UNICAMP

# DISSERTAÇÃO DE TESE DE MESTRADO

## PREPARO DE SOFTWARE PARA MONITORAR, EM TEMPO REAL, O PROCESSAMENTO TÉRMICO EM AUTOCLAVE, DE ALIMENTOS EM BANDEJAS.


Aluna: Marialuci Oliveira Frangipani

Orientador: Professor Enrique Ortega

Co-Orientadora: Professora Pilar Rodríguez Massaguer


Campinas, 04 de Junho de 1999.

PARECER

Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida por Marialuci Oliveira Frangipani aprovada pela Comissão Julgadora em 14 de julho de 1999.

Campinas, 14 de julho de 1999

Prof. Dr. Enrique Ortega Rodriguez
Presidente da Banca


UNI

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

F851p

Frangipani, Marialuci Oliveira
Preparo de sofware para monitorar, em tempo real, o processamento térmico em autoclave, de alimentos em bandejas / Marialuci Oliveira Frangipani. – Campinas, SP: [s.n.], 1999.

Orientador: Enrique Ortega
Co-orientador: Pilar Rodríguez Massaguer
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas.Faculdade de Engenharia de Alimentos.

1. Software – Monitoração. 2.Alimentos – Esterilização. 3.Embalagens – Pesquisa. 4.Autoclaves. I.Ortega, Enrique. II.Rodríguez Massaguer, Pilar. III.Universidade Estadual de Campinas.Faculdade de Engenharia de Alimentos. IV.Título.

UNICAMP
BC
N.
V. Ex.
TOMBO BC/ 38519
PROC. 229/99
PREÇO R$ 11,00
DATA 25/08/99
N° CPD

CM-00125814-1

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr. Enrique Ortega Rodriguez
Orientador

Prof. Dr. Marcelo Cristianini
Membro

Prof. Dr. Vivaldo Silveira Júnior
Membro

Prof. Dr. Fumio Yokoya
Membro

Campinas, ___ de _____ de 1999.

Ao meu marido e cara-metade, sem o qual
minha jornada seria muito escura.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela saúde e capacidade;

A Coriolano Cesar, pelo amor e pela dedicação total;

A Thomas, Louise e George, pela alegria e inspiração;

Aos meus pais, pelo eterno incentivo;

Ao Professor Enrique Ortega, pela orientação sábia e pela amizade;

A Professora Pilar R. Massaguer, pela motivação inicial e cooperação indispensável;

Aos amigos do Laboratório de Ecologia e Infromática Aplicada, pela companhia carinhosa e pelo apoio;

Ao Silvio Luis Nogueira Lima, pelo apoio técnico para o funcionamento das placas de aquiição;

A Omero, Rosa e pessoal do Laboratório de Termobacteriologia, pela paciência e pela força;

Ao Professor Al Dash, pela contribuição valiosa de fornecer a seladora de bandejas;

Ao pessoal da Pirâmide, pela atenção e gentileza;

Ao Sr. Paulo Moscato da ITAP, que nos forneceu o laminado para a selagem das bandejas;

A ADVANTECH do Brasil, pela assistência na resolução do software Genie;

Ao pessoal da Planta de Tecnologia de Leite por nos conceder um espaço de trabalho na autoclave ALLPAX;

A Daniela, do CUEC, pela atenção dedicada na programação;

e finalmente, a Faculdade de Engenharia de Alimentos em geral, sem os quais nada disso poderia ser realizado.

## SUMÁRIO


I. RESUMO ..... 10

II. SUMMARY ..... 10

III. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS ..... 11

IV. REVISÃO DE LITERATURA ..... 15

IV.1.ESTERILIZAÇÃO ..... 15
IV.2. CONCEITO DE ESTERILIDADE COMERCIAL ..... 15
IV.3. DESTRUIÇÃO TÉRMICA E RESISTÊNCIA DE MICROORGANISMOS ..... 17
IV.4. CÁLCULOS DO PROCESSAMENTO TÉRMICO ..... 19
IV.5. MÉTODOS EMPÍRICOS ..... 21
IV.6. SOLUÇÕES TEÓRICAS PARA AQUECIMENTO CONDUTIVO EM ALIMENTOS ..... 24
IV.7. CONTROLE COMPUTADORIZADO EM AUTOCLAVES DE BATELADA ..... 26
IV.8. AQUISIÇÃO DE DADOS EM PROCESSAMENTOS TÉRMICOS ..... 27
IV.9.BANDEJAS SEMIRÍGIDAS AUTOCLAVÁVEIS ..... 30
IV.10.EFEITOS DA PRESSÃO NO PROCESSAMENTO DE EMBALAGENS PLÁSTICAS SEMI-RÍGIDAS ..... 33

V. MATERIAIS E MÉTODOS ..... 35

V.1.EQUIPAMENTOS ..... 35
FRENTE ESQUERDA (FE) ..... 37
CENTRO ESQUERDA (CE) ..... 37
CENTRO DIREITA (CD) ..... 37
V.2. EMBALAGENS: ..... 37
V.3. SELAGEM DAS BANDEJAS: ..... 37

V.4. Produto a ser Esterilizado: ..... 38
V.5. Envase ..... 38
V.6. Testes das Embalagens: Antes e Depois dos Processos ..... 39
V.7. Estabelecimento dos Processos ..... 40
V.8. Sensores de Temperatura ..... 40
V.9. – Calibração dos Termopares ..... 42
V.10. Sistemas de Aquisição de Dados ..... 42
V.10.1. Sistema Genie de Aquisição de Dados de Temperatura: ..... 42
V.10.2. Calibração das Placas PCL-818H e PCLD-789D ..... 45
V.10.3. Sistema Doric de Aquisição de Dados de Temperatura ..... 45
V.11. Cálculo da Letalidade Acumulada no Sistema Genie e Visualização dos Dados Obtidos ..... 47

VI. RESULTADOS E DISCUSSÃO ..... 52

VI.1. Selagem das bandejas ..... 52
VI.2. Testes das embalagens ..... 53
VI.3. Calibração dos Termopares ..... 58
VI.4. Ensaios do Sistema Genie ..... 63
VI.5. Processo I – Sistema Genie e Sistema Doric conectados à ALLPAX ..... 65
VI.6. Processo II – Sistema Genie e Sistema Doric conectados à ALLPAX ..... 69
VI.7. Estimativa de Erros no Cálculo da Letalidade ..... 76

VII.CONCLUSÕES: ..... 80

VII. RECOMENDAÇÕES ..... 81

ANEXO I ..... 82

APÊNDICE ..... 93

VIII.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:..... 103

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. SUPORTE PARA POSICIONAMENTO DAS BANDEJAS NO INTERIOR DA AUTOCLAVE. ..... 36
FIGURA 2. ESQUEMA DE POSICIONAMENTO DAS BANDEJAS EM UMA PRATELEIRA DO SUPORTE. 37
FIGURA 3. ESQUEMA DE MONTAGEM DOS CONECTORES E TEMOPAR NAS BANDEJAS. DETALHE DO DISPOSITIVO DE SUPORTE DO TERMOPAR. ..... 41
FIGURA 4. DIAGRAMA MODULAR DO SISTEMA GENIE. ..... 44
FIGURA 5. FLUXOGRAMA DO SISTEMA DORIC DE AQUISIÇÃO DE DADOS NA AUTOCLAVE ALLPAX (CRISTIANINI, 1998). ..... 46
FIGURA 6. ALGORÍTIMO PARA CÁLCULO DA LETALIDADE ACUMULADA DURANTE O PROCESSO... 48
FIGURA 7. FLUXOGRAMA DE BLOCOS PARA CÁLCULO DO $F_0$. ..... 49
FIGURA 8. DISPOSITIVO CRIADOR DE TAREFAS DO GENIE V.3.0 (TASK DESIGNER). ..... 50
FIGURA 9. DISPOSITIVO DE VISUALIZAÇÃO DO GENIE V.3.0 (DISPLAY DESIGNER). ..... 51
FIGURA 10. BANDEJAS EM POSIÇÃO VERTICAL PARA A DETERMINAÇÃO DA ALTURA DO ESPAÇO LIVRE. ..... 54
FIGURA 11. COLOCAÇÃO DAS BANDEJAS CONECTADAS AOS TERMOPARES NO SUPORTE DA AUTOCLAVE ALLPAX. ..... 56
FIGURA 12. EMBALAGENS PÓS-PROCESSO PARA VERIFICAÇÃO DA SOLDA. ..... 57
FIGURA 13. VISUALIZAÇÃO DA TELA DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO GENIE, DURANTE TESTE DE BANHO DE ÁGUA E 4 TERMOPARES - AQUECIMENTO. ..... 63
FIGURA 14. VISUALIZAÇÃO DA TELA DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO GENIE, DURANTE TESTE DE BANHO DE ÁGUA E 4 TERMOPARES - RESFRIAMENTO. ..... 64
FIGURA 15. TELA DE VISUALIZAÇÃO EM TEMPO REAL DO GENIE – PROCESSO II - AQUECIMENTO. ..... 73
FIGURA 16. TELA DE VISUALIZAÇÃO EM TEMPO REAL DO SISTEMA GENIE - PROCESSO II -FASE DE RESFRIAMENTO. ..... 74
FIGURA 17. TELA DE VISUALIZAÇÃO DO SISTEMA GENIE MOSTRANDO AS LETALIDADES ACUMULADAS - PROCESSO II. ..... 75
FIGURA 18. CONEXÕES EM PLANTA – OS DOIS SISTEMAS E A AUTOCLAVE ALLPAX. ..... 79

# LISTA DE TABELAS

TABELA 1- FÓRMULAS EMPÍRICAS DE HAYAKAWA ( FONTE: NORONHA ET ALL.,1995) ..... 23
TABELA 2. DETERMINAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE A ALTURA DO ESPAÇO LIVRE E O VOLUME DE AR RESIDUAL DAS EMBALAGENS..... 53
TABELA 3. RESULTADOS DAS AVALIAÇÕES DAS EMBALAGENS PROCESSADAS – PROCESSOS I E II. ..... 55
TABELA 4. RELAÇÃO DOS COEFICIENTES DE $R^2$ PARA TODOS OS TERMOPARES CALIBRADOS PARA COMPARAÇÃO DOS DOIS SISTEMAS. ..... 58
TABELA 5. COEFICIENTES $R^2$ DAS REGRESSÕES DE TODOS OS TERMOPARES GENIE X DORIC.... 59
TABELA 6. DESVIOS PADRÕES OBTIDOS DURANTE CALIBRAÇÃO DOS TERMOPARES (°C). ..... 60
TABELA 7. MÉDIA DE DESVIOS PADRÕES POR TERMOPAR CALIBRADO (°C)..... 60
TABELA 8. TERMOPARES, BANDEJAS, POSIÇÕES E SISTEMAS DE MONITORAMENTO – PROCESSO I. ..... 65
TABELA 9. RELAÇÃO ENTRE LETALIDADES OBTIDAS E POSIÇÕES NA AUTOCLAVE ..... 68
TABELA 10. TERMOPARES, BANDEJAS, POSIÇÕES E SISTEMAS DE MONITORAMENTO – PROCESSO II. ..... 69
TABELA 11. RELAÇÃO ENTRE LETALIDADES OBTIDAS E POSIÇÕES NA AUTOCLAVE. ..... 72

# LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1. DISPERSÃO DO DELTA DE TEMPERATURAS NO SISTEMA GENIE, DURANTE CALIBRAÇÃO..... 61
GRÁFICO 2. DISPERSÃO DO DELTA DE TEMPERATURAS NO SISTEMA DORIC, DURANTE CALIBRAÇÃO..... 62
GRÁFICO 3. PERFIL DE TEMPERATURAS DESENVOLVIDAS DURANTE O PROCESSO I, OBTIDO PELOS SISTEMAS GENIE E DORIC..... 66
GRÁFICO 4. LETALIDADE ACUMULADA OBTIDA PELO SISTEMA GENIE E DORIC EM TEMPO REAL DURANTE PROCESSO I..... 67
GRÁFICO 5. PERFIL DE TEMPERATURAS DESENVOLVIDAS DURANTE O PROCESSO II, OBTIDO PELOS SISTEMAS GENIE E DORIC..... 70
GRÁFICO 6. LETALIDADE ACUMULADA OBTIDA PELO SISTEMA GENIE E DORIC EM TEMPO REAL DURANTE PROCESSO II..... 71

GRÁFICO 7. DISPERSÃO DE DELTA $F_0$ DURANTE O PROCESSO I. ..... 77
GRÁFICO 8. DISPERSÃO DE DELTA $F_0$ DURANTE O PROCESSO II. ..... 78
GRÁFICO 9. REGRESSÃO LINEAR, TERMOPAR FLEXÍVEL X TERMÔMETRO PADRÃO – DORIC. ..... 82
GRÁFICO 10. REGRESSÃO LINEAR, TERMOPARES 02 X TERMÔMETRO PADRÃO - DORIC ..... 82
GRÁFICO 11. REGRESSÃO LINEAR, TERMOPARES 05 X TERMÔMETRO PADRÃO - DORIC ..... 83
GRÁFICO 12. REGRESSÃO LINEAR, TERMOPARES 06 X TERMÔMETRO PADRÃO - DORIC ..... 83
GRÁFICO 13. REGRESSÃO LINEAR, TERMOPAR 11 X TERMÔMETRO PADRÃO – DORIC. ..... 84
GRÁFICO 14. REGRESSÃO LINEAR, TERMOPAR 13 X TERMÔMETRO PADRÃO – DORIC. ..... 84
GRÁFICO 15. REGRESSÃO LINEAR, TERMOPAR 14 X TERMÔMETRO PADRÃO – DORIC. ..... 85
GRÁFICO 16. REGRESSÃO LINEAR, TERMOPAR 02 X TERMÔMETRO PADRÃO - GENIE ..... 85
GRÁFICO 17. REGRESSÃO LINEAR, TERMOPAR 05 X TERMÔMETRO PADRÃO - GENIE ..... 86
GRÁFICO 18. REGRESSÃO LINEAR, TERMOPAR 06 X TERMÔMETRO PADRÃO - GENIE ..... 86
GRÁFICO 19. REGRESSÃO LINEAR, TERMOPAR 11X TERMÔMETRO PADRÃO – GENIE. ..... 87
GRÁFICO 20. REGRESSÃO LINEAR, TERMOPAR 13 X TERMÔMETRO PADRÃO – GENIE. ..... 87
GRÁFICO 21. REGRESSÃO LINEAR, TERMOPAR 14 X TERMÔMETRO PADRÃO – GENIE. ..... 88
GRÁFICO 22. REGRESSÃO LINEAR, TERMOPAR FLEXÍVEL X TERMÔMETRO PADRÃO – GENIE. ..... 88
GRÁFICO 23. REGRESSÃO LINEAR, TERMOPAR FLEXÍVEL GENIE X DORIC. ..... 89
GRÁFICO 24. REGRESSÃO LINEAR, TERMOPAR 02 – GENIE X DORIC. ..... 89
GRÁFICO 25. REGRESSÃO LINEAR, TERMOPAR 05 – GENIE X DORIC. ..... 90
GRÁFICO 26. REGRESSÃO LINEAR, TERMOPAR 06 – GENIE X DORIC. ..... 90
GRÁFICO 27. REGRESSÃO LINEAR, TERMOPAR T11 - GENIE X DORIC. ..... 91
GRÁFICO 28. REGRESSÃO LINEAR, TERMOPAR T13 - GENIE X DORIC. ..... 91
GRÁFICO 29. REGRESSÃO LINEAR, TERMOPAR T14 - GENIE X DORIC. ..... 92

## LISTA DE NOTAÇÕES

$F_p$ valor de esterilização do processo termico;

$F_0$ letalidade acumulada durante o processo térmico;

$\alpha$ difusividade térmica;

$T_1$ temperatura do meio, na autoclave;

$T_o$ temperatura inicial do produto;

$T_a$ temperatura em um ponto arbitrário no produto;

$F_T$ valor de esterilização a uma certa temperatura T;

$T_{ref}$ temperatura de referência –250 F ou 121,1 °C;

z diferença de temperatura necessária para se obter uma redução logarítmica do valor de D;

D tempo em segundos para se reduzir uma população microbiana de um ciclo logarítmo;

t tempo;

Fo número de Fourier;

Bi número de Biot;

U (x,t) admensional de temperaturas;

L letalidade instantânea.

## I. RESUMO

Este trabalho mostra a viabilidade de novas técnicas de se monitorar um processo de esterilização em autoclave para refeições prontas em bandejas plásticas semi-rígidas. Nesta pesquisa, utilizou-se um programa de uso industrial para aquisição de dados (Genie, v.3.0 - *Advantech,* E.U.A) e o adaptamos para o uso com as interfaces PCL-818H e PCLD-789D (*Advantech,* E.U.A.). O sistema adaptado demonstra em tempo real as temperaturas no processo, assim como a curva de letalidade acumulada durante todo o processo. O novo sistema foi comparado em sua performance ao sistema já em uso no Laboratório de Termobacteriologia da FEA, UNICAMP, o sistema DORIC de aquisição de dados, mostrando ser tão eficiente quanto o mesmo, porém, mais versátil.

## II. SUMMARY

The present dissertation provides insigths for monitoring an autoclave sterilization process for pre-cooked food products, placed in plastic semirigid trays. For this purpose, we used a software (Genie, v.3.0 - *Advantech,* E.U.A) connected to two data-acquistion systems, PCL-818H e PCLD-789D (*Advantech,* E.U.A.), so that we could perform real-time data acquisition and visualization of both temperature profile and accomplished lethality curve during the entire process. The new system proved to be comparable with the DORIC data acquisition system in use at the Thermobacterilogy Laboratory of the Food Engineering School at UNICAMP. Besides beeing comparable, it showed to be more versatile as well.

## III. Introdução e objetivos

Muito têm sido feito desde a década passada com respeito à aquisição de dados de temperatura em processos térmicos de esterilização, uma vez que se faz mandatório o armazenamento destes dados para futura referências e confirmação do processo. Nos E.U.A. existe uma norma do FDA ( *Food and Drug Administration)* – norma 130.30 (JUDGE, 1997) que obriga as empresas que usam processamento térmico em alimentos de baixa acidez a contínua aquisição de dados e condições de processo assim como o registro dos procedimentos adotados em condições de desvios.

Mas, empresas se utilizavam de recursos computacionais, ou mesmo manuais, para o cálculo, pós-operação, do valor de esterilização do processo ($F_p$ ) ou da letalidade acumulada durante o processo ($F_0$). Programas de cálculos do valor de esterilização estão abundantemente disponíveis no mercado, para serem aplicados em dados de temperatura a que o produto foi submetido, dados estes colhidos durante o processo.

Porém, o cálculo "on-line" deste valor facilitaria a interferência do operador da autoclave e consequentemente a mudança das variáveis do processo, durante a operação do mesmo, possibilitando o aproveitamento do produto processado, ao invés do descarte de todo um batch da produção, prática tão comum em algumas indústrias de produtos esterilizados (TEIXEIRA & TUCKER, 1997)

Em trabalhos como o de NAVANKASTTUSAS & LUND (1978), ROOP & BADENHOOP (1978), TEIXEIRA e MANSON (1982) fica claro a necessidade da visualização gráfica do perfil de temperaturas assim como da letalidade acumulada como uma melhor maneira de se monitorar e controlar o processo do que os ainda usados registros em papel.

Desta maneira decidiu-se que um programa de computador que possibilitasse acompanhar as curvas de temperatura e letalidade acumulada desenvolvidas durante o processo em tempo real, facilitaria a visualização das condições do processo e os ajustes de processo que fossem necessários para se atingir a letalidade acumulada alvo - o $F_0$ alvo. Além disso, um sistema que estivesse disponível numa rede de computadores na empresa, possibilitaria também uma decisão mais automática por parte da gerência do processo fora da planta de operação da autoclave.

O outro aspecto importante que também será abordado neste trabalho é o uso de novas embalagens para produtos esterilizados. Embora uma série de trabalhos foram desenvolvidos no estudo de aquisição de dados de temperatura na esterilização de latas cilíndricas de flandres, (SAGUES, 1980; TEIXEIRA & MANSON, 1982, GILL et al.,1990; FASTAG et al.,1996; TEIXEIRA & TUCKER, 1997) pouco têm sido feito usando-se tipos diferentes de embalagens.

Nos últimos 7 anos uma nova geração de embalagens autoclaváveis em polipropileno surgiu no mercado internacional. Tratam-se das bandejas esterilizáveis. Estes recipientes são capazes de suportar altas temperaturas de esterilização e proporcionam uma melhor qualidade visual da embalagem, com potencial para criar um espaço próprio no mercado brasileiro de produtos esterilizados em futuro próximo.

Estima-se que o mercado para estes recipientes tenha um crescimento anual de 15%, na Inglaterra (AGGETT,1990). O mesmo autor estima uma venda para mais de 100 milhões de embalagens/ ano para refeições prontas.

No Japão, depois do advento das bolsas esterilizáveis na década de 60, vêm sendo observada uma crescente comercialização de produtos esterilizáveis em embalagens termoplásticas com produtos variando desde carnes em molhos e sopas até sobremesas e

temperos (YAMAGUCHI, 1990). Estes produtos são na sua maioria refeições prontas em porções individuais.

A bolsa esterilizável, desenvolvida nestas últimas décadas do século XX para uso principalmente como uma ração militar individual de combate, foi rapidamente adaptada às indústrias farmacêuticas e hospitalares, para a produção de soluções parenterais (BALLABAN&TEIXEIRA, 1997). Muito têm sido estudado à respeito; por exemplo, nos EUA (MERMELSTEIN,1978; LAMPI, 1977; CASTILLO et al., 1980; SNYDER&HENDERSON,1989; TANDON, S. & BHOWMIK, S. 1986; LEBOWITZ & BHOWMIK ,1989; PETERSON & ADAMS, 1985, entre outros) e no Brasil, a partir de 1979, com iniciativa do CETEA – ITAL (Centro de Tecnologia de Embalagens de Alimentos/ Instituto de Tecnologia de Alimentos), visando atender mais ao mercado institucional e depois trabalhos acadêmicos como o de CARDELLI (1992), mais relacionados ao processamento em si, têm sido realizados.

Algumas pesquisas com embalagens cilíndricas plásticas autoclaváveis foram desenvolvidas por LU et al. (1991); BERRY&BUSCH (1988); SHIN&BHOWMIK (1990). Mais recentemente, no entanto, GÜNTENSPERGER & ESCHER (1994) fizeram um estudo de alteração da qualidade em carnes esterilizadas, em bandejas plásticas bastante similares às utilizadas neste estudo. Um outro trabalho também recente é o do grupo do CETEA –ITAL (Centro de Tecnologia de Embalagens de Alimentos/ Instituto de Tecnologia de Alimentos ) que estudaram o desempenho de bandejas de alumínio autoclaváveis de dimensões aproximadas às embalagens aqui estudadas, e em processamentos similares (ORTIZ et al.,1995). Recentemente KEBEDE et al. (1996), trataram de processamento em bandejas plásticas de soluções de bentonita e fizeram um estudo comparativo da penetração de calor nas bandejas plásticas e nas latas de metal, assim como um estudo da preservação de qualidade nestes processos.

O objetivo deste trabalho foi o de adaptar um programa especializado em controles de processos industrias para o monitoramento, em tempo real, de temperaturas

desenvolvidas durante o processamento de refeições individuais à base de frango, em bandejas plásticas semi-rígidas, com o cálculo simultâneo da letalidade acumulada, visualizado "on-line" para que decisões possam ser tomadas quanto ao curso do processo, e comparar este sistema com o sistema DORIC 245 A (*Beckman Ind.,* E.U.A.) – que também faz o cálculo da letalidade acumulada em tempo real de processo.

# IV. REVISÃO DE LITERATURA

## IV.1.Esterilização

O processo de esterilização resulta na destruição de microorganismos viáveis no produto alimentício. Por microorganismos viáveis deve-se entender que são aqueles microorganismos capazes de reprodução nas condições encontradas nos microambientes no interior do alimento (RODRIGUEZ et al, 1988). Desta maneira, o alimento poderia ser armazenado por longos períodos sem que nenhuma deterioração microbiana ocorresse. Além dos microorganismos viáveis, esporos de bactérias têm sido o alvo dos processos de esterilização por resistirem a temperaturas mais elevadas de processo. Se os esporos são destruídos não haverá mais células vegetativas no alimento, o que possibilita sua armazenagem sem a utilização de algum outro método de preservação, tal como a refrigeração (muito utilizada para produtos pasteurizados) ou também a redução da atividade de água, por exemplo.

## IV.2. Conceito de esterilidade comercial

É possível se obter uma embalagem contendo um alimento absolutamente estéril, aquecendo-o a uma temperatura alta o suficiente durante um tempo determinado para a destruição de qualquer forma de célula vegetativa. No entanto, isto pode resultar em um encarecimento do processo além do que é prejudicial à qualidade do alimento como um todo e desnecessário (STOFOROS, 1995).

Denomina-se "esterilidade comercial" à condição em que pode haver a sobrevivência de alguns microorganismos não patogênicos, numa fase dormente no alimento, mas as condições ambientais de armazenamento serão tais que eles não poderão se reproduzir. A esterilidade comercial se opõe à absoluta esterilidade pelo fato

de que um alimento estéril pode conter esporos termofílicos viáveis sem danificar o produto sob condições normais de armazenamento. Entretanto, um alimento esterilizado comercialmente pode apresentar deterioração se houver abusos durante a estocagem deste mesmo produto (BALLABAN & TEIXEIRA, 1997).

Segundo os mesmos autores, as condições de processo, para que a esterilidade comercial seja atingida, dependem de:

- Propriedades fisico-químicas do alimento tais como pH, força iônica, potencial oxidativo, nível de retenção de oxigênio entre outros;
- Condições de estocagem e armazenamento após o processo;
- Resistência térmica do microorganismo alvo;
- Parâmetros de transferência de calor característico do alimento: condutividade térmica, viscosidade, meio de aquecimento, modo de transferência de calor, tamanho da embalagem, material da embalagem;
- Carga microbiana do alimento no início do processo.

Todos os textos básicos de microbiologia (BALL & OLSON,1995; PFLUG,1990; STUMBO,1973, entre outros) colocam que o valor do pH do alimento vai determinar o tipo de microorganismo que poderá crescer nessas condições e que o Clostridium botulinum foi utilizado para classificar os produtos alimentícios em alimentos de alta acidez, (pH abixo de 4,6) e alimentos de baixa acidez (pH acima de 4,6). Clostridium botulinum não cresce e nem produz toxinas a um pH menor ou igual a 4,8. Já os alimentos de alta acidez com pH menor que 3,7 apresentam o problema de serem bons microambientes para desenvolvimento de fungos e leveduras.

