) temperatura de estocagem.

Em relação à acidez, verificou-se pela análise de variância a três critérios de classificação que houve diferença significativa nos resultados na comparação entre os dois tipos de lata, entre as épocas de estocagem e entre as temperaturas de estocagem. Em relação à temperatura, observou-se nos dois tipos de lata que maiores temperaturas aumentam a acidez. A Figura 49 apresenta diagramas de intervalos de médias de acidez para os três critérios (tipo de lata, época de estocagem e temperatura de estocagem).

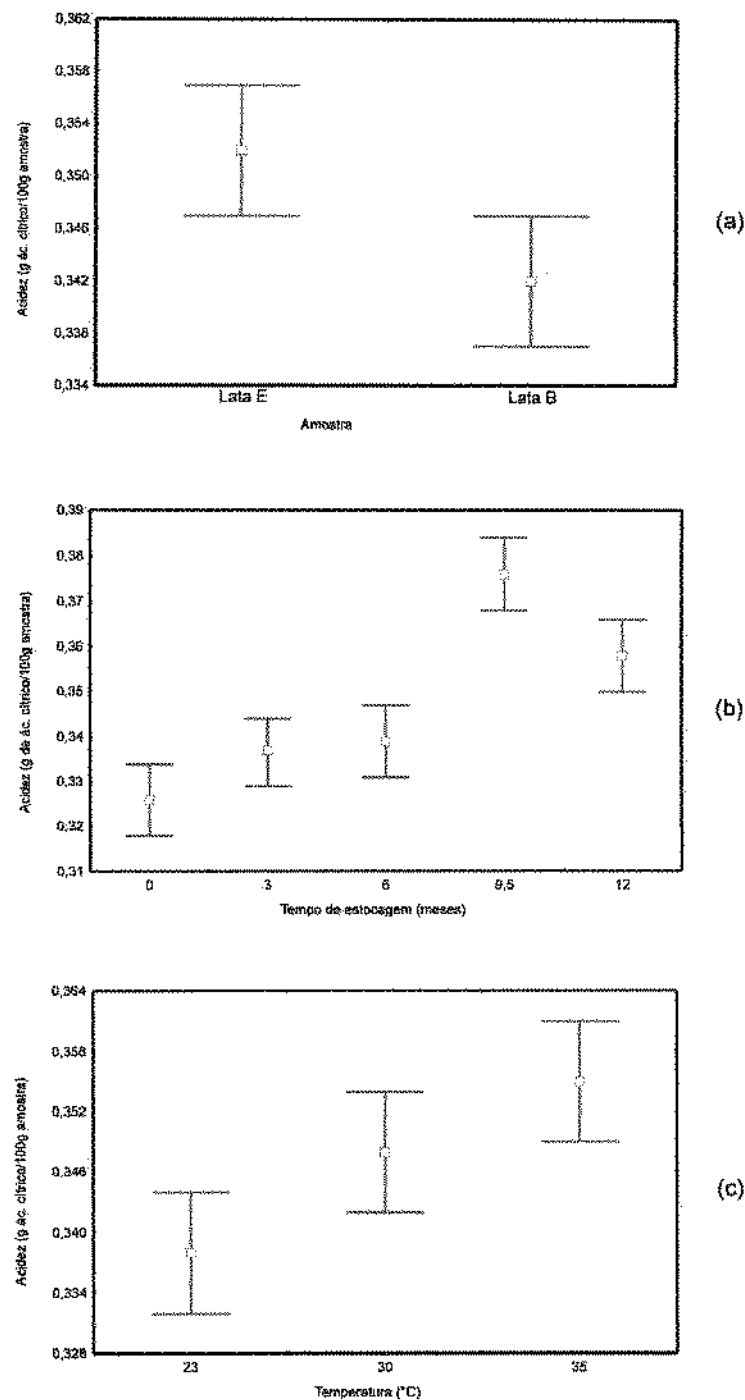


FIGURA 49. Diagramas de intervalos de médias dos resultados de acidez no pêsego em calda acondicionado em latas E e B: (a) amostra; (b) época de estocagem; (c) temperatura de estocagem.

Em relação ao teor de sólidos solúveis, verificou-se pela análise de variância a três critérios de classificação que não houve diferença significativa nos dados entre amostras (tipo de lata), sendo que quanto aos demais critérios (época e temperatura de estocagem) os dados diferem significativamente entre si. A Figura 50 apresenta diagramas de intervalos de médias de °Brix para os três critérios (tipo de lata, época de estocagem e temperatura de estocagem). Verifica-se que o efeito positivo da temperatura no aumento do teor de sólidos solúveis ocorre entre a temperatura de 23°C e as duas condições restantes, não se observando diferença entre as duas últimas.

Nas avaliações de pH, acidez e sólidos solúveis no pêssego em calda, as diferenças observadas estão mais relacionadas às alterações intrínsecas ao produto, à variabilidade entre unidades avaliadas e aos erros analíticos do que representam uma alteração da amostra em consequência da interação produto/embalagem.

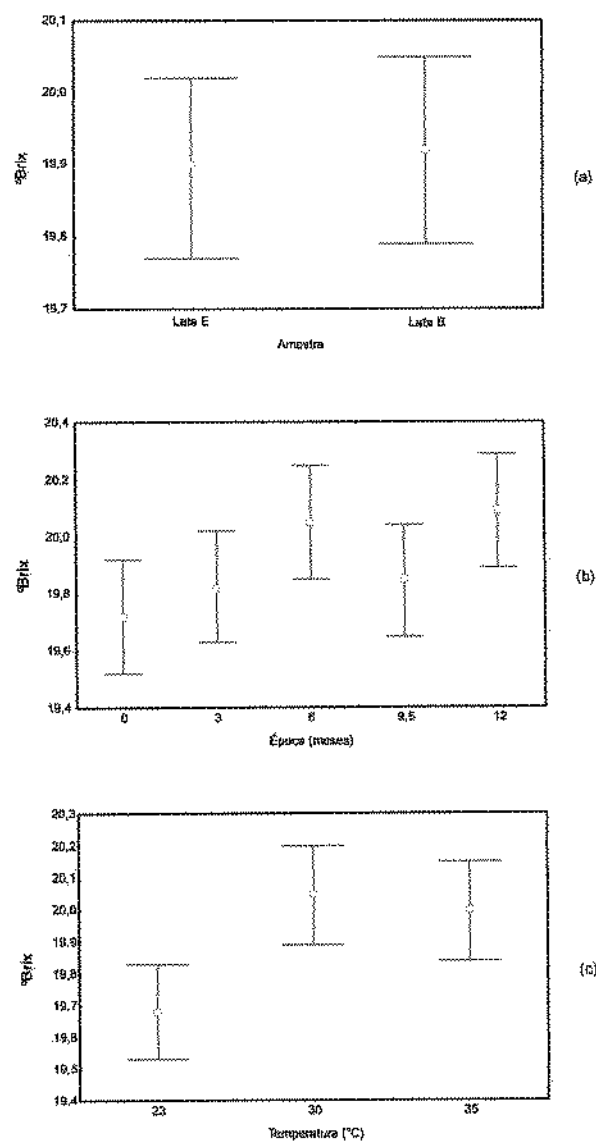


FIGURA 50. Diagramas de intervalos de médias dos resultados de teor de sólidos solúveis em °Brix no pêssego em calda acondicionado em latas E e B: (a) amostra; (b) época de estocagem; (c) temperatura de estocagem.

• **Determinação da composição gasosa do espaço livre das latas**

A Tabela 47 apresenta os resultados da composição gasosa do espaço livre das latas E e B para acondicionamento de pêssego em calda, no início e após 365 dias de estocagem, nas três condições de temperatura.

TABELA 47. Resultados da concentração de oxigênio e hidrogênio(%), presente no espaço-livre das latas E e B, no início e término do período de estocagem, nas três temperaturas consideradas⁽¹⁾.

Época/temperatura		Lata E		Lata B	
		O ₂	H ₂	O ₂	H ₂
Zero dia	M	2,09	0,08	1,39	0,48
	DP	1,04	0,02	0,74	0,15
	Mín	1,28	0,06	0,87	0,35
	Máx	3,27	0,09	2,24	0,64
365 dias / 23°C	M	0,31	4,5	0,58	4,3
	DP	0,04	2,3	0,06	0,38
	Mín	0,27	2,2	0,53	4,0
	Máx	0,43	6,7	0,70	4,7
365 dias / 30°C	M	0,55	5,5	0,39	7,2
	DP	0,08	1,3	0,07	2,40
	Mín	0,43	4,7	0,30	5,0
	Máx	0,63	7,0	0,50	10,0
365 dias / 35°C	M	0,36	23,6	0,20	6,5
	DP	0,14	4,3	0,05	2,4
	Mín	0,16	11,3	0,17	4,3
	Máx	0,46	26,7	0,30	9,0

M/DP/Mín/Máx: Média/ Desvio-padrão/ Valor mínimo/ Valor máximo

(1) Resultado da determinação em duplicata em três latas

Verifica-se que a concentração inicial de oxigênio e hidrogênio nas duas latas são diferentes, indicando que na lata branca houve maior interação embalagem/produto no processamento térmico do que na lata envernizada (devido ao transporte das latas a avaliação ocorreu após 5 dias do processamento). No final do período de estocagem, entretanto, todas as latas apresentavam concentração de oxigênio desprezível, devido ao seu consumo na reação de corrosão (CATALÁ, 1985, FAO, 1986). A variação encontrada deve-se, possivelmente, à variabilidade da amostra e ao erro analítico intrínseco ao método.

Quanto à concentração de hidrogênio, verificou-se em ambos os tipos de lata o aumento durante a estocagem nas três temperaturas consideradas. Na lata branca, embora tenha ficado evidenciada a influência da temperatura no aumento da formação de H₂, a maior concentração foi observada na estocagem a 30°C, o que provavelmente seja decorrente da variabilidade da amostra, uma vez que os resultados são similares. Na lata

envernizada, observa-se o aumento da concentração de H_2 em função da temperatura e a importância de valores de temperatura mais altos no aumento da velocidade de corrosão, uma vez que os valores determinados na condição de $35^\circ C$ são muito superiores aos da condição de $30^\circ C$.

Na estocagem a $35^\circ C$, a intensidade de formação de H_2 na lata envernizada foi muito maior que na lata sem verniz interno. Isto pode ser devido ao menor sobrepotencial de descarga de hidrogênio sobre o ferro que sobre o estanho, ou seja, menor energia necessária para formação do gás hidrogênio sobre o ferro que sobre o estanho (MASSINI, 1974).

- **Determinação das concentrações de ferro e de estanho no produto**

As Tabelas 48 e 49 apresentam os resultados da concentração de ferro e de estanho no pêssego em calda acondicionado nas latas envernizada e sem verniz, durante 365 dias de estocagem nas três condições de temperatura e a Figura 51 apresenta os diagramas de médias em função do tempo de estocagem dos mesmos dados.

