

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

**AVALIAÇÃO DE PERFIS DE MORDENTE DE
FECHAMENTO NA QUALIDADE DA
TERMOSSOLDAGEM DE EMBALAGENS
PLÁSTICAS FLEXÍVEIS METALIZADAS**

*Parceira,
Este exemplar corresponde a avaliação
final da tua dissertação por Lúcia Mariza
de Oliveira e é aprovada para a obtenção
do título em 26/04/95.*

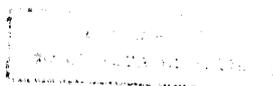


Autor: LÉA MARIZA DE OLIVEIRA

Orientador: José de Assis Fonseca Faria

Dissertação apresentada à Faculdade de
Engenharia de Alimentos da Universidade
Estadual de Campinas, para a obtenção do
título de Mestre em Tecnologia de
Alimentos

Campinas - SP
1995



UNICAMP
T/UNICAMP
OL4a
24844
433/95
X
R\$ 11,00
09/06/95

CM-00070691-2

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

OL48a Oliveira, Léa Mariza de
Avaliação de perfis de mordente de fechamento na
qualidade da termossoldagem de embalagens plásticas flexíveis
metalizadas / Léa Mariza de Oliveira. -- Campinas, SP: [s.n.],
1995.

Orientador: José de Assis Fonseca Faria.

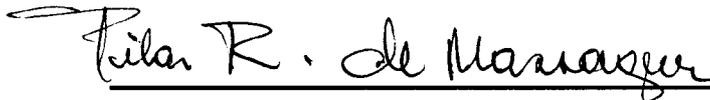
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos.

1. Alimentos - Embalagens. 2.*Termossoldagem.
3.*Embalagens flexíveis. 4.Plásticos na embalagem. I. Faria, José
de Assis Fonseca. II. Universidade Estadual de Campinas.
Faculdade de Engenharia de*Alimentos. III. Título.

BANCA EXAMINADORA



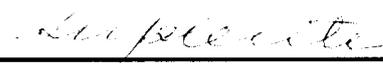
*Prof. Dr. José de Assis Fonseca
Faria*
Orientador



*Prof.^a Dr.^a Pilar Rodrigues
de Massaguer*
Membro



Prof. Dr. Antônio Marsaioli Júnior
Membro



Prof. Dr. Carlos Alberto Gasparetto
Membro

Campinas,  de abril de 1995.

*Ao Sérgio, pelo incentivo,
compreensão e carinho*

AGRADECIMENTOS

- Ao Prof. Dr. José de Assis Fonseca Faria pela orientação a este trabalho.
- À Christiane Quartaroli pela colaboração durante a realização do trabalho experimental.
- Ao Engenheiro Maurício R. Bordin pela colaboração nos ensaios de simulação de transporte.
- Ao Instituto de Tecnologia de Alimentos - ITAL pela oportunidade e apoio concedidos para o desenvolvimento deste trabalho.
- À Marta Cuêrvo pela correção das referências bibliográficas.
- À Vera Maria B. Luporini pela revisão ortográfica.
- Ao Thiago Camizão Claudio no trabalho de digitação.
- Ao César Murilo B. Guerra e Andréa C. Derevtsoff no trabalho de editoração.
- À Alcan Alumínio do Brasil S.A e à Empax Embalagens Ltda. pelo fornecimento do material de embalagem.
- À Alimentícios Fleischmann e Royal Ltda. e ao Café do Ponto S.A. Ind. Com. e Exportação pelo fornecimento do produto alimentício e embalagem de transporte.
- À EMBRAPA pelo auxílio financeiro.
- A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

Lista de Tabelas	i
Lista de Figuras	ii
Lista de Anexos	iii
Abreviaturas	iv
Resumo	v
Summary	vi
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Materiais Plásticos	3
2.2 Embalagens Plásticas	4
2.3 Termossoldagem	4
2.3.1 Métodos de Termossoldagem	5
2.3.2 Tipos de Termossoldagem	6
2.3.3 Elementos da Termossoldagem	8
2.3.4 Propriedades da Termossoldagem	9
2.4. Termoselante	11
2.4.1 Polietileno de Baixa Densidade	11
2.4.2 Polipropileno Biorientado Coextrusado	12
2.5 Simulação de Transporte	13
3 MATERIAIS E MÉTODOS	14
3.1 Otimização das Condições de Termossoldagem	17
3.1.1 Avaliação da Aparência	19
3.1.2 Resistência da Termossoldagem à Tração	19
3.1.3 Verificação da Ocorrência de Fusão	20
3.1.4 Avaliação da Integridade	20
3.2 Preparo das Embalagens	22
3.3 Ensaio de Vibração e Simulação de Transporte	23
3.3.1 Ensaio de Vibração em Varredura	24
3.3.2 Vibração Randômica Simulando Densidade Espectral de Potência	25
3.4 Avaliação da Qualidade da Termossoldagem	26

3.4.1 Avaliação da Aparência	26
3.4.2 Resistência ao Impacto por Queda-livre.....	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
4.1 Otimização das Condições de Termossoldagem.....	28
4.2 Preparo das Embalagens	32
4.3 Ensaio de Vibração e Simulação de Transporte.....	33
4.4 Avaliação da Qualidade da Termossoldagem	33
4.4.1 Estrutura 1: BOPPmet/BOPPcoex.....	33
4.4.2 Estrutura 2: BOPPmet/PEBD.....	37
5 CONCLUSÕES.....	41
5.1 Estrutura 1: BOPPmet/BOPPcoex	41
5.2. Estrutura 2: BOPPmet/PEBD.....	42
6 SUGESTÕES	44
ANEXO A	45
ANEXO B	46
ANEXO C	47
ANEXO D	48
ANEXO E.....	49
ANEXO F.....	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
APÊNDICE I	
APÊNDICE II	

LISTA DE TABELAS

TABELA 1.	Características dos perfis de mordente estriados.	14
TABELA 2.	Caracterização das estruturas estudadas quanto a espessura e gramatura	16
TABELA 3.	Temperatura ao longo do perfil de fechamento, para temperaturas pré-fixadas de 120, 130 e 140°C, durante a otimização das condições de termossoldagem.	28
TABELA 4.	Otimização das condições da termossoldagem da estrutura BOPPmet/BOPPcoex.	29
TABELA 5.	Otimização das condições de termossoldagem da estrutura BOPPmet/PEBD.	31
TABELA 6.	Temperatura ao longo do perfil de fechamento, para temperaturas pré-fixadas de 120, 130 e 140°C, durante o preparo das embalagens.	32
TABELA 7.	Resistência da termossoldagem à tração (gf/cm) da embalagem de BOPPmet/BOPPcoex antes e após a simulação de transporte.	34
TABELA 8.	Resistência ao impacto por queda-livre da embalagem de BOPPmet/BOPPcoex antes e após a simulação de transporte.	36
TABELA 9.	Avaliação da aparência da termossoldagem da embalagem de BOPPmet/PEBD após a simulação de transporte.	37
TABELA 10.	Resistência da termossoldagem à tração (gf/cm) da embalagem de BOPPmet/PEBD antes e após a simulação de transporte.	38
TABELA 11.	Resistência ao impacto por queda-livre da embalagem de BOPPmet/PEBD antes e após a simulação de transporte.	40

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.	Detalhe de uma máquina vertical que forma, enche e fecha a embalagem.....	7
FIGURA 2.	Esquema de fácil abertura de embalagens.....	8
FIGURA 3.	Representação esquemática de um perfil de mordente estriado.....	15
FIGURA 4.	Distribuição dos termopares ao longo da barra de termossoldagem inferior e superior.....	18
FIGURA 5.	Esquema de termossoldagem onde ocorreu ou não fusão.....	21
FIGURA 6.	Esquema da distribuição das embalagens primárias na embalagem de transporte.....	23
FIGURA 7.	Arranjo das embalagens de transporte do salgadinho na mesa de vibração.....	24
FIGURA 8.	Arranjo das embalagens de transporte do café torrado e moído na mesa de vibração.....	25

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A

Espectro de densidade de potência 45

ANEXO B

Monitoramento da temperatura ao longo do perfil de fechamento, durante a etapa de otimização das condições de termossoldagem, para uma temperatura pré-fixada de 120°C..... 46

ANEXO C

Monitoramento da temperatura ao longo do perfil de fechamento, durante a etapa de otimização das condições de termossoldagem, para uma temperatura pré-fixada de 130°C..... 47

ANEXO D

Monitoramento da temperatura ao longo do perfil de fechamento, durante a etapa de otimização das condições de termossoldagem, para uma temperatura pré-fixada de 140°C..... 48

ANEXO E

Resistência da termossoldagem à tração (gf/cm) da estrutura BOPPmet/BOPPcoex, durante a etapa de otimização das condições de termossoldagem..... 49

ANEXO F

Resistência da termossoldagem à tração (gf/cm) da estrutura BOPPmet/PEBD, durante a etapa de otimização das condições de termossoldagem..... 50

ABREVIATURAS

AST.....	antes da simulação de transporte
BOPP.....	polipropileno biorientado
BOPPcoex.....	polipropileno biorientado coextrusado
CE.....	camada externa
CI.....	camada interna
COF.....	coeficiente de atrito
CNTP.....	condições normais de temperatura e pressão
DF.....	direção de fabricação do material
DST.....	depois da simulação de transporte
DT.....	direção transversal à fabricação do material
met.....	metalização
MTS.....	MTS Systems Corporation
PA.....	poliamida
PEAD.....	polietileno de alta densidade
PEBD/LDPE.....	polietileno de baixa densidade
PET.....	poliéster
PP.....	polipropileno
PS.....	poliestireno
PSD.....	densidade espectral de potência
RTT.....	resistência da termossoldagem à tração
TPO ₂	taxa de permeabilidade ao oxigênio
TPVA.....	taxa de permeabilidade ao vapor d'água

RESUMO

Diferentes perfis de mordente são usados no mercado nacional para termossoldagem, por barra aquecida, de materiais flexíveis, utilizados no acondicionamento de alimentos. O objetivo deste estudo foi avaliar a influência do perfil do mordente na qualidade da termossoldagem, de topo e fundo de embalagens de polipropileno biorientado metalizado/polipropileno biorientado coextrusado (BOPPmet/BOPPcoex) e de polipropileno biorientado metalizado/polietileno de baixa densidade (BOPPmet/PEBD), estruturas essas tradicionais no acondicionamento de salgadinhos e café torrado e moído. Cinco perfis de mordente foram avaliados: liso, com estrias horizontais, verticais (dois ângulos diferentes entre as estrias, 120 e 90°) e inclinadas. A temperatura e o tempo de termossoldagem das duas estruturas foram otimizados para todos os perfis de fechamento. A pressão de termossoldagem foi fixada em 40lbf/pol². A qualidade da termossoldagem foi avaliada por inspeção visual, determinação da integridade, da resistência da termossoldagem à tração e da embalagem ao impacto por queda-livre. Todos os ensaios foram realizados antes e após simulação de transporte das embalagens. Para tanto, foram confeccionadas em laboratório embalagens de BOPPmet/BOPPcoex, contendo 100g de salgadinho e de BOPPmet/PEBD com 250g de café torrado e moído, que foram acondicionadas em caixas de papelão ondulado e sacos de papel kraft pardo, respectivamente. Para a estrutura BOPPmet/BOPPcoex, todos os perfis de mordente resultaram em termossoldagens com problema de integridade. Os perfis vertical 90°, vertical 120° e inclinado resultaram em termossoldagens com melhor resistência à tração, ao impacto por queda-livre e aparência sendo, portanto, dentre os estudados, os mais indicados para a termossoldagem de topo e fundo de embalagens de salgadinho. O perfil liso apresentou desempenho inferior a todos os demais. A simulação de transporte não afetou a qualidade da termossoldagem, independentemente do perfil. Nas embalagens de BOPPmet/PEBD, não se constatou falta de integridade na termossoldagem, independentemente do perfil. Contudo, a simulação de transporte reduziu a qualidade da termossoldagem, de todos os perfis. Os perfis vertical 120° e 90° apresentaram desempenho semelhante, sendo os mais indicados para termossoldagem da estrutura. Não se recomenda a utilização dos perfis inclinado, horizontal e liso, para o acondicionamento de café torrado e moído ou outro produto em quantidade, aparência e densidade similar, na estrutura BOPPmet/PEBD estudada.

SUMMARY

Different profiles of jaws are used in the Brazilian market to heat sealing, by heated bar method, flexible materials used in food packaging. The objective of this study was to evaluate the influence of the jaw profile on the quality of the top and bottom heat sealing pouches made of bioriented polypropylene metallised/bioriented polypropylene coextruded (BOPPmet/BOPPcoex) and bioriented polypropylene metallised/low density polyethylene (BOPPmet/LDPE). These materials are traditionally used for snacks and ground coffee packages. Five jaw profiles were evaluated: one flat and four grooved lengthwise, crossedwise 120 and 90°, and inclinedwise profiles. The heat sealing temperature and time were optimized for the two packaging materials for all profiles. The sealing pressure was fixed at 40lbf/in². The heat sealing quality was evaluated through visual examination, integrity, tensile strength and drop testing. All the tests were done before and after the packages transport simulation. BOPPmet/BOPPcoex 100g snack packages and BOPPmet/LDPE 250g ground coffee packages were prepared under laboratory conditions. The transport simulation was done for these packages by placing them into paperboard boxes (snacks) or kraft paper sacks (ground coffee), respectively. The BOPPmet/BOPPcoex packages presented integrity problems for all the profiles tested. The best heat sealing tensile strength, drop impact resistance and appearance were obtained with the crossedwise 90 and 120°, and inclinedwise grooved profiles, therefore these profiles are the most recommended ones for the top and bottom heat sealing of snacks BOPPmet/BOPPcoex packages. The flat profile had the worst performance among the ones that were studied. The heat sealing quality was not affected by the transport simulation, for all profiles. The BOPPmet/LDPE packages did not show integrity problems. However, the transport simulation reduced the heat sealing quality independently of the profile. The crossedwise 120 and 90° grooved profiles showed similar performances and they are the most recommended ones for the BOPPmet/LDPE packages of ground coffee or any product with similar appearance and density. The inclinedwise, lengthwise and flat profiles are not recommended for these applications.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a cultura do desperdício é um problema antigo, encontrado em vários segmentos do setor produtivo. Na área de alimentos, as causas do desperdício vão desde erros no plantio, armazenagem e distribuição até o uso final do produto. Em um momento em que o país enfrenta sérias dificuldades econômicas, os valores deste desperdício são alarmantes. Sendo assim, a situação atual exige especial atenção para a redução de perdas e custos associados à qualidade e produtividade, de modo que se atinjam condições mínimas para um crescimento sustentado e um maior equilíbrio no desenvolvimento sócio-econômico.

Neste contexto, o setor de embalagens vem adquirindo importância cada vez mais significativa na distribuição e comercialização de produtos industrializados e *in natura*.

O uso de embalagens adequadas confere maior proteção ao produto e, conseqüentemente, prolonga sua vida útil. Desta forma, a correta especificação do material de embalagem é fundamental. A especificação está sempre relacionada ao tipo de produto, sistema de distribuição, mercado consumidor e vida útil desejada. O tipo de material, sua espessura e/ou gramatura, propriedades de barreira e características mecânicas são os parâmetros em geral utilizados para especificar o material de embalagem.

Por sua vez, uma embalagem corretamente especificada, mas com um fechamento deficiente, pode levar a uma redução na vida-de-prateleira do produto, seja por razões microbiológicas, químicas ou físicas. Por exemplo, alimentos sensíveis ao oxigênio e à umidade podem sofrer reduções significativas na vida-de-prateleira, mesmo quando estruturas com barreira ao oxigênio e ao vapor d'água são utilizadas. Também é comum a perda de produto por abertura da embalagem durante sua comercialização. Desta forma, uma termossoldagem que ofereça ao produto pelo menos o mesmo nível de proteção do material de embalagem é condição indispensável para um desempenho final que atenda objetivos pré-determinados.

Em geral exige-se do fechamento resistência mecânica e integridade. A resistência mecânica suporta as solicitações mecânicas durante o acondicionamento do alimento, transporte e manuseio. A integridade é responsável pela manutenção das propriedades de barreira do material na embalagem final (MILTZ, 1980; YOUNG, 1985).