Nos mesmos textos já citados pode-se encontrar outras informações relevantes ao processamento térmico de alimentos. Os alimentos de baixa acidez com pH maior do que 4,5, em condições anaeróbicas, podem constituir-se em um bom ambiente para a

proliferação do Clostridium botulinum , que é o patógeno formador de esporos mais resistente ao calor em condições anaeróbicas. Um processo térmico de 100 °C por 10 minutos é suficiente para a destruição da sua toxina . Porém, o microorganismo usado como microorganismo alvo é o Clostridium sporogenes por ser um dos microorganismos mais resistentes ao calor, formador de esporos, anaeróbico e, o mais importante, não tóxico (é também conhecido como **PA3679 anaeróbico putrefativo**). O Bacillus stearothermophilus (**FS 1518 flat sour**) é 20 vezes mais resistentes ao calor do que o Clostridium botulinum e não cresce abaixo de 38 °C (BALLABAN&TEIXEIRA, 1997).

Em relação à atividade de água dos alimentos e sua influência no desenvolvimento de microorganismos, o mesmo trabalho cita que, uma vez que a maioria dos alimentos apresenta atividade de água maior ou igual a 0,95, leveduras , fungos e bactérias podem se desenvolver nessas condições. Existem maneiras de se reduzir a atividade de água em alimentos através da adição de sais ou açúcares, por exemplo. O órgão do governo norte-americano responsável pela fiscalização de alimentos processados, a FDA (*Food and Drug Administration*), não exige tratamentos térmicos em alimentos de baixa acidez se este mesmo alimento apresentar atividade de água menor ou igual a 0,85.

### IV.3. Destruição Térmica e Resistência de microorganismos

Os microorganismos apresentam uma resistência à destruição por tratamento térmico que depende de muitos fatores genéticos e ambientais. A mesma temperatura de aquecimento pode apresentar diferentes efeitos num organismo se o processo ocorre num meio aquoso ou não-aquoso, podendo alterar drasticamente sua resistência térmica. No intervalo da temperatura letal é esperado que as células pereçam, ou sejam inativadas, mais rápido, à medida que a temperatura aumenta.

Para se quantificar estas taxas de inativação, aborda-se este aspecto de duas maneiras: a letalidade de um microorganismo à constante temperatura no mesmo ambiente e o efeito da variação de temperaturas na letalidade do mesmo microorganismo, no decorrer do tempo.

A inativação térmica de bactérias segue geralmente uma cinética de primeira ordem e pode ser descrita como uma redução logarítmica na concentração das células viáveis e esporos com o tempo para qualquer temperatura letal. O tempo,em segundos, necessário para se reduzir uma população microbiana de um fator de 10, ou seja, um ciclo logarítmo, é definido como D, uma constante de redução decimal (STUMBO,1973).

A dependência da velocidade de destruição com a temperatura é a curva denominada Tempo de Morte Térmica (*Thermal Death Time*, *TDT curve*) a qual, é, basicamente, uma reta sobre o intervalo de temperaturas utilizadas na esterilização dos alimentos. O valor da tangente da curva que descreve a relação da variação do logarítmo de D com a temperatura é conhecido como o valor Z, o qual é definido como a diferença de temperatura necessária para se obter uma redução logarítmica do valor D (HAYAKAWA,1996).

As temperaturas no interior do produto são funções da temperatura ambiente dentro da autoclave ( $T_1$ ), da temperatura inicial do produto ( $T_o$ ) e da posição dentro da embalagem, ( x, y, em coordenadas cartesianas ou y,r , em coordenadas cilíndricas), da difusividade térmica do produto ( $\alpha$ ) e o tempo ( t ) para o caso de um alimento com propriedades térmicas e características condutivas. A temperatura na autoclave, por sua vez, é uma função das características próprias do equipamento que afetam a transferência de calor, nesse equipamento, envolvendo o tempo, posição, propriedades térmicas do meio de aquecimento e condições de contorno e iniciais para o processo.

## IV.4. Cálculos do Processamento Térmico

O principal objetivo de um processo térmico é encontrar um efeito letal, para os microorganismos alvos do alimento, que assegure uma boa qualidade do produto após o processo (BALLABAN & TEIXEIRA,1997). Esse efeito letal, também denominado valor de esterilização ( F ) é calculado a partir da história das temperaturas num ponto em que o resfriamento é mais lento no produto. A equação de Bigelow para cálculo do efeito letal (BIGELOW et al.,1920, citado por PLUG, 1990) é mostrada abaixo.

$$\log F_T = \frac{-1}{z}( T - T_{ref}) + \log F_{T_{ref}}$$

**(eq. 1)**

a qual resulta diretamente da curva de Destruição Térmica, já referida. Geralmente esta equação é usada na sua forma exponencial, ou seja:

$$\frac{F_{Tref}}{F_T} = 10^{\frac{(T-T_{ref})}{z}}$$

**(eq. 2)**

onde,

$F_T$ = tempo total de aquecimento a uma temperatura T ao qual uma determinada embalagem é submetida com o propósito da esterilização, calculado por um valor específico de z;

$F_{T\ ref}$ = tempo do processamento térmico, em minutos, a uma temperatura de referência, geralmente 250 °F ($T_{ref}$) a qual uma embalagem é submetida, calculado por

um valor de z de 18 °F ( ou para $T_{ref}$ = 121,1 °C com um valor z de 10 °C). Este termo é também denominado $F_0$ ;

z = refere-se ao microorganismo alvo (pode também ser referido a um fator de qualidade nutricional ou física de um alimento).

Definido desta forma, para uma predição do valor de esterilização de qualquer processo, se faz necessário o uso de métodos físicos e/ou matemáticos que permitam calcular o comportamento térmico do produto da forma mais exata possível.

O comportamento térmico do alimento durante o processo pode ser avaliado através de uma curva de penetração de calor a qual relaciona a temperatura medida num ponto do produto com o tempo (HAYAKAWA,1997).

Neste ponto do trabalho é necessário distinguir-se os dois procedimentos básicos para cálculo do valor de letalidade, $F_0$ (STOFOROS,1995).

O primeiro procedimento é aquele que se baseia no fato de que o ponto crítico no produto é aquele que demora mais a sofrer o tratamento térmico, ou seja, assim que este ponto torna-se comercialmente estéril pode-se considerar todo o produto estéril ( BALL & OLSON, 1955 ,citado por STOFOROS,1995).

A grande desvantagem deste procedimento é a dificuldade de se localizar precisamente este ponto crítico da embalagem, como pode ser verificado em trabalhos de KANELLOPOULOS (1991) e PETERSON & ADAMS (1985). Além da dificuldade do posicionamento do termopar, estes trabalhos discutem também a precisão de leitura dos mesmos. O primeiro trabalho conclui que a espessura do termopar pode aumentar o erro de medida na junção quente em até 2%. O segundo estudo faz uma correlação do

deslocamento do termopar no tempo e as implicações do fenômeno observado no cálculo da letalidade.

O segundo procedimento calcula um valor integrado de $F_0$, integrando os efeitos do tratamento térmico em todo o volume do produto (HAYAKAWA, 1969; TEIXEIRA et al., 1969). Isto pode ser conseguido usando-se a equação 3 para o cálculo do valor integrado de $F_0$, que leva em conta uma contagem média inicial e a concentração microbiológica remanescente para o volume total do produto.

$$F^{z}_{Tref} = D_{Tref}\left(\log C_o - \log C_g\right) \qquad \textbf{(eq. 3)}$$

onde, $C_0$ = concentração média inicial;

$C_g$ = concentração média final;

$F^{z}_{Tref}$ = valor integrado da letalidade;

$D_{Tref}$ = tempo necessário para se reduzir a população microbiana de um ciclo logarítmo à temperatura de referência.

De acordo com a avaliação de HAYAKAWA (1978), os dois procedimentos apresentam resultados similares, sendo o último preferido para aqueles que se utilizam de procedimentos computacionais para os cálculos matemáticos.

### IV.5. Métodos Empíricos

Uma equação simples (BALL & OLSON, 1955) para descrever a penetração de calor quando o produto é submetido a um processo isotérmico é dada ela eq. 4:

$$\log\left(\frac{T_a - T}{T_a - T_0}\right) = \log j_h - \frac{t}{f_h}$$

**(eq. 4)**

onde os parâmetros $f_h$ e $j_h$ são respectivamente o inverso da inclinação da curva de penetração do calor do produto e a razão entre a diferença de temperatura da autoclave e a temperatura inicial hipotética do produto, (se fosse considerada a curva de penetração como uma reta de inclinação $f_h$ ) e a diferença de temperatura da autoclave com a temperatura inicial real do produto – $j_h$ (é denominado de fator de atraso, ou seja, a demora do ponto central do produto responder ao aquecimento do meio.) Um tratamento similar é feito para a fase de resfriamento. Este é um detalhe importante uma vez que, em produtos condutivos puros, a temperatura no ponto de aquecimento mais lento do produto pode continuar se elevando, podendo também contribuir para o aumento da letalidade do processo (HAYAKAWA,1996).

Segundo o mesmo autor, os valores $f_h$ e $j_h$ são parâmetros de uma relação linear, sendo que a curva não é descrita pela equação 4. A importância desse fator de atraso ( j ) pode ser notada analisando-se a temperatura hipotética, continuação da reta na curva de penetração de calor ( $T_{hip}$ ) e a real temperatura inicial do produto ( $T_0$ ). Quando estas duas temperaturas são iguais, o valor de j torna-se 1. Isso só pode acontecer quando não há atraso no aquecimento do produto ou em regimes de rápido aquecimento convectivos, tais como produtos alimentares líquidos em autoclaves rotatórias. Em alimentos de condução pura, j é calculado teoricamente obtendo-se um valor de aproximadamente 2 .

Outras fórmulas experimentais foram desenvolvidas por HAYAKAWA (1970 , 1982) para descrever o perfil de temperaturas no centro do produto em função do tempo para regiões de comportamento não linear em função dos valores de j na faixa de 0,001 a 6500, conforme mostrado na tabela 1.

Estas fórmulas permitem uma estimativa precisa das temperaturas transientes do alimento no início do aquecimento e do resfriamento durante o processo de esterilização.

**Tabela 1. Fórmulas empíricas de Hayakawa ( fonte: Noronha et all.,1995).**

| Faixa do valor de j | Fórmulas de Hayakawa |
|---|---|
| $0{,}001 \leq j \leq 0{,}4$ | $U(t) = 1 - 10^{-\eta t/B}$<br>$\eta = [ ( t_{nl} / f ) - \log j ] / ( t_{nl} / f )$<br>$t_{nl} = f ( 0{,}33913 - 0{,}3737 \log j )$<br>$B = t_{nl} [ (t_{nl} / f ) - \log j ]^{\eta}$ |
| $0{,}4 \leq j < 1$ | $U( t ) = 1 - {}_{\Delta}T_o^{\cot ( B t + \pi/4 ) - 1}$<br>$B = (1 / t_{nl} ) \{\arctan [\log({}_{\Delta}T_o)] [\log(j{}_{\Delta}T_o) - t_{nl}/f]^{-1} - \pi/4\}$<br>$t_{nl} = 0{,}9 f (1-j )$ |
| $1 < j \leq 5{,}8$ | $U( t ) = 1 - {}_{\Delta}T_o^{\cos ( B t ) - 1}$<br>$B = (1 / t_{nl} ) \{\arccos [\log(j{}_{\Delta}T_o - t_{nl}/f)] [\log({}_{\Delta}T_o)]^{-1}\}$<br>$t_{nl} = 0{,}7 f (1-j )$ |
| $5{,}8 < j \leq 6500$ | $U( t ) = 1 - {}_{\Delta}T_o^{\cos ( B t ) - 1}$<br>$B = (1 / t_{nl} ) \{\arccos [\log(j{}_{\Delta}T_o - t_{nl}/f)] [\log({}_{\Delta}T_o)]^{-1}\}$<br>$t_{nl} = 1{,}54 \log (j / 1{,}8 )$ |

## IV.6. Soluções Teóricas para Aquecimento Condutivo em Alimentos

Para alimentos com carácter condutivo de transferência de calor, a variação transiente da temperatura pode ser calculada, usando-se a segunda Lei de Fourier (RAMASWAMY et al.,1983).

Segundo o mesmo autor, para geometrias que mostram a transferência de calor ocorrendo em uma única direção (cilindro infinito, placa plana infinita e esfera) a segunda Lei de Fourier pode ser escrita como na seguinte forma:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r^{(\gamma-1)}} \frac{\partial}{\partial r}\left(\alpha r^{(\gamma-1)} \frac{\partial T}{\partial r}\right) \qquad \textbf{(eq. 5)}$$

onde $\gamma$ = 1 , 2 , e 3 respectivamente para uma placa plana infinita, para um cilindro infinito e para uma esfera; r é a dimensão característica e $\alpha$, a difusividade térmica do material.

A solução analítica, segundo RAMASWANY et al. (1983), para esta equação diferencial no caso de uma placa plana infinita de espessura d (a qual pode ser comparada a uma bandeja esterilizável) é:

$$U(x,t) = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2\,\mathrm{sen}\,\beta_{nx}}{\beta_{nx} + \mathrm{sen}\beta_{nx}\cos\beta_{nx}} \cdot \cos\left(\beta_{nx}\frac{x}{d}\right) \cdot \exp\left(-\beta^2_{nx}\,NFo\right) \qquad \textbf{(eq. 6)}$$

onde: $\beta_{nx}$ é a n-ésima raiz positiva da expressão seguinte:

$$\beta \tan \beta = NBi \qquad \textbf{(eq. 7)}$$

e U (x,t) é um adimensional de temperatura dado pela expressão:

$$U(x,t) = \frac{T_1 - T(x,t)}{T_1 - T_o}$$

**(eq. 8)**

onde:

$T_1$ é a temperatura da retorta (constante),

$T_o$ é a temperatura inicial homogênea do produto,

T ( x,t ) é a temperatura em qualquer posição e tempo no produto;

Fo é o número de Fourier, ($\alpha t/d^2$ ),

Bi é o número de Biot, ( h d/k);

d, $\alpha$ e k sendo respectivamente a dimensão característica, a difusividade térmica e a condutividade térmica do produto.

Ao centro da placa plana infinita, x=0 , e quando Forier > 2, a série infinita pode ser aproximada pelo primeiro termo da série, sendo representada por

$$U = R\exp(-S * Fo)$$

**(eq. 9)**

onde,

$$R = \frac{2 \operatorname{sen} \beta_1}{\beta_1 + \operatorname{sen} \beta_1 \cos \beta_1}$$

**(eq. 10)**

$$S = \beta_1^2$$

**(eq. 11)**

A equação 8 foi analiticamente resolvida em RAMASWAMY et al., (1983) e numericamente resolvida em trabalhos como os de TEIXEIRA et all (1969), DATTA et all (1986) e SILVA et all (1994) e outros.

### IV.7. Controle Computadorizado em Autoclaves de Batelada

O advento dos microcomputadores de baixo custo facilitou a implementação de estratégias para o controle automático de processos. O controle computadorizado permite correções em linha, causado por desvios de temperatura do processo pré-estabelecido e a implementação do processo ótimo, identificado por modelos matemáticos (TEIXEIRA et al.,1975). Outros benefícios potenciais incluem a documentação automática do processo e a obtenção na linha de processamento dos dados de penetração de calor (BALABAN & TEIXEIRA, 1997). Segundo a norma 130.30 da FDA (JUDGE, 1997), nos E.U.A. é mandatório, nas empresas que usam processamentos térmicos para alimentos de baixa acidez, a aquisição contínua e armazenamento de dados e condições de processo assim como o registro dos procedimentos adotados em condições de desvios.

Os fatores de projeto a serem considerados na esterilização automática de sistemas incluem o custo do sistema, a interação entre operadores e instrumentos, a manutenção do *hardware* e do *software*, confiabilidade, exatidão de instrumentação e a interação entre a gerência e o sistema.

Um controle de algorítmico lógico foi desenvolvido por DATTA et al. (1986) capaz de ajustar automaticamente o tempo de processo durante o ciclo de cozimento para se

compensar qualquer desvios não esperados. Para se avaliar $F_o$ a temperatura considerada foi a temperatura do ponto de aquecimento mais lento. Uma estratégia similar foi utilizada por GILL et al. (1989).

Conforme Pflug (1990), o mérito do Método Geral para o cálculo de $F_o$ está no fato de propiciar o cálculo da letalidade no processo, com uma variação dinâmica das temperaturas. Então, para o cálculo do $F_0$ de um produto que está a $T_1$ por $d_1$ minutos, a $T_2$ por $d_2$ minutos, a $T_3$ por $d_3$ minutos e assim sucessivamente, pode-se somar os produtos parciais da letalidade vezes o intervalo de tempo, conforme eq. 12:

$$F_o = \sum L \times \Delta t \qquad \textbf{(eq. 12)}$$

Segundo PFLUG (1990), a propriedade aditiva da letalidade foi verificada em BALL & OLSON (1957).

### IV.8. Aquisição de Dados em Processamentos Térmicos

Desde 1975 estudos têm sido realizados no monitoramento de temperaturas para o cálculo de letalidade acumulada.

Trabalhos como o de NAVANKASATTUSAS & LUND (1978) fazem uma boa revisão do que tinha sido realizado até aquele momento e manifestam a necessidade da visualização da letalidade acumulada como um critério mais facilmente entendido e livre de manipulações de dados posteriores do que os perfis de temperatura até então utilizados por organismos supervisores do processamento industrial de alimentos esterilizados (nos E.U.A, o FDA).

Nesse mesmo ano, ROOP & BADENHOP (1978) publicaram um estudo no qual descrevem um "*data logger*" utilizado na aquisição de dados de temperatura. Dois computadores foram utilizados para esse fim, sendo que um deles era responsável pela interface, fazendo uma leitura de cada canal em 300 μs., permitindo que 6 *bytes* fossem processados em 1,8 ms. Seus resultados de aquisição de temperaturas, utilizando termopares mostram erros de 0,13 $^{0}$F (0,072 $^{0}$C) a 121,74 $^{0}$C, com o maior desvio padrão de 0,28 $^{0}$F (0,16 $^{0}$C).

No trabalho citado e ainda na revisão de BOSTON & SWIENTEK (1981) ainda eram utilizados computadores com serviço tipo "*time sharing*" para a aquisição de dados. E os "*data loggers*" apenas armazenavam os dados , neste último trabalho, a uma velocidade de 120 pontos/min. Ainda se fazia necessário um técnico para os cálculos manuais de penetração de calor e da letalidade.

Em 1980, SAGUES publicou um trabalho no qual efetuou um programa para cálculo da letalidade, segundo o método de fórmulas (SAGUES,1980). A amostragem dos termopares foi de 10 ms de intervalo. Ele obteve curvas de penetração de calor que concordaram com dados de simulação para feijões em latas de metal.

Em 1982, TEIXEIRA & MANSON publicaram o primeiro trabalho que faz um controle em linha para correção de desvios de processos térmicos. Eles utilizaram um microprocessador de dados e um modelo numérico que simulava o que acontecia no interior de uma embalagem, como resultado de mudanças de temperatura na superfície da embalagem.

Um estudo voltado para a indústria de silicone fez o uso de um "*data logger*" conectado a um microcomputador para coleta de dados de temperatura, pressão e fluxo

em reatores (GOLDFARB, 1983). Esses dados foram processados no microcomputador através do uso de programas para os cálculos de balanço de energia e massa.

MULVANEY et al. (1985) informaram sobre um conjunto de experimentos em controle de processos para um curso de Engenharia de Alimentos. Para tanto, utilizaram um "*digital multimeter*" (*Keithley Instruments Inc.*, Cleveland, EUA) para a conversão A/D de dados, com uma resolução de 1μV. No relatório, fazem também uma boa discussão de linguagens de programação mais apropriadas para a automação de controle de processos. A linguagem por eles escolhida foi Fortran.

A influência da exatidão das medidas de temperatura no cálculo de $F_0$ foi revista por LAPPO & POVEY (1986) num extenso trabalho sobre um sistema de controle com microprocessador. Segundo este estudo teórico, uma exatidão de +/- 0,3 $^0$C e +/- 1% na medida de temperaturas da autoclave produziria reduções significantes no tempo de processo (aproximadamente 12% do tempo total de processo). Foi utilizado um conversor A/D de no máximo 25 μs e uma sensibilidade de 10mV. Os sinais dos termopares utilizados nesta pesquisa foram multiplexados em um "*input*" analógico e amplificados no "*hardware*". Uma frequência de 10 s foi utilizada para a obtenção de uma média de 20 medidas, dos 16 termopares.

Um trabalho mais recente faz uma aplicação da aquisição de dados e controle em linha com computador no processamento de alimentos em latas hermeticamente fechadas (GILL et al.,1990). As letalidades determinadas em tempo real foram comparadas com aquelas obtidas numericamente pela simulação da penetração de calor através do método de diferenças finitas. Os dois programas de controle (termopar-na-lata e numérico) foram comparados pela sua habilidade para responder a desvios de processos. Foi observada uma dependência marcante da letalidade de processo com os tamanhos das latas utilizadas, as latas maiores recebendo mais calor do que as menores. Também constatou-se que para latas de perfil achatado as letalidades calculadas

numericamente se mostraram abaixo do valor alvo e ficou claro que produtos em latas pequenas e/ou aquecidos convectivamente deveriam ser processados sem uma correção da contribuição de letalidade da fase de resfriamento. Obteve-se um bom ajuste das curvas de simulação e de temperaturas reais. Demonstrou-se ainda o quão dependente a estimativa numérica se faz da exatidão da medida de difusividade térmica e condições de controle adotadas, neste caso, as temperaturas do meio de aquecimento e resfriamento.

Desde então, alguns trabalhos têm sido publicados sobre modelos matemáticos e simulações em computadores com diferentes soluções matemáticas. (SIMPSON et al., 1993 e revistos por TEIXEIRA & TUCKER, 1997).

FASTAG et al.(1996) fizeram uma interface de um microcomputador com uma retorta de batelada para um controle digital PI da temperatura da autoclave. O conteúdo residual de tiamina foi então medido e a letalidade simulada através de um modelo de diferenças finitas. Foram verificados erros nas medições dos termopares de 0,18 a 1,8 $^{0}$F resultando num erro do cálculo da letalidade acumulada de 2,3 a 26%. Os resultados de simulação dos valores de letalidade mostraram que o programa subestimou a maioria destes valores. Justificou-se um melhor conhecimento das variações das propriedades térmicas com a temperatura como um dos motivos para os erros encontrados. Também a consideração de um coeficiente de transferência de calor tendendo ao infinito não é uma consideração real, principalmente em se tratando de um produto que está assentado numa porção de água no interior da autoclave. Durante a ventilação, estas propriedades também foram consideradas constantes o que não acontece na realidade.

### IV.9.Bandejas Semirígidas Autoclaváveis

Novos recipientes para alimentos processados, tais como, embalagens plásticas retangulares, bolsas flexíveis e embalagens de aquecimento rápido têm sido

desenvolvidos em resposta à identificação de um potencial de consumo para alimentos estáveis de prateleira, tipo "ready-to-eat-meals" (GHAZALA et al.,1995). A espessura delgada da geometria destes recipientes permite uma considerável vantagem no aquecimento e no resfriamento rápido do produto se comparado à lata cilíndrica convencional de metal. Desta maneira, reduz-se o tempo necessário de autoclavagem com as decorrentes vantagens na qualidade do produto final. Em se tratando de simulações, estas embalagens são referidas na literatura como "flat containers" (recipientes achatados) e "thin profile package" (embalagens de perfil delgado).

O principal objetivo de se processar produtos alimentícios em recipientes de perfil delgado é o de promover uma melhor retenção da qualidade do produto. Para tanto, os tempos de processo precisam ser suficientes para assegurar a esterilidade comercial do produto.

Segundo SNYDER & HENDERSON (1989), para alimentos com aquecimento por condução, as bolsas conseguem reduzir o tempo de processamento em 67,5%, comparado com o processo tradicional do enlatado. É interessante notar que outros estudos de simulação teórica existem para recipientes achatados, (OHLSSON,1980) ou então para embalagens de perfil delgado (GHAZALA et al., 1991).

Muito pouco tem sido feito no estudo de embalagens semi-rígidas em processamentos térmicos com alimentos. Alguns estudos foram feitos comparando-se latas cilíndricas metálicas convencionais e recipientes plásticos cilíndricos de iguais dimensões (BERRY E BUSH,1988; LU et al.,1991). Ambos os grupos de pesquisadores concluíram que a taxa de penetração de calor nas embalagens plásticas foi menor e que deve-se levar em consideração a transferência não-simétrica de calor, devido às diferenças físicas do material usado na superfície superior (metal ou outro material distinto do material da bandeja).

GUNTENSPERGER & ESCHER (1994) estudaram as mudanças oxidativas em carne de porco moída esterilizada em bandejas de plástico de alta barreira e bandejas de alumínio. As bandejas de plástico mostraram uma melhor preservação da qualidade do produto. MILTZ et al. (1995) encontraram uma melhor preservação de qualidade em pedaços de "grapefruit" processados em bandejas de plástico de multicamadas do que em latas durante tratamento térmico. Entretanto, as taxas das reações de escurecimento enzimático e de degradação do ácido ascórbico, durante estocagem a 35°C foram maiores nas bandejas do que nas latas.

Recentemente, GHAZZALA et al. (1995) estudaram a pasteurização de produtos marinhos embalados em bandejas. KEBEDE et al. (1996) também fizeram um interessante trabalho de comparação de testes de penetração de calor e preservação de qualidade entre as bandejas plásticas e as latas de metais. Este trabalho concluiu que produtos no formato de placas planas infinitas podem ser processados a temperaturas mais elevadas do que os processos convencionais com uma melhor retenção de qualidade do que produtos em formas cilíndricas tradicionais. Este resultado também concorda com os resultados obtidos por SILVA et al. (1994), no seu estudo de otimização de processos.

Um trabalho também feito com bandejas de alumínio, preenchidas com soluções de carboximetil celulose e submetidas à esterilização foi feito por ORTIZ et al. (1995). Neste trabalho, a performance das bandejas de alumínio frente ao tratamento térmico foi testada quanto a sua resistência vertical, selagem da embalagem e o efeito de contaminantes na área de selagem.