TABELA 48. Resultados da determinação da concentração de ferro no pêssego em calda, em mg/kg, em função do tempo de estocagem nas temperaturas de 23, 30 e 35°C.*

Tempo de estocagem (dias)		Lata E			Lata B		
		Temperatura (°C)			Temperatura (°C)		
		23	30	35	23	30	35
0	M	1,75	1,75	1,75	1,86	1,86	1,86
	DP	0,16	0,16	0,16	0,07	0,07	0,07
	Mín.	1,68	1,68	1,68	1,78	1,78	1,78
	Máx.	1,88	1,88	1,88	1,92	1,92	1,92
90	M	1,83	2,89	3,32	1,79	2,05	1,90
	DP	0,07	0,11	0,44	0,06	0,03	0,20
	Mín.	1,76	2,82	2,77	1,75	2,04	1,71
	Máx.	1,88	2,95	3,72	1,87	2,06	2,14
180	M	1,94	4,87	5,99	1,91	1,76	1,94
	DP	0,05	2,76	1,30	0,05	0,04	0,08
	Mín.	1,91	2,50	4,41	1,87	1,72	1,86
	Máx.	1,97	8,35	7,25	1,94	1,81	2,04
285	M	3,43	10,99	7,03	2,14	1,86	1,91
	DP	1,14	1,01	1,08	0,17	0,08	0,11
	Mín.	2,48	10,08	5,97	1,02	1,81	1,81
	Máx.	4,87	12,24	8,34	2,37	1,95	2,02
365	M	3,47	7,53	11,05	2,47	2,50	2,27
	DP	0,77	2,91	2,63	0,32	0,38	0,40
	Mín.	2,88	5,09	9,12	2,06	2,02	2,01
	Máx.	4,46	11,21	14,41	2,71	2,82	2,78
420	M	5,67	10,92	23,50	2,26	2,19	2,29
	DP	1,81	4,66	2,31	0,34	0,34	0,26
	Mín.	4,24	6,35	20,60	2,00	1,86	2,01
	Máx.	7,99	16,58	25,54	2,69	2,59	2,59

M/DP/Mín/Máx: Média/Desvio-padrão/Valor mínimo/Valor máximo

* Resultado de três determinações

TABELA 49. Resultados da determinação da concentração de estanho no pêssego em calda, em mg/kg, em função do tempo de estocagem nas temperaturas de 23, 30 e 35°C.

Tempo de estocagem (dias)		Lata E			Lata B		
		Temperatura (°C)			Temperatura (°C)		
		23	30	35	23	30	35
0	M	2,68	2,68	2,68	13,26	13,26	13,26
	DP	0,23	0,23	0,23	0,34	0,34	0,34
	Mín	2,53	2,53	2,53	12,87	12,87	12,87
	Máx	2,90	2,90	2,90	13,50	13,50	13,50
90	M	2,88	3,24	2,77	27,54	36,23	45,41
	DP	0,12	0,29	0,15	4,54	6,54	0,91
	Mín	2,81	3,03	2,67	21,69	30,65	44,67
	Máx	2,95	3,52	2,90	30,67	44,51	46,46
180	M	2,81	3,76	3,75	46,30	45,67	65,04
	DP	0,74	0,47	0,17	4,08	4,63	5,83
	Mín	1,85	3,26	3,66	41,38	39,70	59,29
	Máx	3,35	4,30	3,82	50,38	48,71	72,11
285	M	4,05	4,81	5,07	46,11	47,24	109,46
	DP	0,45	0,52	0,34	20,06	9,36	6,20
	Mín	3,66	4,29	4,65	33,12	35,48	101,99
	Máx	4,61	5,43	5,40	72,00	55,48	115,60
365	M	5,99	6,45	6,53	31,75	36,66	165,17
	DP	0,66	0,91	0,38	1,06	1,07	13,38
	Mín	5,15	5,27	6,28	30,43	35,29	153,16
	Máx	6,55	7,10	6,99	32,70	37,42	181,93
420	M	6,18	7,58	8,01	41,01	48,93	305,20
	DP	0,75	0,95	0,75	21,78	9,26	77,21
	Mín	5,62	6,37	7,04	21,69	38,70	223,20
	Máx	7,14	8,30	8,52	68,36	59,39	395,27

M/DP/Mín/Máx: Média/Desvio-padrão/Valor mínimo/Valor máximo

* Resultado de três determinações

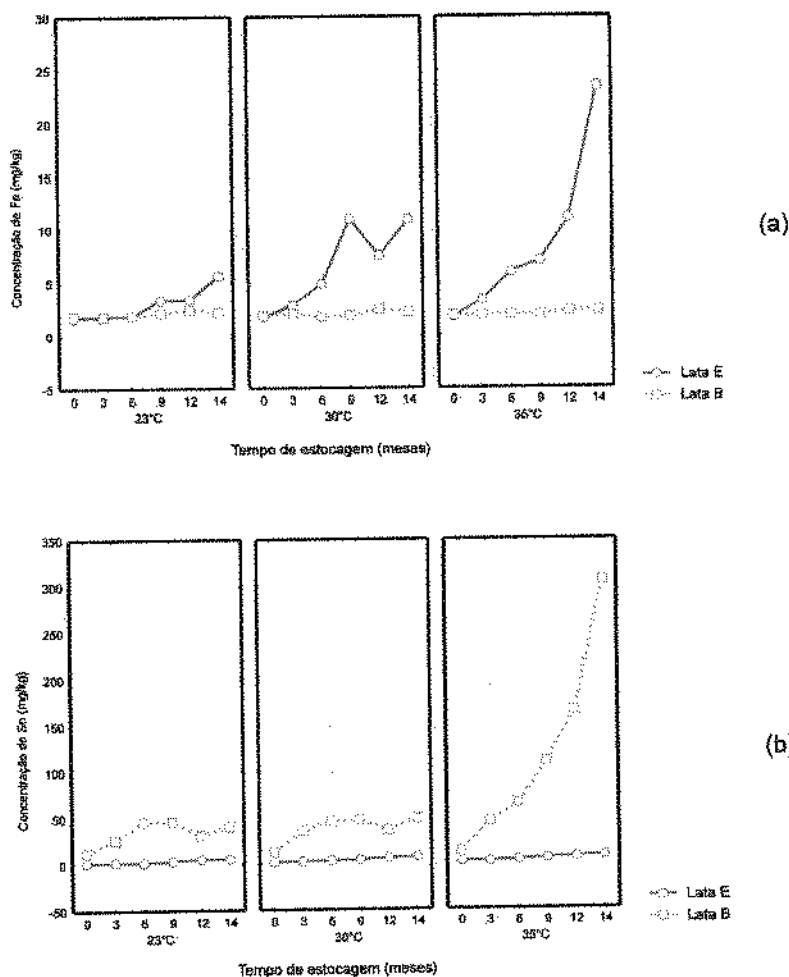


FIGURA 51. Diagramas de médias em função do tempo de estocagem a 23, 30 e 35°C no pêssgo em calda acondicionado nas latas E e B: (a) ferro; (b) estanho.

As duas embalagens de pêssgo, por possuírem especificações muito diferentes, apresentaram dissolução de metais também muito diferentes. A concentração média de ferro no pêssgo acondicionado na lata envernizada, após 420 dias de estocagem, apresentou-se 3,2, 6,2 e 13,4 vezes superior ao encontrado logo após o processamento para as temperaturas de 23, 30 e 35°C, respectivamente. O estanho, por sua vez, apresentou menor intensidade de dissolução, resultando em níveis superiores em 2,3, 2,8 e 3,0 vezes em relação ao inicial e demonstrando ainda um pequeno efeito da temperatura na aceleração das reações.

Na lata sem verniz interno, a dissolução de ferro ao longo do período de estocagem nas três condições de temperatura foi muito pequena e similar entre si, resultando na concentração final 20% superior ao verificado no início, evidenciando não haver influência da temperatura. Em relação ao estanho, os níveis de dissolução foram bastante altos e muito influenciados pelo aumento da temperatura, resultando em concentrações aos 420

dias de estocagem 3,1, 3,7 e 23,0 vezes superiores ao observado inicialmente nas condições de 23, 30 e 35°C, respectivamente. Observa-se, assim, uma grande influência de temperaturas superiores a 30°C na aceleração da velocidade de corrosão em latas sem verniz interno acondicionando pêssego em calda, enquanto abaixo deste limite o desempenho foi muito próximo em relação à temperatura ambiente.

Na estocagem a 35°C, o pêssego acondicionado na lata sem verniz ultrapassou o limite máximo de estanho permitido pela Legislação Brasileira, correspondente a 250mg/kg, entre os 365 e 420 dias de estocagem. Portanto, a vida-de-prateleira do produto nesta condição de estocagem encontra-se neste intervalo de tempo, enquanto a 23 e 30°C extrapola o período estudado.

A análise de variância a três critérios de classificação mostrou haver diferença significativa na concentração de ferro do pêssego em calda entre os tipos de lata, épocas de estocagem e temperaturas, sendo que estes fatores também interagem entre si. O mesmo ocorre para o estanho.

Existem diferentes desempenhos eletroquímicos do par estanho/ferro que dependem do tipo de alimento e agentes despolarizantes presentes e que determinam o mecanismo de corrosão da lata de folha-de-flandres sem verniz interno. O desestanhamento normal caracteriza-se pela proteção catódica completa conferida pelo estanho em relação ao aço. O desestanhamento rápido em latas brancas caracteriza-se pela ocorrência de estanho anódico para proteger o aço e de elevada corrente de corrosão. A taxa de dissolução e a evolução de hidrogênio são altas, podendo ocorrer falha precoce de embalagem (MANNHEIM, 1986).

Neste estudo, as embalagens estocadas a 23 e 30°C apresentaram mecanismo de desestanhamento normal, enquanto na condição de 35°C verificou-se o desestanhamento rápido.

PENNERA (citado por KAMM *et alii*, 1988) relatou que os produtos de degradação da frutose, formados durante o processamento e a estocagem, contribuem para a dissolução de parte do estanho por ataque direto, e que a frutose pode ser formada pela hidrólise da sacarose, produzindo frutose e glucose, sendo que ambos os processos são influenciados por altas temperaturas. A possível maior formação de frutose no pêssego em calda estocado a 35°C pode ser uma explicação para a intensificação do desestanhamento das latas nesta condição de temperatura.

Observou-se que a inexistência de verniz de proteção da eletrossolda não resultou em inversão da polaridade, não tendo ocorrido dissolução do ferro exposto na costura lateral sem verniz, o que demonstra que é

dispensável a proteção da eletrossolda neste tipo de lata para o acondicionamento desta classe de produtos alimentícios.