A qualidade da termossoldagem é função de uma série de fatores dentre os quais destacam-se o tipo de equipamento utilizado, forma de aplicação do calor, perfil do

mordente de fechamento, bem como características físicas e mecânicas do próprio material de embalagem (BROWN & KEEGAN, 1973; MÜNDERLEIN & HOHMANN, 1983).

No mercado de alimentos, os equipamentos de acondicionamento são principalmente do tipo forma-enche-fecha a embalagem verticalmente, operando com termossoldagem por barra aquecida, quando o material de embalagem é um laminado ou coextrusado, ou seja, quando apresenta mais de uma camada na estrutura.

Quanto ao perfil do mordente de fechamento existe, no mercado nacional, grande variedade. Em um levantamento realizado no mercado de Campinas, o Centro de Tecnologia de Embalagem de Alimentos - CETEA, pertencente ao Instituto de Tecnologia de Alimentos - ITAL, constatou que não há uma correlação entre o perfil do mordente, tipo de material e produto acondicionado. Também foi verificado que muitas embalagens apresentam problema de integridade, algumas vezes associado à falta de resistência mecânica do fechamento (Informação não publicada).

Considerando-se que os equipamentos de acondicionamento são versáteis o suficiente para permitir a troca de perfis de mordente, de forma relativamente simples, e a tendência de crescimento do uso de estruturas flexíveis laminadas, este estudo teve como objetivo avaliar a influência do perfil do mordente de fechamento no desempenho físico-mecânico da termossoldagem de embalagens confeccionadas com estruturas distintas, usualmente empregadas para o acondicionamento de salgadinhos (*snacks*) e café torrado e moído. Cinco perfis de mordente, os mais utilizados pelo mercado, foram avaliados: perfil liso, com estrias horizontais, verticais (dois ângulos diferentes entre as estrias) e inclinadas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Materiais Plásticos

Plásticos são definidos pela ASTM (1989b) como materiais que têm como constituinte essencial uma ou mais substâncias poliméricas orgânicas de alto peso molecular e, em algum estágio de sua fabricação ou conversão final, podem ser moldados por escoamento.

As substâncias poliméricas ou polímeros são macromoléculas, sendo que a maioria, em fase de desenvolvimento ou já com alguma aplicação prática, tem peso molecular na faixa de 5.000 a 200.000 (ODIAN, 1970).

A maioria dos polímeros comerciais são obtidos pela união de moléculas menores, os monômeros, derivados hoje principalmente da indústria petroquímica, que se combinam por meio da reação de polimerização (ODIAN, 1970). De acordo com CARLEY (1990), entre os plásticos comerciais, somente os celulósicos são derivados de um polímero natural.

Os monômeros presentes na cadeia polimérica repetem-se de forma ordenada ou não e podem ser de um único tipo, tendo-se então um homopolímero, ou de dois ou mais tipos, quando então tem-se o copolímero (CZERNIAWSKI, 1985a). SAECHTLING (1983) afirma que os componentes poliméricos são os responsáveis pelo desempenho tecnológico e físico do plástico.

Os materiais plásticos dividem-se em duas classes principais, de acordo com suas características químicas e tecnológicas: os termoplásticos e os termofixos (ASTM, 1989b; CARLEY, 1990; SAECHTLING, 1983).

Os termoplásticos são materiais que repetidamente podem ser amolecidos por calor e endurecidos por resfriamento, dentro de sua faixa característica de temperatura. Os termoplásticos, quando no estado fundido, podem ser moldados em diferentes formas. Suas moléculas são lineares ou ramificadas e solúveis em solventes orgânicos específicos. Os termoplásticos compreendem a grande maioria dos materiais plásticos utilizados na embalagem para alimentos, tais como polietileno de baixa densidade (PEBD), polietileno de alta densidade (PEAD), polipropileno (PP), polipropileno biorientado (BOPP), poliestireno (PS), poliamida (PA) e poliéster (PET).

Os termofixos são plásticos que não completaram totalmente a reação química de sua formação, mas que a completam quando curados por calor ou qualquer

outro meio. Nesse estágio, as cadeias se arranjam em uma rede tridimensional, de forma que a partir de então não mais se fundem nem solubilizam, não podendo portanto serem reprocessados. São termofixos típicos os compostos fenólicos, resinas epóxi e a maioria dos poliuretanos.

2.2 Embalagens Plásticas

A facilidade para fabricação e transformação dos termoplásticos, a variedade de tecnologias disponíveis para tanto, a diversidade de formas e a possibilidade de combinação de propriedades a partir da combinação de diferentes materiais são algumas das razões que tornaram os plásticos muito usuais em embalagens para alimentos e bebidas.

De acordo com JENKIS & HARRINGTON (1991), as embalagens plásticas são usualmente divididas pela indústria em flexíveis e rígidas. Embalagens flexíveis são as confeccionadas em filmes com uma ou múltiplas camadas, os quais têm espessura de até cerca de 380 μ m. As embalagens rígidas são aquelas com formato definido e espessura superior a 380 μ m.

Para a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, embalagem flexível é aquela que tem sua forma inicial alterada pelo produto, o mesmo não ocorrendo com relação às embalagens rígidas (ABNT, 1987). Ainda de acordo com a ABNT, o filme plástico tem espessura nominal inferior a 250 μ m (ABNT, 1986).

2.3 Termossoldagem

Para a comercialização de embalagens através dos canais convencionais de transporte e distribuição é necessário que elas estejam fechadas. A termossoldagem é o processo mais utilizado para o fechamento de embalagens plásticas flexíveis. DOWNES (1984) define termossoldagem como um processo no qual dois materiais soldáveis são unidos sob condições que permitam a sua fusão. A termossoldagem se aplica aos polímeros termoplásticos.

O calor necessário para a fusão dos materiais a serem termossoldados pode ser produzido, dentre outros, por ondas sonoras ou eletricamente (BROWN & KEEGAN, 1973).

2.3.1 Métodos de Termossoldagem

A opção pelo método de termossoldagem a ser utilizado depende de diferentes fatores, destacando-se, entre eles, os tipos de materiais a serem termossoldados, a capacidade e o formato da embalagem, as características desejadas na termossoldagem, a velocidade da linha de produção e o custo (BRISTON, 1983; BROWN & KEEGAN, 1973).

Na indústria de alimentos, os métodos de termossoldagem mais utilizados são a barra aquecida e o impulso elétrico.

No processo por barra aquecida são utilizados pares de barras, usualmente de alumínio ou aço, as quais são mantidas a uma temperatura constante, pré-determinada, durante todo o ciclo de termossoldagem. Quando essas barras são pressionadas pneumaticamente tem se um fluxo contínuo de calor do exterior para o interior da região de fechamento, que ocasiona a fusão do material e proporciona a termossoldagem (BROWN & KEEGAN, 1973; DOWNES, 1984).

O mais comum é a utilização de aquecimento em ambas as barras. Entretanto a substituição de uma das barras metálicas, por borracha de silicone, garante maior uniformidade da pressão ao longo da superfície de fechamento. Segundo YOUNG (1985), existe uma dificuldade em manter-se duas barras metálicas planas com superfície homogênea o bastante para garantir perfeito contato entre elas e, conseqüentemente, entre os materiais a serem fundidos. Por outro lado, como a quantidade de calor fornecida se torna mais limitada, é necessário aumentar a temperatura da barra metálica, a fim de que a velocidade de produção não seja reduzida. SCHRICKER (1986) afirma que o tempo necessário para a termossoldagem de um material em uma termosseladora com ambas as barras aquecidas é de 1/3 do necessário quando apenas uma das barras é aquecida.

Nas seladoras por barra aquecida diferentes perfis de mordentes (superfícies de fechamento) são utilizados. Acredita-se que determinados perfis possam compensar problemas de ajuste de máquina, transferência de calor e distribuição de pressão heterogêneos (MÜNDERLEIN & HOHMANN, 1981). Os mordentes com perfis estriados tendem a esticar o filme e, desta forma, compensar imperfeições superficiais, contudo, também podem produzir termossoldagens com menor resistência (PLASTIC..., 1991).

As seladoras por barra aquecida são, em geral, automáticas e utilizadas para fechamento de estruturas com múltiplas camadas.

Nas termosseladoras por impulso elétrico, os mordentes se encontram frios no início do ciclo de selagem. Nesses equipamentos, uma resistência elétrica plana de

pequena secção transversal, recoberta por fita de teflon, é fixada ao longo de um ou ambos os mordentes. Quando estes mordentes se fecham sobre o material a ser selado aplica-se uma diferença de potencial que causa uma corrente elétrica através da resistência, aquecendo-a. Este calor é transferido ao material plástico que se funde, promovendo o fechamento da embalagem, quando então, a corrente elétrica é interrompida. Os mordentes permanecem fechados, pressionando o material de embalagem, até que a temperatura caia abaixo da temperatura de soldagem. (BROWN & KEEGAN, 1973).

O impulso elétrico é utilizado para o fechamento de materiais que tendem a se deformar quando aquecidos e, portanto, requerem um resfriamento sob pressão (DOWNES, 1984). Também é utilizado para materiais cuja termossoldagem é efetiva somente quando eles são mantidos sob pressão até que a temperatura fique abaixo da de termossoldagem (BROWN & KEEGAN, 1973).

O sistema de termossoldagem por impulso elétrico é geralmente empregado em equipamentos manuais e semi-automáticos.

Segundo BRISTON (1983) e DOWNES (1984), as seladoras por impulso elétrico são mais lentas que as por barra aquecida por incluírem no ciclo de termossoldagem uma etapa de resfriamento.

No acondicionamento de salgadinhos e café torrado e moído, são em geral utilizados equipamentos automáticos verticais, de termossoldagem por barra aquecida, que formam, enchem e fecham as embalagens (Figura 1).

2.3.2 Tipos de Termossoldagem

De acordo com BROWN & KEEGAN (1973) e KOSHCHAK (1986), existem basicamente dois tipos de termossoldagem: a de fácil abertura (*peelable*) e a de difícil abertura (*non-peelable*).

Na embalagem tradicional, que não permite a fácil abertura, tem-se a fusão permanente das duas superfícies a serem unidas, que passam a formar então uma massa homogênea única. Nesses casos, a termossoldagem tem uma resistência mecânica da ordem da apresentada pelo material de embalagem. Esse tipo de termossoldagem é utilizado quando se deseja elevada resistência mecânica do fechamento, seja pelas características do produto a ser envasado, capacidade da embalagem, tipo de equipamento de acondicionamento e/ou sistema de distribuição. Em geral, para abertura das embalagens nas quais a termossoldagem se deu por fusão permanente, é necessário o uso de instrumentos cortantes como tesouras e facas, o que danifica a sua aparência.

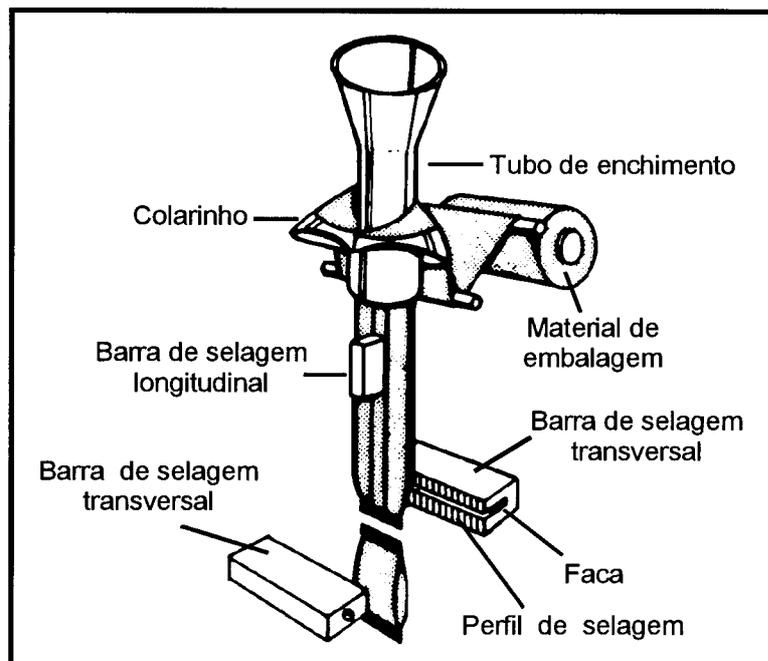


FIGURA 1. Detalhe de uma máquina vertical que forma, enche e fecha a embalagem.
 Fonte: JENKIS & HARRINGTON (1991).

A termossoldagem de fácil abertura, como o próprio nome sugere, pode ser aberta sem esforço, com as próprias mãos, de modo que a embalagem não seja danificada. Esse tipo de fechamento é uma resposta da indústria às necessidades e exigências do consumidor quanto à conveniência. As pesquisas que avaliam os hábitos de consumo da população (FOX, 1989; LOUIS, 1989) mostram a tendência do consumidor em adquirir alimentos/embalagens que, além de qualidade, apresentem aspectos referentes à conveniência, segurança e reciclabilidade.

Segundo BROWN & KEEGAN (1973), na termossoldagem *peelable* cria-se uma soldagem temporária que permite a fácil abertura da embalagem.

SUGIYAMA & ITOH (1986) dividem em três os mecanismos de fácil abertura que podem ocorrer em embalagens cujas camadas termosselantes são filmes. Na Figura 2 são apresentados esses três mecanismos. No primeiro, a esfoliação das superfícies caracteriza-se pela separação das duas camadas selantes. No segundo, a esfoliação das camadas aplica-se principalmente às embalagens rígidas fechadas com tampa flexível. Nesse caso, a laminação da camada interna do corpo tem baixa resistência, de forma que ao se aplicar uma força para abertura da embalagem, ocorre a delaminação dessa camada do restante da estrutura. Para tanto, a embalagem deve ter tecnologia especial de fabricação com um semi-corte da camada interna na região de fechamento. No terceiro método, ocorre a falha dentro da camada resultante da fusão

das duas camadas internas, que é conhecida por falha coesiva. Este método aplica-se principalmente às embalagens que são submetidas à tratamento térmico a temperatura da ordem de 120°C.

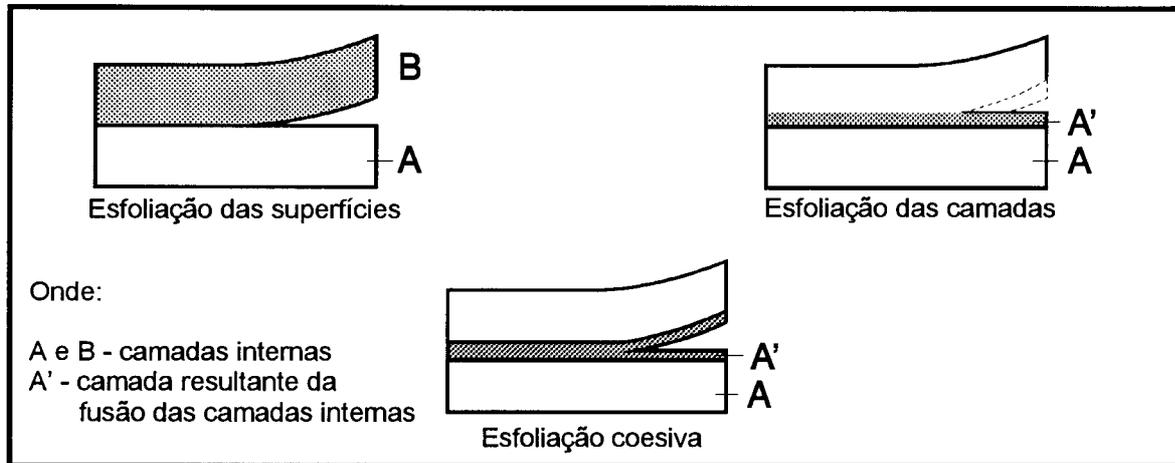


FIGURA 2. Esquema de fácil abertura de embalagens. Fonte: SUGIYAMA & ITOH (1986).

No Brasil, especialmente no caso de embalagens flexíveis, tem-se a termossoldagem *non-peelable* em embalagens para café torrado e moído, a vácuo ou não, arroz, leite em pó e sopas desidratados entre outros. A termossoldagem de fácil abertura ocorre em alguns tipos de embalagens para biscoitos, salgadinhos e cereais matinais.