## IV.10.Efeitos da Pressão no Processamento de Embalagens Plásticas Semi-rígidas

Devido a sua flexibilidade inerente, presente até mesmo nas embalagens plásticas rígidas quando submetidas a altas temperaturas, estes sistemas de embalagens estão propensos à deformação. Durante o tempo inicial de aquecimento da retorta e durante o período de manutenção da temperatura elevada de processo, a pressão dentro da embalagem pode aumentar consideravelmente e causar a deformação do recipiente além de por em risco a integridade do fechamento da embalagem, podendo inclusive comprometer a esterilidade, se não forem tomadas medidas para se contrabalançar as pressões nas paredes e extremidades do recipiente.

Nos trabalhos de PATEL et al.(1991), foi determinado que a pressão interna na embalagem aumenta com o aumento do volume do espaço livre e o aumento da temperatura do produto. Uma maneira de se realizar o cálculo desse novo volume, sabendo-se a temperatura e pressão máximas seria usar a Lei de Dalton para gases ideais, conforme WEINTRAUB et al.(1989). Neste caso, a pressão interna da embalagem é calculada como sendo igual à pressão na autoclave devido à natureza flexível da embalagem.

Segundo RAMASWAMY (1983), é uma prática comum na esterilização de alimentos em embalagens flexíveis e semi rígidas, a superimposição de pressão de ar durante o aquecimento para contrabalançar o estufamento da bolsa ou bandeja devido à expansão de gases não condensáveis os quais poderiam diminuir as taxas de transferência de calor no produto alimentício . Os requisitos de sobrepressão, segundo o mesmo artigo, poderiam ser minimizados com o uso de vácuo inicial no recipiente. Um dos problemas encontrados nos processamentos com sobrepressão de ar é a formação de bolsões de ar no meio de aquecimento que podem isolar os recipientes das altas taxas de transferência de calor normalmente encontradas devido à condensação do vapor na superfície da embalagem.

Misturas de vapor e água para o processamento de produtos em embalagens do tipo bolsas autoclaváveis têm sido utilizadas por um número grande de pesquisadores (por exemplo, LEBOWITZ & BHOWMIK, 1989). Eles utilizaram uma sobrepressão de ar de 117 kPa e vapor foi injetado para levar a temperatura da água para 65 $^{0}$C. Enquanto o coeficiente de transferência de calor entre a superfície de uma lata e o meio de aquecimento de vapor é considerado, tendendo ao infinito, este não é o caso para as embalagens autoclaváveis em água pressurizada ou mistura de ar-vapor. Os resultados do estudo piloto feito por RAMASWAMY et al. (1983) para medir coeficientes de transferência de calor superficiais associados com misturas de vapor – ar mostram que para a temperatura de 121,1°C, os coeficientes variam de 1310 a 11938 (W/m$^2$ °C) para taxas de vapor de 51a 97% respectivamente.

Segundo CARDELLI (1992), para vapor puro e para uma mistura com 90% de vapor e 10% de ar, o coeficiente de transferência de calor apresentou-se dentro da faixa conservativa de mais ou menos 5%, relatada por TUNG et al. (1984). Os blocos simuladores de bolsas flexíveis utilizados por estes pesquisadores foram similares aos usados por CARDELLI (1992), sendo blocos de nylon-6 de 110 x150 mm com espessura de 15 mm, com propriedades semelhantes a dos alimentos: difusividade térmica de 9,310$^{-8}$ m$^2$/s e condutividade térmica de 0,245 W/m°C. O valor do coeficiente de transferência de calor limitante calculado foi de 1300 W/m$^{2o}$C, usando-se as relações sugeridas por RAMASWAMY et al.(1983).

# V. MATERIAIS E MÉTODOS

## V.1.Equipamentos

O trabalho experimental consistiu no monitoramento, em tempo real, de temperaturas, usando-se dois tipos de sistemas de aquisição de dados: sistema Doric e sistema Genie (Genie, v. 3.0 – *ADVANTECH, CO., E.U.A.)* – sistema em foco neste trabalho, que consiste de software, uma placa de aquisição A/D ( PCL – 818H - *ADVANTECH, CO., E.U.A.)* e uma placa multiplexadora e amplificadora dos dados analógicos ( PCLD – 789D - *ADVANTECH, CO., E.U.A.).*

Utilizou-se um microcomputador PS/2 IBM, controlado pelo software "Control View" (Allen Bradley, E.U.A.), devidamente conectado à autoclave ALLPAX (Allpax, Products Inc., E.U.A.) que se encontra em planta piloto na Faculdade de Engenharia de Alimentos , Universidade Estadual de Campinas, para o desenvolvimento dos processos.

Para o processamento de bandejas plásticas foi utilizado uma estrutura feita em aço inoxidável para o suporte das bandejas, conforme figura 1. Esta estrutura consiste de prateleiras horizontais com vãos eqüidistantes alternados de 3 a 5 cm, para o posicionamento das bandejas. Esses vãos foram previamente calculados de maneira a permitir a expansão do ar residual em bolsas flexíveis com aproximadamente a mesma capacidade volumétrica das embalagens aqui utilizadas. Foram posicionadas camadas de produto e vãos para passagem de água alternadamente, respectivamente com os espaçadores de 3 e 5 cm.

Estas prateleiras são perfuradas para permitir o escoamento do meio de aquecimento e permitir uma distribuição de temperaturas uniforme dentro da autoclave. É aconselhável que a área perfurada seja quase 50% da área total de cada prateleira (ORTIZ et al. ,1995).

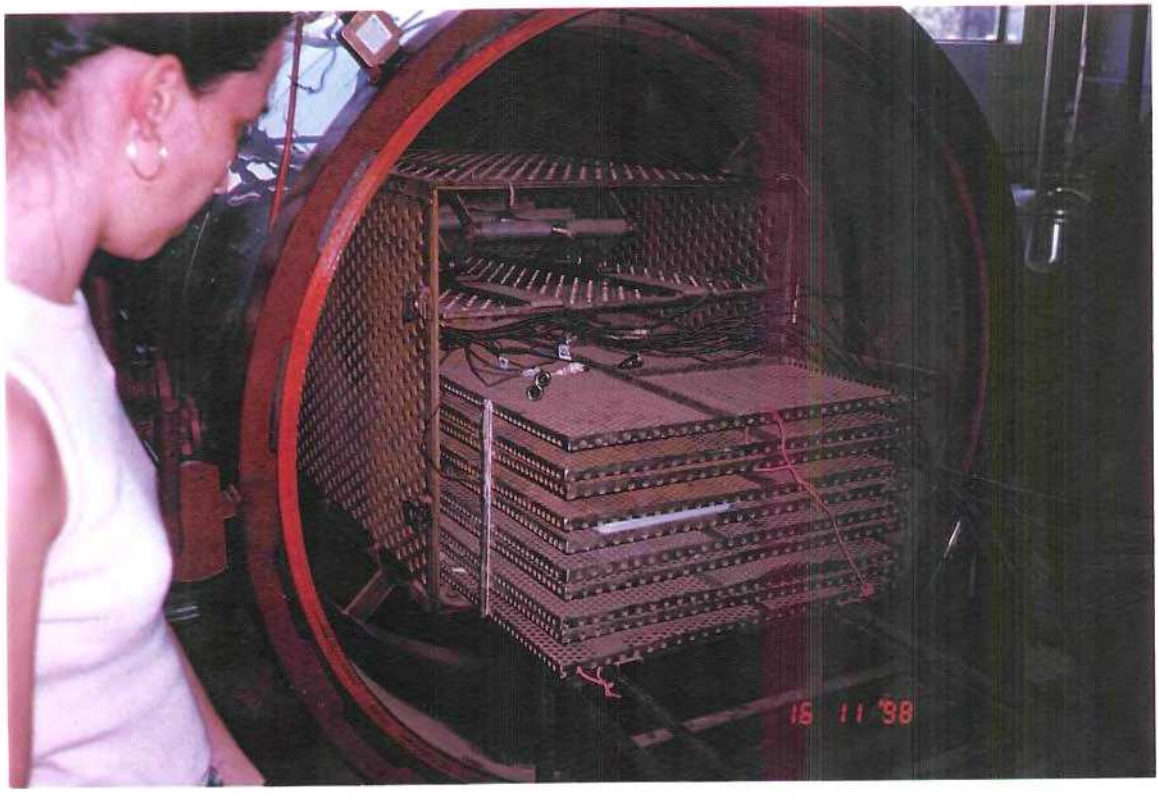



**Figura 1. Suporte para posicionamento das bandejas no interior da autoclave.**

O produto foi posicionado neste suporte de maneira a receber o menor gradiente de temperaturas durante o processo. A região central e frontal segundo um estudo de distribuição de temperaturas nesta mesma autoclave (CRISTIANINI, 1998) é a região mais fria da câmara da autoclave. Por isso as bandejas ficaram restritas a essa região – níveis

3 e 4, num total de 7 níveis, onde os níveis de 0 a 7 referem-se às prateleiras no suporte, contadas debaixo para cima, sendo que a injeção de água do tanque de aquecimento da ALLPAX se faz por baixo.

Um esquema das posições das bandejas em uma das prateleiras pode ser visto na figura 2, a seguir.

| | |
|---|---|
| **Frente esquerda (FE)** | |
| **Centro esquerda (CE)** | **Centro direita (CD)** |
| | |

**Figura 2. Esquema de posicionamento das bandejas em uma prateleira do suporte.**

### V.2. Embalagens:

As embalagens utilizadas foram bandejas plásticas termomoldadas (*Dixie Toga do Brasil, S.A.*). O material utilizado é PP/EVOH/PP expandido (polipropileno/ etileno vinílico álcool/ polipropileno). As dimensões são 244,5 x 187,3 x 22,2 mm e espessura média ao longo da embalagem de 1,2 mm.

### V.3. Selagem das Bandejas:

Utilizou-se uma seladora manual com bobina de filme flexível lateral para duas bandejas, da marca Sunnyvale, (modelo SELBAN M #5819, 1996) que fez a solda do filme plástico à bandeja a quente. O gabarito da solda foi adaptado para o tamanho da bandeja

utilizada e para a conexões C-9, C-10 (*Ecklund Custom Thermocouples*, EUA) do termopar à bandeja.

A selagem foi feita à quente, utilizando-se um filme de PET laminado ( PE, EVOH, PP) (*Itap*). O lado de selagem foi o polipropileno. A gramatura foi de 60μ.

### V.4. Produto a ser Esterilizado:

As matérias-primas para a confecção da refeição individual processada foram obtidas nos mercados locais. Constitui-se de peito de frango resfriado cortado em cubos com 1,5 cm de lado. As refeições foram preparadas em fogões a gás e panelas comuns localizados em laboratório de apoio à planta piloto da Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas.

Para a simulação da autoclave carregada, fez-se uso de recipientes extras contendo solução 10% (p/p) de betonita, tipo Brasgel – FF (*Bentonit União Nordeste do Brasil, S.A.*)

### V.5. Envase

O envase foi realizado à quente (temperatura do produto de aproximadamente 85 °C), manualmente, certificando-se que o volume do espaço livre não ultrapassasse 5% da capacidade líquida do recipiente (OLIVEIRA et al., 1990). Segundo YAMAGUSHI (1990), o volume de ar residual em produtos esterilizados de refeição individual à base de carne ensopada disponíveis no comércio japonês variava de 4,5 a 7,5 $cm^3$ para 180 g de produto. Estes valores foram satisfatórios nos processamentos térmicos em bandejas plásticas.

Para os experimentos, fez-se o envase em duas fases, a fim de diminuir o ar agregado ao produto envasado: primeiro, a parte sólida – o frango – e depois o molho de tomate, procurando obedecer uma relação de 5:8 partes de sólido e molho respectivamente, obtendo um peso líquido final de aproximadamente 600 g de produto. Antes do envase do frango, um cubo de frango foi cuidadosamente inserido na extremidade do termopar a fim de se obter a menor temperatura desenvolvida no interior da embalagem.

### V.6. Testes das Embalagens: Antes e Depois dos Processos

A pesagem da bandeja foi feita antes e após o processamento. O pH do alimento homogenizado foi medido antes e depois dos processos térmicos.

Foram realizadas determinações de volume de ar residual antes e depois do processo.

Para as medições do volume de ar residual antes do processo utilizou-se um método empírico não-destrutivo, baseado na relação do espaço livre da embalagem em posição vertical (certificando-se de que as bolhas de ar da embalagem se deslocassem para esse espaço livre) com o volume de ar residual que estas mesmas embalagens apresentaram, segundo procedimento descrito por CAMPBELL & RAMASWANY (1992). O método consiste em se abrir cuidadosamente a embalagem embaixo d'água permitindo que os gases nela contidos escapem e sejam coletados numa bureta invertida. Foi utilizado um funil para auxiliar na captação do ar e a leitura foi diretamente feita na proveta, conforme explicado em CARVALHO (1992). Por este ser um método destrutivo foi utilizado na medição do volume de ar residual após o processo.

## V.7. Estabelecimento dos Processos

Imersão em água com contra-pressão (ORTIZ et al., 1995):

- Temperatura do produto no início do processo de aproximadamente 28 °C;
- Temperatura de processo: 116°C e 118°C;
- Temperatura da água antes da transferência de 118 °C e 121°C;
- Temperatura da água de resfriamento 26 °C;
- Pressão de processamento estipulada para 23 p.s.i ;
- Sem agitação;
- No resfriamento, reduziu-se a pressão para 18 p.s.i. até Ti = 45 °C e para 2,7 p.s.i. quando Ti = 40 °C (Ti = temperatura no meio de aquecimento da autoclave).

Estes parâmetros de processo são ajustados automaticamente pelo programa "Control View" (*Allen Bradley*, E.U.A.), na autoclave ALLPAX uma vez que são inseridos no sistema como uma receita de processo.

## V.8. Sensores de Temperatura

Para a aquisição dos dados de temperatura, foram usados termopares tipo "T" de cobre e constatan de 4" e calibre 30 (*Ecklund Custom Thermocouples*, EUA). Os termopares foram ligados a cabos de extensão de cobre e constantan de diâmetro de 0.80 mm EXPPT-20 (*OMEGA.*, EUA) por meio de conectores tipo C-09 e C-10 (*Ecklund Custom Thermocouples*, EUA). Os cabos de extensão da saída foram conectados ao computador via unidade FEM (front end module – conforme descrita na seção V.10.3 –

Sistema Doric de aquisição de dados de temperatura) e desta à unidade DORIC ; os mesmos foram conectados à placa PCLD – 789D, através de conectores Omega.

Os termopares foram inseridos nas embalagens antes do envasamento das mesmas. Foram posicionados no centro geométrico da embalagem. Foi usado um dispositivo de suporte do termopar feito de borracha vulcanizada – EPDM - 150, cortada em círculos de 2,5 cm de diâmetro (*Ecklund-Harrison Technologies*, EUA) e colados com cola resistente a altas temperaturas, sistema de adesão de poiliolefínicos– Loctite 406/757(*Loctite Brasil S.A)*( CRISTIANINI, 1998).

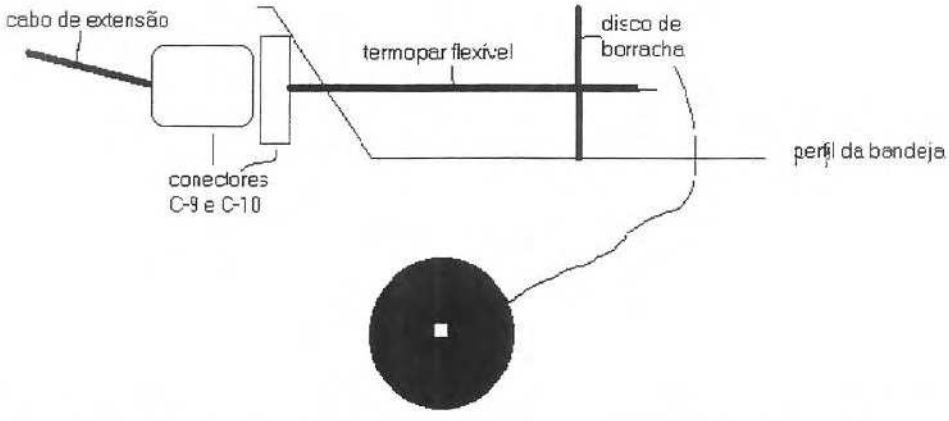



**Figura 3. Esquema de montagem dos conectores e temopar nas bandejas. Detalhe do dispositivo de suporte do termopar.**

Além de um termopar em cada embalagem, foram fixados termopares em duas posições diferentes no suporte das embalagens para monitoramento das temperaturas no meio de aquecimento.

A diferença da voltagem de cada termopar (f.e.m.) foi lida na placa PCLD-789D que faz automaticamente a compensação da junção de referência. A variação da temperatura com a voltagem se faz segundo um polinômio de 9º grau e na faixa de temperaturas

utilizada, essa voltagem varia de 0,830 mV +/- 0,08 (21 $^{0}$ C +/- 1) a 5,325 mV +/- 0,10 (122 $^{0}$C +/- 1), conforme tabela fornecida pela OMEGA (1998).[1]

## V.9. – Calibração dos Termopares

Antes da instalação dos termopares nas embalagens, foi realizada a calibração dos mesmos. Utilizou-se para isso o mesmo dispositivo de calibração mencionado por CARDELLI (1992), o qual consiste de um cone de metal com perfurações próprias para se adaptar os conectores C-09 e C-10 dos termopares, de maneira que as juntas quentes dos termopares se encontrem todas em uma única região central no lado interno do cone.

O conjunto termopar – cabo de extensão – aparelho medidor de temperaturas foi calibrado em banho de óleo ( HAAKE B e N3 Fissons, 01-4200, 230 V e 14 A.) à pressão atmosférica. Foram feitas calibrações a 5 temperaturas diferentes: 100, 110, 118, 121 e 123 ºC. Para cada temperatura as leituras foram de 15 em 15 s por 20 min.

## V.10. Sistemas de Aquisição de Dados

### V.10.1. Sistema Genie de Aquisição de Dados de Temperatura:

Duas placas foram utilizadas no sistema Genie de aquisição de dados: a placa PCLD-789D (*Advantech, CO.*, EUA), amplificadora e multiplexadora de sinais, e a placa PCL-818H (*Advantech, CO.*, EUA.), para a conversão A/D.

---

[1] Site oficial na Internet da Omega - www.omega.com

Dados da placa PCL-818H:

- 16 canais de entrada;
- um conversor de aproximação sucessiva de 12 bits;
- programável;
- taxa de conversão: 100 KHz max.;

Dados da placa PCLD-789D:

- leitura em 16 canais, multiplexados para um canal de saída analógico;
- com junção fria de referência embutida, 24,4 mV/°C;
- esta placa é externa ao computador e por isso teve que ser devidamente acondicionada em uma caixa plástica, revestida de um material anti-estático para que se evitasse a formação de ruído no sistema;
- ganhos programáveis de 1 a 1000. Para o caso, o ganho foi de 200;
- filtros de ruídos de sinais em dois níveis.
- de acordo com Advantech IA Technical[2], o tempo de estabilização para cada canal é de 0,05 ms quando o ganho é =1000 e 0,012 ms quando o ganho = 1. Para se ler 16 canais, se levará menos do que 2ms quando o ganho = 1000. Para o ganho = 200 que foi o utilizado, poder-se-ia ter uma taxa de amostragem de 2,4 ms para 8 canais utilizados. Preferiu-se usar taxas de 1s por causa de recursos de memória do computador utilizado.

[2] http://support.advantech.com

É mostrado na figura 4 a seguir, o diagrama de conexão do sistema Genie à autoclave ALLPAX.

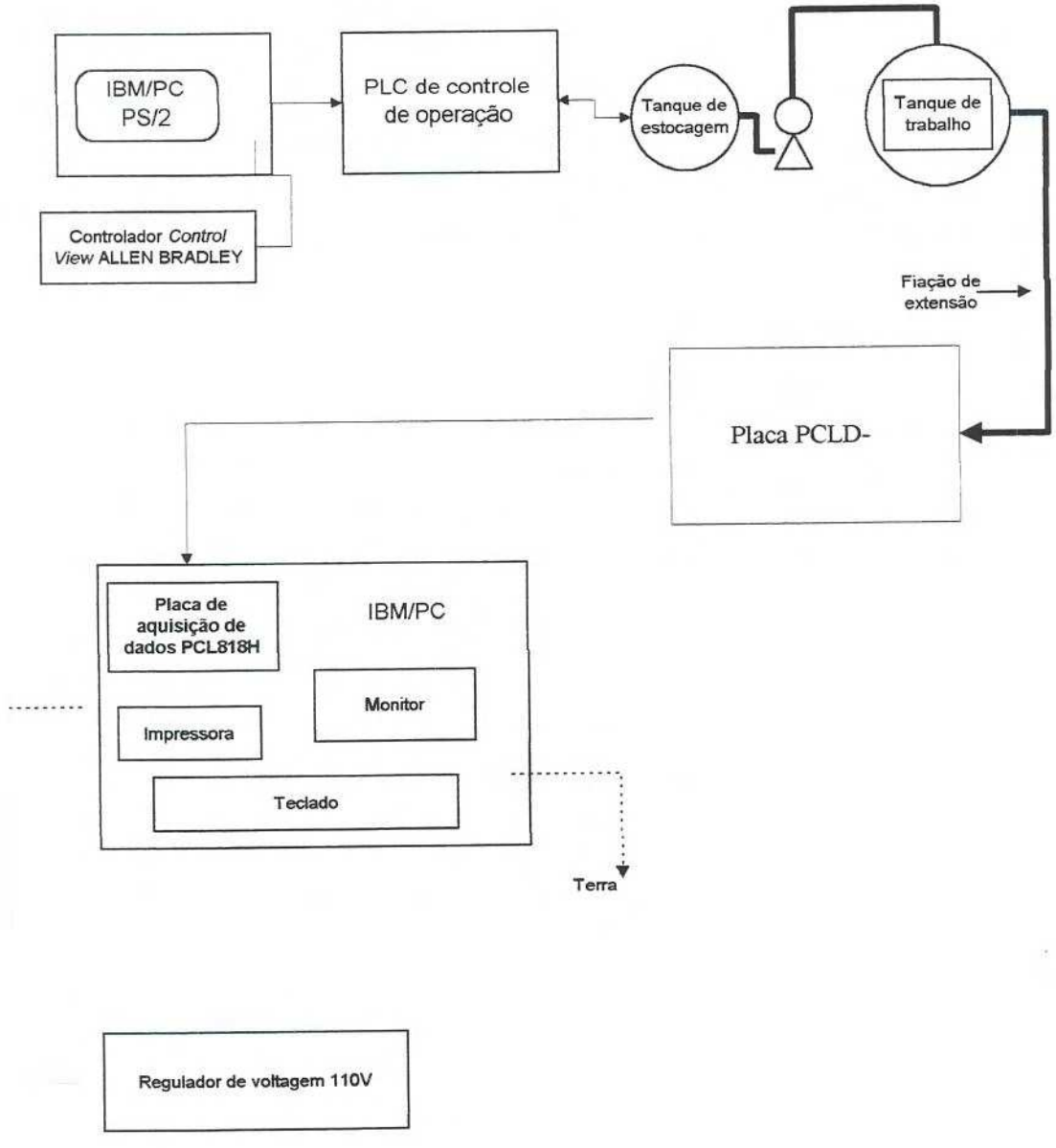



**Figura 4. Diagrama modular do sistema Genie.**

### V.10.2. Calibração das Placas PCL-818H e PCLD-789D

Para a calibração das placas, utilizou-se um milivoltímetro conectado ao plug de saída da placa referente a um canal curto-circuitado. A leitura então deve ser 0,000 mV e os resistores VR08, VR09 e VR10 da placa PCLD-789D foram ajustados adequadamente. Para a calibração da junção fria, foi medida a temperatura ao redor do sensor de temperaturas da placa PCLD-789D, com o auxílio de um termômetro digital e esse valor foi multiplicado por 24,4 mv/ °C, obtendo-se assim a voltagem que foi ajustada segundo resistor VR07 da placa PCLD-789D.

Após a calibração das placas, dois ensaios foram realizados em bancada de laboratório com banho de água a pressão atmosférica e 4 termopares flexíveis, calibre 36 (*OMEGA*, EUA), imersos na água. O banho foi levado à ebulição com o auxílio de uma chapa elétrica. Obteve-se, então, dados de aquecimento do sistema. Depois, ao se desligar a chapa elétrica, foram obtidos os dados de resfriamento.