Vários estudos e levantamentos referem-se à utilização de latas sem verniz interno para o acondicionamento de frutas claras, entre elas o pêssego em calda. Principalmente na década de 80, observou-se a ocorrência freqüente de problemas de perfuração neste tipo de lata contendo várias frutas, o que levou ao desenvolvimento de estudos objetivando o diagnóstico e/ou a solução do problema (WILLEM *et alii*, 1996, DAMAO, 1996, MONTARANI *et alii*, 1993, NISHIDA *et alii*, 1992, OYAGI *et alii*, 1990, AUBRUN, 1990, KIM & HELWIG, 1988, KAM *et alii*, 1988, KAMM *et alii*, 1984, CHIN *et alii*, 1984). O problema verificado foi atribuído a vários fatores relacionados à produção do aço e às características superficiais do material: processo de lingotamento do aço, tipo de recozimento, se contínuo ou em caixa, presença de fósforo na superfície, composição química. Além disso, foram enfatizadas a importância dos parâmetros de processamento e a influência de resíduos de pesticidas nas frutas. Nestas citações, entretanto, não é feita referência ao tipo de lata e à existência ou não de proteção da costura eletrossoldada com verniz, embora a prática de utilização de latas brancas sem verniz interno no corpo e com verniz interno na tampa, fundo e região de soldagem seja bem conhecida na Europa, EUA e em outros países.

A não ocorrência de perfuração nas latas brancas estudadas provavelmente deveu-se ao aço usado, correspondente ao tipo MR. DAMAO (1996) também observou desestanhamento normal em latas brancas com capacidade nominal de 3kg (nº10) contendo frutas. As latas foram fabricadas a partir de um novo tipo de folha-de-flandres, com característica de alta resistência à corrosão. Após 15 meses de estocagem à temperatura ambiente, o autor observou concentrações de estanho e de ferro de 90ppm e 5ppm, respectivamente.

Na lata envernizada não se observou a inversão da polaridade, com o estanho assumindo desempenho catódico e o ferro anódico (MANNHEIM, 1986). A intensa dissolução de ferro no mecanismo de corrosão pontual levou à perfuração de algumas latas estocadas a 35°C após 270 e 365 dias de estocagem, conforme mencionado anteriormente.

Resumindo, os dois tipos de latas para acondicionamento de pêssego em calda mostraram desempenhos bastante diferentes em relação à interação embalagem/ alimento. Na lata sem verniz interno, observou-se desenvolvimento de processo corrosivo razoavelmente uniforme em todas as partes da lata, com a conseqüente dissolução de estanho; observou-se perda de vácuo, embora sem atingir extremos, e com pequena formação de

gás hidrogênio. A concentração de ferro apresentou pouca alteração ao longo do período de estocagem, enquanto a dissolução do estanho foi bastante intensa. Os parâmetros críticos de desempenho desta lata foram a alteração da superfície interna e a dissolução de estanho.

O efeito do aumento da temperatura de estocagem na aceleração da velocidade de corrosão foi percebido na alteração da superfície interna, na perda de vácuo e produção de gás hidrogênio e na dissolução de estanho. Temperaturas acima de 30°C promovem uma intensa aceleração na dissolução do estanho em latas brancas acondicionando pêssego em calda.

Na lata com verniz interno, as alterações da superfície interna concentraram-se principalmente no corpo e na região de soldagem, tendo sido menos intensas que na lata sem verniz; observou-se perda de vácuo e intensa formação de gás hidrogênio; a dissolução de estanho foi pequena e gradual, enquanto o ferro apresentou grande aumento de concentração ao longo do período de estocagem, demonstrando a ocorrência de corrosão do tipo pontual em regiões de aço exposto ou a partir da dissolução inicial do estanho, devido ao acesso do produto pelas imperfeições do verniz.

De forma similar à lata branca, o efeito da maior temperatura de estocagem na aceleração da velocidade de corrosão foi percebido nos diferentes parâmetros, principalmente na perda de vácuo e produção de H₂ e na dissolução de ferro.

Os principais parâmetros críticos de desempenho da lata envernizada para pêssego em calda foram a alteração da superfície interna e a ocorrência de perfuração da embalagem.

As características químicas do produto (pH, acidez e sólidos solúveis) não apresentaram relação com a interação embalagem/pêssego, não sendo indicadas como parâmetros de acompanhamento do processo corrosivo das latas.

Conforme explicitado para o extrato de tomate, a dissolução metálica pela interação lata/pêssego em calda ao longo do período de estocagem foi avaliada por diferentes tipos de regressão, cuja avaliação permitiu o estabelecimento de modelos matemáticos para a extrapolação de dados e a previsão da concentração dos metais após acondicionamento por períodos mais avançados. As Tabelas 50 e 51 apresentam diferentes equações de regressão para a concentração de ferro e de estanho no pêssego em calda acondicionado nas latas envernizada e branca, respectivamente, ao longo do período de estocagem nas três condições de temperatura estudadas, assim como os respectivos coeficientes de determinação R^2 e R^2_{adj} e o nível de significância p_{obs} . Observa-se que, em

cada tipo de lata, vários são os ajustes possíveis para os dados, o que demonstra a necessidade de avaliação criteriosa na seleção do modelo, de forma que a extrapolação de dados seja a melhor possível.

Na lata envernizada, a melhor equação de regressão dos dados de ferro é a primeira, em função do coeficiente de correlação e da alta significância observada, embora na condição de 35°C a equação exponencial tenha apresentado coeficiente de determinação superior. Estas equações, apresentadas em negrito na Tabela 50, são representadas graficamente na Figura 52a e serão utilizadas para previsão de vida-de-prateleira do produto.

Em relação ao estanho na lata envernizada, verifica-se que a melhor regressão também é do tipo parábola, cujas equações são apresentadas em negrito na Tabela 50 e graficamente na Figura 52b, também em função da alta explicação dos dados experimentais e do alto nível de significância. Verifica-se que, neste caso, os dados referentes às diferentes temperaturas de estocagem foram bastante próximos, diferente do que ocorreu com a concentração do ferro, onde a influência da temperatura foi maior.

TABELA 50. Regressão dos dados de concentração de ferro e de estanho no pêssego em calda acondicionado na lata E, em função do tempo de estocagem nas três condições de temperatura.

Temperatura	Equação	R ²	R ² _{adj}	P _{obs} ⁽¹⁾
23°C	[Fe] = 1,5612 + 0,000020 * t²	0,907484	0,884355	0,003314
	[Fe] = 1,8333 - 0,004145 * t + 2,9.10 ⁻⁵ * t ²	0,920897	0,868162	0,022248
	[Fe] = 1,280446 * EXP (0,003293 * t)	0,885332	0,856665	< 0,01
	[Fe] = 1,159439 + 0,008323 * t	0,790626	0,790621	0,017744
	[Sn] = 2,5168 + 0,000022 * t²	0,950445	0,938057	0,000937
	[Sn] = 2,713599 - 0,002998 * t + 0,000029 * t ²	0,956671	0,927786	0,009019
	[Sn] = 2,185843 * EXP (0,002503 * t)	0,914327	0,892908	< 0,01
	[Sn] = 2,057282 + 0,009146 * t	0,847020	0,808775	0,009267
30°C	[Fe] = 3,1122 + 4,7.10⁻⁵ * t²	0,715931	0,644914	0,03369
	[Fe] = 1,1843 + 0,029380 * t - 1,7.10 ⁻⁵ * t ²	0,814756	0,691259	0,60054 ⁽²⁾
	[Fe] = 2,851474 * EXP (0,003247 * t)	0,748458	0,685573	< 0,01
	[Fe] = 1,584618 + 0,021972 * t	0,808011	0,760013	0,014817
	[Sn] = 2,87779 + 0,000027 * t²	0,994300	0,992875	0,000012
	[Sn] = 2,7893 + 0,000587 * t + 0,000025 * t ²	0,994469	0,990781	0,000411
	[Sn] = 2,439120 * EXP (0,002645 * t)	0,984933	0,981168	< 0,01
	[Sn] = 2,204149 + 0,011414 * t	0,932836	0,916045	0,001731
35°C	[Fe] = 1,3921 + 1,03.10⁻⁴ * t²	0,864120	0,830149	0,007264
	[Fe] = 3,0725 - 0,02561 * t + 1,59.10 ⁻⁴ * t ²	0,883115	0,825192	0,039961
	[Fe] = 0,901426 * EXP (0,007570 * t)	0,924295	0,905369	< 0,01
	[Fe] = 0,572906 + 0,041849 * t	0,741626	0,677033	0,027570
	[Sn] = 2,642320 + 0,000030 * t²	0,997786	0,997232	0,000002
	[Sn] = 2,6524 - 0,000154 * t + 0,000030 * t ²	0,997795	0,996325	0,000201
	[Sn] = 2,252153 * EXP (0,002962 * t)	0,986913	0,983642	< 0,01
	[Sn] = 1,955903 + 0,012735 * t	0,928002	0,910002	0,001993

⁽¹⁾ P_{obs} < 0,05 demonstra que a correlação é significativa

⁽²⁾ Regressão não significativa ao nível de erro de 5%.

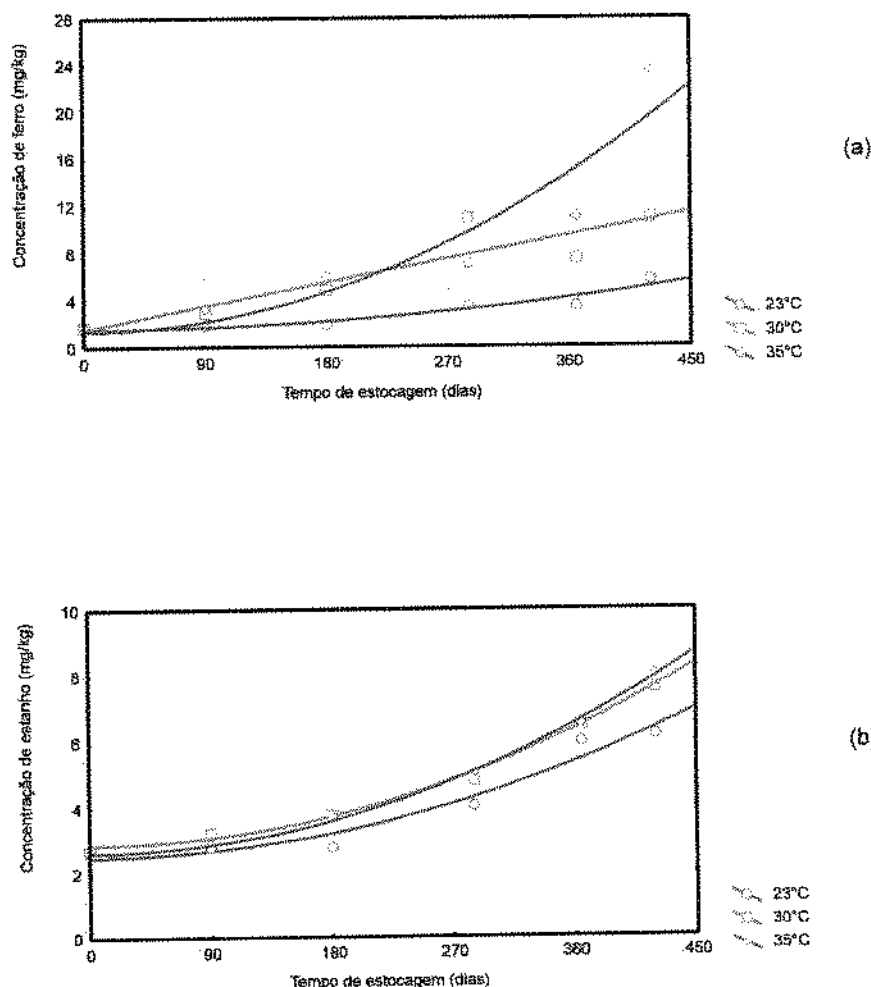


FIGURA 52. Representação gráfica dos valores médios observados (pontos) de concentração de metais no pêssego em calda, acondicionado em lata E, em função do tempo de estocagem nas condições de 23, 30 e 35°C e da equação correspondente à regressão matemática destes dados (curva): (a) ferro, (b) estanho.