2.3.3 Elementos da Termossoldagem

Independentemente do método e tipo de termossoldagem, BROWN & KEEGAN (1973) afirmam que são quatro os elementos básicos do ciclo de termossoldagem:

- a) temperatura aplicada ao material;
- b) pressão do mordente;
- c) tempo que o material é submetido à ação do calor;
- d) tempo de resfriamento (quando necessário).

Na introdução desse estudo afirmou-se que a qualidade da termossoldagem é função de diversos fatores, destacando-se o tipo de equipamento utilizado, forma de aplicação do calor, perfil do mordente de fechamento e características do material de embalagem. SCHRICKER (1986) afirma que a qualidade da termossoldagem também depende da temperatura, pressão e tempo empregados.

Uma vez definida a combinação ideal de temperatura, tempo e pressão, tem-se as condições ótimas para a termossoldagem de um material específico.

De acordo com DOWNES (1984), a utilização de temperaturas abaixo da ótima pode ser compensada por um aumento na pressão e no tempo. Entretanto, nos casos em que a temperatura fica abaixo do limite inferior da faixa de termossoldagem, o aumento da pressão ou do tempo não terá efeito satisfatório, comprometendo a qualidade da termossoldagem.

Em equipamentos de termossoldagem é usual uma variação entre a temperatura solicitada e a obtida. Em alguns equipamentos Bosch, a tolerância para esta variação é de 5% (BOSCH, s.d.). Equipamentos de última geração apresentam uma variação da ordem de 1°C.

Com relação a temperatura, também é de grande importância a sua distribuição ao longo do perfil de fechamento. A temperatura máxima a ser utilizada é limitada devido aos danos que ocorrem no material como, por exemplo, delaminação da estrutura, deformação e perda de orientação.

Segundo MÜNDERLEIN & HOHMANN (1981), a pressão do mordente é determinada pela regulagem do equipamento. Em equipamentos automáticos costuma-se trabalhar com pressão entre 40 e 70 lbf/pol² (OLIVEIRA & ALVES, 1992; MÜNDERLEIN & HOHMAN, 1983). Aplica-se pressão a fim de manter-se as superfícies a serem soldadas em íntimo contato.

O tempo de termossoldagem é definido pela velocidade desejada na linha de produção. No Brasil, a velocidade média das linhas de produção que utilizam máquinas de empacotamento verticais é de 60 embalagens/minuto, o que equivale a um tempo de termossoldagem de 1 segundo/embalagem.

2.3.4 Propriedades da Termossoldagem

Conforme já mencionado, MILTZ (1980) e YOUNG (1985) recomendam que a termossoldagem de embalagens para alimentos apresente integridade e resistência mecânica.

A integridade de fechamento garante à embalagem a manutenção, nessa região, das propriedades de barreira aos gases e ao vapor d'água oferecidas pelo material de embalagem. Também, previne a recontaminação microbiológica do produto e, por esse motivo, de acordo com LAMPI *et alii.* (1976), é fundamental em embalagens flexíveis esterilizáveis, exigindo-se dessas um padrão de qualidade equivalente ao das latas sanitárias.

Por outro lado LAMPI *et alii.* (1976) afirmam que existem alimentos, sem mencionar quais, que não exigem integridade da embalagem, sendo que entre estes o nível de embalagens com falhas na termossoldagem é elevado, porém tolerável, e que nesses casos os critérios para definição de uma boa soldagem são subjetivos.

SHRICKER (1986) comprovou que falhas esporádicas e de dimensões reduzidas (comprimento de 50 μ m e diâmetro variando entre 25 e 500 μ m) influenciam grandemente a permeabilidade ao vapor d'água de uma embalagem, sem contudo comprometer o seu desempenho. Mesmo frente a essa realidade, SHRICKER (1986) ainda recomenda que não haja descuido nos ajustes das máquinas do tipo forma, enche e fecha.

Existe uma grande variedade de ensaios para detectar problemas de integridade na termossoldagem, sendo mais utilizados o ensaio eletrolítico e o de penetração de solução colorida (DOWNES, 1984). Esses ensaios não requerem equipamentos sofisticados e são rápidos o suficiente para serem aplicados em controle de qualidade (PADULA *et alii.*, 1989).

Quanto à resistência mecânica, ERNST (1986) a classifica em três grupos:

- a) resistência imediatamente após a termossoldagem;
- b) resistência da termossoldagem à temperatura ambiente;
- c) resistência da termossoldagem à temperatura elevada.

A resistência imediatamente após a termossoldagem, mais conhecida como *hot tack*, é definida como a resistência da termossoldagem no momento imediatamente após a remoção da pressão de fechamento. Nesse instante, os termoplásticos responsáveis pelo fechamento ainda estão quentes, em geral a uma temperatura superior a do seu ponto de fusão (ERNST, 1986; SPINK *et alii.*, 1991). A termossoldagem deve apresentar um *hot tack* capaz de resistir ao esforço causado pelo peso do produto que está sendo acondicionado.

A resistência da termossoldagem à temperatura ambiente está relacionada ao desempenho apresentado na distribuição e comercialização do produto.

O conhecimento da resistência da termossoldagem à temperatura elevada é útil no caso de embalagens que são submetidas a tratamentos térmicos como a pasteurização e a esterilização.

A resistência mecânica da termossoldagem é tradicionalmente avaliada pela medida de tração.

A determinação da resistência à tração de termossoldagens à temperatura ambiente ou elevada é feita em dinamógrafos de tração, equipamentos estes amplamente utilizados na indústria de embalagens plásticas.

Ensaio que avaliam a resistência da embalagem ao impacto por queda-livre e ao aumento da pressão interna, também fornecem informações sobre a resistência mecânica da termossoldagem. Esses ensaios costumam ser utilizados em conjunto com o de resistência da termossoldagem à tração na avaliação da resistência do fechamento.

A determinação do *hot tack* exige equipamentos específicos que permitem a termossoldagem e o imediato tracionamento do corpo-de-prova.

2.4 Termosselante

Dentre os termoplásticos utilizados como camada termosselante em embalagens flexíveis formadas em máquinas verticais, destacam-se o polietileno de baixa densidade (PEBD) e o polipropileno biorientado coextrusado (BOPPcoex). O PEBD é tradicionalmente utilizado pelo mercado há vários anos. O BOPPcoex é uma opção mais recente que está se firmando no mercado de embalagens de fácil abertura.

2.4.1 Polietileno de Baixa Densidade

O PEBD é o termoplástico mais utilizado em embalagens. No Brasil, em 1992 foram consumidas 171 mil toneladas, o que representa mais que o dobro do consumo do segundo colocado (DATAMARK, 1993).

Essa posição privilegiada é decorrente do custo da resina e propriedades do material. O PEBD reúne propriedades como a facilidade de processamento, inércia química, transparência, barreira ao vapor d'água e termossoldabilidade (JENKINS & HARRINGTON, 1991). O PEBD também apresenta um bom equilíbrio entre propriedades mecânicas como resistência à tração, estouro, impacto e rasgamento (BRISTON, 1983).

A densidade do PEBD varia entre 0,916 e 0,935g/cm³. (BRISTON,1983).

O PEBD tem estrutura ramificada o que afeta sua cristalinidade e seu ponto de amolecimento. A presença de cadeias ramificadas reduz a possibilidade de um arranjo ordenado das moléculas e por esse motivo a cristalinidade do polímero é limitada, variando usualmente entre 55 e 70%, contra 75 e 90% do PEAD que tem estrutura linear. Como a aproximação entre as cadeias é dificultada, existe menor força de atração entre elas e, portanto, menos energia é necessária para provocar um movimento relativo entre elas e o conseqüente amolecimento. A temperatura de amolecimento do PEBD é inferior à de fervura da água (BRISTON, 1983).

O PEBD é uma das melhores opções de filme selante em embalagens a serem fechadas por calor, pois termossolda a temperatura reduzida e tolera maior variação na temperatura dos mordentes. Sendo assim, o PEBD é considerado um material que apresenta, em geral, bom desempenho quanto à termossoldagem, mesmo em máquinas dotadas de controladores de temperatura menos precisos.

2.4.2 Polipropileno Biorientado Coextrusado

O polipropileno biorientado (BOPP) é um dos termoplásticos utilizados em embalagem com maior taxa de crescimento. No Brasil, em 1993, foram produzidas 19 mil toneladas, o que representou um crescimento de cerca de 25% em relação a 1992 (AS RECEITAS..., 1994). Nos Estados Unidos e Canadá, a taxa de crescimento estimada para o BOPPcoex é de 7,2% no período de 1994 a 1998 (LOPAPA, 1994).

O polipropileno é um polímero cristalino. Quando convertido pelo processo de biorientação, transforma-se em um filme com excelentes propriedades óticas como transparência e brilho. Também apresenta boa resistência à tração e ao rasgamento, barreira ao vapor d'água e à gordura e resistência química. A baixa densidade do polímero, em torno de 0,90g/cm³, confere-lhe excelente rendimento (BRISTON, 1983; POLYPROPYLENE, 1990).

O aquecimento do BOPP a temperaturas que permitam sua fusão (cerca de 168°C) resulta em perda de orientação e encolhimento do material. Sendo assim, o filme torna-se facilmente rasgável e tem a aparência prejudicada próxima à área de termossoldagem. Por essa razão, o filme de BOPP precisa ser modificado a fim de se obter uma termossoldagem a temperaturas abaixo da necessária para perda de orientação do filme, com qualidade compatível com o sistema de distribuição e comercialização do produto. Para tanto, deve-se abaixar a tensão superficial do filme, o que melhora a adesão de outras camadas que serão na verdade, as responsáveis pela

termossoldagem. Obtém-se, então, o BOPPcoex (CZERNIAWSKI, 1985b). No BOPPcoex, a camada termosselante é, em geral, de polietileno modificado, copolímeros olefínicos ou mesmo um ionômero, todos materiais que fundem à temperatura muito inferior à do BOPP (GUISE, 1993; LOPAPA, 1994).

2.5 Simulação de Transporte

Durante o transporte e a distribuição, as embalagens são submetidas a esforços mecânicos que podem afetar sua capacidade de proteção ao produto. Para avaliar a influência do sistema de transporte na proteção oferecida pela embalagem ao produto, pode ser feito um ensaio de campo (prático) ou simulação em laboratório. A tendência tem sido a utilização da simulação de transporte em laboratório pela sua maior rapidez e menor custo.

BORDIN (1994) considera que um dos principais esforços sofridos pelos produtos durante o transporte são os movimentos vibratórios e, portanto, a simulação em laboratório requer um prévio conhecimento do comportamento vibratório do meio de transporte adotado. Para isso, foram desenvolvidas técnicas de geração de vibrações baseadas em medições reais de campo.

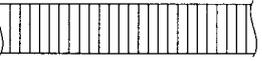
A técnica mais utilizada nos ensaios de simulação de transporte, devido a maior similaridade com a realidade, quando comparada a outras, utiliza a Densidade Espectral de Potência (PSD) do sistema de transporte em estudo. A grosso modo, pode-se dizer que a PSD relaciona o nível de energia vibratória que cada faixa de frequência possui. Esse ensaio também é conhecido como ensaio de vibração randômica (BORDIN, 1994).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Utilizou-se para termossoldagem do material de embalagem, uma termossoldadora de laboratório Sentinel, modelo 12-12AS, que opera com ambas as barras de fechamento aquecidas e possui, portanto, maior similaridade com os sistemas automáticos atualmente utilizados para formação de embalagens e acondicionamento de alimentos. O controle da temperatura nessa termosseladora é feito por controladores eletrônicos que operam com precisão de 1°C.

Cinco perfis de mordente de fechamento, confeccionados em alumínio, com 10mm de largura e 300mm de comprimento foram avaliados. Destes, um apresentava a superfície totalmente lisa e os outros quatro tinham perfis estriados, cujas características são apresentadas na Tabela 1. Os perfis estriados estudados ou seja, um horizontal, dois verticais e um inclinado, diferiram quanto à inclinação e ângulo das estrias, conforme apresentado de forma esquemática na Figura 3.

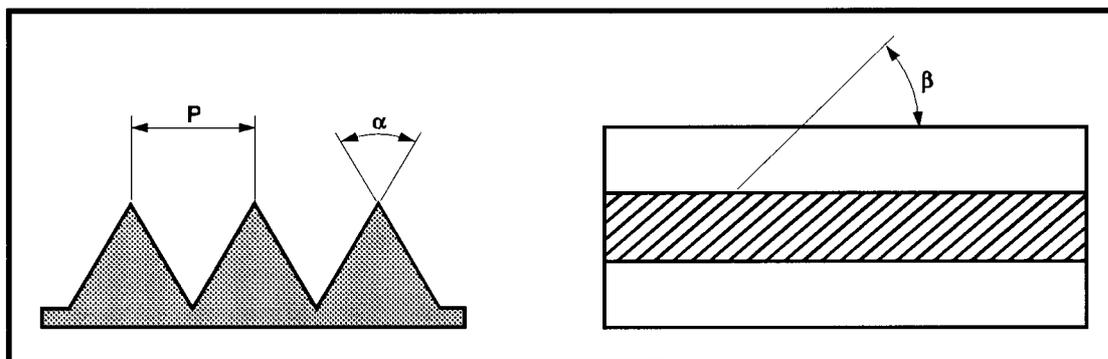
TABELA 1. Características dos perfis de mordente estriados.

Perfil	P (mm)	α (o)	β (o)
 (horizontal)	1,5	120	180
 (vertical)	1,5	90	90
	1,5	120	90
 (inclinado)	1,5	120	45

P = passo da estria

α = ângulo da estria

β = inclinação da estria



onde:

P = Passo da estria

α = ângulo da estria

β = inclinação da estria

FIGURA 3. Representação esquemática de um perfil de mordente estriado.

O estudo foi conduzido utilizando-se dois laminados flexíveis metalizados, não impressos, produzidos por convertedores instalados na cidade de São Paulo, constituídos por:

BOPPmet/BOPPcoex: estrutura 1

BOPPmet/PEBD: estrutura 2

onde:

BOPPmet: polipropileno biorientado metalizado

BOPPcoex: polipropileno biorientado coextrusado

PEBD: polietileno de baixa densidade

Na Tabela 2 é apresentada a caracterização quanto a espessura e gramatura total e das camadas externa e interna das duas estruturas.

A metalização, em ambas as estruturas, estava localizada na face interna do BOPP, ou seja, em contato com o adesivo.

Para a união da camada externa à interna foi utilizado adesivo do tipo com dois componentes.

A estrutura 1 foi utilizada para o acondicionamento de salgadinho tipo *snacks* e a estrutura 2 para café torrado e moído.

TABELA 2. Caracterização das estruturas estudadas quanto a espessura e gramatura.

Parâmetro		BOPPmet/BOPPcoex	BOPPmet/PEBD
Espessura total (μm)		40	59
Espessura parcial (μm)	CE	20	21
	CI	20	36
Gramatura total (g/m^2)		37	57
Gramatura total (g/m^2)	CE	19	19
	CI	18	37

CE = camada externa

CI = camada interna

Esses produtos são tradicionalmente acondicionados em materiais metalizados, sendo as estruturas em estudo as mais utilizadas.

Para a simulação de transporte e distribuição, as embalagens primárias foram acondicionadas em embalagens de transporte tradicionalmente utilizadas para salgadinho e café torrado e moído, ou seja, caixas de papelão e sacos de papel kraft pardo, respectivamente. As embalagens de transporte, assim como o salgadinho e o café, foram fornecidos por empresas fabricantes dos produtos alimentícios.