### V.10.3. Sistema Doric de Aquisição de Dados de Temperatura

Atualmente, na planta piloto do Departamento de Tecnologia de Alimentos da Faculdade de Engenharia de Alimentos – UNICAMP, tem-se disponível o seguinte sistema de aquisição de dados, conforme ilustrado na figura 5:

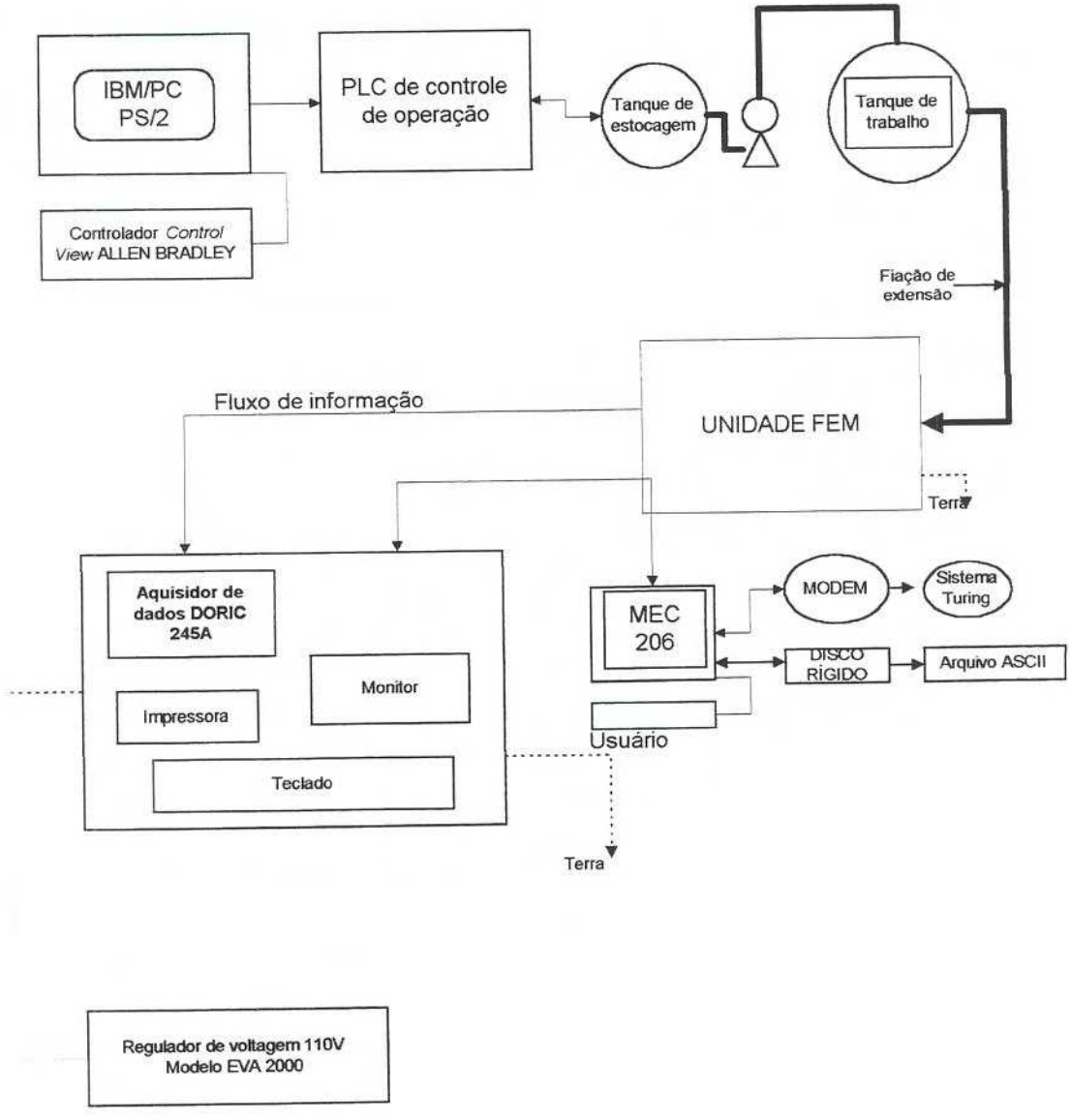



**Figura 5. Fluxograma do Sistema Doric de Aquisição de Dados na Autoclave ALLPAX (Cristianini, 1998).**

Esse sistema é constituído de 3 módulos: a unidade central (main frame) com microprocessador de 16 bits; uma unidade FEM (front end module), com capacidade de conversão de 20 unidades A/D e construída para trabalho em planta; e o sistema DORIC 245 A (*Beckman Ind.*, EUA). Este último possui capacidade matemática multifuncional – realiza média entre pontos, média durante um período de aquisição, diferença entre leituras de várias temperaturas, média de temperaturas de grupos de pontos, valores máximos e mínimos num intervalo de aquisição, taxa de mudança de leituras por um intervalo programado, ajuste de escala e calcula o valor de esterilização $F_0$, segundo método Geral, conforme descrito na seção IV.9.Controle Computadorizado em Autoclaves. A frequência de aquisição de dados para produtos convectivos foi de 0,5 a 1 minuto com 9-12 termopares. O espaço em disco requerido varia com o tipo de aquisição, tempo total e intervalo de leitura. Um exemplo, para 16 canais por 45 minutos, com leitura a cada minuto, foram usados 11000 bytes.

## V.11. Cálculo da Letalidade Acumulada no Sistema Genie e Visualização dos Dados Obtidos

Um programa de computador na linguagem Basic Script (ADVANTECH GENIE.,1997) foi desenvolvido, utilizando-se o software Genie v.3.0 (*Advantech.Co,*EUA) para calcular a letalidade acumulada com o acréscimo no tempo do processo até o valor alvo do $F_o$ ser obtido. Essa letalidade é calculada somando-se as letalidades no ponto crítico da embalagem em cada passo de tempo, usando-se a regra do trapézio (PFLUG, 1990). Nesta metodologia, para se determinar o tempo em minutos de um processo térmico, determina-se primeiramente o efeito de destruição para cada unidade de tempo do processo e, então, soma-se esses efeitos individuais no período total do processo. Um fluxograma mostrando o algorítimo e o diagrama de blocos para o cálculo da letalidade acumulada são mostrados nas figuras 6 e 7. É importante notar que dá-se uma margem de segurança para o processo à medida em que se inicia o resfriamento a partir do

momento em que foi atingido o $F_0$ desejado. No resfriamento há sempre um acréscimo no valor de $F_0$.

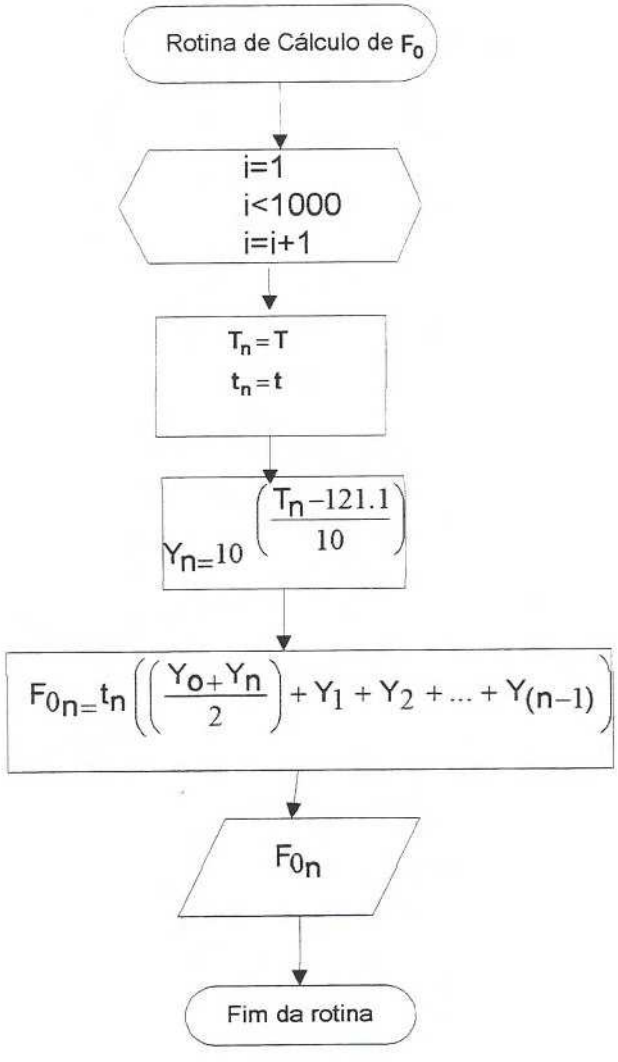



**Figura 6. Algorítimo para Cálculo da Letalidade Acumulada durante o processo.**

onde, $T_n$ refere-se aos dados de temperatura central do produto e $t_n$ refere-se ao intervalo de tempo em minutos entre cada leitura de temperaturas. $Y_n$ é a letalidade instantânea.

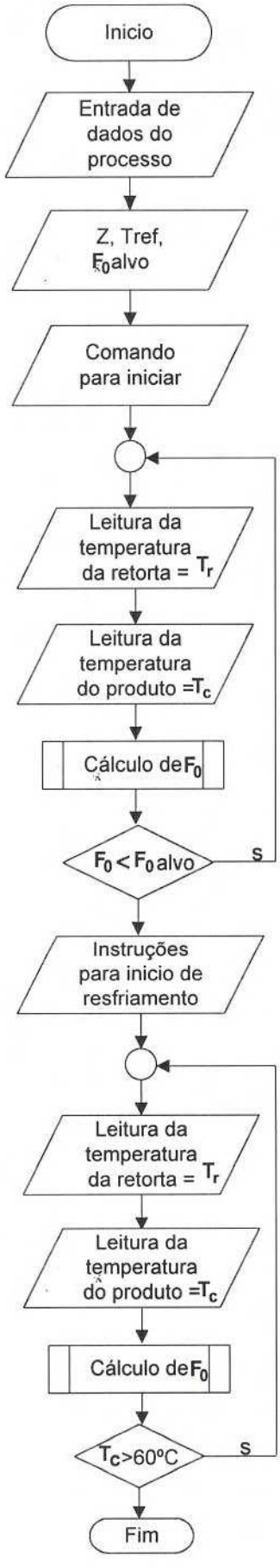



Figura 7. Fluxograma de Blocos para Cálculo do $F_0$

Este mesmo software foi programado para realizar a visualização do perfil de temperaturas e letalidade acumulada no tempo, em gráficos em tempo real com o processamento.

Utilizou-se recursos de sistemas de blocos em linguagem Visual Basic do programa Genie v.3.0, como o dispositivo criador de tarefas (TASK DESIGNER) e o dispositivo de visualização (DISPLAY DESIGNER). Estes dispositivos constituem-se de uma tela básica, onde são inseridos ícones variados de acordo com os objetivos desejados. Exemplos das telas do programa são mostrados nas figuras 8 e 9.

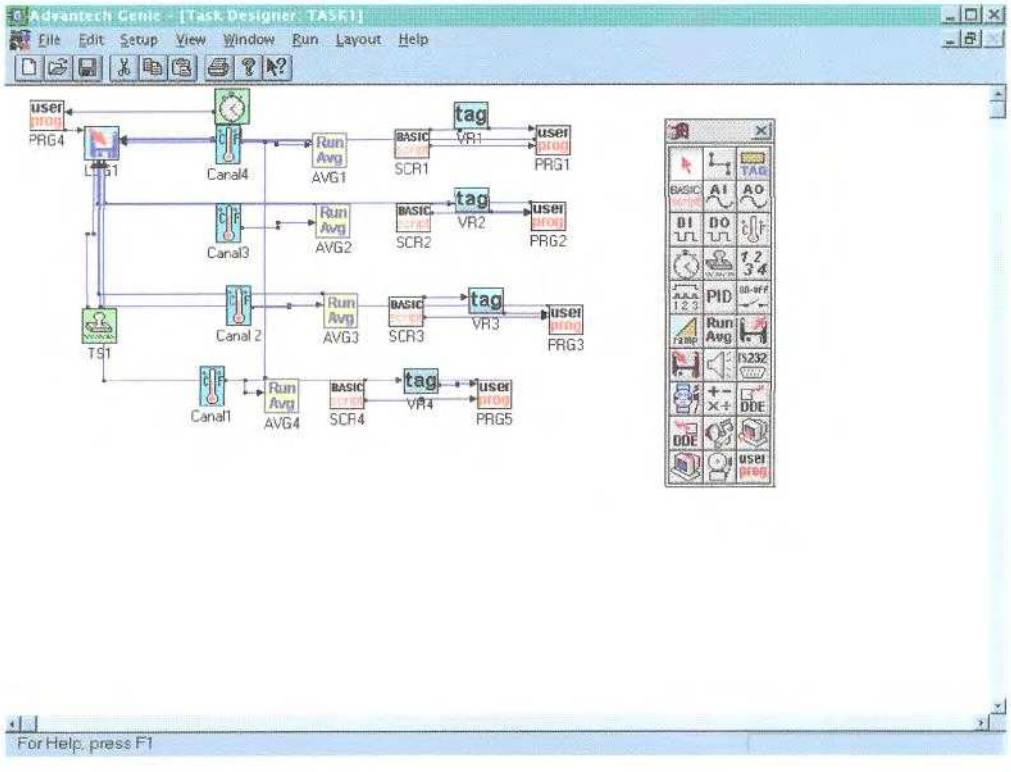



**Figura 8. Dispositivo criador de tarefas do Genie v.3.0 (Task Designer).**

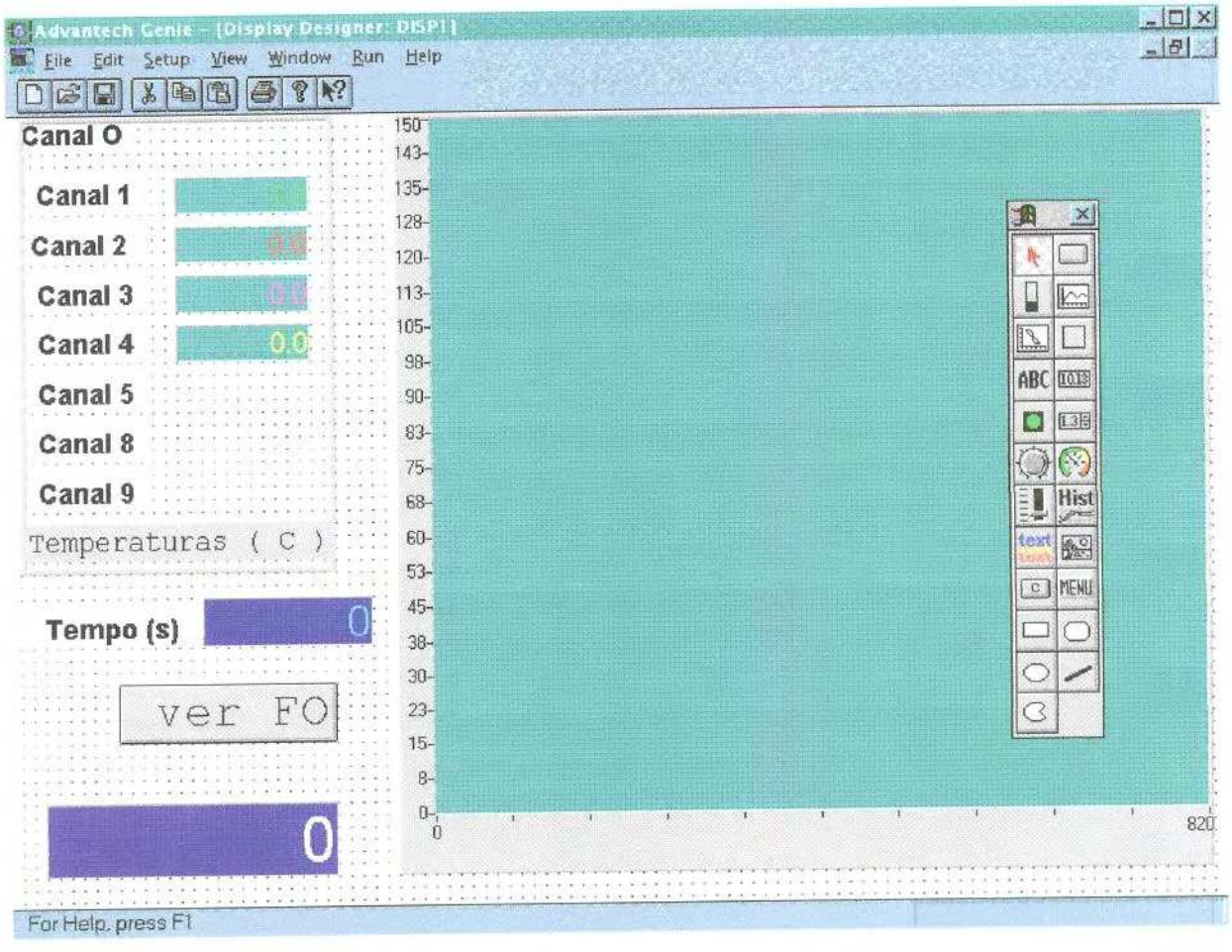



Figura 9. Dispositivo de visualização do Genie v.3.0 (Display Designer).

# VI. RESULTADOS E DISCUSSÃO

## VI.1. Selagem das bandejas

A temperatura de selagem foi ajustada para 180 °C, por aproximadamente 30s de contato. As condições foram determinadas através da selagem de uma solução de azul de metileno, de forma a permitir verificar a infiltração da solução na área de selagem. Além disso, foram feitas avaliações visuais, segundo escala proposta por OLIVEIRA & ALVES (1992) para graus de avaliação visual da área de solda em bolsas esterilizáveis. Para estes testes as avaliações visuais foram de grau S1, o que corresponde a uma selagem uniforme e livre de rugas em sua extensão.

A seguinte receita foi utilizada na confecção das refeições:

- 2 kg de peito de frango, cortado em cubos de 1,5 cm;
- 1350 g de extrato de tomate;
- 60 g de cebola picada;
- 40 ml de óleo de soja;
- 250 ml de água
- sal, alho e pimenta a gosto.

O frango foi aquecido com o alho e a cebola. À parte, o extrato de tomate e os temperos restantes foram levados à temperatura de 85 °C. O envase foi feito a esta temperatura, colocando-se o frango primeiro e depois o molho.

As selagens obtidas nas bandejas com o produto foram classificadas como S2, segundo a escala proposta por OLIVEIRA & ALVES (1992) para graus de avaliação visual da área de solda de bolsas flexíveis autoclaváveis. Este grau representa uma selagem que apresenta enrugamento em menos de 50% da extensão da área de selagem.

### VI.2. Testes das embalagens

O método desenvolvido para determinação do volume de ar residual antes do processo foi descrito no item V.5 Testes da Embalagem, em Materiais e Métodos.

Na tabela 2, tem-se as dimensões da altura do espaço livre medidos em 5 embalagens em posição vertical e os volumes de ar residual nas mesmas embalagens determinados pelo método da bureta invertida, conforme descrito no item V.5 Testes da embalagem.

**Tabela 2. Determinação da relação entre a altura do espaço livre e o volume de ar residual das embalagens.**

| Bandejas | Peso de frango(g) | Peso final bandeja selada (g) | Volume de ar residual (ml) | Altura do espaço livre na embalagem (mm) |
|---|---|---|---|---|
| B1 | 233 | 603 | 13 | 170 |
| B2 | 260 | 601 | 13 | 150 |
| B3 | 233 | 601 | 6 | 111 |
| B4 | 220 | 598 | 2,5 | 106 |
| B5 | 225 | 595 | 2,5 | 105 |

Para estes dados obtidos foi feito um ajuste polinomial de 2º grau. Desta maneira conclui-se que para as proporções de produto mantidas de 5:8 partes de sólido para líquido e obedecendo-se o peso de aproximadamente 600g de produto por embalagem, uma altura de espaço livre na embalagem em posição vertical de aproximadamente 2 cm seria suficiente para garantir um volume de ar residual tal que a embalagem pudesse ser submetida ao processamento térmico, sem que houvesse violação das mesmas (aproximadamente 10 ml de volume de ar residual).

Na figura 10 pode-se verificar as embalagens testadas, colocadas em posição vertical para determinação da altura do espaço livre.

**Figura 10. Bandejas em posição vertical para a determinação da altura do espaço livre.**

Nos ensaios realizados – Processo I e Processo II – as determinações de peso iniciais e finais das embalagens processadas, assim como o volume de ar residual inicial estimado e o volume de ar residual final, foram agrupados na tabela 3. Pode-se também verificar nesta tabela as posições das bandejas no suporte da autoclave, conforme descrito no item V.1. em Materiais e Métodos. Os sub-índices 1 e 2 na nomenclatura das bandejas referem-se respectivamente aos processos I e II realizados na autoclave ALLPAX.

**Tabela 3. Resultados das avaliações das embalagens processadas – Processos I e II.**

| Bandeja | Peso inicial (g) | Peso final (g) | Volume ar residual inicial (ml)** | Volume de ar residual final (ml) | Posição na autoclave |
|---|---|---|---|---|---|
| 1.1* | - | - | - | - | - |
| 2.1 | 708.24 | 708.47 | <10 | 6.2 | CD 4 |
| 3.1 | 725.47 | 725.36 | <10 | 2.9 | CD 3 |
| 4.1 | 694.55 | 694.95 | <10 | 3.1 | CE 4 |
| 5.1 | 654.69 | 654.86 | <10 | 5.7 | FE 4 |
| 6.1 | 696.90 | 696.96 | <10 | 2.1 | CE 3 |
| 7.1 | 610.97 | 611.10 | <10 | **** | FE 3 |
| 1.2 | 692.05 | 692.07 | <10 | 1.8 | CD 3 |
| 2.2 | 679.84 | 680.10 | <10 | 4.8 | CE 4 |
| 3.2 | 686.34 | 686.84 | <10 | *** | CE 3 |
| 4.2 | 638.25 | 638.47 | <10 | 4.7 | CD 4 |
| 5.2 | 687.20 | 687.93 | <10 | 3.3 | FE 3 |
| 6.2 | 660.35 | 660.87 | <10 | **** | FE 5 |
| 7.2 | 626.00 | 626.40 | <10 | **** | CD 5 |
| 8.2 | 636.27 | 636.48 | <10 | 15.4 | FE 4 |

* Embalagem apresentou vazamento;
** Estimativa baseada no espaço livre da embalagem na posição vertical;
*** Utilizada para a medição de pH final = 5.31;
**** Embalagens incubadas a 37°C;

Legenda: duas letras para designar posição na bandeja e um número para indicar o nível na qual foi colocada
CD. Centro direita
CE. Centro esquerda
FE. Frente esquerda

O pH de uma amostra homogenizada de produto foi determinado em medidor de pH digital e resultou no valor de 5,31, o que indica um alimento de baixa acidez.

As embalagens B.71, B.62 e B.72, incubadas em estufa a 37 °C, não apresentaram estufamento após 10 dias de incubação, o que indica que o efeito da esterilização foi satisfatório nos dois processos.

Na figura 11, pode-se verificar a colocação das bandejas já com os devidos termopares no suporte da autoclave. É bem claro na figura o espaçamento alternado entre as placas do suporte. As bandejas foram posicionadas nos níveis em que o espaçamento era de 3 cm. As placas com espaçamento de 5 cm foram deixadas vazias de forma a permitir uma melhor distribuição do meio de aquecimento, no caso, a água, entre as placas.

**Figura 11. Colocação das bandejas conectadas aos termopares no suporte da autoclave ALLPAX.**

Uma avaliação visual foi feita nas embalagens pós-processo, conforme escala proposta por OLIVEIRA & ALVES (1992) para graus de avaliação visual da área de solda de bolsas flexíveis autoclaváveis . Estabeleceu-se o grau S2 como no início do processo para a avaliação da solda das mesmas. Algumas bandejas pós-processo são mostradas na figura 12.

**Figura 12. Embalagens pós-processo para verificação da solda.**

### VI.3. Calibração dos Termopares

Foram calibrados 7 termopares tipo T, sendo 6 termopares de agulha flexível de 4", calibre 30, conectados a cabos de extensão OMEGA 20, através de conectores C-09 e C-10, e um termopar flexível OMEGA.

A calibração foi realizada contra o termômetro digital padrão do banho de óleo, já descrito no item V.9, em Materiais e Métodos.

Obteve-se curvas de calibração para cada termopar nos dois sistemas – Doric , conforme Gráficos 9 a 15 – e Genie, Gráficos 16 a 22, no Anexo I. Pode-se verificar que o fator de correlação ($R^2$ ) dos dados obtidos com o termômetro de referência digital do banho de óleo foram, em 93% dos casos de 0,9994, o que indica uma ótima correlação (tabela 4).

**Tabela 4. Relação dos coeficientes de $R^2$ para todos os termopares calibrados para comparação dos dois sistemas.**

| Termopares | $R^2$ - Genie | $R^2$ - Doric |
|---|---|---|
| 02 | 0,9731 | 0,9998 |
| 05 | 0,9999 | 0,9994 |
| 06 | 0,9966 | 0,9995 |
| 11 | 0,9999 | 0,9998 |
| 13 | 0,9999 | 0,9994 |
| 14 | 0,9991 | 0,9994 |
| Termopar Flexível | 0.9995 | 0.9999 |

Foram correlacionados para cada termopar os dados de leitura no sistema Genie contra o sistema Doric, sendo obtidas as curvas mostradas nos gráficos 23 a 29, no ANEXO I. O valor de $R^2$ obtido foi maior do que 0,99 para mais de 60% dos casos; o termopar 02 mostrou-se com o menor valor de correlação o que reflete seu comportamento durante a calibração no sistema Genie, conforme Tabela 5.

**Tabela 5. Coeficientes $R^2$ das regressões de todos os termopares Genie x Doric.**

| Termopares | Coeficiente $R^2$ das regressões dos dois sistemas Genie x Doric |
|---|---|
| Termopar flexível | 0,9994 |
| T02 | 0,9228 |
| T05 | 0,9992 |
| T06 | 0,9962 |
| T11 | 0,9636 |
| T13 | 0,9638 |
| T14 | 0,9987 |

Além das regressões lineares, uma análise estatística foi feita para cada sistema, em cada temperatura de calibração dos diversos termopares. Estas tabelas estão mostradas no Apêndice I. Na tabela 6, abaixo, os valores dos desvios padrões encontrados durante a calibração foram agrupados para facilitar a análise.

**Tabela 6. Desvios Padrões obtidos durante calibração dos termopares (°C).**

| | 100°C - Genie | 100°C - Doric | 110°C- Genie | 110°C - Doric | 118°C- Genie | 118°C- Doric | 121°C- Genie | 121°C- Doric | 123°C- Genie | 123°C - Doric |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| T02 | 1.2586 | 0.0687 | 1.7019 | 0.0685 | 1.4141 | 0.1401 | 1.2978 | 0.1662 | 0.9618 | 0.1603 |
| T05 | 0.1098 | 0.3193 | 0.0947 | 0.1488 | 0.0507 | 0.1689 | 0.0592 | 0.2040 | 0.0774 | 0.1673 |
| T06 | 0.5440 | 0.1277 | 0.4027 | 0.1377 | 0.6171 | 0.2249 | 0.4222 | 0.2316 | 0.3236 | 0.1975 |
| T11 | 0.0681 | 0.0986 | 0.0655 | 0.1019 | 0.0669 | 0.1425 | 0.0668 | 0.1676 | 0.0635 | 0.1394 |
| T13 | 0.1026 | 0.2585 | 0.0864 | 0.2007 | 0.1194 | 0.1826 | 0.0801 | 0.1830 | 0.0808 | 0.1716 |
| T14 | 0.1553 | 0.1799 | 0.0766 | 0.1586 | 0.1182 | 0.2501 | 0.0815 | 0.1175 | 0.4908 | 0.1235 |
| Tflex. | 0.1669 | 0.0479 | 0.1369 | 0.0572 | 0.1977 | 0.0867 | 0.2178 | 0.0979 | 0.2135 | 0.0691 |

**Tabela 7. Média de Desvios Padrões por Termopar Calibrado (°C).**

| | T02 | T05 | T06 | T11 | T13 | T14 | Tflex. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Doric | 0.1208 | 0.2017 | 0.1839 | 0.1300 | 0.1993 | 0.1659 | 0.0718 |
| Genie | 1.3268 | 0.0784 | 0.4619 | 0.0662 | 0.0939 | 0.1845 | 0.1866 |

Na tabela 7 acima percebe-se que o sistema Genie apresentou o maior desvio padrão no termopar 02 enquanto o sistema Doric apresentou seu maior desvio para o termopar 05. Com exceção do valor de 1,3 para o termopar 02 em Genie os outros desvios se mostraram comparáveis nos dois sistemas.