Na lata B (Figura 53), observa-se que a concentração de ferro apresentou pequeno aumento ao longo do tempo de estocagem. Entretanto, é possível o estabelecimento de equações de regressão, como apresentado na Tabela 51. Assim, por meio dos coeficientes de determinação apresentados para as três temperaturas, observa-se que a melhor opção é a primeira de cada grupo. Embora os coeficientes de determinação estejam relativamente baixos, as regressões são significativas ao nível de erro de 5%, exceção feita à regressão dos dados para a temperatura de estocagem de 30°C, fato que deve ter ocorrido em função da variação dos resultados das unidades amostradas. Assim, adotaram-se as equações apresentadas em **negrito** na referida tabela como modelo matemático para explicar a dissolução de ferro no pêssego em calda acondicionado na lata sem verniz interno, as quais são representadas graficamente na Figura 53a.

Quanto à concentração de estanho, é possível distinguir três etapas com diferentes cinéticas de dissolução, cujos dados são adequadamente explicados por um modelo exponencial de terceiro grau, conforme se verifica nas equações apresentadas em **negrito**, selecionadas para a extrapolação dos dados de concentração de estanho no pêssego em calda acondicionado em latas brancas, conforme representação gráfica apresentada na Figura 53b.

TABELA 51. Regressões dos dados de concentração de ferro e de estanho no pêssego em calda, acondicionado na lata B, em função do tempo de estocagem nas três condições de temperatura.

Temperatura	Equação	R ²	R ² _{adj}	p _{obs} ⁽¹⁾
23°C	[Fe] = 1,8394 + 0,000003 * t²	0,795764	0,74,4705	0,016849
	[Fe] = 1,755767 + 0,001429 * t	0,782348	0,727935	0,019239
	[Fe] = 1,770000 * EXP (0,000686 * t)	0,790845	0,738557	< 0,01
30°C	[Fe] = 1,8523 + 0,000003 * t²	0,445638	0,307047	0,0147404 ⁽²⁾
	[Fe] = 1,809134 + 0,001019 * t	0,363330	0,204163	0,205349 ⁽²⁾
	[Fe] = 1,820000 * EXP (0,000480 * t)	0,374762	0,218452	< 0,01
35°C	[Fe] = 1,8405 + 0,000003 * t²	0,853643	0,817054	0,008460
	[Fe] = 1,792001 + 0,001043 * t	0,728473	0,660591	0,030619
	[Fe] = 1,800000 * EXP (0,000500 * t)	0,747850	0,684812	< 0,01
23°C	[Sn] = 13,0619 + 0,23300 * t - 0,00043 * t ²	0,811296	0,685493	0,081973 ⁽²⁾
	[Sn] = 25,34140 * EXP (0,001293 * t)	0,360616	0,200771	< 0,01
	[Sn] = 12,78000 * EXP (0,013700 * t - 0,000048 * t² + 5,13 * 10⁻⁸ * t³)	0,927412	0,81853	< 0,01
	[Sn] = 28,35163 + 0,00008 * t ²	0,215226	0,019033	0,354037 ⁽¹⁾
30°C	[Sn] = 16,0829 + 0,21674 * t - 0,00037 * t ²	0,814360	0,690601	0,079984 ⁽²⁾
	[Sn] = 27,12560 * EXP (0,001424 * t)	0,480987	0,351234	< 0,01
	[Sn] = 13,2000 * EXP (0,016600 * t - 0,000068 * t² + 8,5 * 10⁻⁸ * t³)	0,761355	0,403387	< 0,01
	[Sn] = 30,30558 + 0,00011 * t ²	0,332341	0,165426	0,231061 ⁽²⁾
35°C	[Sn] = 14,2625 + 0,00143 * t ²	0,930692	0,913365	0,001845
	[Sn] = 17,76000 * EXP (0,006600 * t)	0,968267	0,963308	< 0,01
	[Sn] = 13,50000 * EXP (0,017700 * t - 0,000064 * t² + 9,32 * 10⁻⁸ * t³)	0,996094	0,990234	< 0,01

⁽¹⁾ p_{obs} < 0,05 demonstra que a regressão é significativa

⁽²⁾ Regressão não significativa ao nível de erro de 5%.

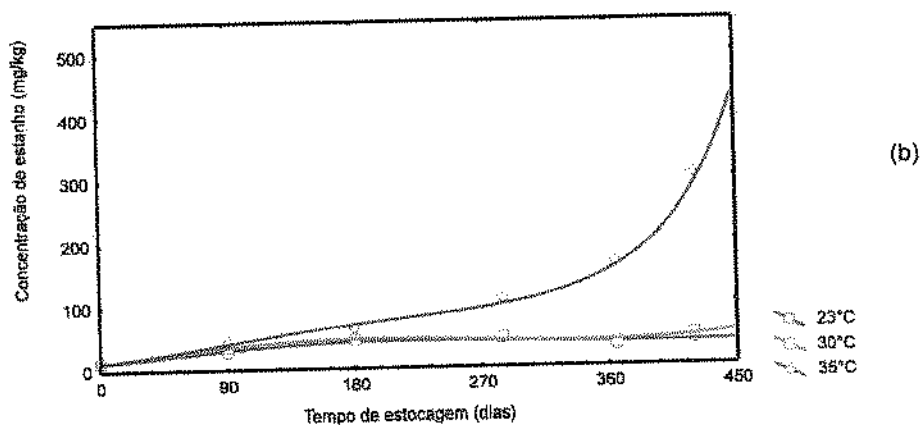
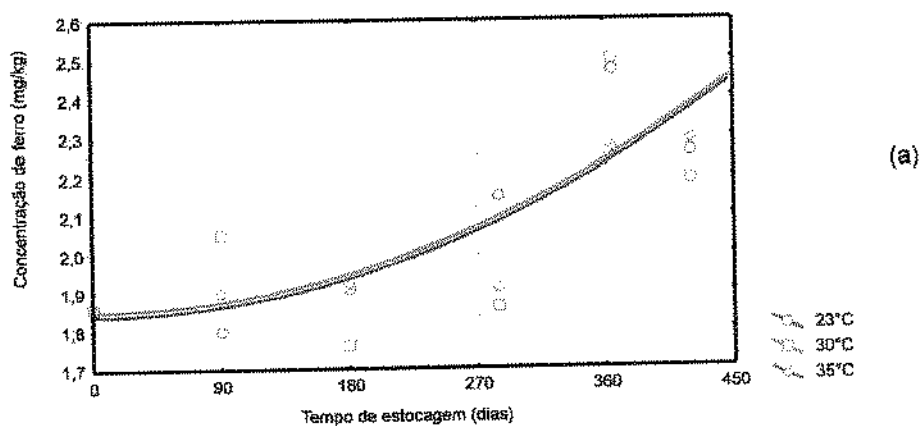


FIGURA 53. Representação gráfica dos valores médios observados (pontos) de concentração de metais no pêssego em calda, acondicionado na lata B, em função do tempo de estocagem nas condições de 23, 30 e 35°C e da equação correspondente à regressão matemática destes dados (curva): (a) ferro, (b) estanho.

4.3 Estimativa de vida-de-prateleira dos diferentes produtos

A vida-de-prateleira dos alimentos depende de vários fatores, conforme mencionado no item 2.5 da revisão bibliográfica e ilustrado na Figura 1.

Em função da probabilidade de desenvolvimento de reações de corrosão da embalagem metálica quando em contato com os alimentos durante o período de estocagem, a dissolução metálica é um importante parâmetro de controle da vida-de-prateleira dos alimentos enlatados.

A partir de dados de literatura (HOLLAENDER & SEDLMAYR, 1989) relacionando o conteúdo de ferro com a alteração organoléptica dos produtos estudados ou similares, foram adotados os seguintes limites máximos para a concentração de ferro:

- Ervilha: 40mg/kg
- Extrato de tomate: 30mg/kg
- Pêssego em calda: 15mg/kg

A concentração máxima de estanho nos alimentos, por sua vez, é estabelecida pela Legislação Brasileira, correspondendo a 250mg/kg para os produtos em estudo (ABIA, 1996).

Com base nas concentrações máximas de estanho e ferro e utilizando-se as equações matemáticas obtidas por meio da regressão dos dados experimentais, pode-se calcular a vida-de-prateleira dos três produtos, quando determinada por estes parâmetros, conforme apresentado na Tabela 52. Vale salientar, entretanto, que em alguns casos os valores calculados devem ser utilizados com reserva, uma vez que algumas das regressões apresentam coeficientes de correlação não suficientemente próximos a 1,000. Além disso, deve-se considerar a influência da composição das matérias-primas, das características da embalagem e das condições de processamento, como tempo e temperatura de tratamento térmico, nível de eliminação do oxigênio do espaço-livre, entre outros fatores, na intensidade de corrosão interna.

Os prazos de validade normalmente estabelecidos pelos fabricantes para a ervilha, o extrato de tomate e o pêssego em calda normalmente são de 2, 1,5 e de 2 a 4 anos, respectivamente, em condição-ambiente de estocagem. Assumindo-se que o cálculo de vida-de-prateleira com base na dissolução metálica seja válido, a comparação destes dados com os valores levantados para os produtos e embalagens estudados permite verificar

que, na condição ambiente (23°C), a ervilha superou muito o requisito quando acondicionada nos dois tipos de embalagem, o pêssego em calda apresentou prazo ligeiramente superior ao mínimo utilizado (24 meses), quando acondicionado na lata envernizada internamente, e um pouco inferior a este mínimo, quando na lata sem verniz interno.

O extrato de tomate, por sua vez, apresentou vida útil muito inferior ao estabelecido comercialmente nas duas condições estudadas, sendo que neste caso o limite da concentração de ferro foi atingido dentro do período estudado, não envolvendo extrapolação de dados.

Assim, do ponto de vista da interação lata/alimento, as embalagens de ervilha estão adequadas, as de pêssego em calda estão conferindo o prazo de validade mínimo, devendo ser verificado se há a necessidade de utilização de períodos superiores a 2 anos, sendo que, neste caso, o desempenho das latas estudadas seria insuficiente e as latas de extrato estão inadequadas, devendo ser providenciada alteração que melhore seu desempenho.