As embalagens de transporte utilizadas apresentaram as seguintes características:

Caixa de papelão ondulado

tipo: 0201

tipo de onda: C

parede: simples

dimensões:

comprimento: 498mm

largura: 418mm

altura : 180mm

gramatura: 495 g/m^2

resistência a compressão de coluna: 6,5kgf/cm

Saco de papel

Saco de papel kraft pardo, com uma folha, fundo plano e colado e lado sanfonado com as seguintes dimensões e características:

altura : 538mm

largura: 280mm

largura da sanfona: 120mm

gramatura: 81g/m²

resistência ao rasgamento: DF: 1252mN

DT: 1527mN

resistência à tração: DF: 4,9kN/mm

DT: 2,2kN/mm

alongamento: DF: 2,74%

DT: 5,53%

3.1 Otimização das Condições de Termossoldagem

As condições ideais de termossoldagem foram obtidas para todos os perfis de fechamento, variando-se a temperatura do mordente e o tempo de contato, de forma a se obter a melhor combinação. A pressão de contato das mandíbulas foi fixada em 40lbf/pol², valor este comum em máquinas automáticas. Com o perfil, liso otimizaram-se as condições de termossoldagem para ambas as estruturas, tanto na direção de fabricação (DF) quanto na transversal à fabricação (DT) do material. Para o perfil liso foi necessária a otimização das condições de termossoldagem nas duas direções do material porque a soldagem longitudinal da embalagem (ao longo da altura) foi feita sempre com esse perfil, independentemente do utilizado no topo e fundo da embalagem, sendo essa a prática usual do mercado. Com os demais perfis otimizaram-se as condições de termossoldagem na DT para a estrutura BOPPmet/BOPPcoex, uma vez que as embalagens em máquinas automáticas verticais do tipo forma-enche-fecha são confeccionadas com a solda de topo e fundo na direção transversal à fabricação do material. Entretanto, para a estrutura BOPPmet/PEBD, a otimização das condições de termossoldagem, com os perfis horizontal, verticais e inclinado, foi feita na DF uma vez que as limitações da largura da bobina, exigiu que as embalagens para café fossem confeccionadas com as soldas de topo e fundo nessa direção.

O ambiente de preparação das amostras apresentava temperatura de $25\pm 1^{\circ}\text{C}$. Desta forma eliminou-se a influência da oscilação da temperatura ambiente na temperatura do mordente de fechamento.

A homogeneidade da temperatura na barra foi monitorada utilizando seis termopares flexíveis tipo T (cobre-costantan), com diâmetro de 0,25mm (AWG 30), conectados a um termômetro digital Omega, modelo 2176A, com precisão de $0,2^{\circ}\text{C}$. Os termopares foram distribuídos ao longo da barra inferior e superior, como apresentado na Figura 4, e fixados a elas com o auxílio de fita de teflon auto adesiva.

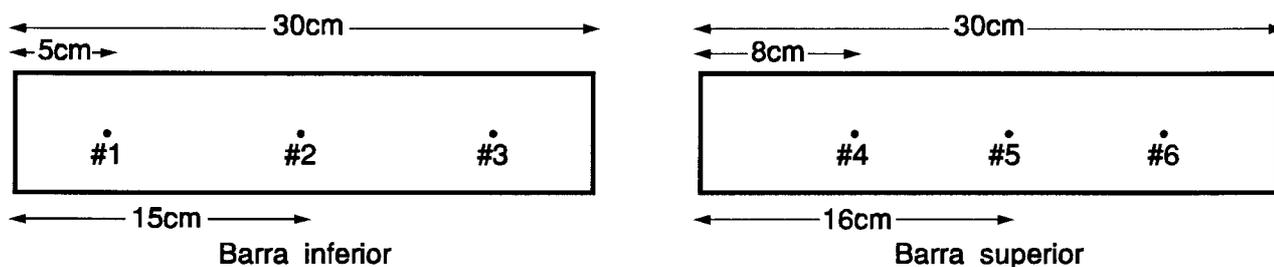


FIGURA 4. Distribuição dos termopares ao longo da barra de termossoldagem inferior e superior.

O monitoramento da temperatura foi feito com a termossoldadora operando com o perfil liso e ajustada para 120, 130 e 140°C , temperaturas essas usuais para a termossoldagem dos materiais em estudo.

As tomadas de temperatura foram feitas em intervalos de 30 a 60 minutos, após as barras estarem sendo pressionadas por um período de tempo variável entre 3,5 e 4,5 minutos. Esse longo período fez-se necessário a fim de que se obtivesse resposta dos termopares.

A distribuição de pressão ao longo do perfil de fechamento também foi avaliada. Foram utilizados papel carbono e folhas de papel branco. O conjunto folha branca/carbono/folha branca foi colocado entre os mordentes da seladora à temperatura ambiente que foram então acionados, provocando uma marcação na folha branca que permitia a avaliação da homogeneidade da pressão.

A distribuição de pressão foi avaliada para cada perfil de fechamento.

A definição das condições (temperatura e tempo) ótimas de termossoldagem foi feita com base na avaliação da aparência, determinação da resistência da

termossoldagem à tração, verificação da ocorrência de fusão entre as camadas internas do material (somente para a estrutura 2: BOPPmet/PEBD) e avaliação da integridade.

Três amostras com 240mm de comprimento de termossoldagem foram utilizadas para cada um dos ensaios mencionados, exceção feita à verificação da ocorrência de fusão, que foi avaliada nos corpos-de-prova utilizados no ensaio de resistência da termossoldagem à tração.

3.1.1 Avaliação da Aparência

Foram observados, na área de fechamento, problemas de enrugamento pelo calor e irregularidades superficiais como, por exemplo, bolhas e rugas. De acordo com a aparência da termossoldagem diferentes graus foram atribuídos, a partir da modificação de uma escala proposta por OLIVEIRA & ALVES (1992):

- Grau 1 (G1): nenhuma alteração visível
- Grau 2 (G2): pequeno enrugamento pelo calor em até 50% da extensão da termossoldagem
- Grau 3 (G3): pequeno enrugamento pelo calor e/ou irregularidades superficiais em 50 a 100% da extensão da termossoldagem
- Grau 4 (G4): médio enrugamento pelo calor e/ou irregularidades superficiais em toda a extensão da termossoldagem e perda de brilho
- Grau 5 (G5): acentuado enrugamento pelo calor e/ou irregularidades superficiais em toda a extensão da termossoldagem e perda de brilho

3.1.2 Resistência da Termossoldagem à Tração

A resistência da termossoldagem à tração até a ocorrência de falha foi determinada de acordo com o procedimento B da norma ASTM F88-68 (1980). Corpos-de-prova com 25,4mm de largura e 75mm de comprimento entre a termossoldagem e a extremidade, foram tracionados a uma velocidade de 300mm/min em uma máquina universal de ensaios Instron, modelo 4301. A distância entre as garras de fixação do corpo-de-prova foi de 100mm. O corpo-de-prova foi fixado de forma que a termossoldagem ficasse no centro da distância entre as garras. De cada uma das três

amostras com 240mm foram retirados 8 corpos-de-prova.

O ensaio foi conduzido a $23\pm 1^{\circ}\text{C}$ e $65\pm 2\%\text{UR}$ após condicionamento dos corpos-de-prova nesse mesmo ambiente por um período mínimo de 24 horas.

Os resultados de resistência da termossoldagem à tração foram avaliados por meio de análise de variância com nível de significância de 5%. Aplicou-se o teste da mínima diferença significativa (LSD), a nível de 5% de significância, para comparação das médias.

3.1.3 Verificação da Ocorrência de Fusão

A fusão da camada interna das superfícies a serem soldadas é caracterizada pela impossibilidade de se distinguir, na área de fechamento, as duas superfícies termossoldadas. Nesse caso, verifica-se na solda, quando há tracionamento, uma quebra do filme interno formado, podendo ou não haver uma delaminação desta camada em relação a uma das faces do material.

Na Figura 5 é apresentado um esquema de termossoldagem com ocorrência ou não de fusão.

Na ausência de fusão, a termossoldagem, ao ser tracionada, permite a perfeita identificação das superfícies internas responsáveis pelo fechamento.

3.1.4 Avaliação da Integridade

A avaliação da integridade da termossoldagem baseou-se na capacidade de uma solução colorida, com baixa tensão superficial, em penetrar em rugas, capilares e outros com cerca de $10\mu\text{m}$ de diâmetro existentes na termossoldagem (HOHMANN & MÜNDERLEIN, 1985).

Pequeno volume de solução (0,5% de rodamina em n-propanol) foi colocado na parte interna da termossoldagem, sendo o ensaio considerado positivo, ou seja, há integridade da termossoldagem quando após 15 minutos não se constatou passagem da solução para o exterior da termossoldagem (PADULA *et alii.*, 1989).

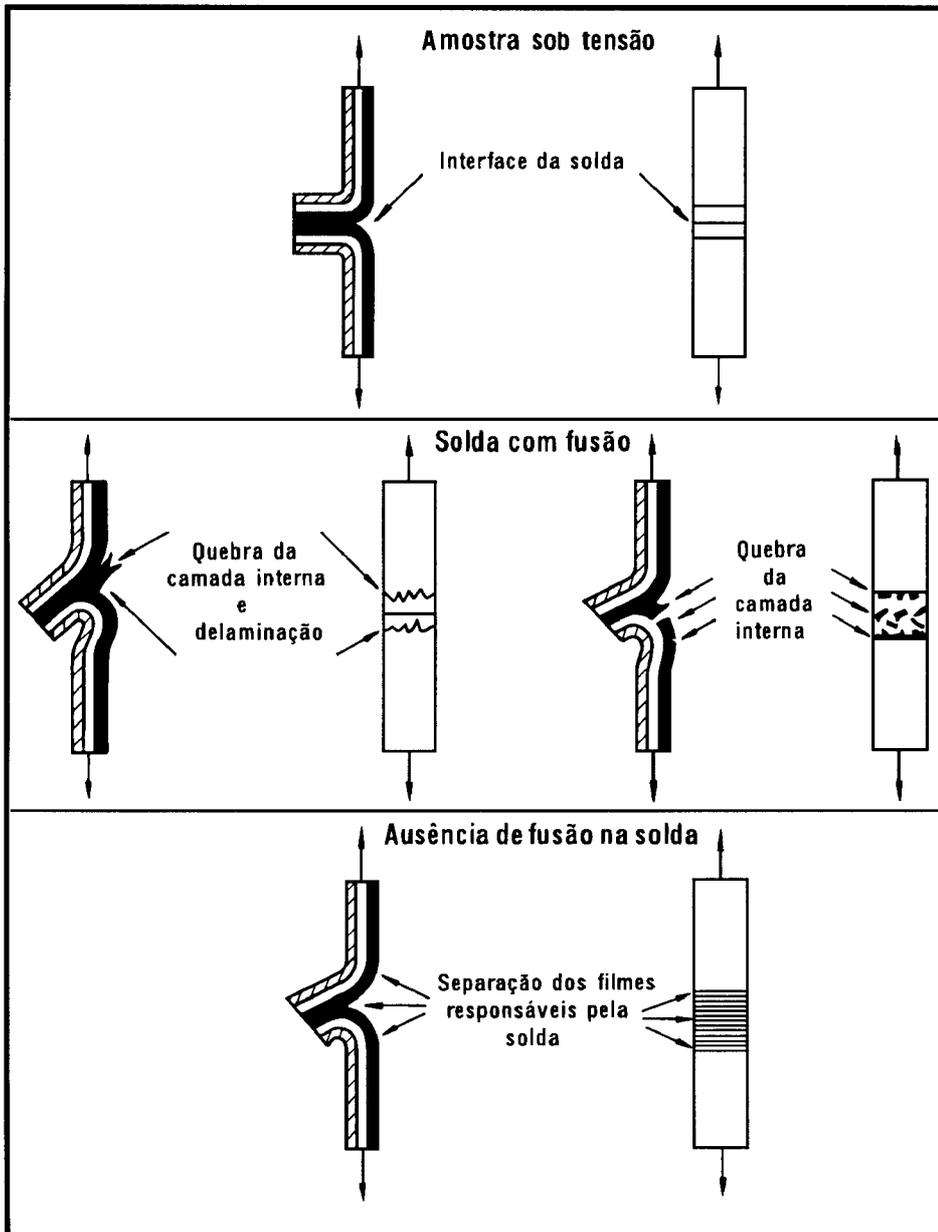


FIGURA 5. Esquema de termossoldagem onde ocorreu ou não fusão. Fonte: LAMPI et alii. (1976)

3.2 Preparo das Embalagens

As embalagens foram confeccionadas na termossoldadora de laboratório Sentinel, anteriormente mencionada, nas dimensões usuais de mercado utilizadas para o acondicionamento de 100g de salgadinho e 250g de café torrado e moído, quais sejam:

salgadinho

altura: 200mm

largura: 140mm

café torrado e moído

altura: 210mm

largura: 160mm

As embalagens foram preparadas com três soldas, sendo uma ao longo da altura, sempre em perfil liso e duas (topo e fundo) ao longo da largura, nos diferentes perfis em estudo.

O acondicionamento dos produtos foi feito manualmente, à temperatura ambiente, mas a confecção das embalagens e o fechamento foram a $25\pm 1^{\circ}\text{C}$.

Devido à limitação da largura da bobina, a embalagem para o café foi confeccionada com a solda de topo e fundo na direção de fabricação do material, o que não é comum em máquinas automáticas verticais do tipo forma-enche-fecha.

Nesta etapa, novamente, foram monitoradas a temperatura e a distribuição de pressão ao longo do perfil de fechamento a cada alteração de temperatura ou perfil.

3.3 Ensaios de Vibração e Simulação de Transporte

Foram realizados ensaios de vibração em embalagens arranjadas diretamente na mesa de vibração MTS modelo 495.10, com 1,5x1,5m e capacidade de 5 toneladas de força dinâmica.

Para os ensaios de vibração e simulação de transporte, as embalagens primárias foram acondicionadas nas embalagens de transporte, sendo colocadas 36 embalagens de salgadinho por caixa de papelão e 20 de café torrado e moído por saco de papel.

Na Figura 6 é apresentado um esquema de distribuição dessas unidades na embalagem de transporte. O número, assim como a forma de distribuição das unidades na embalagem de transporte foi definido de acordo com o utilizado pelo mercado.

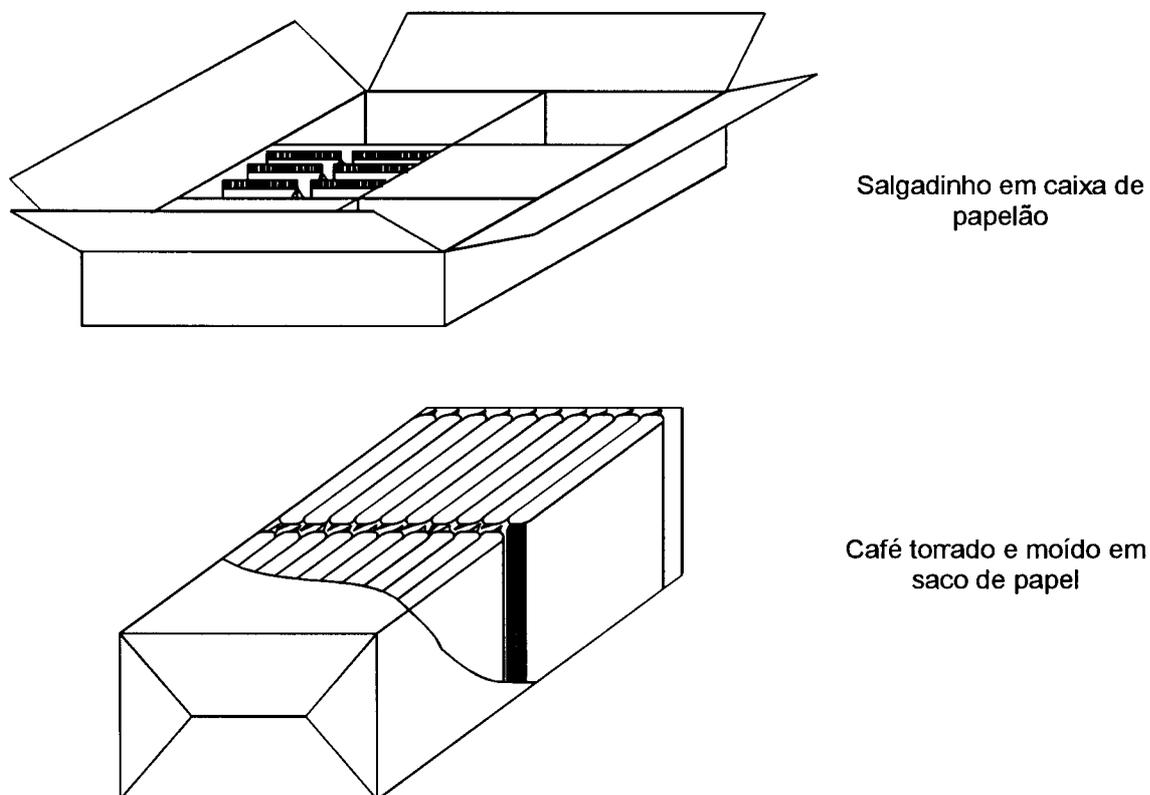


FIGURA 6. Esquema da distribuição das embalagens primárias na embalagem de transporte.