Ainda analisando estes dados obtidos na calibração, um gráfico para cada sistema da dispersão do delta de temperaturas durante a calibração nas cinco temperaturas estudadas foi feito. O gráfico 1 refere-se à dispersão no sistema Genie e o gráfico 2 refere-se à dispersão no sistema Doric.

Por estes gráficos nota-se que os deltas de temperatura para o sistema Genie variaram numa região de +0,5 a –0,5 °C (desprezando-se a dispersão do delta de temperaturas do termopar 02). Já no gráfico de dispersões para o sistema Doric, o intervalo ficou entre +0,6 e – 0,6 °C para todos os termopares.

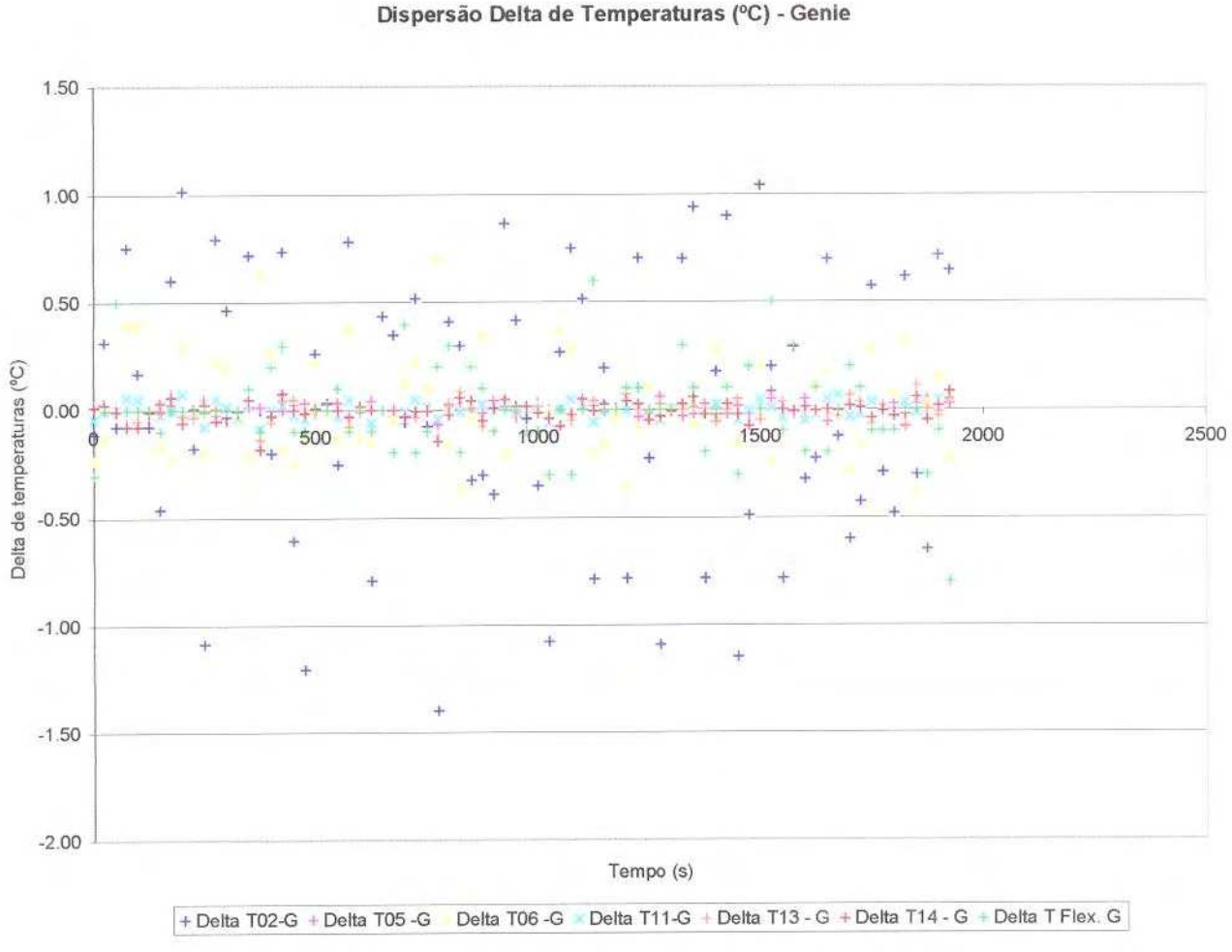



**Gráfico 1. Dispersão do Delta de Temperaturas no Sistema Genie, durante Calibração.**

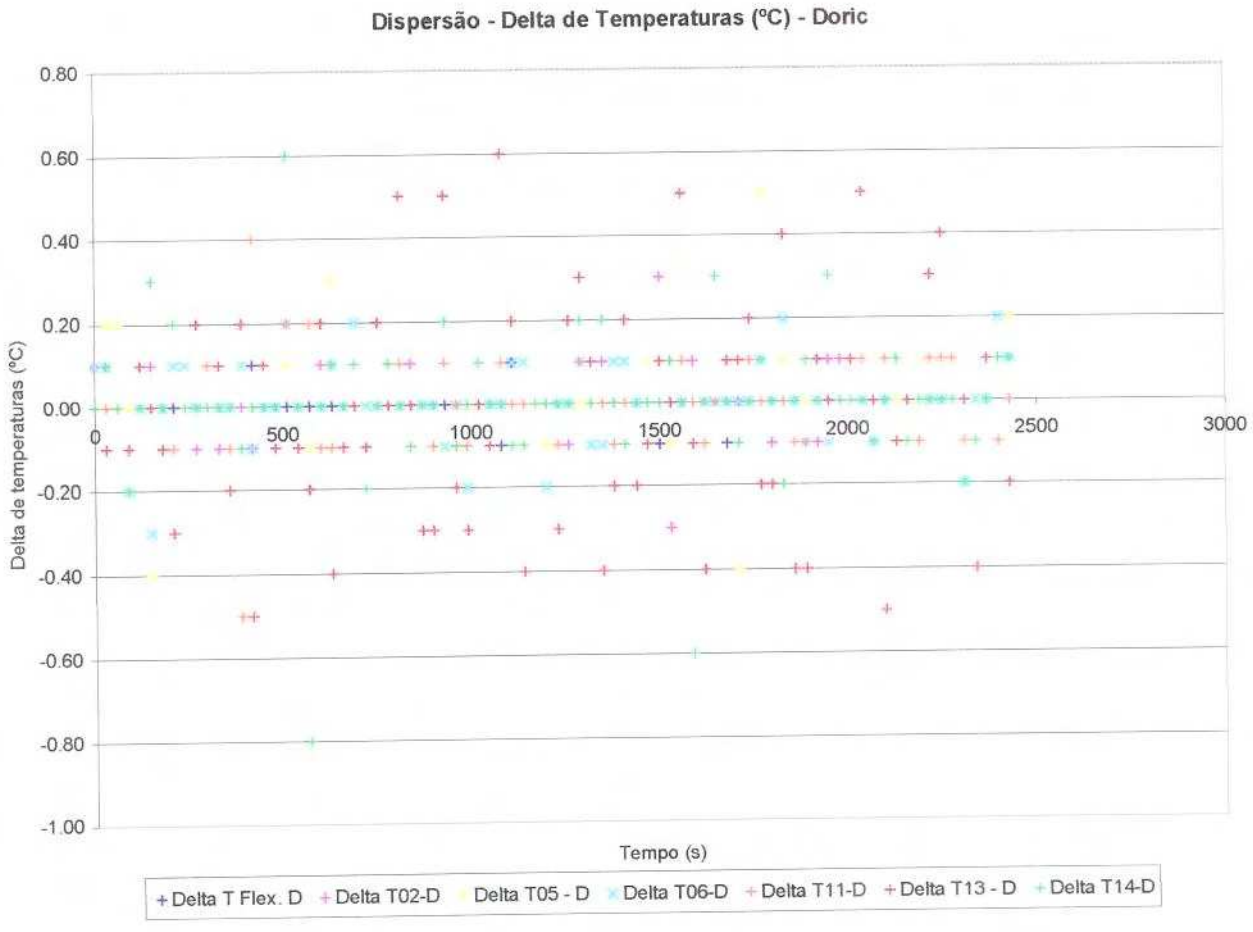



**Gráfico 2. Dispersão do Delta de temperaturas no sistema Doric, durante calibração.**

## VI.4. Ensaios do Sistema Genie

Após a calibração das placas PCL-818H e PCLD-789D com o auxílio do milivoltímetro, conforme descrito em V.10.2, o sistema Genie foi submetido a um teste de bancada, medindo as temperaturas em 4 termopares flexíveis OMEGA 36 em banho de água levado à ebulição.

As visualizações de tela em tempo real do sistema Genie para este teste podem ser verificadas, segundo Figuras 13 e 14, para o aquecimento e resfriamento respectivamente.

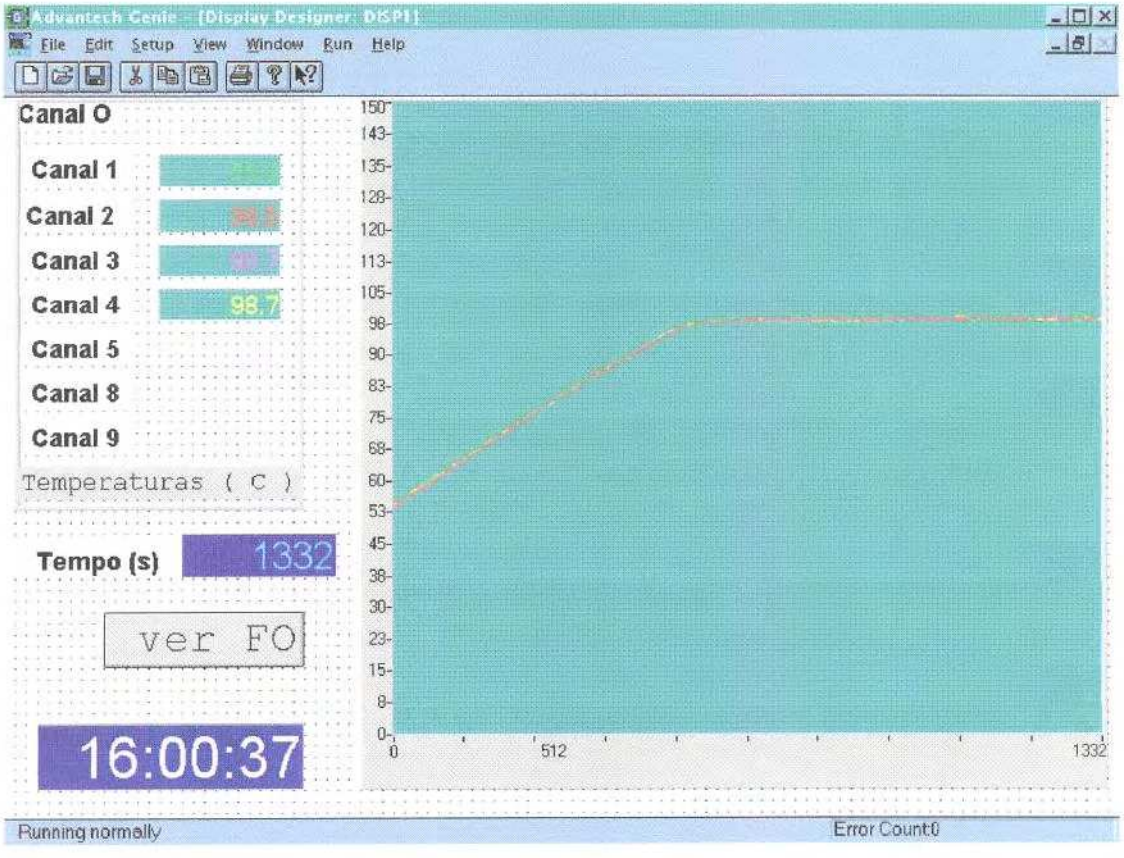



**Figura 13. Visualização da tela do sistema de aquisição Genie, durante teste de banho de água e 4 termopares - aquecimento.**

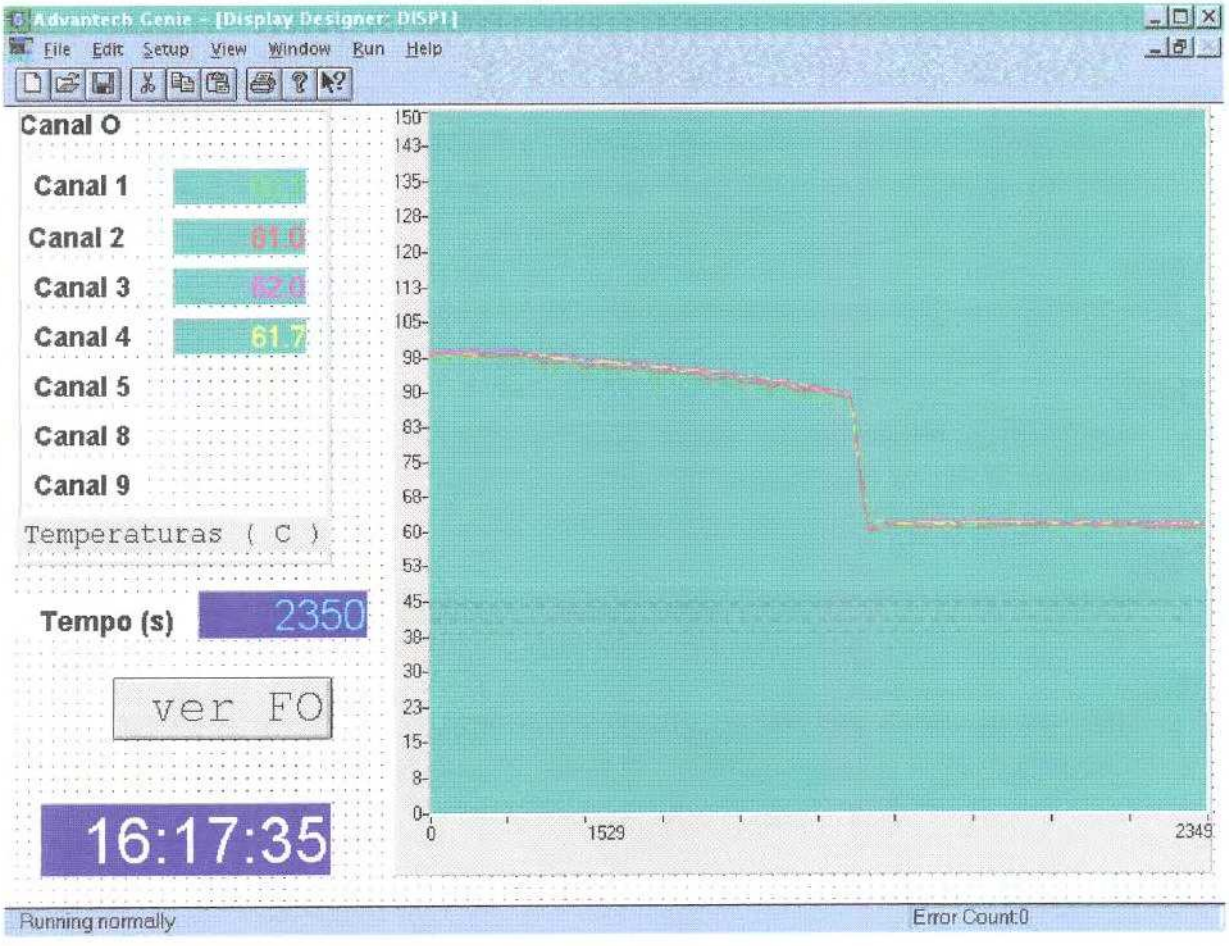



**Figura 14. Visualização da tela do sistema de aquisição Genie, durante teste de banho de água e 4 termopares - resfriamento.**

## VI.5. Processo I – Sistema Genie e Sistema Doric conectados à ALLPAX

O ensaio do processo I foi realizado a uma temperatura de trabalho de 116 °C, com contrapressão de 23.00 psi, durante a fase de esterilização. Utilizou-se 4 termopares tipo T conectados às bandejas e um posicionado de forma a medir a temperatura do meio de aquecimento, monitorados pelo sistema Genie e dois termopares conectados a uma bandeja e outro posicionado no meio da autoclave, monitorados pelo sistema Doric.

**Tabela 8. Termopares, bandejas, posições e sistemas de monitoramento – Processo I.**

| Termopar | T02-Genie | T05 -Genie | T06-Genie | T11-Doric | T13-Doric | T14 - Genie | T Flex.- Genie |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bandeja | B.51 | B.61 | B.31 | B.41 | | B.21 | |
| Posição | FE4 | CE3 | CD3 | CE4 | meio – nível 0 | CD4 | meio – nível 4 |

As fases do processo I foram as seguintes:

- Iníciodo processo: 16:36;
- Início da "Cook phase" (Ster III, na ALLPAX): 16:40:17;
- Fim da "Cook phase" e início do resfriamento: 17:07:20;
- Fim do processo: 17:18:22.

Os resultados dos Processos I foram graficados com o auxílio do programa Excell, a partir das tabelas obtidas durante o processo nos dois sistemas. Os dados foram adquiridos de 5 em 5 s em ambos os sistemas.

Para fins de comparação dos dois sistemas em estudo, os dados de temperatura e letalidade acumulada adquiridos pelo sistema Genie e pelo sistema Doric durante o

processo foram colocados em um mesmo gráfico – gráficos 3 e 4, respectivamente, mostrando o perfil de temperaturas desenvolvidas durante o processo e as letalidades acumuladas.

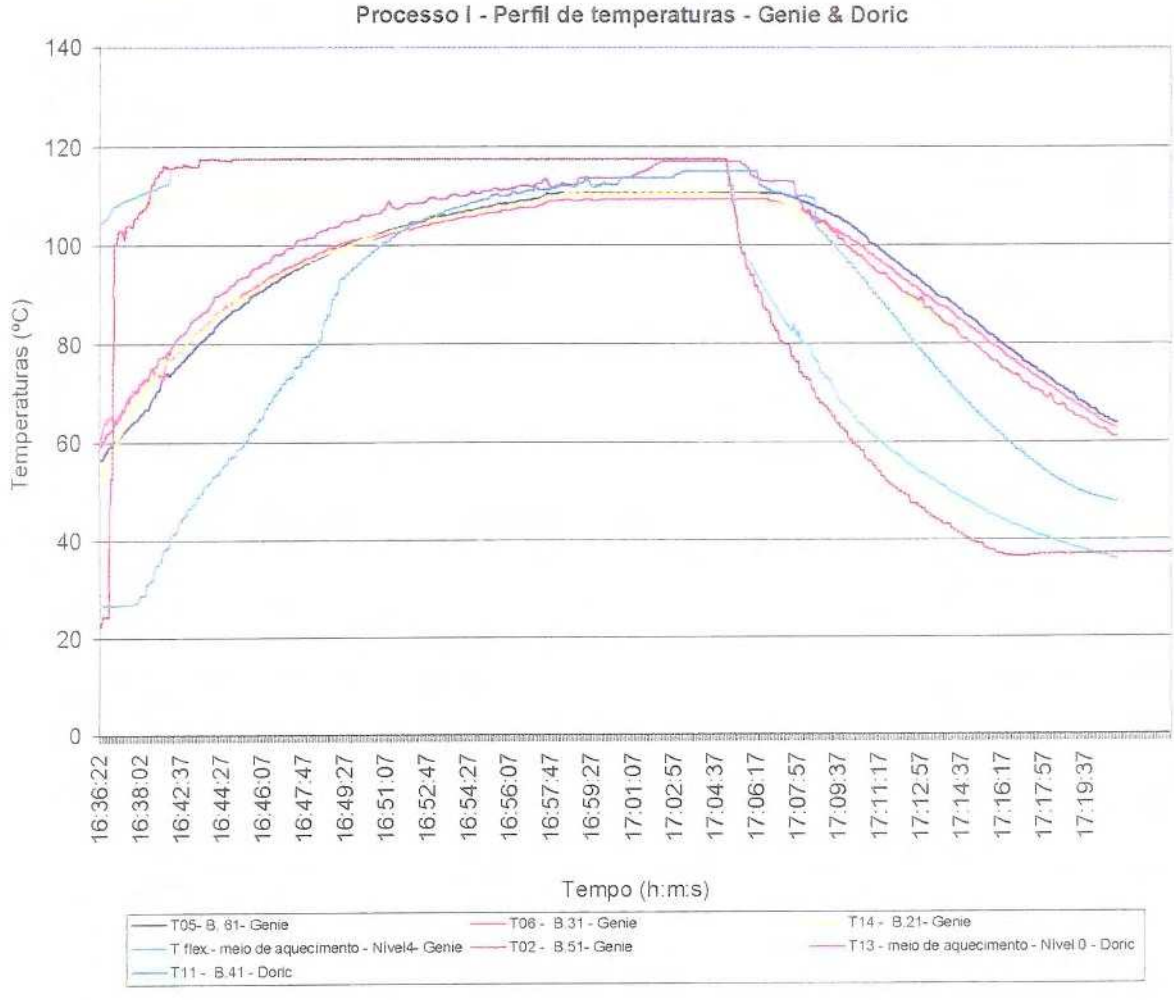



**Gráfico 3. Perfil de temperaturas desenvolvidas durante o Processo I, obtido pelos sistemas Genie e Doric.**

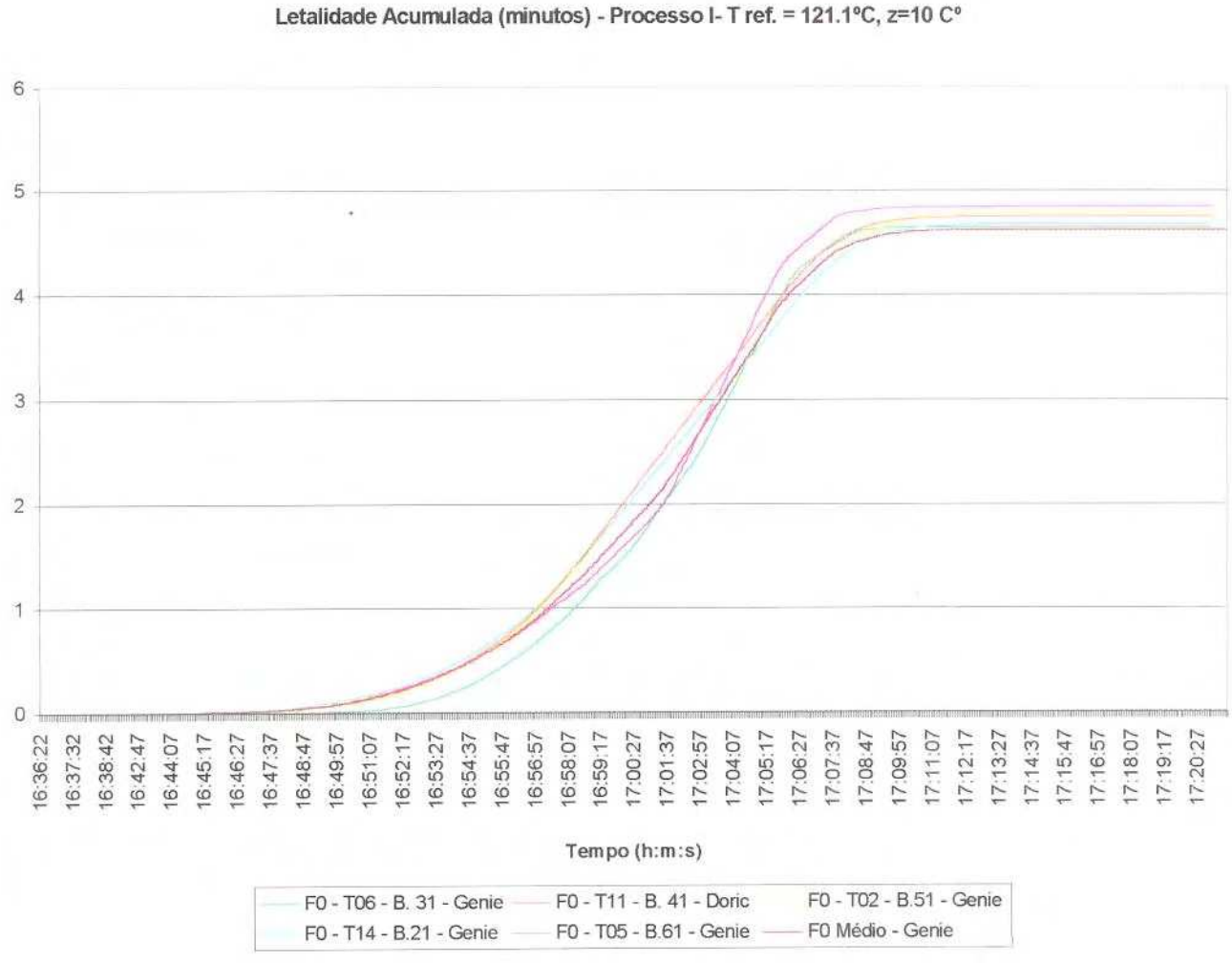



**Gráfico 4. Letalidade acumulada obtida pelo sistema Genie e Doric em tempo real durante Processo I.**

Na análise visual dos gráficos percebe-se que as bandejas que se encontravam nas regiões mais quentes no interior da autoclave desenvolveram temperaturas mais elevadas durante o processo e consequentemente uma letalidade maior no final do processo.

Os valores de $F_o$ obtidos estão relacionados com a posição da bandeja no interior da autoclave na tabela 9 e pode-se perceber o padrão de distribuição de temperaturas.

**Tabela 9. Relação entre Letalidades obtidas e posições na autoclave .**

| Termopar | Sistema | Bandeja | Posição na autoclave | Letalidade Acumulada (minutos) |
|---|---|---|---|---|
| T02 | Genie | B.51 | FE4 | 4.78 |
| T05 | Genie | B.61 | CE3 | 4.74 |
| T06 | Genie | B.31 | CD3 | 4.64 |
| T11 | Doric | B.41 | CE4 | 4.84 |
| T14 | Genie | B.21 | CD4 | 4.67 |

A média da letalidade acumulada calculada pelo sistema Genie foi de 4,62 min e está abaixo do valor de letalidade calculado pelo sistema Doric, na bandeja B.41 – 4,84 min. Portanto, não ouve diferença significativa no cálculo da letalidade acumulada para os dois sistemas .