TABELA 52. Vida-de-prateleira calculada para ervilha, extrato de tomate e pêssego em calda, baseada nos limites máximos de estanho e ferro, quando acondicionados nos diferentes tipos de embalagem e estocados nas temperaturas de 23, 30 e 35°C*.

Produto	Lata	Temperatura de estocagem (°C)	Vida-de-prateleira (meses): parâmetro	
			[Sn] (mg/kg)	[Fe] (mg/kg)
Ervilha	EA	23	—	53,7
		30	—	44,7
		35	—	47,9
	EU	23	—	46,2
		30	—	47,2
		35	—	48,9
Extrato de tomate	EA	23	643,6	7,5
		30	453,7	5,1
		35	408,2	2,5
	EU	23	1081	6,8
		30	670,3	4,6
		35	808,2	2,7
Pêssego em calda	E	23	111,8	27,3
		30	100,8	20,4
		35	95,7	12,1
	B	23	22,1	69,8
		30	18,7	69,8
		35	13,7	69,8

* Resultados obtidos a partir das equações individuais apresentadas nas tabelas específicas para cada produto.
EA: lata com side stripe em verniz epóxi-amina
EU: lata com side stripe em verniz epóxi-uréia
—: não calculada
E: lata envernizada internamente
B: lata sem verniz interno

A avaliação do efeito da temperatura sobre a vida-de-prateleira dos produtos, definida pelos mais diversos parâmetros, tem sido realizada pelo levantamento do índice Q_{10} . Segundo LABUZA (1982), as frutas e os vegetais apresentam Q_{10} de 1,5 a 1,7 quando o parâmetro considerado é a alteração organoléptica, enquanto para a qualidade geral varia de 1,4 a 1,8 e para a perda de vitamina tende a ser maior, entre 1,3 e 3,1. Dados levantados pelo Instituto Fraunhofer, considerando apenas alteração de sabor e odor, mostram que, para temperaturas abaixo de 20°C, os valores de Q_{10} se situam abaixo de 1,5, enquanto acima desta temperatura oscilam entre 1,5 e 2,0 (HOLLAENDER & SEDLMAYR, 1989).

Dados disponíveis para os produtos em consideração variam entre 1,5 (qualidade geral) e 3,0 (perda de 10% de riboflavina) para a ervilha, 1,6 (qualidade geral) e 4,7 (perda de 10% de tiamina) para o pêssego e 1,7 (perda de 10% da vitamina C) e 1,9 (perda de 50% da qualidade do sabor) para o tomate (LABUZA, 1982), não havendo citações envolvendo a perda de qualidade decorrente da interação lata/alimento.

A partir da Tabela 52, aplicando-se a regressão dos dados de temperatura de estocagem e tempo de vida útil para cada sistema, foi possível calcular os índices Q_{10} para o extrato de tomate e o pêssego em calda com base na dissolução de estanho e/ou ferro devido à interação embalagem/alimento, conforme apresentado na Tabela 53, onde foi utilizado apenas o parâmetro mais crítico para cada produto. Pelos dados obtidos para a ervilha, pode-se dizer que não existe influência importante da temperatura na redução da vida-de-prateleira. Este fato é compatível com a característica do produto, que, por ser de baixa acidez e não apresentar componentes aceleradores do processo corrosivo, mostra-se pouco susceptível à oxidação interna. A concentração de ferro observada após o processamento da conserva deve-se provavelmente à sua composição.

TABELA 53. Equações de regressão vida-de-prateleira (VP) x Temperatura de estocagem (T) e Índices Q_{10} levantados para o extrato de tomate e o pêssego em calda acondicionados em embalagens metálicas, utilizando-se como parâmetro a dissolução metálica.

Produto	Embalagem	Parâmetro	Equação	Q_{10}
Extrato de tomate	Lata EA	[Fe] = 30mg/kg	VP = 508,7 - 12,18.T	1,33
	Lata EU	[Fe] = 30mg/kg	VP = 437,2 - 10,11.T	1,31
Pêssego em calda	Lata E	[Fe] = 15mg/kg	VP = 1699,6 - 37,56.T	1,29
	Lata B	[Sn] = 250mg/kg	VP = 1156,7 - 20,83.T	1,22

EA - lata com side stripe em verniz epóxi-amina E - lata envernizada internamente
EU - lata com side stripe em verniz epóxi-uréia B - lata sem verniz interno

Assim, observa-se que os dois tipos de lata para acondicionamento de extrato de tomate apresentaram índices Q_{10} muito semelhantes, sendo que o extrato foi ligeiramente mais sensível às alterações pela temperatura de estocagem quando acondicionado na lata com *side stripe* epóxi-amina em relação à lata com *side stripe* epóxi-uréia, mesmo tendo apresentado vida-de-prateleira ligeiramente superior nesta embalagem.

Em relação às embalagens para pêssego em calda, observa-se que o produto acondicionado na lata com envernizamento interno foi mais sensível ao efeito da temperatura, embora apresente maior vida-de-prateleira em relação à lata sem verniz interno.

Além disso, em ambos os casos a influência da temperatura na vida-de-prateleira, definida pela concentração de ferro e estanho, foi inferior à observada para outros parâmetros, segundo os dados apresentados por LABUZA (1982) e também é inferior ao valor assumido popularmente de $Q_{10} = 2$ para o desempenho de latas em relação à corrosão.

Os valores de Q_{10} estimados serão de grande utilidade na avaliação do desempenho de novas especificações de latas para os produtos considerados, em função da simplificação dos estudos necessários.

5 CONCLUSÕES

- A avaliação da microestrutura das seções longitudinal e transversal da solda é a forma mais efetiva de avaliação da qualidade do processo de soldagem elétrica de corpos de latas. A avaliação da resistência mecânica da solda deve ser utilizada como complemento da avaliação da microestrutura, sendo que os critérios de avaliação devem ser muito bem definidos. Dentre os ensaios mecânicos, o ensaio de ruptura é o que fornece mais garantia de avaliação correta, principalmente em relação à ocorrência de enfraquecimento da solda, embora apresente limitação na avaliação de solda fria. Os ensaios de expansão, alongamento do flange e reversão podem não ser suficientes para detecção de solda com condição alterada, principalmente solda fria, como verificado na lata envernizada para pêssego, que não apresentou falha, embora a fusão estivesse insuficiente.
- Diferentes produtos alimentícios apresentam requisitos de proteção da eletrossolda muito específicos.
- A interação com a lata não é um parâmetro crítico no acondicionamento de ervilha; a vida-de-prateleira calculada com base neste parâmetro foi muito superior ao prazo de validade comercialmente utilizado. Entretanto, a eletrossolda deve ser adequadamente produzida e protegida, uma vez que foi a principal região de corrosão. A melhoria do desempenho da lata, conferida pelo verniz epóxi-amina utilizado no *side stripe*, quando comparado ao epóxi-uréia, foi inexpressiva, não justificando seu uso.
- O intenso processo de corrosão interna nas latas de extrato de tomate, envolvendo tanto a costura lateral como o corpo da embalagem, demonstrou que ambos os tipos de latas estudados não satisfazem os requisitos necessários à estabilidade do produto pelo período de 18 meses de estocagem, adotado comercialmente. O *side stripe* de verniz epóxi-amina apresentou desempenho superior ao de epóxi-uréia, influenciado também pela pior qualidade da solda da última.
- É dispensável a proteção da costura lateral por meio de *side stripe* em latas sem verniz interno para acondicionamento de pêssego em calda. O mecanismo de corrosão desenvolvido em temperatura ambiente é o desestanhamento normal.
- As latas envernizadas para pêssego em calda apresentaram desempenho ligeiramente superior às latas brancas. Ambos os tipos aplicam-se a prazo de validade do produto de no máximo 24 meses, delimitado pela interação embalagem/produto.

- Independentemente da temperatura de estocagem, a concentração de ferro na ervilha variou linearmente com o tempo, no extrato de tomate variou de acordo com uma parábola, o mesmo ocorrendo no pêssego em calda, quando acondicionado em lata envernizada; em latas brancas a concentração de estanho no pêssego em calda foi melhor explicada por equação do tipo exponencial cúbica.
- Os valores do índice Q_{10} para o extrato de tomate acondicionado nas latas com *side stripe* em verniz epóxi-amina e epóxi-uréia correspondem a 1,33 e 1,31, respectivamente, e para o pêssego em calda acondicionado nas latas envernizada e branca correspondem a 1,29 e 1,22, respectivamente.

6 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

- A partir da verificação de que existem condições-limites variáveis para que ocorra risco de perda de integridade da costura eletrossoldada em função da ocorrência de fusão insuficiente ou de enfraquecimento da solda, sugere-se o desenvolvimento de pesquisa objetivando o estabelecimento desta condição crítica, para diferentes etapas de fabricação da embalagem, como a formação de frisos no corpo e as deformações mecânicas para introdução de pescoço ou de expansões para alteração de formato, e de processamento do produto, diferenciando condições de acondicionamento com pressão atmosférica positiva, negativa ou neutra e diferentes tipos de processamento térmico.
- Uma vez que atualmente existem no mercado brasileiro muitas embalagens de pêssego em calda importadas da Grécia e de outros países, onde as latas apresentam corpo sem verniz interno e tampa, fundo e costura eletrossoldada envernizados internamente, recomenda-se o desenvolvimento de estudo objetivando a comparação do desempenho entre este tipo de lata e a lata totalmente sem verniz interno, inclusive na região de soldagem, que apresenta uma simplificação de produção e redução de custo em relação à primeira, o que pode ser significativo na competitividade do produto final.
- Em função da carência de informação na literatura sobre parâmetros para determinação da influência da temperatura de estocagem na intensificação da velocidade de desenvolvimento da interação embalagem/produto acondicionado, recomenda-se a validação dos valores de Q_{10} levantados neste estudo para outros produtos com características intrínsecas similares e para outras especificações de embalagem.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 ALLOUF, R., MERGEY, C. Welco: a new light tincoated steel for can making. In: INTERNATIONAL TINPLATE CONFERENCE, 2, 1980, London. **Proceedings...**, Middlesex: International Tin Research Institute - ITRI, 1980. p.241-251.
- 2 _____. Carnaud L.T.S. Welcco Status Report. In: INTERNATIONAL TINPLATE CONFERENCE, 3, 1984, London. **Proceedings...**, Middlesex: International Tin Research Institute - ITRI, 1984. p.247-253.
- 3 AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE. AISI light – gauged tinplate high-speed welding program. In: **TINPLATE welding seminar**. Chicago: AISI, 1997. 61p.
- 4 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS ASTM. **Standard test methods for Rockwell hardness and Rockwell superficial hardness of metallic materials-ASTM E 18-89a** Philadelphia: ASTM, 1990. V.03.01, p.176-189.
- 5 _____. **Standard test method for evaluation degree of rusting on painted steel surfaces - ASTM D610 (reapproved 1989)**. Philadelphia: ASTM, 1990. P.64-66.
- 6 _____. **Standard test methods for meassuring adhesion by tape test. ASTM D 3359**. Philadelphia: ASTM, 1990. 4p.
- 7 ANJOS, V. D. A. Características dos materiais utilizados na fabricação de embalagens metálicas para alimentos. In: ANJOS, V. A. D., FARIA, E. V., SOLER, R. M., DANTAS, S. T. **Interação de embalagens metálicas com produtos alimentícios**. Campinas: CETEA/ITAL, 1989. Cap. 1, p.01-22.
- 8 ANJOS, V.D.A., FARIA, E.V., SEGANTINI, E., VENEGA, M.A., MONTEIRO, J.C.C. Avaliação de um sistema alternativo de envernizamento para latas de derivados de tomate. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CORROSÃO, 18, 1995, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABRACO, 1995 (Anais de Resumos).
- 9 ARISTOTILE, R., BARBIERI, G. , SERRA, R. Problematiche conesse alla produzione di corpi scatola di banda elettrolitica saldati elettricamente. **Industria Conserve**, Parma, v.58, p.227-234, 1983.
- 10 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ALIMENTAÇÃO – ABIA. Aditivos. In: **COMPÊNDIO das normas e padrões de alimentos – Consolidação das normas e padrões de alimentos**. São Paulo: ABIA, 1996. Cap. 3, v. 1, p.34. (Atos do Ministério da Saúde – Revisão 6).