O arranjo das embalagens de transporte na mesa de vibração foi de 7 unidades em uma única coluna para as caixas de papelão (Figura 7). Já os sacos de papel, em número de 12, foram distribuídos em duas colunas com 6 unidades em cada uma (Figura 8).

A distribuição das embalagens primárias nas de transporte e a destas nas colunas foi feito de modo aleatorizado, a fim de se eliminar vícios de posição.

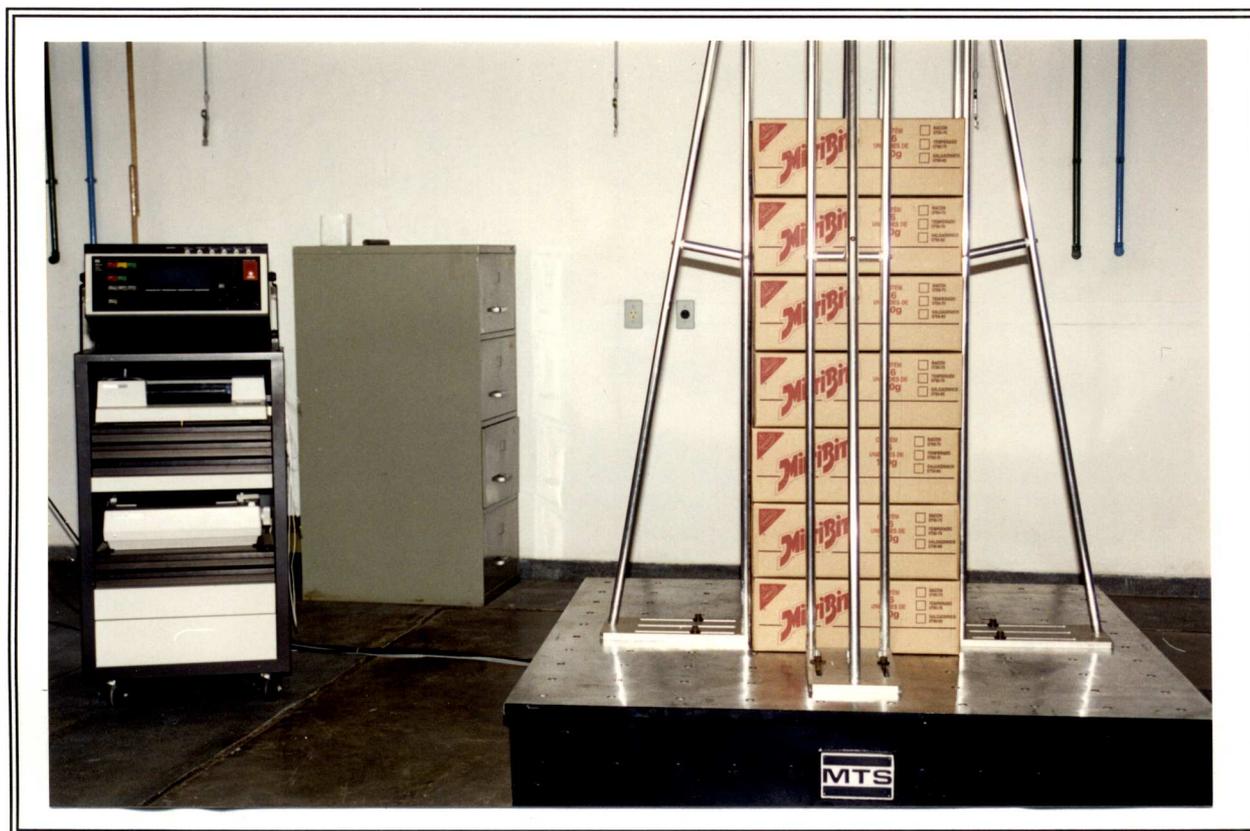


FIGURA 7. Arranjo das embalagens de transporte do salgadinho na mesa de vibração.

3.3.1 Ensaio de Vibração em Varredura

O ensaio de vibração em varredura permite determinar, por meio da observação visual, as frequências de ressonância do arranjo das embalagens. O ensaio constou de uma varredura de frequência de 3 a 100Hz e de volta a 3Hz com velocidade de subida/descida de 1,0 oitava/min e aceleração constante igual a 0,5g's (0 - pico), segundo método C da norma ASTM D999-86 (1990b).

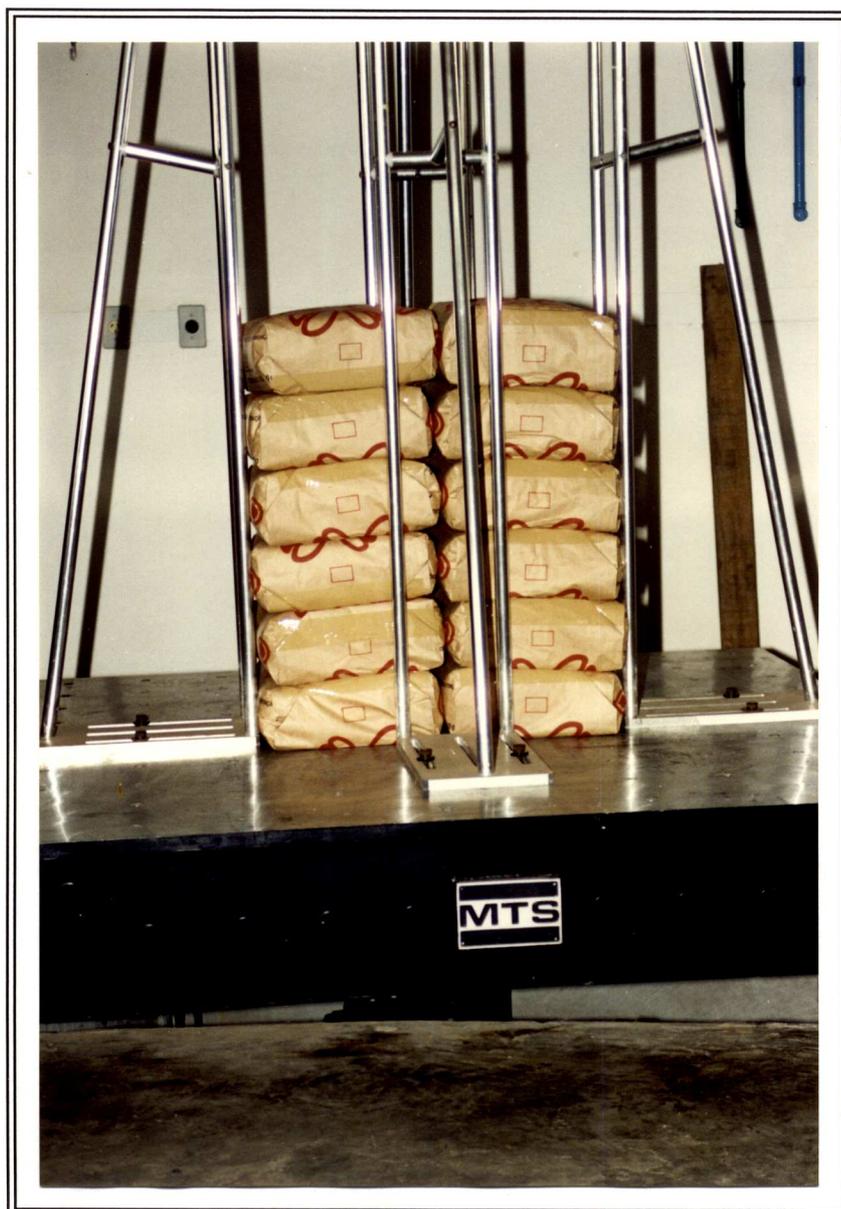


FIGURA 8. Arranjo das embalagens de transporte do café torrado e moído na mesa de vibração.

3.3.2 Vibração Randômica Simulando Densidade Espectral de Potência

Para a simulação de densidade espectral de potência realizou-se um ensaio de vibração no arranjo das embalagens, usando o espectro sugerido para caminhões

pela ASTM D4728-87 (1990d), com valor médio eficaz de aceleração (rms) de 0,52g's, durante 360 minutos (Anexo A). O ensaio foi realizado na mesa de vibração anteriormente mencionada, controlada em vibração randômica por equipamento *Random Vibration Controller* marca Schlumberger.

3.4 Avaliação da Qualidade da Termossoldagem

A qualidade da termossoldagem de topo e fundo das embalagens primárias foi avaliada antes e após os ensaios de vibração e simulação de transporte. Para tanto foram avaliadas a aparência, a integridade, a resistência à tração da termossoldagem e a resistência da embalagem ao impacto por queda-livre. Nas embalagens de BOPPmet/PEBD avaliou-se também, visualmente, a ocorrência de fusão entre as camadas internas.

A resistência da termossoldagem à tração, a ocorrência de fusão e a integridade foram avaliadas conforme apresentado nos itens 3.1.2, 3.1.3 e 3.1.4. Para a avaliação da resistência da termossoldagem à tração utilizou-se 20 corpos-de-prova, retirados de dez embalagens, os quais foram também utilizados para avaliação da fusão. A integridade foi avaliada em dez embalagens.

3.4.1 Avaliação da Aparência

A avaliação da aparência da termossoldagem foi realizada em 100% das embalagens. Como nesta etapa do trabalho os problemas de aparência estavam além dos detectados durante a otimização das condições de termossaldagem, novo critério foi adotado para classificação das falhas qual seja:

Falha crítica : rompimento da termossoldagem

Falha grave : falha na termossoldagem com extensão mínima de 2mm.

Falha tolerável : falha na termossoldagem com extensão inferior a 2mm.

3.4.2 Resistência ao Impacto por Queda-livre

A resistência ao impacto por queda-livre foi determinada segundo a norma ASTM D959-80 (1990a), procedimento B. Dez embalagens foram soltas na seguinte seqüência: frente, verso, lado direito, lado esquerdo, fundo e topo, até a ocorrência de

falha para a embalagem de café torrado e moído. A embalagem de salgadinho foi submetida a apenas uma seqüência de queda, mesmo não havendo falha da termossoldagem pois considerou-se que após 6 quedas acumuladas, o salgadinho se encontrava fisicamente impróprio para comercialização e a embalagem tinha sua aparência bastante prejudicada, fato que não ocorre com o café torrado e moído.

Considerou-se como falha a abertura total ou parcial, ao longo da largura, termossoldagem. A altura de queda foi fixada em 1,80m para a embalagem de salgadinho e 1,20m para a embalagem de café torrado e moído. Utilizou-se uma altura maior para o salgadinho, tendo em vista a menor quantidade desse produto (100g) em relação ao café torrado e moído (250g) e, conseqüentemente, menor exigência da termossoldagem.

O ensaio foi conduzido em um equipamento desenvolvido pelo CETEA/ITAL, que consiste em duas plataformas móveis com mecanismo de soltura eletro-pneumático, com indicação milimétrica de altura de queda e base de impacto em chapa de aço.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Otimização das Condições de Termossoldagem

No monitoramento da temperatura ao longo do perfil de fechamento para a temperatura de 120°C, conforme pode ser observado na Tabela 3 e Anexo B, constatou-se variação significativa, a nível de 5% de significância. A maior variação foi observada na extremidade esquerda da barra onde se atingiu temperatura na faixa de 113°C. A amplitude média da temperatura foi de 7,9°C, considerada elevada, mas ainda assim comum na maioria das máquinas verticais que formam, enchem e fecham embalagens do tipo saco no Brasil, segundo informações dos principais fabricantes nacionais desses equipamentos.

Para as temperaturas de 130 e 140°C (Tabela 3 e Anexos C e D) também houve variação significativa, a nível de 5% de significância, da temperatura ao longo do perfil de fechamento. Contudo, em relação à temperatura de 120°C, houve maior homogeneidade. A amplitude de temperatura constatada, 2,2 e 1,5°C para 130 e 140°C, respectivamente, foi pequena e inferior à média do mercado nacional.

TABELA 3. Temperatura ao longo do perfil de fechamento, para temperaturas pré-fixadas de 120, 130 e 140°C, durante a otimização das condições de termossoldagem.

Termopar	Temperatura real (°C)		
	120	130	140
1	121,4 ^{ab}	126,4 ^{ab}	140,7 ^a
2	120,0 ^c	127,0 ^b	140,0 ^{ab}
3	121,2 ^a	126,6 ^{ab}	-
4	114,6 ^d	126,0 ^a	139,2 ^b
5	119,9 ^c	128,2 ^c	139,2 ^b
6	122,5 ^b	128,2 ^c	140,2 ^{ab}
Média	119,9	127,1	139,9
Desvio-padrão	2,78	0,93	0,65
Amplitude	7,9	2,2	1,5

a,b,c,d = médias acompanhadas da mesma letra, em uma mesma coluna, não diferem entre si pelo teste da mínima diferença significativa, a nível de 5% de significância

Desta forma, pode-se considerar que, em média, a termossoldadora operou dentro dos padrões usuais de mercado para as três temperaturas utilizadas.

Não se observou heterogeneidade na distribuição de pressão ao longo dos mordentes de fechamento para os perfis estriados. Já o perfil liso, resultou em algumas regiões com marcação

irregular de carbono na folha de papel, indicando heterogeneidade na pressão. Apesar das tentativas, não foi possível eliminar esse problema. Tal fato confirma a afirmação de YOUNG(1985) sobre a dificuldade em manter duas superfícies planas com perfeito contato entre si.

Na Tabela 4 são apresentados os resultados médios obtidos na avaliação da aparência e resistência à tração da termossoldagem da estrutura 1. Também são apresentados os resultados de integridade, obtidos para cada uma das três amostras avaliadas. No Anexo E são apresentados o valor médio, desvio-padrão e intervalo de variação da resistência da termossoldagem à tração para todos os perfis e condições avaliadas. Conforme era esperado, obteve-se termossoldagens com melhor aparência quando foram utilizadas temperaturas mais baixas. O defeito mais comum da aparência foi o enrugamento do BOPP ocasionado pela temperatura. De modo geral, a resistência média da termossoldagem à tração obtida é a usual quando se tem como camada selante BOPPcoex. Em média, maior desvio-padrão entre as medidas foi detectado quando se utilizou o perfil liso. Tal resultado é provavelmente decorrente da heterogeneidade na distribuição de pressão ao longo da barra de fechamento, que também resultou em maiores problemas de integridade da termossoldagem obtida com o perfil liso.

TABELA 4. Otimização das condições da termossoldagem da estrutura BOPPmet/BOPPcoex.

Condição (°C/s/(lbf/pol ²))	Perfil liso - DF			Perfil liso - DT			Perfil horizontal			Perfil inclinado			Perfil vertical 120°			Perfil vertical 90°		
	Ap	RTT	Int	Ap	RTT	Int	Ap	RTT	Int	Ap	RTT	Int	Ap	RTT	Int	Ap	RTT	Int
120/0,5/40	G3	263 ^a	+++	não determinada			não determinada			não determinada			não determinada			não determinada		
120/0,75/40	G3	276 ^{ac}	+++	não determinada			não determinada			não determinada			não determinada			não determinada		
130/0,5/40	G4	289 ^{ab}	---	G2	272 ^a	+++	G2	233 ^a	+++	G2	198 ^a	+++	G1	178 ^a	+++	G1	141 ^a	---
130/0,75/40	G4	314 ^b	---	G2	294 ^a	+++	G3	198 ^b	+++	G2	218 ^b	+++	G1	198 ^b	+++	G1	157 ^b	---
130/1/40	G4	292 ^{ab}	---	G2	301 ^a	+++	G3	198 ^b	+++	G2	237 ^{cd}	+++	não determinada			não determinada		
140/0,5/40	G5	302 ^{bc}	+++	G3	268 ^a	+++	G3	265 ^c	+++	G3	228 ^{bc}	+++	G2	195 ^b	+++	G2	208 ^c	+++
140/0,75/40	G5	301 ^{bc}	+++	G3	265 ^a	+++	G3	266 ^c	+++	G3	244 ^d	+++	G2	189 ^{ab}	+++	G2	240 ^a	+++

Ap = aparência

RTT = valores médios de resistência da termossoldagem à tração referentes a 24 determinações(gf/cm)

Int = Integridade

a,b,c,d = valores médios acompanhados da mesma letra, em uma mesma coluna, não diferem entre si, pelo teste da mínima diferença significativa, a nível de 5% de significância

+/- = termossoldagem íntegra/não íntegra

Com base nos resultados da Tabela 4 e em dados de caracterização das embalagens utilizadas por três grandes marcas comerciais, disponíveis no mercado de salgadinho, definiram-se as condições ótimas de termossoldagem.