Além disso, através da análise visual dos gráficos obtidos, percebe-se a correlação dos dois sistemas de aquisição de dados.

## VI.6. Processo II – Sistema Genie e Sistema Doric conectados à ALLPAX

O ensaio do processo II foi realizado a uma temperatura de trabalho de 118 °C, com contrapressão de 23,00 psi, durante a fase de esterilização. Utilizou-se 4 termopares tipo T conectados às bandejas e um posicionado de forma a medir a temperatura do meio de aquecimento, monitorados pelo sistema Genie e dois termopares conectados a uma bandeja e outro posicionado no meio da autoclave, monitorados pelo sistema Doric.

**Tabela 10. Termopares, bandejas, posições e sistemas de monitoramento – Processo II.**

| Termopar | T02-Genie | T05 -Doric | T06-Doric | T11-Genie | T13-Genie | T14 - Genie | T Flex.- Geni |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bandeja | B.42 | B.32 | | B.12 | B.52 | B.22 | |
| Posição | CD4 | CE3 | meio – nível 0 | CD3 | FE3 | CE4 | meio – nível 4 |

As fases do processo II foram as seguintes:

- Início do processo: 15:02;
- Início da "Cook phase" (Ster III, na ALLPAX): 15:15:17;
- Fim da "Cook phase" e início do resfriamento: 15:48:13;
- Fim do processo: 16:05:17.

Os resultados dos Processos II foram graficados com o auxílio do programa Excell, a partir das tabelas obtidas durante o processo nos dois sistemas. Os dados foram adquiridos de 7 em 7 s em ambos os sistemas.

Para fins de comparação dos dois sistemas em estudo, os dados de temperatura e letalidade acumulada adquiridos pelo sistema Genie e pelo sistema Doric durante o processo foram colocados em um mesmo gráfico – gráficos 5 e 6, respectivamente, mostrando o perfil de temperaturas desenvolvidas durante o processo e as letalidades acumuladas.

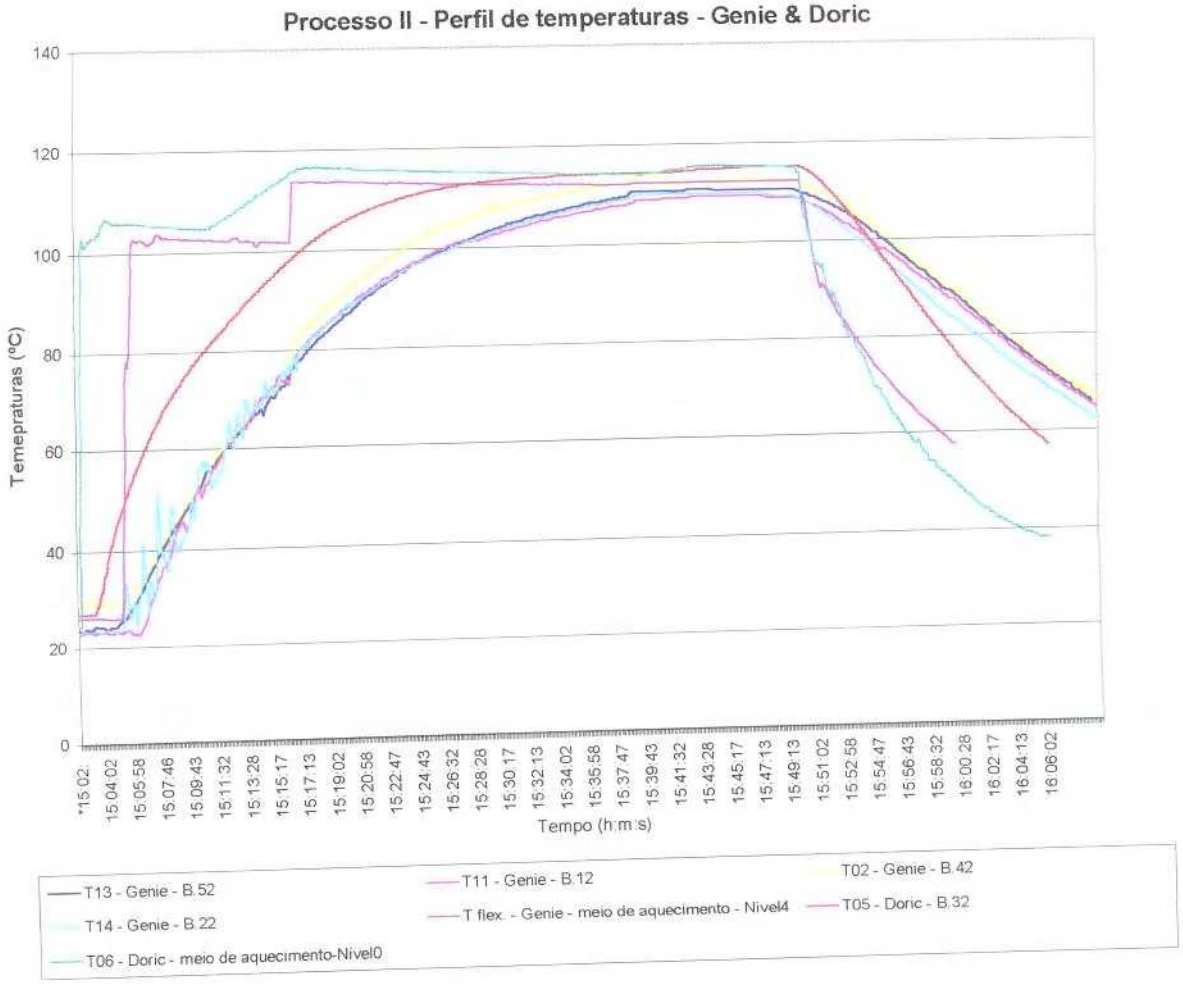



**Gráfico 5. Perfil de temperaturas desenvolvidas durante o Processo II, obtido pelos sistemas Genie e Doric.**

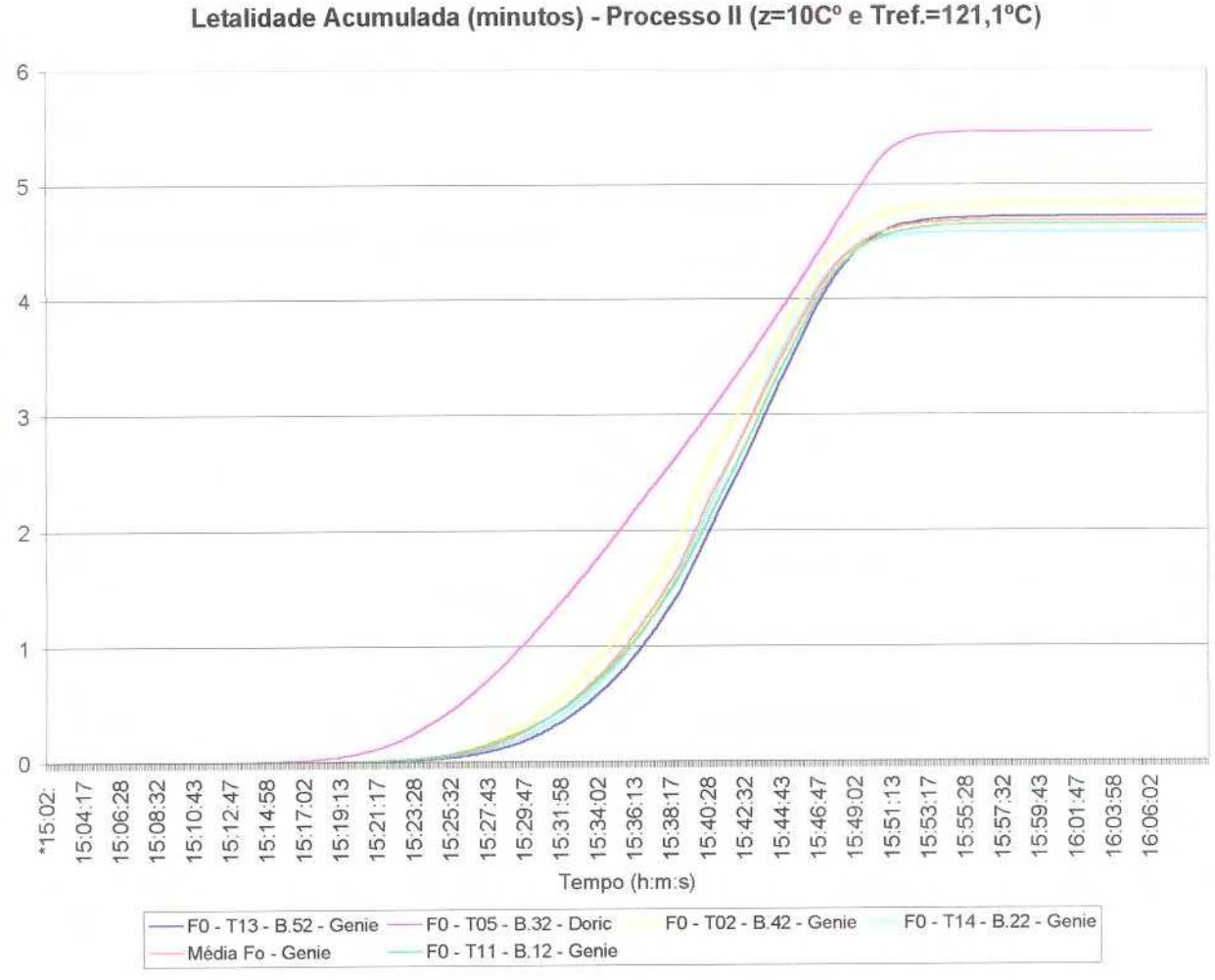



**Gráfico 6. Letalidade acumulada obtida pelo sistema Genie e Doric em tempo real durante Processo II.**

Da mesma maneira que na avaliação dos dados obtidos no processo I, na tabela 11 a seguir, os valores de $F_o$ estão relacionados com a posição da bandeja no interior da autoclave e pode-se perceber o padrão de distribuição de temperaturas, no processo II.

**Tabela 11. Relação entre Letalidades obtidas e posições na autoclave .**

| Termopar | Sistema | Bandeja | Posição na autoclave | Letalidade Acumulada (minutos) |
|---|---|---|---|---|
| T02 | Genie | B.42 | CD4 | 4.83 |
| T05 | Doric | B.32 | CE3 | 5.45 |
| T11 | Genie | B.12 | CD3 | 4.66 |
| T13 | Genie | B.52 | FE3 | 4.72 |
| T14 | Genie | B.22 | CE4 | 4.59 |

A média da letalidade acumulada calculada pelo sistema Genie foi de 4,68 minutos e está abaixo do valor de letalidade calculado pelo sistema Doric, na bandeja B.32– 5,45 minutos. Neste caso é necessário assinalar que o termopar posicionado ao centro da bandeja não estava inserido ao cubo de frango conforme montagem da embalagem no envase, o que foi observado após o processo com a destruição da bandeja. Este fato pode ter provocado a curva mais acentuada de temperaturas nesta bandeja e, consequentemente, a maior letalidade acumulada.

Os dados obtidos para o Processo II são mostrados nas figuras 15, 16 e 17, através das telas adquiridas no sistema Genie, respectivamente nas fases de aquecimento e "cook fase" , na fase de resfriamento e a tela da letalidade acumulada.

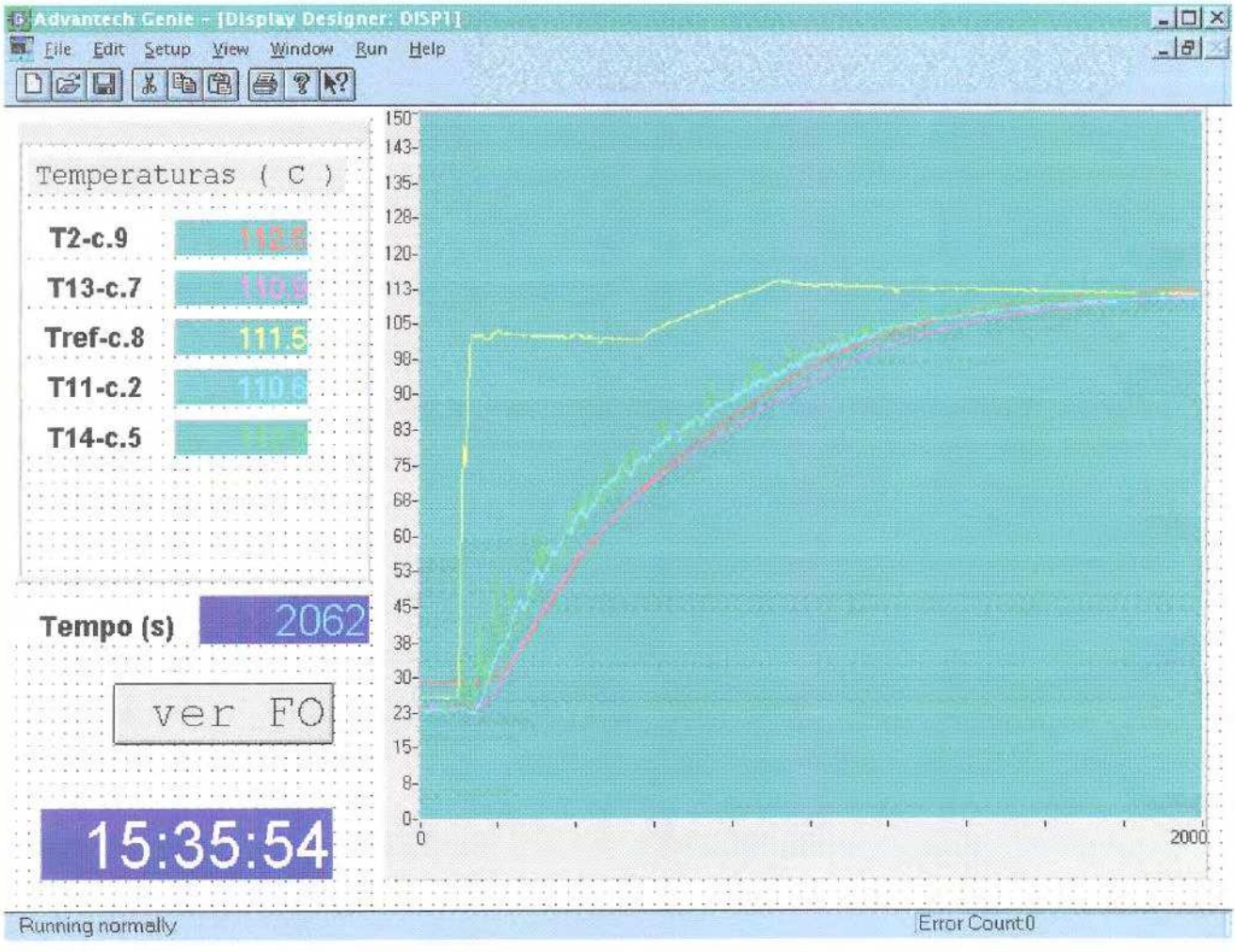



**Figura 15. Tela de visualização em tempo real do Genie – Processo II - aquecimento.**

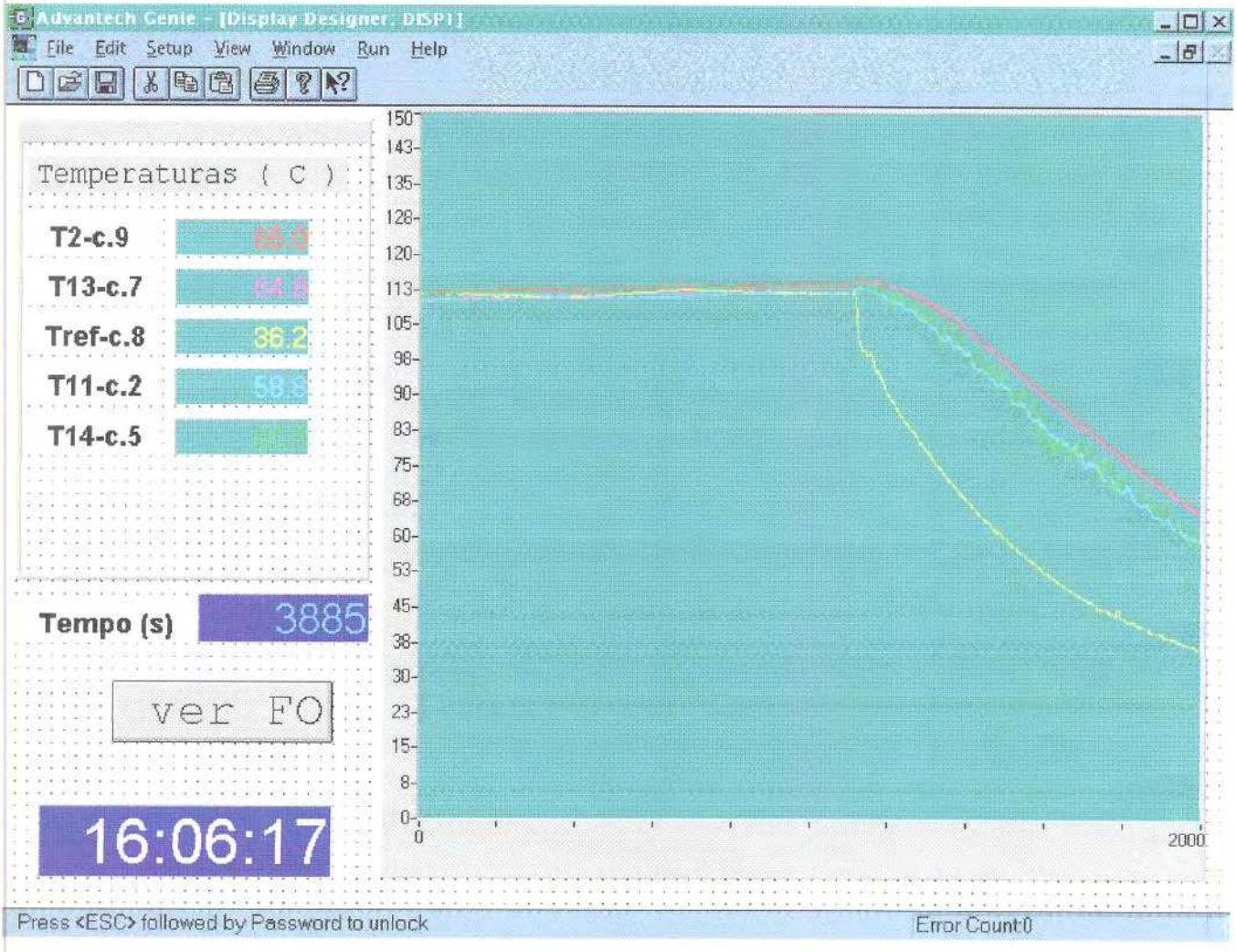



**Figura 16. Tela de visualização em tempo real do sistema Genie - Processo II -fase de resfriamento.**

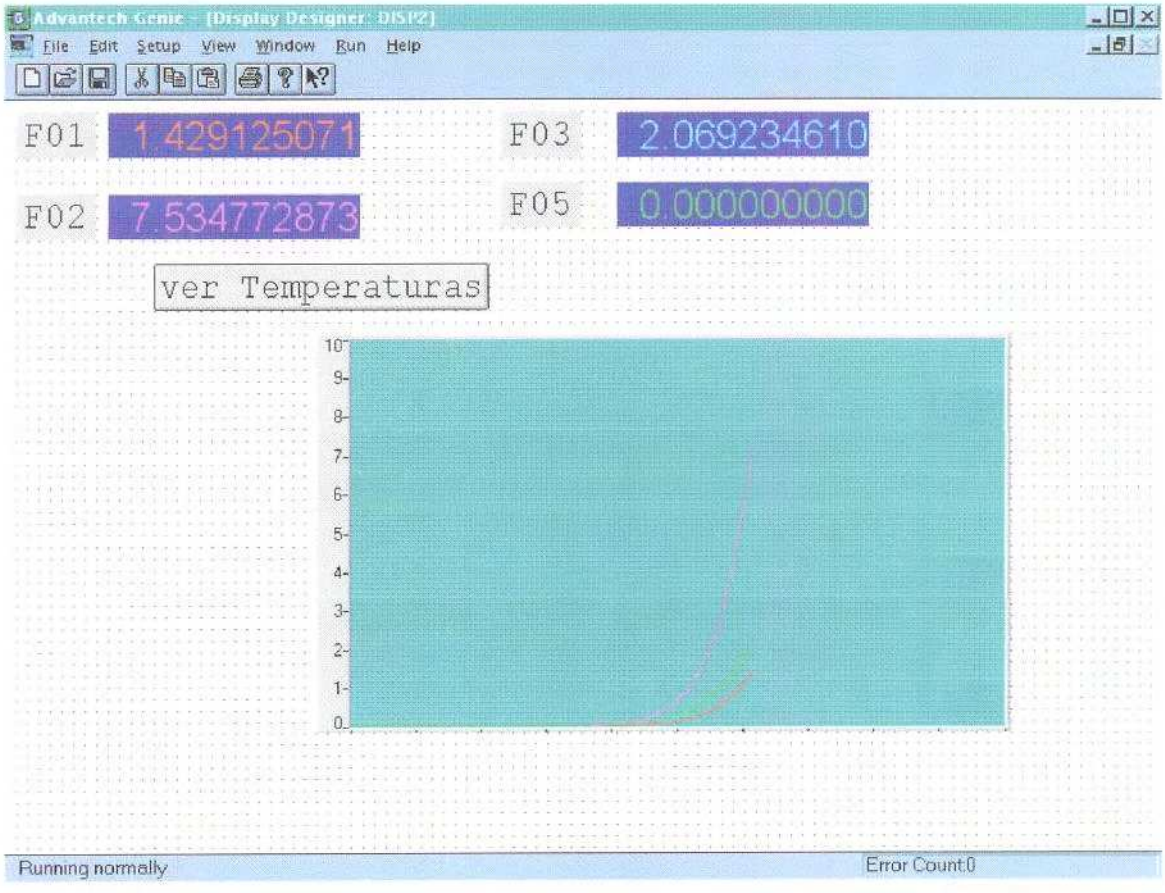



**Figura 17. Tela de visualização do sistema Genie mostrando as letalidades acumuladas - Processo II.**

Pode-se perceber na visualização das telas do Genie em tempo real do processo II que os resultados condizem com os gráficos obtidos dos dados adquiridos e armazenados pelos sistemas.

## VI.7. Estimativa de Erros no Cálculo da Letalidade

Conforme descrito na revisão item IV.8. pode-se fazer uma estimativa do erro de cálculo da letalidade, baseada nos desvios padrões encontrados nas leituras de temperatura durante a calibração dos termopares.

Dos dados de desvio padrão médio para cada termopar mostrados na tabela 7, os erros encontrados foram:

- Variação de 0,07 a 0,46 ºC no sistema Genie provocam erros de 1,98 a 11,38% no cálculo da letalidade;
- Variação de 0,07 a 0,20 ºC no sistema Doric provocam erros de 1,83 a 4,92% no cálculo da letalidade.

Além dessa análise, fez-se também um estudo da dispersão do delta F0 no cálculo da letalidade para os dois processos nos dois sistemas. O delta F0 obtido pelo sistema Genie é um delta médio dos deltas F0 apresentados nas 5 bandejas monitoradas pelo sistema Genie. As seguintes curvas, gráficos 7 e 8, foram obtidas de Delta Fo x tempo de processo.