- 11 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. Folhas de aço cromadas-
Determinação de cromo total pelo método colorimétrico Método de ensaio - NBR 8962. São
Paulo: ABNT, 1985. 4p.
- 12 _____. Folhas-de-flandres - Aderência de verniz epóxi-fenólico Método de ensaio - NBR 10250. São
Paulo: ABNT, 1988. 6p.
- 13 _____. Folhas-de-flandres - Determinação da dureza Rockwell Método de ensaio - NBR 7407. São
Paulo: ABNT, 1982. 2p.
- 14 _____. Materiais metálicos - Determinação da dureza Rockwell - NBR 6671. São Paulo: ABNT:
1991. 16p.
- 15 _____. Folhas laminadas de aço de baixo carbono revestidas e não revestidas - Especificação - NBR
6665, São Paulo: ABNT, 1995. 27p. (2º projeto de revisão).
- 16 _____. Determinação do revestimento de estanho pelo método coulométrico (eletrolítico) método
de ensaio- NBR 8481, São Paulo: ABNT, 1984. 10p.
- 17 ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. Classification of Visible Can
Defects - Exterior. Virgínia: AOAC - FDA, [s.d.]
- 18 AUBRUN, J. New light on the mechanism of the abnormal corrosion of plain tinplate cans filled with light
colored fruits. In: NORTH AMERICAN TINPLATE CONFERENCE, 2, 1990, Rosemont.
Proceedings..., Washington: American Iron and Steel Institute, 1990. 29p.
- 19 _____. HENRION, M.D., PENNERA, G.A., TISSIER, F.J. The role of micro-cracking of formed tinplate
in its resistance to corrosion. In: INTERNATIONAL TINPLATE CONFERENCE, 4, 1988, London.
Proceedings..., Middlesex: International Tin Research Institute - ITRI, 1988. p.340-348.
- 20 AUCÉLIO, P.Q. Efeito de fatores genéticos e edafoclimáticos sobre a composição centesimal e valor
nutricional de 5 cultivares de ervilha (*Pisum Sativum* L.) introduzidas em 4 microrregiões do
Estado de São Paulo. Campinas, 1995. 126p. Dissertação de Mestrado em Ciência da Nutrição (Área
de Nutrição Básica e Experimental), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de
Campinas.
- 21 BABBIT, M., ESCAMEZ, G. Application of an instrumental system for a tinplate welding machine. In:
INTERNATIONAL TINPLATE CONFERENCE, 4, 1988, London. Proceedings..., Middlesex:
International Tin Research Institute - ITRI, 1988. p.453-466.

- 22 BARBIERI, G., ROSSO, S. Sullesame nell infrarosso delle vernici per contenitori de conserve alimentari. **Industria Conserve**, Parma, v.51, n.1, p.19-27, 1976.
- 23 _____. MILANESE, G., CORRADI, T. Scatole saldate elettricamente. **Industria Conserve**, Parma, v.58, p.86-89, 1983.
- 24 BLACK, M.L., HELWIG, J. Lacquerability, weldability and corrosion of new tin-mill products for welded sanitary cans. In: INTERNATIONAL TINPLATE CONFERENCE, 3, 1984, London. **Proceedings....**, Middlesex: International Tin Research Institute - ITRI, 1984. p.170-184.
- 25 BOBBIO, F. O., BOBBIO, P. A. **Introdução à química de alimentos**. São Paulo: Varela, 1989. p.82-103.
- 26 BRASIL. Conselho Nacional de Saúde. Resolução Normativa nº 05/79-CTA de 4 de maio de 1978. Fixar a identidade e as características mínimas de qualidade a que devem obedecer as frutas em conserva. **Diário Oficial da União**, Brasília, 08 out. 1979, Seção 1, parte 1.
- 27 _____. Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos. Resolução nº 12/78, de 30 de março de 1978. Resolve aprovar as seguintes Normas Técnicas Especiais, do Estado de São Paulo, revistas pela CNNPA, relativas a alimentos (e bebidas), para efeito em todo território nacional. **Diário Oficial da União**, Brasília, 24 de julho de 1978, Seção 1, parte 1.
- 28 BRITTON, J.C. **Tin versus corrosion**. Middlesex: International Tin Research Institute - ITRI, 1975. 108p.
- 29 BYRNE, M. Cutting the cost of packaging. **Food Manufacture**, London, v.58, n.1. p.49-51, 1983.
- 30 CATALÁ, R. **Métodos de evaluation y control de callidad de los envases de hojalata para alimentos - I Hojalata**. Valência: Instituto de Agroquímica e Tecnologia de Alimentos, 1976. (information tecnica general nº 70).
- 31 _____. **Métodos de evaluación control de calidad de los envases de hojalata para alimentos - II. Hojalata barnizada**, Valencia: Intituto de Agroquímica e Tecnologia de Alimentos, 1977. 26p. (Informação Técnica General nº 71).
- 32 _____. Evaluación de la vida útil de los alimentos envasados. **Rev. Agroquím. Tecnol. Aliment.**, Valencia, v.25, n.1, p.1-14, 1985.
- 33 CATALÁ, R., DURAN, L. Panorámica de los envases metálicos em el mercado internacional. **Envase & Embalage**. Caracas, v.1, n.1, p.15-24, 1982.

- 34 CHAN, T., TSAI, W. The packaging test of welded cans with different plates. In: IAPRI -WORLD CONFERENCE ON PACKAGING, 5, 1986, Bristol. **Proceedings...**, Bristol: IAPRI, 1986.
- 35 CHARBONEAU, J.E. Application of scanning electron microscopy and X-ray microanalysis to investigate corrosion problems in plain tinplate food cans and examine glass and glass-like particles found in canned food. **Food Microstructure**, Chicago, v.7, n.2, p.161-172, 1988.
- 36 CHIAPPE, W.T. Forge-welded seams. **Modern Packaging**, New York, v.43, n.3, p.82-84, March 1970.
- 37 CHIN, H.B., KIMBALL, J.R., ALLEN, B., CHARBONEAU, J. Pitting corrosion in canned light-coloured fruits. In: INTERNATIONAL TINPLATE CONFERENCE, 3, 1984, London. **Proceedings...**, Middlesex: International Tin Research Institute, 1984. p.465-470.
- 38 CRUESS, W.V. **Produtos industriais de frutas e hortaliças**. São Paulo: Edgar Bucher, 1973. v.1.
- 39 CSN – Companhia Siderúrgica Nacional. **Aço para embalagens – Folhas metálicas**. Rio de Janeiro: CSN, [s.d.], 20p.
- 40 DAMAO, Q. Development of C-type tinplate with high corrosion resistance property – some aspects of anti-corrosion of tinplate by light-coloured fruit. In: INTERNATIONAL TINPLATE CONFERENCE, 6, 1996, London. **Proceedings...**, Middlesex: International Tin Research Institute, 1996. p.145-149.
- 41 DANTAS, S. T. Avaliação do grau de fusão de eletrossoldas. Neenah: American National Can Company, maio, 1995. (Relatório de visita técnica).
- 42 _____, MASSAGER, P.R., MORI, E.E.M., SHIROSE, I. Performance of metallic packaging for carbonated beverages: evaluation of welded and soldered cans. In: INTERNATIONAL TINPLATE CONFERENCE, 4, 1988, London. **Proceedings...**, Middlesex: International Tin Research Institute - ITRI, 1988. p. 467-481.
- 43 _____, ANJOS, V.D.A., SEGANTINI, E., GATTI, J.A.B. Avaliação de embalagens metálicas: aço e alumínio. Campinas: CETEA/ITAL, 1996. 306p.
- 44 _____, SEGANTINI, E., CANALONGA, W.O., MORI, E.E.M. Comparison on the performance of welded cans for hearts of palm packaging. In: IAPRI - WORLD CONFERENCE ON PACKAGING, 8, 1993, São Paulo. **Proceedings...**, Campinas: CETEA/IAPRI, 1993. p.482-503.
- 45 _____, FARIA, E.V. **Latas eletrossoldadas: aspectos tecnológicos e avaliação da qualidade**. Campinas: CETEA/ITAL, 1991. 81p.

- 46 _____. **Evaluation of welded seams**. Paris: Carnaud Development Industriel, nov. 1986. (Relatório de Treinamento).
- 47 DATAMARK Consultores. **The brazilian packaging industry**. 6ª ed. São Paulo: Datamark, 1991, 223p.
- 48 _____. **Brazil Pack'97** A indústria brasileira de embalagens. São Paulo: Datamark, 1997. 281p.
- 49 DOUBLE seam evaluation. **The Canner**, Crawley, p.28-32, 34, July 1996.
- 50 EGGER, P. Superwima welding – the world's fastest growing method of manufacturing food and beverage containers. **Food Technology in Australia**, Sidney, v.35, n.8, p.382-387, 1983.
- 51 ELZINGA, E, STEVELS , J.T., HAASTRECHT, G.C. Improvement of welding three-piece cans. In: INTERNATIONAL TINPLATE CONFERENCE, 6, 1996, London. **Proceedings...**, Middlesex: International Tin Research Institute - ITRI, 1996. p.205-213.
- 52 FAEL. **The Fael side seam welding machines**. Saint Baise – Suíça: Fael, 1991. (Catalogue).
- 53 FALKENBURG, H.R., MCGUINESS, R.C. New development in interior can coating lacquers and some possible applications. In: INTERNATIONAL TINPLATE CONFERENCE, 4, 1980, London. **Proceedings...**, Middlesex: International Tin Research Institute - ITRI, 1980. p.442-448.
- 54 FAO - FOOD AND NUTRITION PAPER. **Guidelines for can manufactures and food canners**. Rome: FAO, 1986. 82p.
- 55 FARIA, E. V. Corrosão dos materiais metálicos utilizados em embalagens para alimentos. In: ANJOS, V. A. D., FARIA, E. V., SOLER, R. M., DANTAS, S. T. **Interação de embalagens metálicas com produtos alimentícios**. Campinas: CETEA/ITAL, 1989. Cap. 3, p.27-40.
- 56 _____, DANTAS, S.T., SOLER, R.M., ANJOS, V.D.A., ARDITO, E.F.G. **Controle de Qualidade de Embalagens Metálicas para Alimentos**. Campinas: CETEA/ITAL, 1990. 228p.
- 57 _____, _____, ANJOS, V.D.A. **Avaliação de latas eletrossoldadas**. Campinas: CETEA/ITAL, 1990.
- 58 _____, KAJIMOTO, Z.P., SILVA, R.D., DANTAS, S.T., NISIDA, A.L.A.C. Ensaio para avaliação da corrosão de folha-de-flandres para latas de alimentos. In: INTER-FINISH92 - ENCONTRO BRASILEIRO DE TRATAMENTOS DE SUPERFÍCIE, 7, 1992, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABTS, 1992. v.2, p.921-938.
- 59 FAZANO, C.A. **A prática metalográfica**. São Paulo: Hemus, 1980. 453p.