Nas embalagens de mercado, independentemente do perfil de fechamento utilizado, a resistência média da termossoldagem à tração é de 233gf/cm, variando entre 96,2 e 385 gf/cm. Quanto a integridade em 51 embalagens avaliadas, 45 (88%) apresentaram vazamento.

De modo geral, procurou-se selecionar condições de termossoldagem que resultassem em melhor aparência, integridade e resistência da termossoldagem à tração superiores ou próximas à média de mercado. Na resistência da termossoldagem à tração levou-se em consideração também o desvio-padrão entre as determinações. Em situações de semelhança optou-se pela condição em que a menor temperatura e tempo de contato fossem requeridos. Sendo assim, as condições escolhidas foram:

Perfil liso DF: 120°C/0,75s/40lbf/pol²

Perfil liso DT: 140°C/0,5s/40lbf/pol²

Perfil horizontal: 140°C/0,5s/40lbf/pol²

Perfil inclinado: 130°C/0,75s/40lbf/pol²

Perfil vertical 120°: 130°C/0,75s/40lbf/pol²

Perfil vertical 90°: 140°C/0,5s/40lbf/pol²

As condições ótimas de termossoldagem da estrutura 2 foram definidas baseando-se nos dados apresentados na Tabela 5 (valor médio da aparência e resistência da termossoldagem à tração e integridade em cada uma das três amostras avaliadas) e Anexo F (valor médio, desvio-padrão e intervalo de variação da resistência da termossoldagem à tração para todas as condições avaliadas), resultados da avaliação da ocorrência de fusão e dados obtidos com a avaliação de duas embalagens utilizadas comercialmente.

A aparência da termossoldagem (Tabela 5), conforme já constatado na estrutura BOPPmet/BOPPcoex, foi prejudicada principalmente pela perda de orientação do BOPP e conseqüente encolhimento. Para alguns perfis, o maior tempo de contato resultou em maiores perdas na qualidade visual. A resistência média da termossoldagem à tração, assim como os valores individuais são considerados usuais no mercado para estruturas de BOPPmet/PEBD. As variações estatísticas detectadas na prática são de pouca relevância. Não se verificou qualquer problema de integridade da termossoldagem em quaisquer das condições avaliadas.

Todos os corpos-de-prova avaliados apresentaram fusão das camadas internas na região de termossoldagem.

As embalagens de mercado apresentaram resistência da termossoldagem à tração média de 690gf/cm e 1158gf/cm e intervalo de variação de 256 a 936gf/cm e 480 a 1800gf/cm para o perfil com estrias horizontais e inclinadas, respectivamente. De modo geral não foi detectado problema de integridade nas embalagens.

TABELA 5. Otimização das condições de termossoldagem da estrutura BOPPmet/PEBD.

Condição (°C/s/(lbf/pol ²))	Perfil liso - DF			Perfil liso - DT			Perfil horizontal			Perfil inclinado			Perfil vertical 120°			Perfil vertical 90°		
	Ap	RTT	Int	Ap	RTT	Int	Ap	RTT	Int	Ap	RTT	Int	Ap	RTT	Int	Ap	RTT	Int
130/0,5/40	G3	633 ^a	+++	G3	810 ^a	+++	G4	586 ^a	+++	G4	736 ^a	+++	G3	706 ^a	+++	G3	722 ^a	+++
130/0,75/40	G5	675 ^{ab}	+++	G3	816 ^a	+++	G5	634 ^b	+++	G4	781 ^a	+++	G3	664 ^b	+++	G4	796 ^b	+++
130/1/40	G4	704 ^{ab}	+++	G3	861 ^a	+++	G5	610 ^{ab}	+++	G4	756 ^a	+++	não determinada			não determinada		

Ap = aparência

RTT = valores médios de resistência da termossoldagem à tração referentes a 24 determinações (gf/cm)

Int = Integridade

a,b = valores médios acompanhados da mesma letra, em uma mesma coluna, não diferem entre si, pelo teste da mínima diferença significativa, a nível de 5% de significância

+/- = termossoldagem íntegra/não íntegra

Os critérios para seleção da condição ótima de termossoldagem foram os mesmos utilizados para a estrutura 1, somando-se a necessidade de ocorrência de fusão. As condições selecionadas foram:

Perfil liso DF: 130°C/0,5s/40lbf/pol²

Perfil liso DT: 130°C/0,5s/40lbf/pol²

Perfil horizontal: 130°C/0,5s/40lbf/pol²

Perfil inclinado: 130°C/0,5s/40lbf/pol²

Perfil vertical 120°: 130°C/0,75s/40lbf/pol²

Perfil vertical 90°: 130°C/0,5s/40lbf/pol²

4.2 Preparo das Embalagens

No monitoramento da temperatura ao longo do perfil de fechamento, imediatamente antes do preparo das embalagens, observou-se para 120 e 130°C (Tabela 6) que não houve diferença significativa, a nível de 5% de significância, entre as temperaturas tomadas, exceção feita à extremidade esquerda da barra.

Para a temperatura de 140°C (Tabela 6) houve maior ocorrência, em relação a 120 e 130°C, de diferença significativa, a nível de 5%, entre os pontos de tomada de temperatura. Contudo, a amplitude média foi pequena (2,3°C) e usual.

Comparando-se os resultados da Tabela 6 com os obtidos no monitoramento da temperatura durante a otimização da termossoldagem (Tabela 3), observou-se maior homogeneidade da seladora para a temperatura de 120°C na etapa de confecção das embalagens, ocorrendo o inverso para 130 e 140°C. Entretanto, de modo geral, pode-se considerar que a termossoldadora operou com temperatura homogênea ao longo do perfil de fechamento e dentro dos padrões usuais de mercado para as três temperaturas utilizadas na confecção das embalagens.

Quanto à pressão, não se observou heterogeneidade ao longo dos mordentes de fechamento para os perfis estriados, o mesmo não ocorrendo para o liso, o que foi uma repetição do resultado obtido durante a otimização das condições de termossoldagem.

TABELA 6. Temperatura ao longo do perfil de fechamento, para temperaturas pré-fixadas de 120, 130 e 140°C, durante o preparo das embalagens.

Termopar	Temperatura real (°C)		
	120	130	140
1	121,7 ^a	128,7 ^a	139,2 ^{ac}
2	119,3 ^b	131,7 ^b	139,1 ^{ac}
3	119,1 ^b	130,4 ^b	137,8 ^b
4	120,1 ^b	131,1 ^b	138,5 ^{ab}
5	120,2 ^b	130,8 ^b	140,1 ^c
6	120,1 ^b	130,4 ^b	139,1 ^{ac}
Média	120,1	130,5	139,0
Desvio-padrão	0,92	1,01	0,77
Amplitude	2,6	3,0	2,3

a,b,c = médias acompanhadas da mesma letra, em uma mesma coluna, não diferem entre si pelo teste da mínima diferença significativa, a nível de 5% de significância

4.3 Ensaio de Vibração e Simulação de Transporte

O ensaio de vibração em varredura mostrou que a coluna de embalagens entra em ressonância (ampliação do nível de vibração) principalmente nos intervalos de frequência de 7 a 10Hz para o salgadinho e de 5 a 9Hz para o café torrado e moído. Frequências nessa faixa são comuns em caminhão, sendo que nesse intervalo de frequência, a carga é submetida aos maiores níveis de energia (PSD), conforme pode ser observado no Anexo A. Como esse resultado foi obtido para um arranjo colunar das embalagens de transporte na mesa de vibração acredita-se ser interessante a realização do ensaio com uma unidade de carga. Desta forma, poder-se-ia avaliar outras possibilidades de arranjo das embalagens no palete a fim de se conhecer a influência do transporte sobre a carga, podendo-se optar pelo melhor arranjo.

4.4 Avaliação da Qualidade da Termossoldagem

4.4.1 Estrutura 1: BOPPmet/BOPPcoex

Na avaliação da aparência da termossoldagem das embalagens de BOPPmet/BOPPcoex, cerca de 48 embalagens por perfil de fechamento, antes da simulação de transporte, não se verificou qualquer falha que comprometesse a sua aparência e funcionalidade. Após a simulação de transporte, uma única falha, classificada como tolerável, foi constatada na termossoldagem por perfil liso, o que equivale a 2% de embalagens com esse perfil com problemas visuais no fechamento. Tal índice pode ser considerado aceitável. Sendo assim pode-se afirmar que a termossoldagem por quaisquer dos perfis em estudo, das embalagens de BOPPmet/BOPPcoex, acondicionadas em caixas de papelão, conforme especificação e arranjo mencionados anteriormente, não foi afetada visualmente pelo transporte, nas condições simuladas (aceleração eficaz média de 0,52g's durante 360 minutos).

Quanto à integridade, de dez embalagens avaliadas por perfil de fechamento, antes e após a simulação de transporte, todas apresentaram problemas de vazamento. A região crítica foi a junção da solda longitudinal com a transversal onde a espessura de material é maior. Esse nível de falhas veio de encontro ao constatado nas embalagens de mercado, onde foram verificados em uma amostra composta por 45 embalagens, 88% de vazamento.

De acordo com os usuários desse tipo de embalagem, o problema de integridade é conhecido e de difícil solução sem uma alteração da estrutura. Requer

equipamentos de acondicionamento modernos, com melhor controle da temperatura da barra de soldagem e/ou ajustes constantes do equipamento, o que não é uma realidade do mercado nacional.

Na Tabela 7 são apresentados os resultados de resistência da termossoldagem à tração das embalagens de BOPPmet/BOPPcoex, antes e após a simulação de transporte.

Comparando-se os valores de resistência da termossoldagem à tração das embalagens antes da simulação de transporte com aqueles apresentados no Anexo E, utilizados para definir as condições ótimas de termossoldagem, verificou-se considerável redução no valor médio para os perfis liso e horizontal. Para o perfil liso também houve elevação no desvio-padrão e redução do limite mínimo do intervalo de variação, que atingiu apenas 55,1gf/cm. Para o perfil horizontal tal fato não era esperado, uma vez que no monitoramento da distribuição de calor ao longo do perfil de fechamento (Tabela 6) não se verificou qualquer anormalidade a 140°C, temperatura esta considerada ótima para o perfil, o mesmo ocorrendo quanto à pressão. Contudo, para o perfil liso, a falta de homogeneidade na distribuição de pressão ao longo de seu comprimento deve ter contribuído para o pior desempenho na fase de confecção das embalagens.

TABELA 7. Resistência da termossoldagem à tração (gf/cm) da embalagem de BOPPmet/BOPPcoex antes e após a simulação de transporte.

Perfil	Antes do transporte			Após o transporte		
	M	DP	IV	M	DP	IV
Liso	a121 ^a	66,7	55,1 - 315	a147 ^a	46,4	70,9 - 276
Horizontal	a198 ^b	47,0	157 - 315	a202 ^b	60,2	118 - 323
Inclinado	a210 ^{bc}	34,0	173 - 315	a217 ^{bc}	26,2	157 - 268
Vertical 120°	a243 ^c	30,5	197 - 315	a260 ^d	31,0	220 - 331
Vertical 90°	a228 ^c	19,9	197 - 268	a237 ^{cd}	28,3	205 - 331

M = valor médio referente a 20 determinações

DP/IV = desvio-padrão/ intervalo de variação

a,b,c,d = médias acompanhadas da mesma letra superescrita em uma mesma coluna ou da mesma letra subescrita em uma mesma linha, não diferem entre si pelo teste da mínima diferença significativa, a nível de 5% de significância

Não se verificou, para quaisquer dos perfis estudados, influência da simulação de transporte na resistência da termossoldagem à tração. Tal fato deveu-se, provavelmente, à baixa densidade do salgadinho e, conseqüentemente, menor peso de produto por embalagem, o que acarretou em pouca solicitação da termossoldagem e até da própria embalagem, durante a simulação de transporte.

Na comparação entre os perfis observou-se que o liso apresentou, em relação

a todos os demais, desempenho inferior, na resistência da termossoldagem à tração, significativo a nível de 5%, conforme apresentado na Tabela 7. Uma das explicações para tanto é a não obtenção de homogeneidade na distribuição de pressão ao longo do perfil liso conforme comentário feito no item 4.2.

O perfil horizontal, assim como o liso, apresentou elevado desvio-padrão entre as medidas. Somando-se a isso, tem-se o intervalo de variação amplo, superior ao do inclinado, apesar da resistência da termossoldagem à tração média entre eles não diferir a nível de 5% de significância.

Os perfis verticais e o inclinado apresentaram os melhores desempenhos antes da simulação de transporte, em termos de resistência média da termossoldagem à tração. Contudo, dentre eles, o perfil vertical 90° apresentou menor desvio-padrão entre as medidas e menor intervalo de variação. Essa aparente vantagem do perfil vertical 90° não se repete após a simulação de transporte.

Sendo assim e considerando que:

- a) a simulação de transporte não influenciou significativamente na resistência média da termossoldagem à tração;
- b) os limites inferiores dos intervalos de variação estão acima do verificado no mercado e
- c) o coeficiente de variação entre as medidas, para todos esses perfis, após a simulação de transporte é cerca de 12%,

pode-se afirmar que, quanto à resistência da termossoldagem à tração, os perfis inclinado, vertical 120° e vertical 90° têm o mesmo desempenho, quando utilizados na estrutura BOPPmet/BOPPcoex.

Os resultados referentes à resistência ao impacto por queda-livre de dez embalagens de BOPPmet/BOPPcoex ensaiadas, por perfil de fechamento, são apresentados na Tabela 8.

De modo geral, pode-se afirmar que a simulação de transporte não afetou a resistência das embalagens à queda-livre. Esse resultado vem de acordo aos obtidos na avaliação da aparência e resistência da termossoldagem à tração.

Comparando-se os perfis, observou-se que o liso mais uma vez teve desempenho inferior aos demais, com 90 a 100% das embalagens falhando com seis quedas acumuladas. Com apenas duas quedas, situação em que as embalagens ainda apresentavam excelente aparência, 60 a 70% das embalagens fechadas com o perfil liso

falharam, enquanto para os demais perfis, o nível máximo de falhas para duas quedas acumuladas foi de 20%. Para o perfil liso também foi observado o único caso de rompimento da termossoldagem com exposição total do produto.

Considerando-se que após quatro quedas acumuladas, as embalagens já se encontravam bastante amassadas e, provavelmente, sem apelo comercial, pode-se afirmar que os perfis vertical 90°, seguido pelo 120°, apresentaram o melhor desempenho quanto à resistência ao impacto por queda-livre.

O perfil inclinado apresentou excelente desempenho após a simulação de transporte. Sendo assim, considerando-se o total de 20 embalagens ensaiadas (10 antes e 10 depois da simulação de transporte), após quatro quedas acumuladas, atingiu-se, para esse perfil apenas quatro falhas. Esse total de falhas é o mesmo obtido com o perfil vertical 120° o que faz crer que, na prática, ambos apresentam o mesmo desempenho quanto à resistência ao impacto por queda-livre.

O perfil horizontal apresentou desempenho superior apenas ao liso na resistência ao impacto por queda-livre.

TABELA 8. Resistência ao impacto por queda-livre da embalagem de BOPPmet/BOPPcoex antes e após a simulação de transporte.