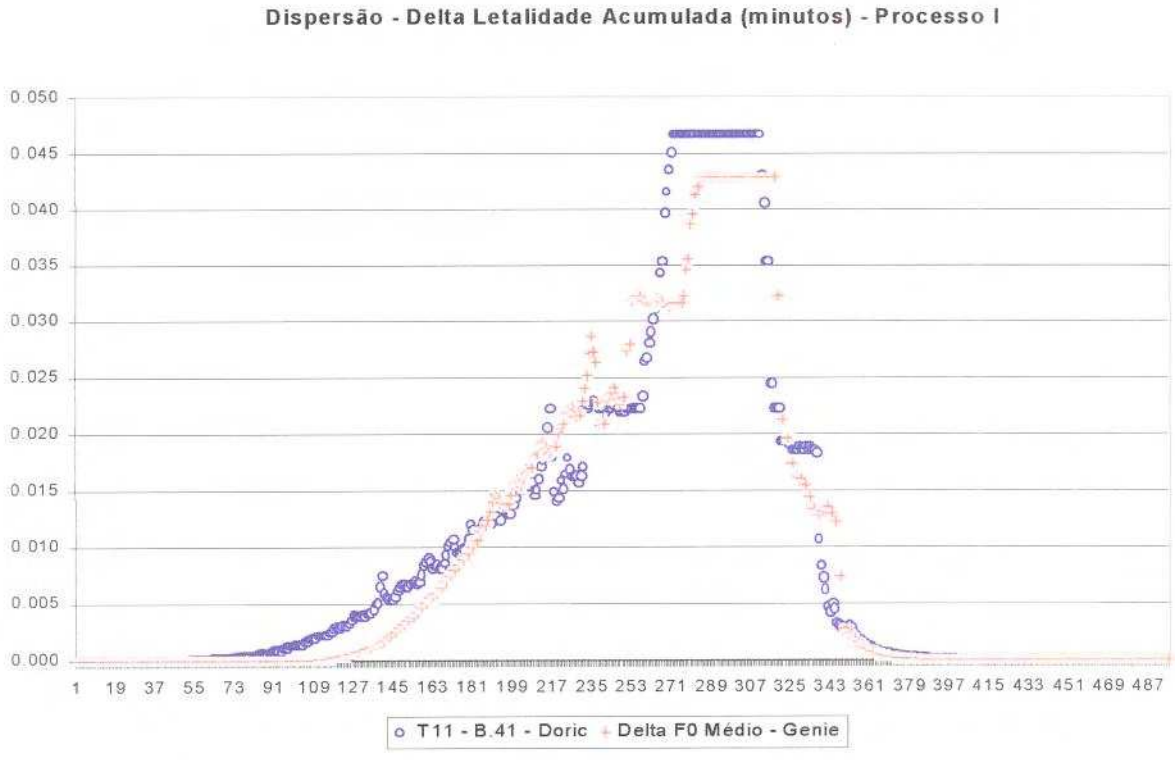



**Gráfico 7. Dispersão de Delta $F_0$ durante o processo I.**

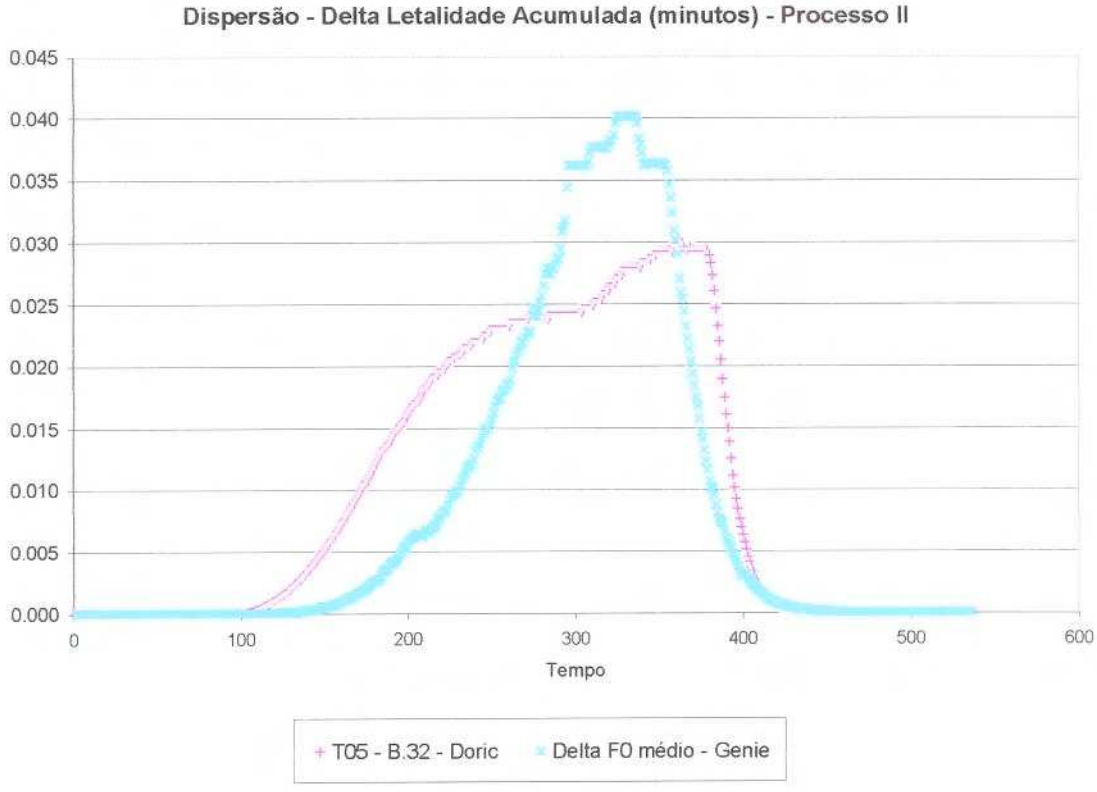



**Gráfico 8. Dispersão de Delta $F_0$ durante o processo II.**

Os sistemas conectados à autoclave ALLPAX estão mostrados na Figura 18.

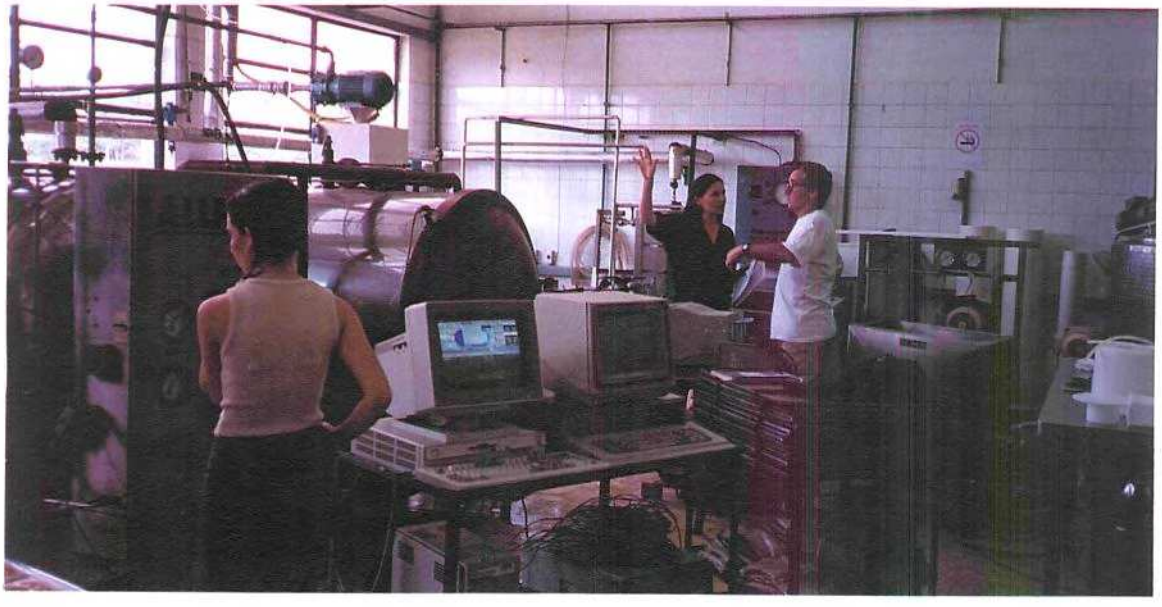


**Figura 18. Conexões em planta – os dois sistemas e a autoclave ALLPAX.**

## VII.Conclusões:

1. O sistema Genie mostrou-se adequado para a função de monitoramento em tempo real do processo térmico de esterilização. É um sistema amigável e possível de se conectar em rede o que facilitaria enormemente o processo de supervisão do processo industrial, além de possibilitar o armazenamento dos dados;
2. Pelos dados obtidos com o sistema Genie, verificou-se uma grande compatibilidade com o sistema Doric em termos de correlação dos dados de calibração. Os leves desvios percebidos no fator $R^2$ devem-se, à natureza da aquisição de dados em placas, por estar-se lidando com obtenção de milivoltagem para a leitura. Assim também perde-se na precisão da leitura das temperaturas- enquanto o Doric apresentou erros de 0,07 a 0,20 °C, o sistema Genie revelou erros de 0,07 a 0,46 °C. Isto acarreta também erros no cálculo da letalidade acumulada – de 2 a 11% no sistema Genie contra 2 a 5% no sistema Doric. Porém deve-se levar em conta que devido à versatilidade do novo sistema e ao seu baixo custo se comparado ao sistema Doric é um sistema perfeitamente possível de realizar monitoramentos em processos em plantas industriais assim como em laboratórios de pesquisa;
3. Os resultados para a letalidade acumulada foram bastante satisfatórios principalmente no processo I . No processo II, pode-se verificar a precisão do sistema Genie, confirmando um mesmo resultado. Deve-se ressaltar que estes resultados se aplicam ás condições dos termopares utilizados.
4. O sistema Genie tem um recurso poderoso de visualização gráfica, tanto do processo, quanto o da letalidade acumulada, o que o faz muito recomendável para o uso em plantas de processamento térmico, devido ás rápidas re[postas e decisões uqe os operadores, ou mesmo, supervisores, poderam tomar se porventura algum desvio das condições normais de processo venha a ocorrer.

5. A utilização deste novo tipo de embalagem no estudo foi de grande valia uma vez que ficaram estabelecidos parâmetros de selagem à quente e condições de processo para referência a futuros trabalhos que venham a ser desempenhados com as mesmas. Além do que, ficou comprovada a viabilidade de processamento térmico da mesma bandeja, após selagem manual à quente.

## VII. Recomendações

Mais estudos devem ser realizados nessa linha de monitoramento de processos térmicos, especialmente a esterilização, visando principalmente para o controle "on-line" de parâmetros do processo como temperatura e pressão.

Tratando-se da pressão, é importante o aprofundamento de novas pesquisas em relação ao desenvolvimento da pressão no interior desta nova embalagem.

Estudos do sistema Genie acoplado à diferentes termopares devem ser realizados a fim de se avaliar a perfomance do mesmo nestas outras condições.

# ANEXO I

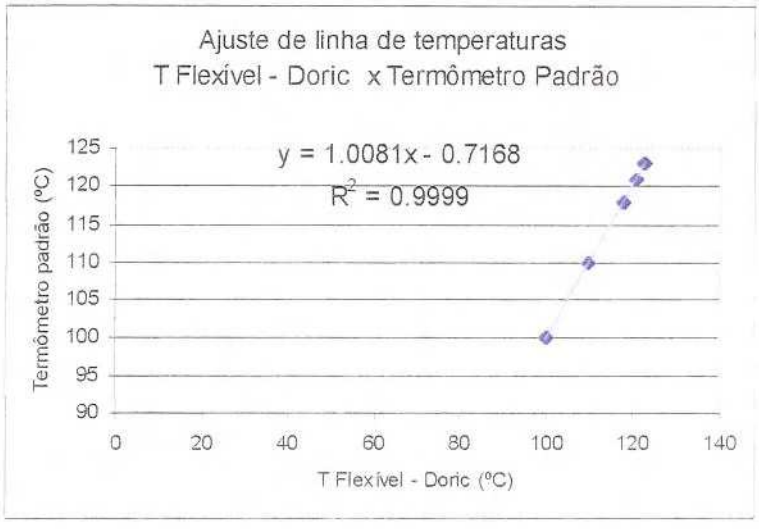



Gráfico 9. Regressão Linear, Termopar Flexível x Termômetro Padrão – Doric.

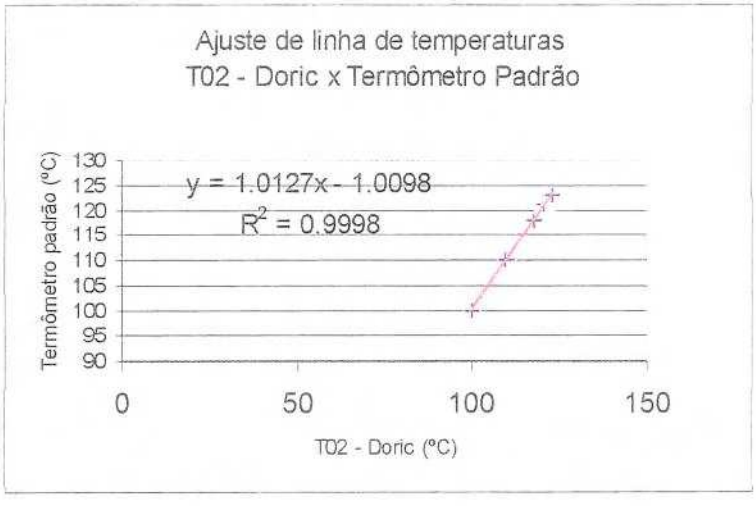



Gráfico 10. Regressão Linear, Termopares 02 x Termômetro Padrão - Doric

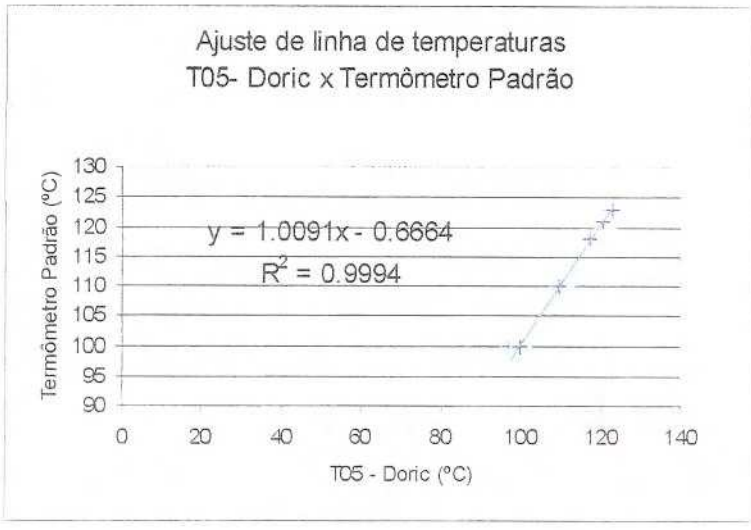



Gráfico 11. Regressão Linear, Termopares 05 x Termômetro Padrão - Doric

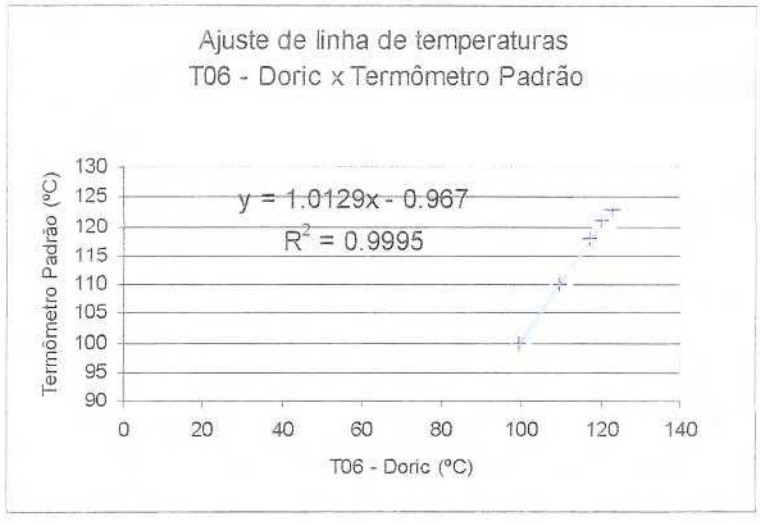



Gráfico 12. Regressão Linear, Termopares 06 x Termômetro Padrão - Doric

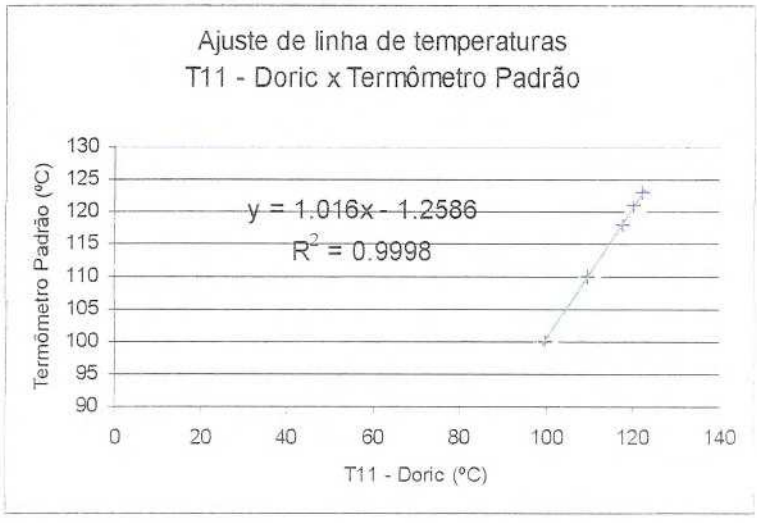



Gráfico 13. Regressão Linear, Termopar 11 x Termômetro Padrão – Doric.

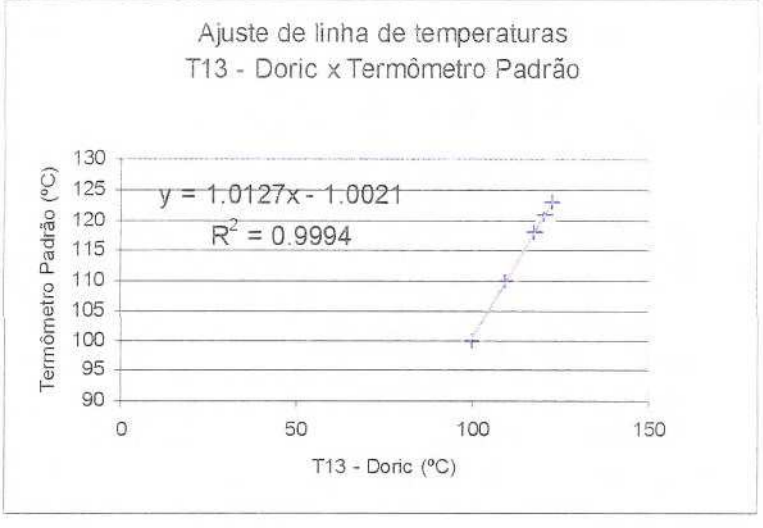



Gráfico 14. Regressão Linear, Termopar 13 x Termômetro Padrão – Doric.

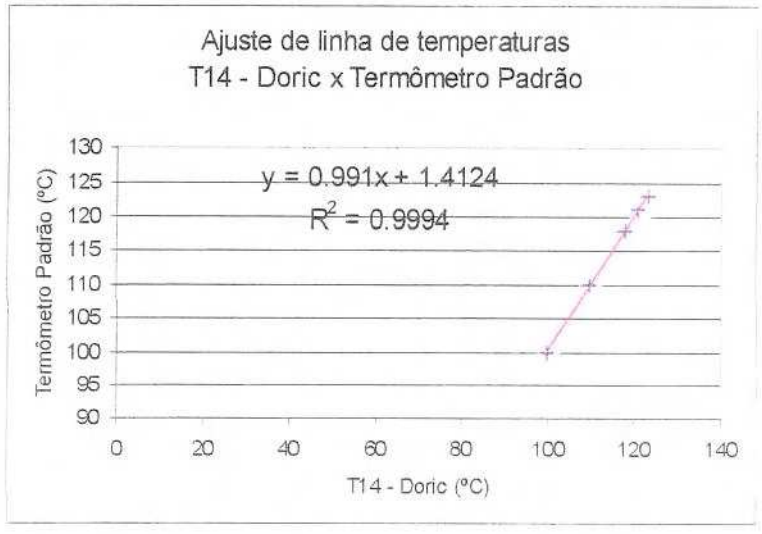



Gráfico 15. Regressão Linear, Termopar 14 x Termômetro Padrão – Doric.

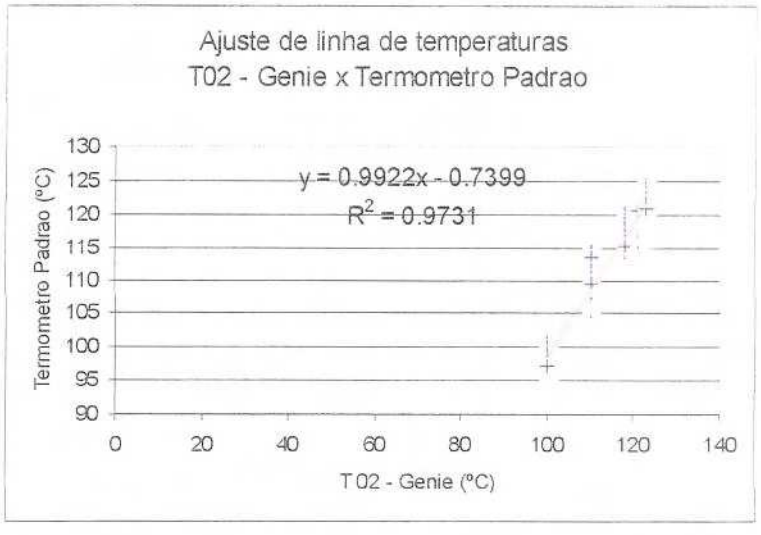



Gráfico 16. Regressão Linear, Termopar 02 x Termômetro Padrão - Genie

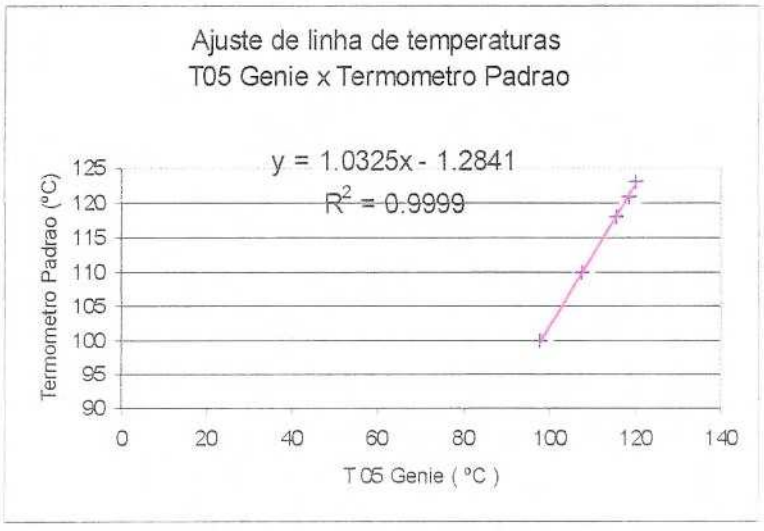



Gráfico 17. Regressão Linear, Termopar 05 x Termômetro Padrão - Genie

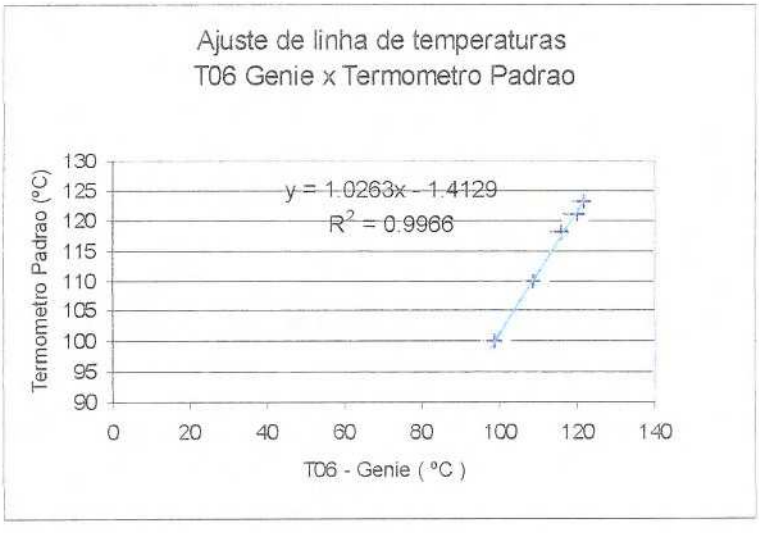



Gráfico 18. Regressão Linear, Termopar 06 x Termômetro Padrão - Genie

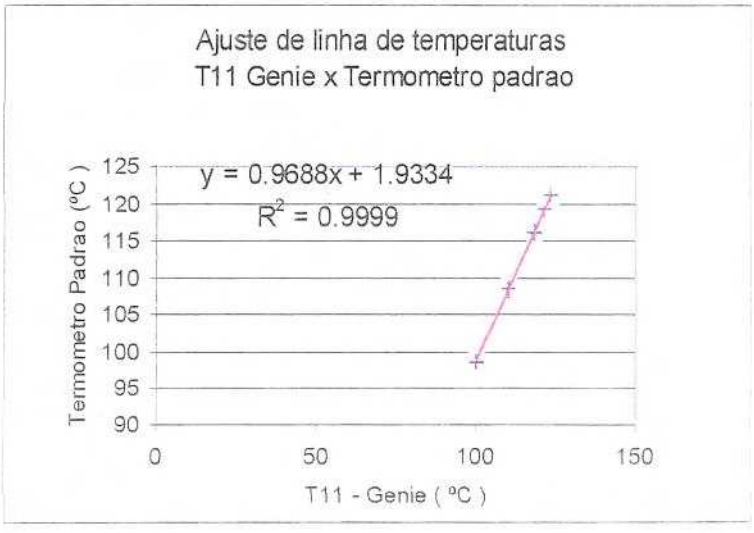



Gráfico 19. Regressão Linear, Termopar 11x Termômetro Padrão – Genie.

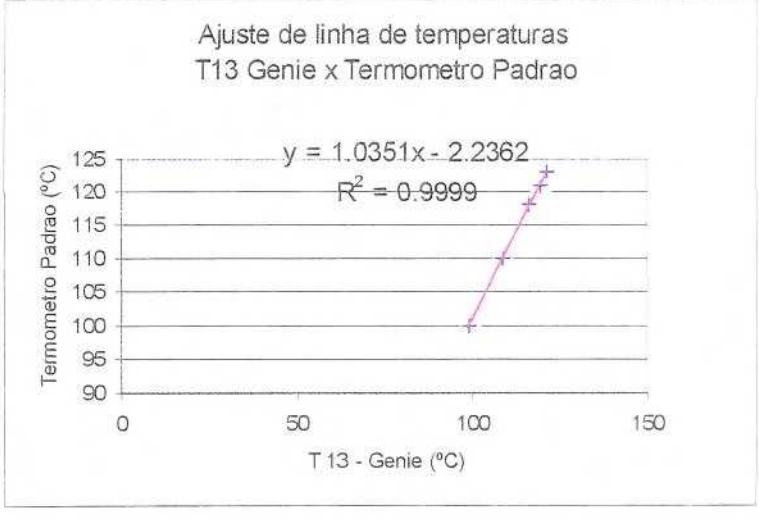



Gráfico 20. Regressão Linear, Termopar 13 x Termômetro Padrão – Genie.

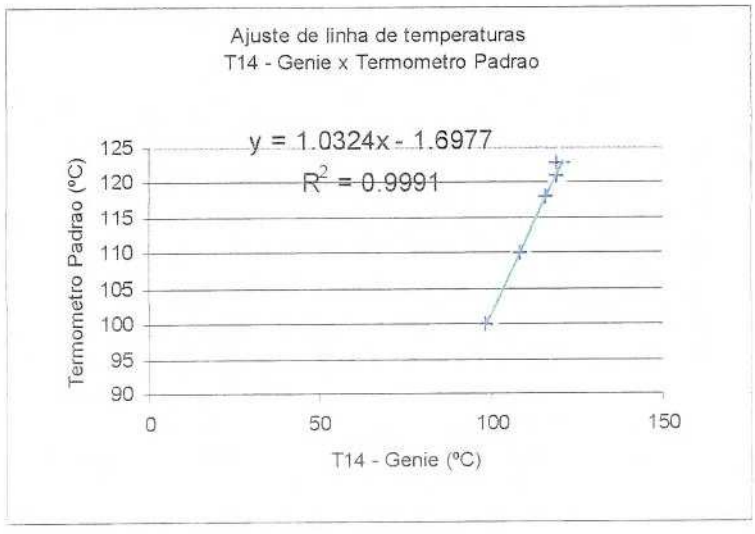



Gráfico 21. Regressão Linear, Termopar 14 x Termômetro Padrão – Genie.