- 60 FREI-AG **PCA Gas and electrically heated curing units for automatic welding machines**. Wittenbach Switzerland: Frei-AG, 1990. (Catalogue)
- 61 GROSSENBACHER, F. **Electrical resistance welding**. [s.l.]: Soudronic AG, 1982. 11p. (technical information).
- 62 HARDY, K.M., DAVIS, D.R. Corrosion characteristics of soldered sideseam tinplate and welded sideseam ECCS plate cans using organic acid model systems. **Journal of Food Science**, Chicago, v.52, n3, p.777-780, 1987.
- 63 HEALTH PROTECTION BRANCH. **Methods for the evaluation of canned foods and their containers**. MFHPB-25. Ottawa: Health Protection Branch, 1991. (HPB Method).
- 64 HOLLAENDER, J. **Embalagens Metálicas para Alimentos**. In: Interações entre embalagens metálicas e alimentos. Porto: Escola Superior de Biotecnologia, 1995. 9p. (Curso ministrado em Portugal).
- 65 _____. Einflu unterschiedlicher schweißbedingungen auf die qualität der schweißnähte von weiblechdosen (Influence of welding conditions on the quality of welded seams of tinplate cans). **Verpackungs-Rundschau**, Heusenstaum, v.40, n.9, p.71-79, 1989.
- 66 _____. SEDLMAYR, M. Wechselwirkungen zwischen weiblechverpackung und fullgut (Interaction between food and tinplate cans). **ZfL**, Alemanha, v.40, n.10, p.606-614, 1989.
- 67 ICHIKAWA, M., SAITO, T. The effect of contact resistance on the weldability of can materials. In: INTERNATIONAL TINPLATE CONFERENCE, 4 , 1988, London. **Proceedings...**, Middlesex: International Tin Research Institute - ITRI, 1988. p.446-452.
- 68 INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. São Paulo: IAL, 1976. 371p.
- 69 INTERNATIONAL TIN RESEARCH INSTITUTE. **Metallography of tin and tin alloys**. Middlesex: ITRI, 1982. 54p. (Publication n° 580).
- 70 _____. **Guide to Tinplate**. Middlesex: ITRI, [s.d.]. 90p. (Publication, 622).
- 71 JEWELL, K. **Gases in foods**. Chipping Campden: Campden Food Preservation Research Association, 1982. 37p. (Technical Memorandum n° 304).
- 72 JORHEM, L., SLORACH, S. Lead, chromium, tin, iron and cadmium in foods in welded cans. **Food additives and contaminants**, London, v.4, n.3, p.309-316, 1987.

- 73 KAMM, G.G., HOTCHNER, S.J., KOPETZ, A. A., VITEK, R. A. Corrosion anomalies with light coloured fruits in tinplate cans produced from aluminium-killed continuous-cast steels. In: INTERNATIONAL TINPLATE CONFERENCE, 4, 1988, London. **Proceedings...**, Middlesex: International Tin Research Institute, 1988. p.356-381.
- 74 _____, KOPETZ, A. A., HOTCHNER, S.J., KRICKL, J. L. Aluminium-killed continuous-cast steel corrosion failures with light-coloured fruits. In: INTERNATIONAL TINPLATE CONFERENCE, 3, 1984, London. **Proceedings...**, Middlesex: International Tin Research Institute, 1984. p.452-464.
- 75 KIM, C.D., HELWIG, E.J. Some aspects of corrosion of tinplate by light-coloured fruit. In: INTERNATIONAL TINPLATE CONFERENCE, 4, 1988, London. **Proceedings...**, Middlesex: International Tin Research Institute, 1988. p.349-355.
- 76 KIMURA, K. KASHIYAMA, Y., IMAOKA, K., WATANABE, T., NABATAME, M. Lightly tin-coated steel, Litewel-N with Ni preplating for welded can. In: NORTH AMERICAN TINPLATE CONFERENCE, 2, 1990, Rosemont. **Proceedings...**, Washington: American Iron and Steel Institute, 1990. 5p.
- 77 KRAMER. **Normas e procedimentos técnicos**. Jundiaí: Indústria de Máquinas Kramer, [s.d.]
- 78 LABUZA, T.P. **Shelf-life dating of foods**. Westport: Food and Nutrition Press Inc., 1982. 500p.
- 79 LARKEN, D. The welded can the perspective of an Australian food processor. **Food Technology in Australia**, Sidney, v.35, n.8, p.384-386, 1983.
- 80 LEVY, G.N. **Modern can body welder technology, trends targeting higher performance and economical benefits for the canmaker**. [s.l.] Soudronic AG, 1991. 13p.
- 81 LOPEZ, A. **A complete course in canning and related processes**. Book I Basic information on canning. Baltimore: Canning Trade Inc., 1987. 375p.
- 82 _____. Book II Packaging. Aseptic processing ingredients. Baltimore: Canning Trade Inc., 1987. 372p.
- 83 _____. Book III Processing procedures for canned food products. Baltimore: Canning Trade Inc., 1987. 516p.
- 84 LUH, B.S. Chemical and color changes in canned tomato Ketchup. **Food Technology**, Chicago, p.173-175, March 1960.

- 85 _____. LEONARD, S., MARCH, G.L. Objective criterio for storage changes in tomato paste. **Food Technology**, Chicago, v.12, n.7, p.347-351, 1958.
- 86 MADI, L.F.C. **Técnicas de laboratório de embalagens para alimentos: embalagens metálicas**. Campinas: ITAL, 1982. 143p.
- 87 _____. Visita técnica a Trinidad & Tobago, 1985 (Informação particular).
- 88 MAHADEVIAH, M. GOWRAMMA, R.V. , NARESH, R. Welded OTS can as an alternative to the soldered can. **Journal of Food Science and Technology**, Mysore, v.20, n.5, p.241-242, 1983.
- 89 MANNHEIM, C., PASSY, N. Internal corrosion and shelf-life of food cans and methods of evaluation. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, West Palm Beach, v.17, n.4, p.371-407, 1982.
- 90 _____. Interaction between metal cans and food products. In: GRAY, J.I. *et al*, (Ed.) **Food product package compatibility**. Lancaster: Technomic, 1986. p.105-133.
- 91 MARSAL, P. Identification par spectrophotométrie infra-rouge des différents types de vernis protecteurs utilisés dans l'emballage métallique. **Bulletin C.R.F.B.**, Thionville, 1973. p.28-36.
- 92 _____. La boîte métallique et ses usages ou le contact alimentaire des matériaux à base d'acier. Paris, 1991. 174p.
- 93 _____. TILLON, M.C. **Utilisation des revêtements organiques pour la protection et la décoration des emballages métalliques**. Thionville: Centre de Recherches du Fer-Blanc, 1987. 19p.
- 94 MASSINI, R. La corrosione della banda stagnata da parte di conserve alimentari. I Elementi generali di teoria elettrochimica dei processi di corrosione. **Industria Conserve**, Parma, v.48, n.4, p.237-245, 1973.
- 95 _____. La corrosione della banda stagnata da parte di conserve alimentari. II Interpretazione elettrochimica dei processi di corrosione in mezzi acidi destagnanti, privi di depolarizzanti. **Industria Conserve**, Parma, v.49, n.2, p.80-94, 1974.
- 96 _____. La corrosione della banda stagnata da parte di conserve alimentari. III Sostanze che attivano i processi di corrosione. **Industria Conserve**, Parma v.50, n.1, p.3-16, 1975.
- 97 MCKERNAN, B.J. Development in rigid metal containers for food. **Food Technology**, Chicago, v.37, n.4, p.134-137, Apr. 1983.
- 98 METAL BOX CO. LTD. **Double seam manual**. Wantage: Mark One Planetron Ltd, 1973. 43p.

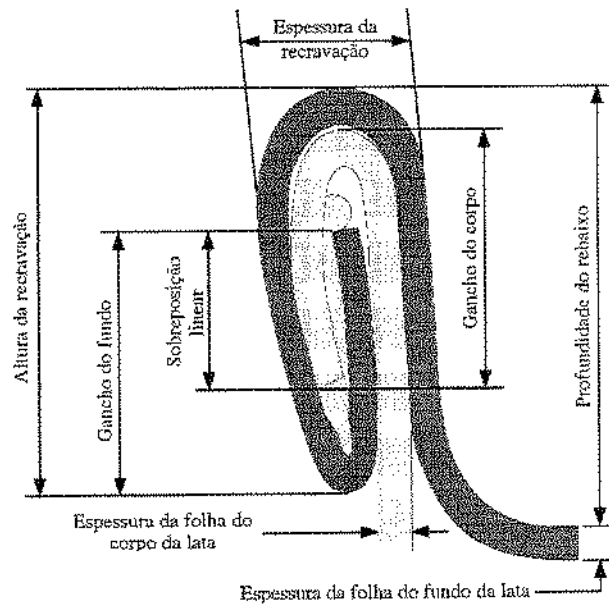
- 99 _____. **The formation and evaluation of double seams.** Wantage: Metal Box Co. Ltd., 1961. 83p.
- 100 MIGRATION in metal fruit cans. **Food Packaging Bulletin.** Surrey, v.5, n.3, p.5-7, March 1998.
- 101 MILANESE, G. Determinazione del cromo sulla superficie di laminati a fresco d'acciaio rivestiti elettroliticamente di cromo. **Industria Conserve.** Parma, v.59, n.1, p.60-64, 1984.
- 102 MINIONI, E.C. **Padrões de qualidade da compota de pêssego no Brasil: contribuição ao estudo da sistemática de padronização.** Pelotas, 1977. 110p. Tese de Livre Docência em Agronomia, Universidade Federal de Pelotas.
- 103 MIYAZAKI, S., YOSHIZAWA, H. MAKINO, N. Development of the welded can using dewy spread lightly tin-coated steel. In: **INTERNATIONAL TINPLATE CONFERENCE**, 4, 1988, London. **Proceedings...**, Middlesex: International Tin Research Institute - ITRI. 1988. p.124-135.
- 104 MONTANARI, A., MILANESE, G. CASSARA, A., MACCHIAVELLI, L. Corrosion problems by pear halves packed in tinplate cans. In: **IAPRI - WORLD CONFERENCE ON PACKAGING**, 8, 1993, São Paulo. **Proceedings...**, Campinas: CETEA/IAPRI, 1993. p.435-481.
- 105 MORGAN, E. Canmaking processes. In: **Tinplate and modern canmaking technology.** Oxford: Pergamon Press, 1985. p.107-145.
- 106 NISHIDA, H., OHGA, T., OYAGI, Y., NOGUTI, M. Effects of composition of can contents on rapid detinning. In: **INTERNATIONAL TINPLATE CONFERENCE**, 5, 1992, London. **Proceedings...**, Middlesex: International Tin Research Institute, 1992. p.246-254.
- 107 NORMAN, G.F. Welding of tinplate containers as an alternative to soldering. In: **INTERNATIONAL TINPLATE CONFERENCE**, 1, 1976, London. **Proceedings...**, Middlesex: International Tin Research Institute - ITRI, 1976. p.239-251.
- 108 N.P.W. Technical Laboratory Co. Ltd. New pressure welding bodymaker Falcon. Japão: N.P.W., [s.d.]. (Catalogue).
- 109 _____. New pressure welding bodymaker Lark. Japão: N.P.W., [s.d.]. (Catalogue).
- 110 OLIVEIRA, L.M., ALVES, R.M.V., SARANTÓPOULOS, C.I.G.L., PADULA, M., GARCIA, E.E.G., COLTRO, L. **Ensaios para avaliação de embalagens plásticas flexíveis.** Campinas: CETEA/ITAL, 1996. 219p.