Perfil		Embalagens que falharam						Total
		1 queda	2 quedas	3 quedas	4 quedas	5 quedas	6 quedas	
Liso	AST	2	5	1	1	0	1	10(100%)
	DST	2	4	2	1	0	0	9 (90%)
Horizontal	AST	1	0	1	1	0	2	5 (50%)
	DST	1	1	1	2	0	0	5 (50%)
Inclinado	AST	2	0	1	1	0	0	4 (40%)
	DST	0	0	0	0	0	1	1 (10%)
Vertical 120°	AST	0	1	1	0	0	1	3 (30%)
	DST	0	1	1	0	1	2	5 (50%)
Vertical 90°	AST	0	0	1	0	0	0	1 (10%)
	DST	0	0	0	0	0	3	3 (30%)

AST = antes da simulação de transporte

DST = depois da simulação de transporte

4.4.2 Estrutura 2: BOPPmet/PEBD

Na Tabela 9 são apresentadas numericamente, e em percentagem, as embalagens que apresentaram visualmente falhas na região da termossoldagem, após a simulação de transporte. A falha ocorrida se caracterizou pela delaminação da estrutura no início da termossoldagem, podendo ou não se propagar através da largura da solda e conseqüente possibilidade de visualização do produto. As mesmas embalagens, quando inspecionadas antes da simulação, não apresentaram falhas na termossoldagem para quaisquer dos perfis em estudo. Sendo assim, pode-se considerar que a simulação de transporte foi a responsável pelo elevado número de falhas apresentadas na Tabela 9.

Visto que a falha crítica é inaceitável e a grave restringe a comercialização do produto, pois compromete as propriedades de barreira da embalagem pode-se considerar que o nível desses defeitos, que variou entre 34,0% para o perfil liso e 16,3% para o perfil vertical 90°, foi elevado para todos os perfis de fechamento em estudo.

O perfil liso, seguido pelo horizontal e inclinado foi o mais prejudicial à aparência da termossoldagem, considerando-se o número total de falhas. Considerando-se somente as falhas críticas e graves, as quais comprometem a comercialização do produto, o perfil inclinado se torna mais crítico que o horizontal, permanecendo o liso como mais crítico que ambos.

TABELA 9. Avaliação da aparência da termossoldagem da embalagem de BOPPmet/PEBD após a simulação de transporte.

Perfil	Total de embalagens inspecionadas	Embalagens com falha na termossoldagem			
		Crítica	Grave	Tolerável	Total
Liso	47	5 (10,6%)	11 (23,4%)	7 (14,9%)	23 (48,9%)
Horizontal	48	1 (2,1%)	11 (22,9%)	10 (20,8%)	22 (45,8%)
Inclinado	49	3 (6,1%)	12 (24,5%)	5 (10,2%)	20 (40,8%)
Vertical 120°	47	0 (0,0%)	11 (23,4%)	3 (6,4%)	14 (29,8%)
Vertical 90°	49	1 (2,0%)	7 (8,2%)	4 (8,2%)	12 (24,5%)

Os perfis verticais comprometeram, em menor grau, a aparência e a funcionalidade da termossoldagem, destacando-se entre eles o vertical 90°, que apresentou menor índice de falhas críticas e graves.

As embalagens de BOPPmet/PEBD não apresentaram problemas de integridade, ou seja, não foram detectadas nas dez unidades avaliadas antes e após a simulação de transporte, rugas e/ou capilares com cerca de 10µm de diâmetro ou mais

na termossoldagem. Desta forma conclui-se que, quanto à integridade, os perfis estudados não diferem entre si e também não são afetados pela simulação de transporte e distribuição.

Na Tabela 10 são apresentados os resultados de resistência da termossoldagem à tração das embalagens de BOPPmet/PEBD antes e após a simulação de transporte.

Comparando-se os valores de resistência da termossoldagem à tração, antes da simulação de transporte com aqueles apresentados no Anexo F utilizado para definir as condições ótimas de termossoldagem, não se verificou alteração representativa no valor médio da resistência da termossoldagem à tração para nenhum dos perfis estudados. Também não se verificou uma tendência geral de aumento ou redução desses valores. As variações observadas são naturais na termossoldagem de embalagens flexíveis pelo sistema de barra aquecida e nada indica um funcionamento inadequado da termossoldadora.

Ao contrário do ocorrido na embalagem de BOPPmet/BOPPcoex, para a de BOPPmet/PEBD houve influência da simulação de transporte, significativa a nível de 5%, na resistência da termossoldagem à tração independentemente do perfil utilizado. A maior redução na resistência média da termossoldagem à tração ocorreu no perfil horizontal, 24,6%. Os perfis liso, inclinado e vertical 90° tiveram percentual de redução semelhante, ou seja, 16,7, 15,2 e 13%, respectivamente.

TABELA 10. Resistência da termossoldagem à tração (gf/cm) da embalagem de BOPPmet/PEBD antes e após a simulação de transporte.

Perfil	Antes do transporte			Após o transporte		
	M	DP	IV	M	DP	IV
Liso	^a 557 ^a	69,0	418 - 617	^b 464 ^a	88,7	250 - 575
Horizontal	^a 627 ^b	89,7	438 - 804	^b 473 ^{ab}	80,6	339 - 594
Inclinado	^a 605 ^{ab}	61,0	502 - 707	^b 513 ^b	59,2	415 - 617
Vertical 120°	^a 623 ^b	96,6	352 - 740	^b 571 ^c	62,1	412 - 647
Vertical 90°	^a 677 ^c	72,9	558 - 838	^b 589 ^c	75,8	426 - 706

M = valor médio referente a 20 determinações

DP/IV = desvio padrão/intervalo de variação

a,b,c = médias acompanhadas da mesma letra superescrita em uma mesma coluna ou da mesma letra subscrita em uma mesma linha, não diferem entre si pelo teste de mínima diferença significativa, ao nível de 5% de significância.

A menor redução, 8,4%, ocorreu com o perfil vertical 120°. Apesar das reduções observadas, os limites inferiores dos intervalos de variação detectados são encontrados no mercado brasileiro em embalagens de BOPPmet/PEBD, utilizadas para o acondicionamento de café torrado e moído. Entretanto, acredita-se que para o perfil horizontal e principalmente para o liso, os limites inferiores do intervalo de variação são bastante reduzidos e podem comprometer o desempenho da embalagem durante sua comercialização.

Comparando-se o desempenho dos diferentes perfis antes da simulação de transporte verificou-se melhor desempenho do vertical 90°. A seguir, em condições estatísticas de igualdade, tem-se o vertical 120°, o horizontal e o inclinado que, por sua vez, não diferiu significativamente, a nível de 5%, do perfil liso.

Após a simulação de transporte, o perfil vertical 120° teve seu desempenho melhorado e equiparado estatisticamente, a nível de 5%, ao do vertical 90°, tendo em vista a menor dispersão entre as medidas.

O perfil inclinado, apesar de apresentar resistência da termossoldagem à tração média inferior, a nível de 5% de significância, da apresentada pelos perfis verticais, na prática deve apresentar desempenho semelhante a eles. Isto porque na prática variações entre valores médios de resistência da termossoldagem à tração, na faixa de 500gf/cm, da ordem de 10% (perfil inclinado/vertical 120°) a 13% (perfil inclinado/vertical 90°) podem ser desprezadas, considerando-se que há semelhança dos coeficientes de variação entre as medidas, conforme ocorreu no caso em questão (cerca de 11,5, 11 e 13% para os perfis inclinado, vertical 120° e vertical 90°, respectivamente).

Após a simulação de transporte, o perfil horizontal não diferiu, a nível de 5% de significância, do inclinado, enquanto o liso não diferiu do horizontal quanto à resistência média da termossoldagem à tração. Entretanto os perfis horizontais e lisos apresentaram elevada dispersão entre as medidas, o que pode comprometer o desempenho da embalagem.

Nos vinte corpos-de-prova avaliados, por perfil de fechamento, antes e após a simulação de transporte, verificou-se a ocorrência de fusão.

Na Tabela 11 são apresentados os resultados de resistência ao impacto por queda-livre das embalagens de BOPPmet/PEBD, antes e após a simulação de transporte. Dez embalagens para cada perfil de fechamento foram ensaiadas.

TABELA 11. Resistência ao impacto por queda-livre da embalagem de BOPPmet/PEBD antes e após a simulação de transporte.

Perfil		Embalagens que falharam							Total
		1 queda	2 quedas	3 quedas	4 quedas	5 quedas	6 quedas	Mais de 6 quedas	
Liso	AST	2	4	2	2	0	0	0	10(100%)
	DST	7	1	1	1	0	0	0	10(100%)
Horizontal	AST	1	1	4	3	0	0	1	10(100%)
	DST	4	0	6	0	0	0	0	10(100%)
Inclinado	AST	0	0	5	3	1	0	1	10(100%)
	DST	1	1	7	0	0	1	0	10(100%)
Vertical 120°	AST	0	0	2	2	3	1	2	10(100%)
	DST	0	0	5	4	0	0	1	10(100%)
Vertical 90°	AST	1	0	1	1	1	3	3	10(100%)
	DST	1	0	3	1	1	2	2	10(100%)

AST = antes da simulação de transporte

DST = depois da simulação de transporte

Conforme ocorrido na avaliação da aparência e resistência da termossoldagem à tração, a simulação de transporte também afetou a resistência das embalagens ao impacto por queda-livre. Independentemente do perfil de fechamento, a resistência ao impacto por queda-livre foi reduzida após a simulação de transporte.

Os perfis liso e horizontal com a simulação de transporte tiveram o percentual de embalagens, que falhou com uma única queda, aumentado de 20 para 70% e de 10 para 40%, respectivamente. Esse nível de falhas é elevado principalmente se for considerado que as embalagens submetidas ao ensaio de queda foram pré-selecionadas durante a avaliação da aparência do lote, quando embalagens com algum tipo de defeito na região de termossoldagem foram eliminadas.

O perfil inclinado teve um desempenho superior ao liso e ao horizontal, considerando-se a baixa ocorrência de embalagens que falharam com uma ou duas quedas. O desempenho do perfil inclinado em relação ao dos verticais pode ser considerado semelhante para até duas quedas acumuladas. A partir de então, o desempenho dos verticais é superior.

Os perfis verticais 120° e 90° apresentaram, na média, desempenho semelhante quanto à resistência ao impacto por queda-livre.

5 CONCLUSÕES

5.1 Estrutura 1: BOPPmet/BOPPcoex

Frente aos resultados obtidos na avaliação da termossoldagem de embalagens de BOPPmet/BOPPcoex contendo 100g de salgadinho, quanto à aparência, integridade, resistência à tração e ao impacto por queda-livre, antes e após a simulação de transporte em condições pré-estabelecidas, pode-se concluir que:

- para a estrutura BOPPmet/BOPPcoex, todos os perfis de fechamento avaliados, ou seja, liso, horizontal, inclinado, vertical 120° e vertical 90° resultaram em termossoldagens com problemas de integridade.
- a simulação de transporte com aceleração de 0,52g's durante 360 minutos, das embalagens arranjadas em caixas de papelão ondulado contendo 36 unidades, conforme especificado, não afetou a qualidade da termossoldagem, independentemente do perfil, quanto à aparência, integridade, resistência à tração e ao impacto por queda-livre. Para tanto contribuiu a reduzida densidade do produto que minimizou a solicitação da termossoldagem durante a simulação de transporte.
- o perfil vertical 90° apresentou desempenho superior dentre todos os avaliados. Tal fato deveu-se à melhor resistência ao impacto por queda-livre, associada a uma resistência da termossoldagem à tração equivalente à obtida com os perfis inclinado e vertical 120° e excelente aparência.
- os perfis vertical 120° e inclinado apresentaram desempenho equivalente e superior ao dos perfis liso e horizontal nos parâmetros de resistência da termossoldagem à tração e ao impacto por queda-livre e aparência.
- os perfis verticais 90° e 120° e o inclinado resultaram em termossoldagens mais eficientes e, portanto, são os mais indicados para a termossoldagem de topo e fundo de embalagens contendo 100g de produto tipo salgadinho, em BOPPmet/BOPPcoex com as características do aqui estudado.
- o perfil horizontal apresentou desempenho superior ao liso mas inferior aos verticais e ao inclinado.
- o perfil liso apresentou desempenho inferior a todos os demais avaliados.

A dificuldade para se obter o ajuste desse tipo de perfil na termossoldadora em muito colaborou para sua menor eficiência. Entretanto, devido à exigência desse perfil quanto ao paralelismo das barras, esse problema deverá persistir em equipamentos automáticos. Sendo assim, não se recomenda o uso do perfil liso com 10mm de largura para a termossoldagem de embalagens com as características da estudada.

5.2. Estrutura 2: BOPPmet/PEBD

Com base nos resultados obtidos na avaliação da termossoldagem de embalagens de BOPPmet/PEBD contendo 250g de café torrado e moído, quanto à aparência, integridade e resistência à tração e ao impacto por queda-livre, antes e após a simulação de transporte em condições pré-estabelecidas, concluiu-se que:

- todos os perfis de mandíbula estudados, liso, horizontal, inclinado, vertical 120° e vertical 90° resultaram em termossoldagens íntegras, ou seja, sem rugas e/ou capilares com, no mínimo, 10µm de diâmetro, tanto antes quanto após a simulação de transporte.
- a simulação de transporte com aceleração eficaz média de 0,52g's durante 360minutos, das embalagens arranjadas em sacos de papel contendo 20 unidades conforme especificado, reduziu a qualidade da termossoldagem, de todos os perfis avaliados, quanto à aparência, resistência à tração e ao impacto por queda-livre. Isso deveu-se em parte a maior sollicitação da termossoldagem devido ao efeito da compressão do empilhamento associado ao *stress* da vibração.
- os perfis vertical 120° e vertical 90° apresentaram desempenho semelhante quanto à resistência da termossoldagem, à tração e ao impacto por queda-livre e são os mais indicados para termossoldagem das embalagens de BOPPmet/PEBD utilizadas neste estudo.
- o perfil inclinado apresentou resistência da termossoldagem à tração média e resistência ao impacto por queda-livre (até duas quedas acumuladas) após a simulação de transporte equivalente à dos perfis verticais. Contudo, também apresentou, na avaliação da aparência, elevado índice de falhas críticas e graves, que comprometem a comercialização do produto, devendo, portanto, ser evitado para a

termossoldagem das embalagens em questão.

- os perfis liso e horizontal, frente à variação apresentada na resistência da termossoldagem à tração, principalmente após a simulação de transporte, somada aos problemas de aparência e resistência à queda, não são indicados para a termossoldagem de embalagens de BOPPmet/PEBD, conforme a especificada neste estudo, contendo 250g de café torrado e moído ou outro produto de aparência e densidade similar.

6 SUGESTÕES

Os resultados obtidos comprovaram que o desempenho da termossoldagem também é função do perfil de fechamento utilizado. Desta forma acredita-se ser de grande importância a continuidade do estudo em pauta, utilizando-se equipamentos que formam, enchem e fecham automaticamente as embalagens, o que é a realidade da indústria, quando então também seria possível avaliar a influência dos perfis de fechamento no *hot-tack* da termossoldagem.

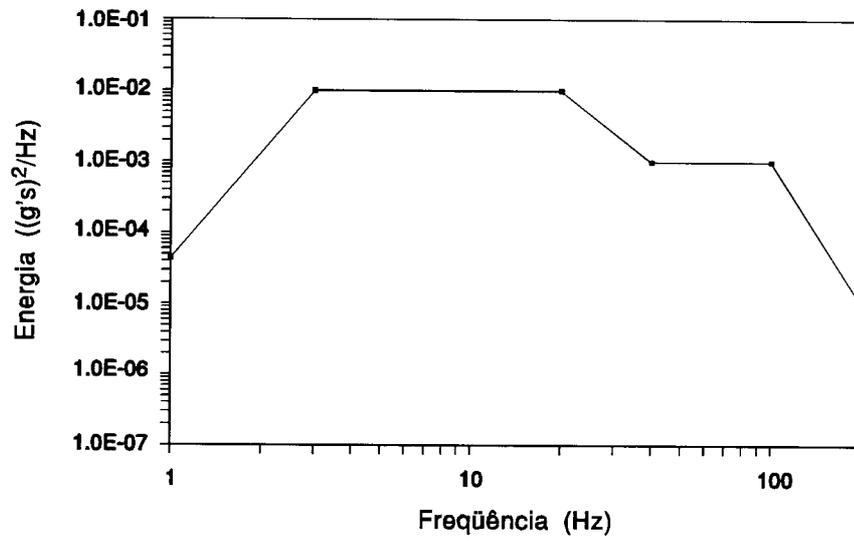
Com relação ao perfil liso seria interessante o desenvolvimento de um estudo tendo a pressão de fechamento como variável, uma vez que, hipoteticamente, um aumento de pressão pode vir a compensar problemas decorrentes da heterogeneidade da pressão ao longo do mordente.