- 111 OYAGI, Y., KANNO, H., NAKAMURA, K., TANAKA, S., OHGA, T. The influence of steel surface characteristics and manufacturing conditions on abnormal pitting corrosion of light colored fruit cans produced from some AK-CC steels. In: NORTH AMERICAN TINPLATE CONFERENCE, 2, 1990, Rosemont. **Proceedings...**, Washington: American Iron and Steel Institute, 1990. 13p.
- 112 PALMIERI, A., FASANARO, G., SQUITIERI, G., LUPI, R., MONTANARI, A. Comparison between different tinplate batches coated with four lacquers. Behavior of lacquered cans with diced tomatoes. In: INTERNATIONAL TINPLATE CONFERENCE, 6, 1996, London, **Proceedings...**, Middlesex: International Tin Research Institute, 1996. p.271-281.
- 113 PANKNIN, W. New developments in welding can bodies. In: INTERNATIONAL TINPLATE CONFERENCE, 3, 1984, London. **Proceedings...**, Middlesex: International Tin Research Institute, 1984. p.265-267.
- 114 PEARSON, R. Side seam protection of welded cans. In: INTERNATIONAL TINPLATE CONFERENCE, 3, 1984, London. **Proceedings...**, Middlesex: International Tin Research Institute - ITRI, 1984. p.352-363.
- 115 PERKIN ELMER. **Analysis of foodstuffs**. Norwalk, 1971, 2p.
- 116 PRICE, J., ROOS, J.T.H. Analysis of fruit juice by atomic absorption spectrophotometry. **J. Sci. Agric.**, London, v.20, p.437-439, 1969.
- 117 **PROTECTION of welded seams**. Switzerland: Frei-AG, [s.d.] 19p. (INFO, 410985).
- 118 RESNIK, D. Porosity of coatings. **The canmaker and canner**, Surrey, p.15-18, Feb, 1990.
- 119 RHEEM METALÚRGICA S.A. **Rheem weld - a nova geração da embalagem**. São Paulo: Rheem, [s.d.]. (Catálogo).
- 120 ROBERTSON, G.L. Metal packaging materials. In: _____. **Food Packaging: Principles and practice**. New York: Marcel Dekker, 1993, cap. 7. 676p.
- 121 SCHAEERER, G. Food and beverage can manufacture by Soudronic welding technology. In: INTERNATIONAL TINPLATE CONFERENCE, 2, 1980, London. **Proceedings...**, Middlesex: International Tin Research Institute - ITRI, 1980. p.176-186.

- 122 _____ & WEIL, W. Soudronic welding technique as a promoter of tinplate containers. In: INTERNATIONAL TINPLATE CONFERENCE, 3, 1984, London. **Proceedings...**, Middlesex: International Tin Research Institute - ITRI, 1984. p.268-280.
- 123 **SEAM Protection Lacquers**. Switzerland: Vernicolor AG, [s.d.], 20p.
- 124 SHIMIZU, N., KAGUMA, N., MATSUBARA, M. & FUJIMOTO, T. Characteristics of chromium-preplated LTS. In: INTERNATIONAL TINPLATE CONFERENCE, 5, 1992, London. **Proceedings...**, Middlesex: International Tin Research Institute - ITRI, 1992. p.76-85.
- 125 SIMÕES, D.C.M. **Avaliação da carga bacteriana termofílica nas diversas etapas de processamento de ervilha enlatada em indústrias brasileiras**. Campinas, 1993. 273p. Dissertação de Mestrado em Ciências de Alimentos, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
- 126 SIMON, F.E., TONER, D.F., KUESEL, N.E. The influence of tinplate surface characteristics on wire welding. In: INTERNATIONAL TINPLATE CONFERENCE, 5, 1992, London. **Proceedings...**, Middlesex: International Tin Research Institute, 1992. p.170-185.
- 127 SODEIK, M. Influences of materials properties on side seam welding of cans made of tinplate. In: INTERNATIONAL TINPLATE CONFERENCE, 2, 1980, London. **Proceedings...**, Middlesex: International Tin Research Institute - ITRI, 1980. p.161-175.
- 128 _____, TAFFNER, K., WEBER, F. Fundamentals of modern can making and materials development for three piece can manufacturing. **Transactions ISIJ**, v.28, p.663-671, 1988.
- 129 SOUDRONIC AG - FBB 5501/5502 - high performance welding bodymakers for food, beverage and aerosol cans. Switzerland: Soudronic, [s.d.], 5p.
- 130 _____. - **Pointers to markets oriented metal packaging**. Switzerland: Soudronic, 1991. 24p.
- 131 _____. - **Pointer for slitters, welding and seam protection systems**. Switzerland: Soudronic, 1996. 83p.
- 132 STUMBO, C.R. **Thermobacteriology in Food Processing**, New York: Ed. Academic, 1965. 236p.
- 133 TAKANO, H., KAGESHICA, H., YOMURA, Y., HARA, T. Characteristics of FeSn-alloyed tinplate. In: INTERNATIONAL TINPLATE CONFERENCE, 3, 1984, London. **Proceedings...**, Middlesex: International Tin Research Institute - ITRI, 1984. p.201-213.
- 134 **THE LATEST Developments in Soudronic Welding Technology for Can Making**. [s.l.]: Soudronic AG, October 1985. 16p.

- 135 THE WELDED can: continuing the evolution of the tinsplate package. **Food Technology in Australia**, Sidney, v.35, n.4, p.166-168, 1983.
- 136 WARWICK, M.E. Some aspects of the laboratory studies of low coating mass tinsplate at the ITRI. **Packaging**, London, v.58, n.667, p.23-27, 1986.
- 137 WIDMER, H.R. Welded cans: technology aspects and quality evaluation. In: **LATAS Eletrossoldadas: Aspectos tecnológicos e avaliação da qualidade**. Campinas: CETEA/ITAL, 1991. 233p. (Compilação de palestras)
- 138 WIGGINS, R.E., GREEN, T.G. **Methods of testing food can lacquers**; a critical review. London: Metal Box Co., 1966. (Technical Communication, 34)
- 139 WILKENS ANDERSON CO. **Enamel Rater Operating Instrutions**. Chicago, [s.d.] 8p.
- 140 WILLEM, J.F., SERVAIS, J.P., LAMBERIGTS, M. Effect of stannous tin adsorption on the electrochemical behavior of iron in de-aerated, slightly acidic media. In: **INTERNATIONAL TINPLATE CONFERENCE**, 6, 1996, London. **Proceedings...**, Middlesex: International Tin Research Institute, 1996. p.75-84.
- 141 WOLCOTT, T., BUHLERT, J., MARSH, G.L., LEONARD, S., HEIL, J.R. **Objective tomato color measurement**. Davis: University of California, July, 1980.
- 142 ZVAUYA, R., CHIPUNZA, S. Electro-chemical studies on tinsplate corrosion in organic acids. **Journal Food Science & Technology**, Mysore, v.32, n.2, p.129-131, 1995.

ANEXO A



$$SR = \frac{GC + GF + 1,1 \times EF - HT}{HT - 1,1 \times (2 \times EF + EC)} \times 100$$

$$EGC = \frac{GC - 1,1 \times EC}{HT - 1,1 \times (2 \times EF + EC)} \times 100$$

$$C = \frac{3 \times EF + 2 \times EC}{ER} \times 100$$

Onde:

ER = espessura da recravação (mm)

HT = altura ou comprimento da recravação (mm)

GC = gancho do corpo (mm)

GF = gancho do fundo (ou tampa) (mm)

EF = espessura da folha do fundo (ou tampa) (mm)

EC = espessura da folha do corpo (mm)

SR = sobreposição relativa (%)

EGC = enganchamento do gancho do corpo (%)

C = compactação (%)

FIGURA A1. Seção transversal da recravação, identificando os parâmetros avaliados e as equações correspondentes.

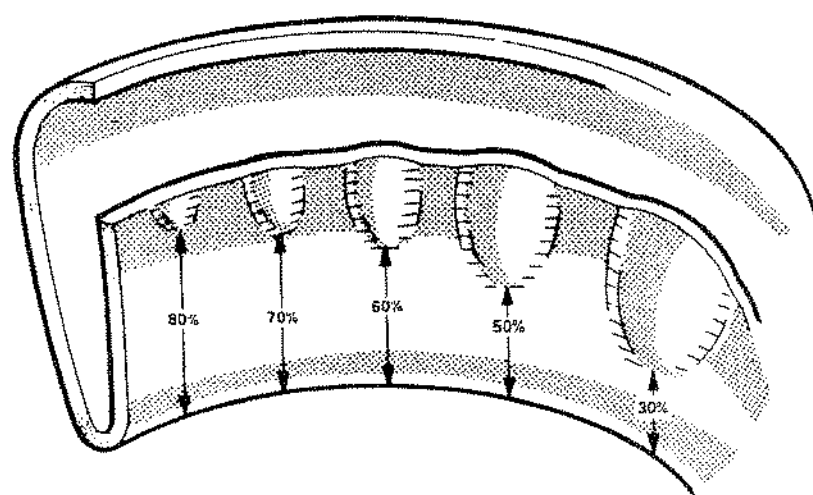


FIGURA A2. Classificação do aperto da recração pelo enrugamento do gancho do fundo/tampa.