Especificamente com relação às embalagens de BOPPmet/BOPPcoex, recomenda-se também a realização de ensaios que avaliem a facilidade de abertura por parte do consumidor e a viabilidade de uso de outros tipos de adesivo que resolvam o problema de falta de integridade das embalagens.

ANEXOS

ANEXO A

Espectro de densidade de potência. Fonte: ASTM D4728-87



ANEXO B

Monitoramento da temperatura ao longo do perfil de fechamento, durante a etapa de otimização das condições de termossoldagem, para uma temperatura pré-fixada de 120°C

Repetição	Temperatura (°C)					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
1	121,4	119,2	120,7	114,7	119,2	121,3
2	120,4	119,6	120,1	113,1	121,1	123,5
3	121,6	120,4	120,4	114,7	119,8	122,1
4	122,1	120,7	121,7	115,2	120,1	122,8
5	121,5	119,9	123,1	115,3	119,2	122,6
Média	121,4	120,0	121,2	114,6	119,9	122,5
Desvio-padrão	0,62	0,60	1,22	0,88	0,78	0,82
Amplitude	1,7	1,5	3,0	2,2	1,9	2,2

T1 a T6 = termopar 1 a 6

ANEXO C

Monitoramento da temperatura ao longo do perfil de fechamento, durante a etapa de otimização das condições de termossoldagem, para uma temperatura pré-fixada de 130°C

Repetição	Temperatura (°C)					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
1	126,5	126,9	127,1	125,7	128,8	129,4
2	126,1	125,4	126,2	126,1	127,4	127,7
3	127,7	128,1	126,5	126,3	128,2	127,4
4	126,3	126,5	126,2	125,7	128,3	128,4
5	126,4	127,3	127,2	126,7	129,2	129,4
6	125,4	126,7	126,2	125,1	128,2	127,2
7	126,7	128,4	127,2	126,7	127,4	128,2
Média	126,4	127,0	126,6	126,0	128,2	128,2
Desvio-padrão	0,69	1,01	0,49	0,58	0,66	0,89
Amplitude	2,3	3,0	1,0	1,6	1,8	2,2

T1 a T6 = termopar 1 a 6

ANEXO D

Monitoramento da temperatura ao longo do perfil de fechamento, durante a etapa de otimização das condições de termossoldagem, para uma temperatura pré-fixada de 140°C

Repetição	Temperatura (°C)					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
1	142,5	140,1	-	138,6	140,3	141,2
2	140,1	139,3	-	139,9	139,2	140,2
3	141,7	141,2	-	139,4	136,6	141,0
4	141,2	139,2	-	140,2	139,9	140,4
5	139,7	-	-	139,7	140,2	139,8
6	139,2	-	-	138,0	138,8	139,4
7	140,6	-	-	138,7	139,1	139,4
Média	140,7	140,0	-	139,2	139,2	140,2
Desvio-padrão	1,16	0,92	-	0,80	1,27	0,72
Amplitude	3,3	2,00	-	2,2	3,7	1,8

T1 a T6 = termopar 1 a 6

ANEXO E

Resistência da termossoldagem à tração (gf/cm) da estrutura BOPPmet/BOPPcoex, durante a etapa de otimização das condições de termossoldagem

Condição (°C/s/(lbf/pol ²))	Perfil liso - DF			Perfil liso - DT			Perfil horizontal			Perfil inclinado			Perfil vertical 120°			Perfil vertical 90°		
	M	DP	IV	M	DP	IV	M	DP	IV	M	DP	IV	M	DP	IV	M	DP	IV
120/0,5/40	263	48,8	178 348	não determinada			não determinada			não determinada			não determinada			não determinada		
120/0,75/40	276	47,6	183 366	não determinada			não determinada			não determinada			não determinada			não determinada		
130/0,5/40	289	63,0	156 400	272	96,0	80,3 377	233	70,5	165 409	198	15,5	165 228	178	17,4	150 213	141	22,7	110 189
130/0,75/40	314	61,8	191 410	294	96,4	124 409	198	29,4	158 276	218	19,0	181 247	198	14,5	173 236	157	24,2	118 205
130/1/40	292	79,1	128 374	301	10,2	107 405	198	27,7	165 291	237	28,7	181 303	não determinada			não determinada		
140/0,5/40	302	48,4	202 359	268	44,2	193 352	265	55,6	189 346	228	27,3	181 208	195	26,7	146 258	208	21,3	173 244
140/0,75/40	301	50,0	198 402	265	50,0	172 354	266	46,7	173 372	244	36,2	165 300	189	28,8	150 292	240	35,1	181 307

M = média referente a 24 determinações

DP/IV = desvio-padrão/intervalo de variação

ANEXO F

Resistência da termossoldagem à tração (gf/cm) da estrutura BOPPmet/PEBD, durante a etapa de otimização das condições de termossoldagem

Condição (°C/s/(lbf/pol ²))	Perfil liso - DF			Perfil liso - DT			Perfil horizontal			Perfil inclinado			Perfil vertical 120°			Perfil vertical 90°		
	M	DP	IV	M	DP	IV	M	DP	IV	M	DP	IV	M	DP	IV	M	DP	IV
130/0,5/40	633	65,5	515 740	810	58,3	647 924	586	81,9	408 752	736	92,9	589 956	706	68,5	566 853	722	47,9	599 792
130/0,75/40	675	66,9	558 821	816	60,4	662 954	634	61,0	538 712	781	126,4	579 1008	664	54,3	572 801	796	97,5	607 981
130/1/40	704	86,6	582 977	861	45,3	795 1006	610	50,8	519 684	756	126,4	441 1028	não determinada			não determinada		

M = média referente a 24 determinações

DP/IV = desvio-padrão/intervalo de variação

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS (ASTM). **Standard test methods for thickness of solid electrical insulation. ASTM D374-88.** Philadelphia: ASTM, 1989a. v.08.01, p.90-96.
2. ——— **Standard definitions of terms relating to plastics. ASTM D883-88.** Philadelphia: ASTM, 1989b, v.08.01, p.333-344.
3. ——— **Standard method of drop test for filled bags. ASTM D959-80.** Philadelphia: ASTM, 1990a. v.15.09, p.165-166.
4. ——— **Standard methods for vibration testing of shipping containers. ASTM D999-86.** Philadelphia: ASTM, 1990b. v.15.09, p.190-193.
5. ——— **Standard test method for static and kinetic coefficients of friction of plastic film and sheeting. ASTM D1894-87.** Philadelphia: ASTM, 1989c. v.08.02, p.133-137
6. ——— **Standard test method for oxygen gas transmission rate through plastic film and sheeting using a coulometric sensor. ASTM D3985-81.** Philadelphia: ASTM, 1990c. v.15.09, p.620-625.
7. ——— **Standard test method for random vibration testing of shipping containers. ASTM D4728-87.** Philadelphia: ASTM, 1990d. v.15.09, p.762-767.
8. ——— **Standard test methods for water vapor transmission of materials. ASTM E96-80.** Philadelphia: ASTM, 1989d. v.08.03, p.687-694.
9. ——— **Standard test methods for seal strength of flexible barrier materials. ASTM F88-68.** Philadelphia: ASTM, 1980. p.352-355.
10. AS RECEITAS que caíram no gosto. **Plásticos em Revista**, São Paulo, 32 (383): 21-22, abril, 1994.
11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Embalagens plásticas: terminologia. Projeto n.23:05.09-001.** São Paulo: ABNT, 1987. 5p.
12. ——— **Plásticos: terminologia. ABNT NBR 9633.** São Paulo: ABNT, 1986. 132p.
13. BORDIN, M.R. Levantamento de dados para simulação de transporte. **Informativo CETEA**, Campinas, 6 (1): 3-4, 1994.
14. BOSCH. **Transwrap 125N, NE, NEL tubular bag packaging machines by Bosch: flexible-reliable - economical in all product - and size-ranges.** Viersen, Bosch, [s.d] 8p.

15. BRISTON, J.H. **Plastic films**. 2. ed., Essex, George Godwin, 1983. 380p.
16. BROWN, F & KEEGAN, P.B. Heat sealing methods. **Modern Packaging**, New York, **46** (12): 314-323, 1973.
17. CARLEY, J.F. A plastics primer. **Modern Plastics Encyclopedia**, Pittsfield, McGraw Hill, 1990. p.4-11. (mid-October issue).
18. CZERNIAWSKI, B. **Plastics used in production of flexible packaging**, 1985a. 9p. (Curso interno).
19. ——— **Polypropylene films**. 1985b. 19p. (Curso interno).
20. DATAMARK. **Brazil Pack'93: A indústria brasileira de embalagens**. São Paulo, Datamark Consultores, 1993. p.2, 8, 9-11, 47-57.
21. DOWNES, T.W. Quality control test procedures for seal integrity. In: **NATIONAL FOOD PROCESSORS ASSOCIATION CONFERENCE**, Packaging alternatives for food processors, Washington, 1984. **Proceedings...** Washington, the Food Processors Institute, 1984. p.75-82.
22. ERNST, U. Sealability and hot tack measurement. In: **ICECS'86**. St. Gallen, 1986. **Proceedings...** St. Gallen, EMPA, 1986. 20p.
23. FOX, R.A Plastic packaging: the consumer preference of tomorrow. **Food Technology**, Chicago, **43** (12): 84-85, 1989.
24. GUISE, W. Polypropylene in Packaging. **Packaging**, London, **64**(697): 4-11, 1993.
25. HOHMANN, H.J. & MÜNDERLEIN, W. Einfluß der Gestaltung der Siegelbackenoberfläche auf die Festigkeit und Dichtigkeit von Heißsiegelnähten. **Verpackungs - Rundschau**, **36** (2) : 81-90, 1985.
26. JENKINS, W.A. & HARRINGTON, J.P. **Packaging food with plastics**. Lancaster, Technomic, 1991. 326p.
27. KOSHCHAK, M. Composite structures for lidding applications. In: **POLYMERS, LAMINATIONS AND COATING CONFERENCE**, Nashville, 1986. **Proceedings...** Nashville, 1986. Book 1, p 71-79.
28. LAMPI, R.A.; SCHULZ, G.L.; CIAVARINI, T. & BURKE, P.T. Performance and integrity of retort pouch seals. **Food Technolgy**, Chicago, **30**(2):38-48, 1976.
29. LOPAPA, N.J. The flexible films market in the U.S. and Canada with a specific focus on oriented polypropylene, new products and new developments. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE EMBALAGEM**, 6, São Paulo, 1994. **Anais...** São Paulo, ABRE, 1994. 14p.

30. LOUIS, P. European trends in packaging - **European Packagin Newsletter and World Report**, Paris, **22(11)**: 1-2, 1989.
31. MILTZ, I. Effect of structure on heat sealing properties, seal strength of LDPEs. **Packaging Development Systems**, New York, **10**:21-23, 25, March/April, 1980.
32. MÜNDERLEIN, W. & HOHMANN, H.J. **Beurteilungskriterien für die Entwicklung und den Einsatz von Heißsiegelwerkseugen mit Oberflächenprofilen in der Verpackungstechnik**. Munich, 1983. 40p.
33. ——— **Projekt 100. 323: Oberflächenprofile von Schweißwerkzeugen für Verpackungsmaschinen**. [s.l.], 1981. 24p.
34. ODIAN, G. **Principles of polymerization**. USA, McGraw-Hill, Inc., 1970. 651p.
35. OLIVEIRA, L.M. & ALVES, R.M.V. Influência do perfil da mandíbula de fechamento no desempenho da termossoldagem de embalagens flexíveis. **Coletânea do ITAL**, Campinas, **22(2)**: 194-208, 1992.
36. PADULA, M.; SARANTÓPOULOS, C.I.G.L.; ARDITO, E.F.G.; GARCIA, E.E.C; OLIVEIRA, L.M. & ALVES, R.M.V. **Embalagens plásticas: controle de qualidade**. Campinas, ITAL/SBCTA, 1989. 202p.
37. PLASTIC film heat sealing. **Packaging**, Chicago, **36(6)**: 51-52, May, 1991.
38. POLYPROPYLENE. In: **Modern Plastics Encyclopedia**. Pittsfield, Mc.Graw-Hill, 1990. p.98 (mid-October issue).
39. SAECTHLING, H. **International plastics handbook**. Munich, Carl Hanser Verlag, 1983. 531p.
40. SCHRICKER, G. Relationship between packaging machine and packaging material. In: **MATHLOUTHI, M. Food Packaging and preservation: Theory and Practice**. New York, Elsevier, 1986. 402p.
41. SPINK, J.W.; HERNANDEZ, R.J.; GIACIN, J.R. Heat seal parameters of ethylene - vinyl acetate sealant copolymers. In: **WORLD CONFERENCE ON PACKAGING - IAPRI**, 7, Utrecht, 1991. **Proceedings...** Utrecht, TNO, 1991. p.10.3-2 - 10.3-11.
42. SUGIYAMA, T. & ITOH, S. Material of easy open container's cap. **Packaging Japan**, Tokyo, **7(36)**: 28-30, 1986.
43. YOUNG, W.E. Sealing. **Packaging Encyclopedia**, Chicago, 1985. p.250-263.

APÊNDICES

APÊNDICE I

Caracterização da estrutura 1: BOPPmet/BOPPcoex.

Parâmetro		Média	Desvio-padrão	Intervalo de variação
Densidade ótica (D.O.)		1,71 ^c	0,04	1,65 - 1,79
TPO ₂ - 25°C a seco, 1atm (cm ³ (CNTP)/m ² /dia)		151,20 ^a	8,32	137,82 - 162,53
TPVA - 38°C/90%/UR (g água/m ² /dia)		1,66 ^b	0,34	1,22 - 2,16
Resistência à delaminação (gf/cm)	DF	140 ^d	11,8	119 - 166
	DT	166 ^d	9,5	147 - 182
COF estático metal x plástico	DF	0,35 ^c	0,04	0,23 - 0,39
	DT	0,36 ^c	0,03	0,32 - 0,42
COF dinâmico metal x plástico	DF	0,32 ^c	0,01	0,30 - 0,34
	DT	0,31 ^c	0,02	0,27 - 0,34

Valor médio referente a 6(a), 8(b), 10(c), e 20(d) replicatas

DO = unidades de densidade ótica

TPO₂ = taxa de permeabilidade ao oxigênio

TPVA = taxa de permeabilidade ao vapor d'água

COF = coeficiente de atrito

DF = direção de fabricação

DT = direção transversal à fabricação

APÊNDICE II

Caracterização da estrutura 2: BOPPmet/PEBD.

Parâmetro		Média	Desvio-padrão	Intervalo de variação
Densidade ótica (D.O.)		2,41 ^b	0,08	2,31 - 2,54
TPO ₂ - 25°C a seco, 1atm (cm ³ (CNTP)/m ² /dia)		20,36 ^a	2,48	18,11 - 24,58
TPVA - 38°C/90%/UR (g água/m ² /dia)		1,01 ^a	0,15	0,77 - 1,16
Resistência à delaminação (gf/cm)	DF	140 ^c	38,0	79,7 - 190
	DT	109 ^c	22,8	78,2 - 156
COF estático metal x plástico	DF	0,37 ^b	0,03	0,32 - 0,40
	DT	0,34 ^b	0,02	0,30 - 0,38
COF dinâmico metal x plástico	DF	0,35 ^b	0,02	0,31 - 0,37
	DT	0,35 ^b	0,02	0,33 - 0,37

Valor médio referente a 5(a), 10(b) e 20(c) replicatas

DO = unidades de densidade ótica

TPO₂ = taxa de permeabilidade ao oxigênio

TPVA = taxa de permeabilidade ao vapor d'água

COF = coeficiente de atrito

DF = direção de fabricação

DT = direção transversal à fabricação