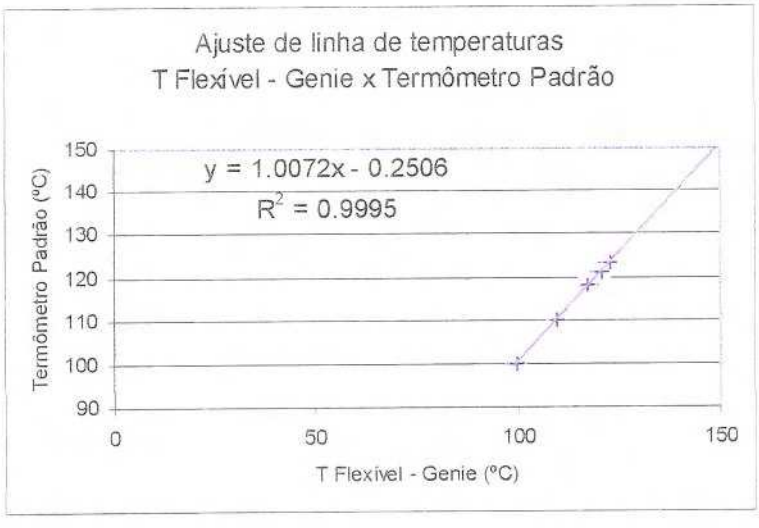



Gráfico 22. Regressão Linear, Termopar Flexível x Termômetro Padrão – Genie.

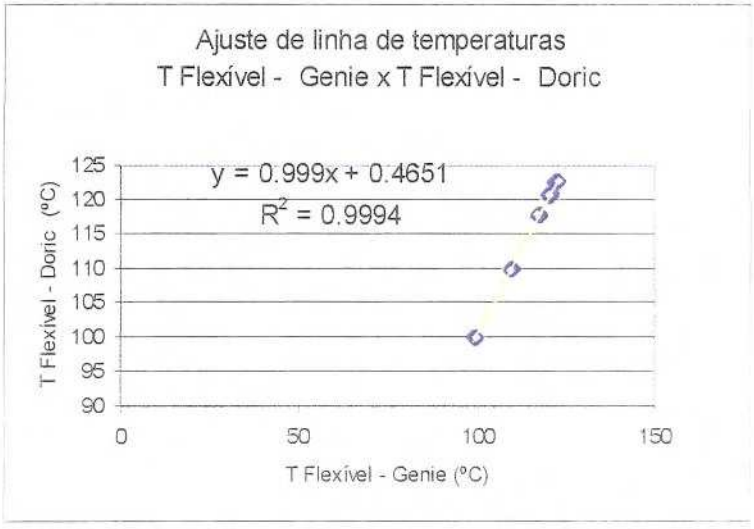



Gráfico 23. Regressão Linear, Termopar Flexível Genie x Doric.

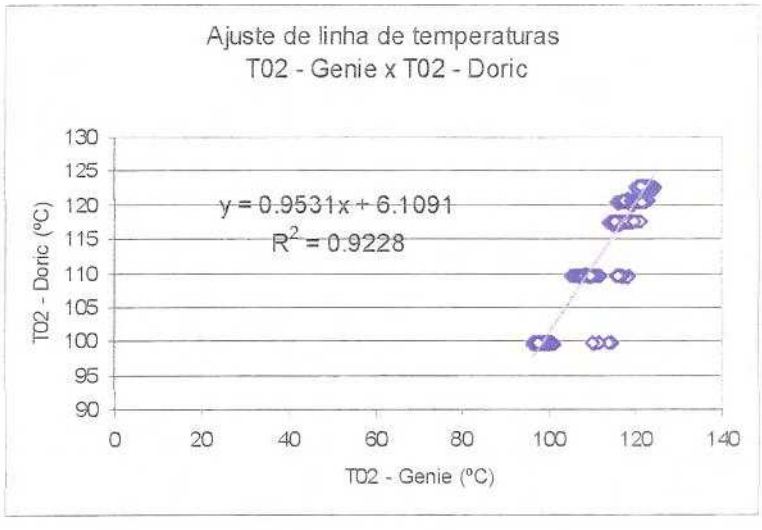



Gráfico 24. Regressão Linear, Termopar 02 – Genie x Doric.

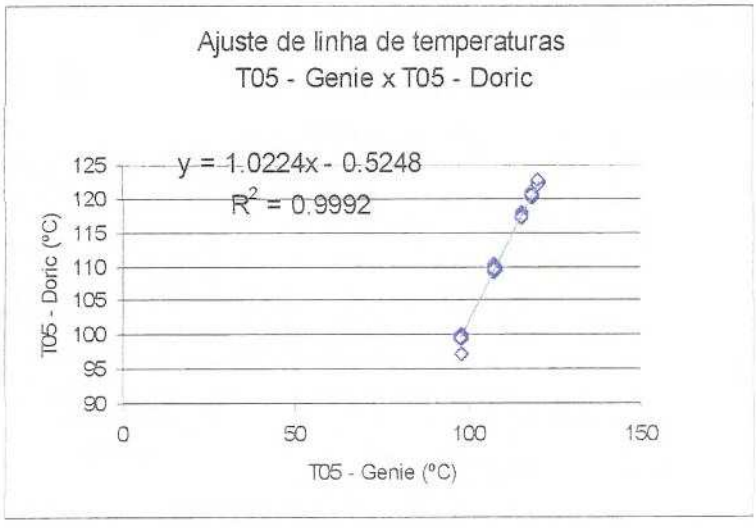



Gráfico 25. Regressão Linear, Termopar 05 – Genie x Doric.

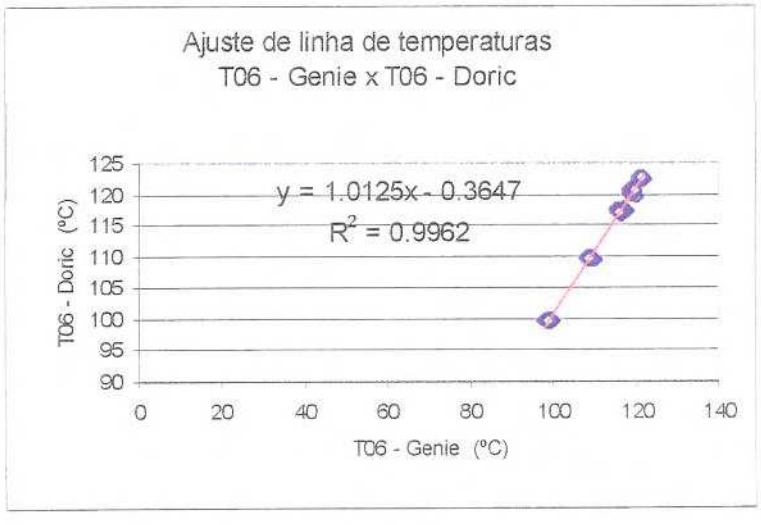



Gráfico 26. Regressão Linear, Termopar 06 – Genie x Doric.

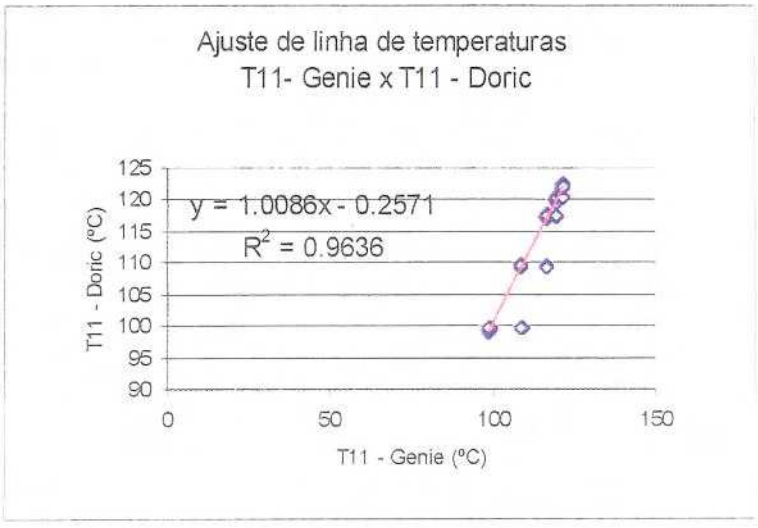



Gráfico 27. Regressão Linear, Termopar T11 - Genie x Doric.

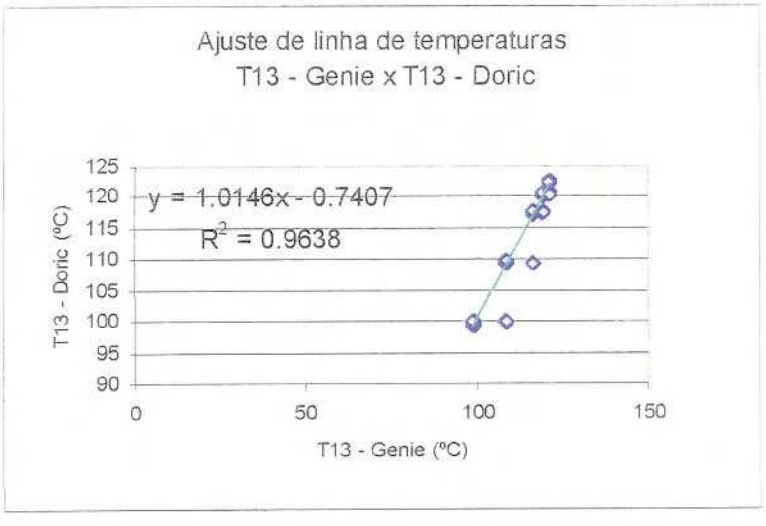



Gráfico 28. Regressão Linear, Termopar T13 - Genie x Doric.

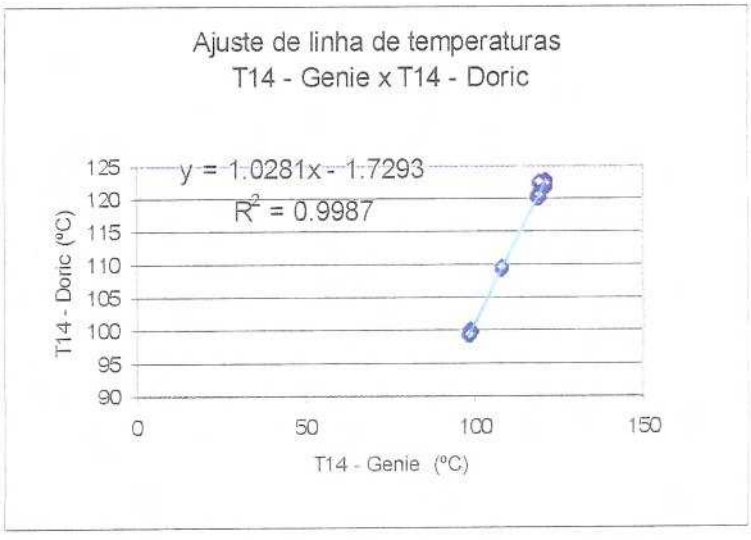



Gráfico 29. Regressão Linear, Termopar T14 - Genie x Doric.

# Anexo II

## Basic Script Editor

```
Sub SCR1( )
Dim a as single
Dim S as single
Dim VR1 as TAG
Dim t as TAG
set  VR1 = gettag ("VIRTASK",    "VR1")
set t = gettag ("TASK1", "AVG1")
a = (t.value – 121.1)/10
L = 10^a

outputf  1,L

VR1.value = L
outputf  2, VR1.value
End Sub
```

## User Programmable Block ( TAG:PRG1)

Input Blocks: TAG1:VR1; SCR1:SCR1:[Output1]

Program:

```
f1= f1 + t*[SCR[1]+TAG1/2];
output [#0, f1];
```

t determinado no ScanTask Setup
Scan Period: 30s

## Numeric / String Display Item (DISP1)

Input from: AVG1:AVG1
Data Type: Floating Point [ Real ]
Display Format: 0,0

## Trend Graph Display Item (DISP1)

Type: Y-time graph
Input from: AVG1:AVG1; AVG2:AVG2; AVGn:AVGn

## Numeric / String Display Item (DISP2)

Input from: PRG1:f1:[Output 0]
Data Type: Floating Point [Real]
Display format: 0,00

## Trend Graph Display Item (DISP2)

Type: Y – time graph
Input from: PRG1: f1 : [Output 0]

## Tag Block (TAG1)

Attaching to: Display/ Virtual Tag: VIRTASK
Tag name: VR1

## Average Block (AVG1)

Averaging method: moving average

## Temperature Measurement Block (TMPn)

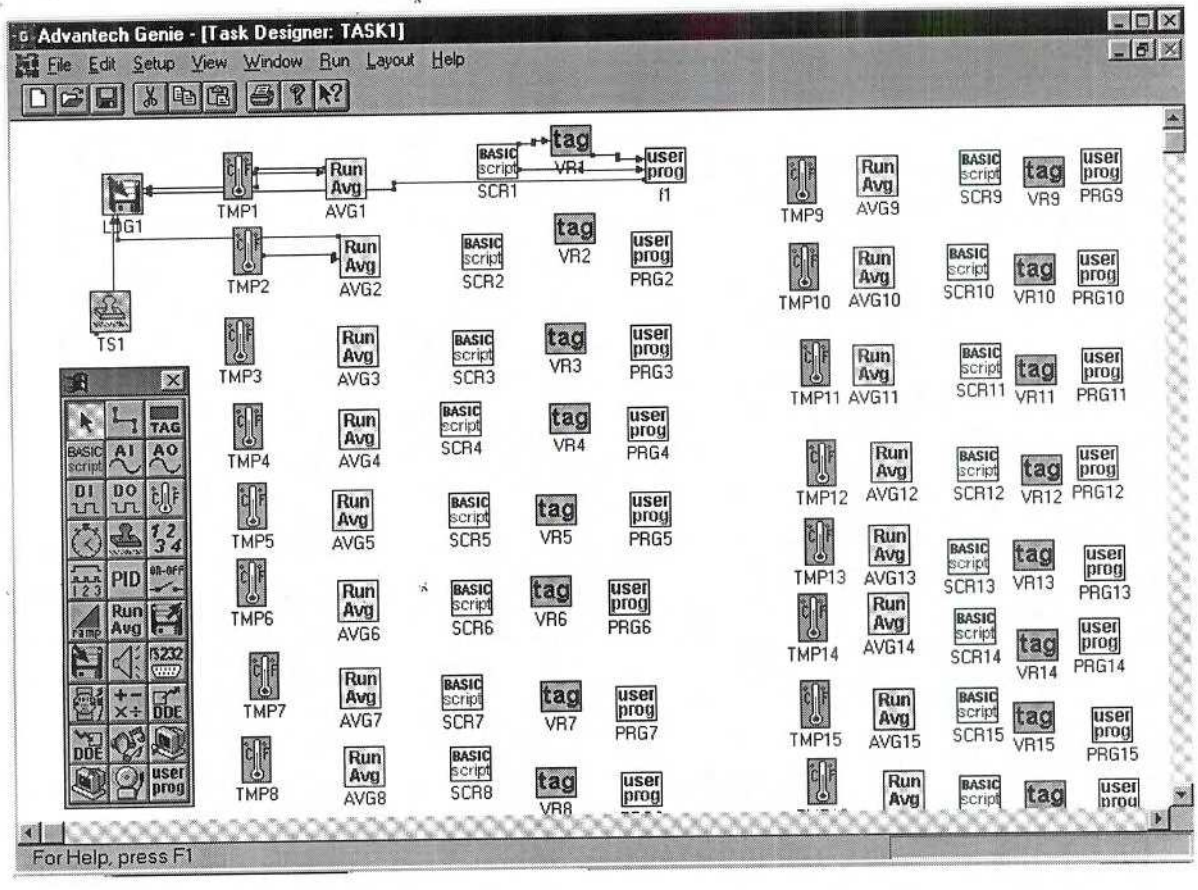
Device: PCL – 818H with Exp. I/O = 200H
Channel: 6 ( PCLD – 789/889)
Exp. Channel: n
Temperature Scale: Celsius
Thermocouple Type: T
Update Rate: 1

## Log File Block ( LOG1 )

Col No: 1, 2, 3, 4,..., n
Input: TS1:TS1; AVG1:AVG1;PRG1:f1; AVGn:AVGn; PRGn:f1

## Time Stamp Block (TS1)

Format: h:m:s


Advantech Genie - [Task Designer: TASK1]
File Edit Setup View Window Run Layout Help
TMP1
AVG1
SCR1
VR1
f1
LG1
TMP2
AVG2
SCR2
VR2
PRG2
TS1
TMP3
AVG3
SCR3
VR3
PRG3
TMP4
AVG4
SCR4
VR4
PRG4
TMP5
AVG5
SCR5
VR5
PRG5
TMP6
AVG6
SCR6
VR6
PRG6
TMP7
AVG7
SCR7
VR7
PRG7
TMP8
AVG8
SCR8
VR8
TMP9
AVG9
SCR9
VR9
PRG9
TMP10
AVG10
SCR10
VR10
PRG10
TMP11
AVG11
SCR11
VR11
PRG11
TMP12
AVG12
SCR12
VR12
PRG12
TMP13
AVG13
SCR13
VR13
PRG13
TMP14
AVG14
SCR14
VR14
PRG14
TMP15
AVG15
SCR15
VR15
PRG15
For Help, press F1

# APÊNDICE

## Tabelas de dados estatísticos dos dados de temperatura obtidos na calibração – 100 °C.

| *Tflex- Doric* | | *T02-Doric* | | *T05- Doric* | |
|---|---|---|---|---|---|
| Média | 99,89222222 | Média | 99,733333 | Média | 99,78222222 |
| Erro padrão | 0,005053466 | Erro padrão | 0,0072412 | Erro padrão | 0,033653065 |
| Mediana | 99,9 | Mediana | 99,7 | Mediana | 99,8 |
| Modo | 99,9 | Modo | 99,7 | Modo | 99,8 |
| Desvio padrão | 0,047941392 | Desvio padrão | 0,0686957 | Desvio padrão | 0,319261007 |
| Variância da amostr | 0,002298377 | Variância da amostr | 0,0047191 | Variância da amostr | 0,101927591 |
| Curtose | 1,350070707 | Curtose | -0,3332463 | Curtose | 48,64410332 |
| Assimetria | -0,227838972 | Assimetria | -0,1181571 | Assimetria | -6,076513471 |
| Intervalo | 0,2 | Intervalo | 0,3 | Intervalo | 2,9 |
| Mínimo | 99,8 | Mínimo | 99,6 | Mínimo | 97,2 |
| Máximo | 100 | Máximo | 99,9 | Máximo | 100,1 |
| Soma | 8990,3 | Soma | 8976 | Soma | 8980,4 |
| Contagem | 90 | Contagem | 90 | Contagem | 90 |

| *T06-Doric* | | *T11-Doric* | |
|---|---|---|---|
| Média | 99,68222222 | Média | 99,652222 |
| Erro padrão | 0,013461721 | Erro padrão | 0,0103892 |
| Mediana | 99,7 | Mediana | 99,7 |
| Modo | 99,6 | Modo | 99,7 |
| Desvio padrão | 0,127709095 | Desvio padrão | 0,0985602 |
| Variância da amostr | 0,016309613 | Variância da amostr | 0,0097141 |
| Curtose | -0,167869907 | Curtose | 10,176806 |
| Assimetria | 0,010603571 | Assimetria | -1,7915237 |
| Intervalo | 0,5 | Intervalo | 0,8 |
| Mínimo | 99,4 | Mínimo | 99,1 |
| Máximo | 99,9 | Máximo | 99,9 |
| Soma | 8971,4 | Soma | 8968,7 |
| Contagem | 90 | Contagem | 90 |

| *T13-Doric* | | *T14-Doric* | |
|---|---|---|---|
| Média | 99,72444444 | Média | 99,542222 |
| Erro padrão | 0,027246098 | Erro padrão | 0,0189604 |
| Mediana | 99,7 | Mediana | 99,55 |
| Modo | 99,4 | Modo | 99,6 |
| Desvio padrão | 0,258479178 | Desvio padrão | 0,1798737 |
| Variância da amostr | 0,066811486 | Variância da amostr | 0,0323546 |
| Curtose | -1,371789092 | Curtose | 2,4833565 |
| Assimetria | -0,104717066 | Assimetria | 0,7986671 |
| Intervalo | 0,8 | Intervalo | 1 |
| Mínimo | 99,3 | Mínimo | 99,2 |
| Máximo | 100,1 | Máximo | 100,2 |
| Soma | 8975,2 | Soma | 8958,8 |
| Contagem | 90 | Contagem | 90 |

**Tabelas de dados estatísticos dos dados de temperatura obtidos na calibração – 100 °C.**

| *T02-Genie* | | *T05-Genie* | |
|---|---|---|---|
| Média | 98,3500833 | Média | 98,0811667 |
| Erro padrão | 0,13732898 | Erro padrão | 0,01198149 |
| Mediana | 98,1825 | Mediana | 98,062 |
| Modo | 98,604 | Modo | 97,969 |
| Desvio padrão | 1,2586409 | Desvio padrão | 0,1098122 |
| Variância da amost | 1,58417692 | Variância da amost | 0,01205872 |
| Curtose | -0,7129589 | Curtose | -0,9315806 |
| Assimetria | 0,42605291 | Assimetria | 0,44935898 |
| Intervalo | 4,746 | Intervalo | 0,414 |
| Mínimo | 96,128 | Mínimo | 97,902 |
| Máximo | 100,874 | Máximo | 98,316 |
| Soma | 8261,407 | Soma | 8238,818 |
| Contagem | 84 | Contagem | 84 |

| *T06-Genie* | | *T11-Genie* | |
|---|---|---|---|
| Média | 98,8190714 | Média | 98,8005119 |
| Erro padrão | 0,05935031 | Erro padrão | 0,00743525 |
| Mediana | 98,84 | Mediana | 98,7905 |
| Modo | 99,534 | Modo | 98,867 |
| Desvio padrão | 0,54395459 | Desvio padrão | 0,06814522 |
| Variância da amost | 0,2958866 | Variância da amost | 0,00464377 |
| Curtose | -0,2468385 | Curtose | -1,0403088 |
| Assimetria | -0,1185298 | Assimetria | 0,04083217 |
| Intervalo | 2,573 | Intervalo | 0,254 |
| Mínimo | 97,562 | Mínimo | 98,68 |
| Máximo | 100,135 | Máximo | 98,934 |
| Soma | 8300,802 | Soma | 8299,243 |
| Contagem | 84 | Contagem | 84 |

| *T13-Genie* | | *T14-Genie* | | *Tflex- Genie* | |
|---|---|---|---|---|---|
| Média | 98,7981071 | Média | 98,4979286 | Média | 99,5357143 |
| Erro padrão | 0,01119749 | Erro padrão | 0,01694351 | Erro padrão | 0,0182136 |
| Mediana | 98,799 | Mediana | 98,477 | Mediana | 99,6 |
| Modo | 98,782 | Modo | 98,537 | Modo | 99,6 |
| Desvio padrão | 0,10262671 | Desvio padrão | 0,15528984 | Desvio padrão | 0,16693037 |
| Variância da amost | 0,01053224 | Variância da amost | 0,02411493 | Variância da amost | 0,02786575 |
| Curtose | -0,5530755 | Curtose | -0,6815558 | Curtose | 1,22262794 |
| Assimetria | -0,0719768 | Assimetria | 0,42294733 | Assimetria | -0,9860414 |
| Intervalo | 0,465 | Intervalo | 0,635 | Intervalo | 0,9 |
| Mínimo | 98,554 | Mínimo | 98,215 | Mínimo | 99 |
| Máximo | 99,019 | Máximo | 98,85 | Máximo | 99,9 |
| Soma | 8299,041 | Soma | 8273,826 | Soma | 8361 |
| Contagem | 84 | Contagem | 84 | Contagem | 84 |

## Tabelas de dados estatísticos dos dados de temperatura obtidos na calibração – 110 °C.

| *T02-Genie* | | *T05-Genie* | | *Tflex-Genie* | |
|---|---|---|---|---|---|
| Média | 108,78 | Média | 107,81 | Média | 109,49 |
| Erro padrão | 0,19 | Erro padrão | 0,01 | Erro padrão | 0,02 |
| Mediana | 108,88 | Mediana | 107,79 | Mediana | 109,50 |
| Modo | 108,43 | Modo | 107,85 | Modo | 109,40 |
| Desvio padrão | 1,70 | Desvio padrão | 0,09 | Desvio padrão | 0,14 |
| Variância da amostı | 2,90 | Variância da amost | 0,01 | Variância da amostr | 0,02 |
| Curtose | 1,00 | Curtose | 2,24 | Curtose | -0,18 |
| Assimetria | 0,32 | Assimetria | -0,85 | Assimetria | 0,41 |
| Intervalo | 9,42 | Intervalo | 0,56 | Intervalo | 0,70 |
| Mínimo | 105,02 | Mínimo | 107,41 | Mínimo | 109,20 |
| Máximo | 114,44 | Máximo | 107,97 | Máximo | 109,90 |
| Soma | 8811,40 | Soma | 8732,21 | Soma | 8868,60 |
| Contagem | 81,00 | Contagem | 81,00 | Contagem | 81,00 |

| *T06-Genie* | | *T11-Genie* | |
|---|---|---|---|
| Média | 108,70 | Média | 108,53 |
| Erro padrão | 0,04 | Erro padrão | 0,01 |
| Mediana | 108,64 | Mediana | 108,53 |
| Modo | 108,68 | Modo | 108,52 |
| Desvio padrão | 0,40 | Desvio padrão | 0,07 |
| Variância da amostı | 0,16 | Variância da amost | 0,00 |
| Curtose | 1,36 | Curtose | 6,40 |
| Assimetria | 0,65 | Assimetria | 1,81 |
| Intervalo | 2,29 | Intervalo | 0,41 |
| Mínimo | 107,89 | Mínimo | 108,43 |
| Máximo | 110,18 | Máximo | 108,84 |
| Soma | 8804,65 | Soma | 8790,85 |
| Contagem | 81,00 | Contagem | 81,00 |

| *T13-Genie* | | *T14-Genie* | |
|---|---|---|---|
| Média | 108,39 | Média | 108,22 |
| Erro padrão | 0,01 | Erro padrão | 0,01 |
| Mediana | 108,39 | Mediana | 108,20 |
| Modo | 108,43 | Modo | 108,22 |
| Desvio padrão | 0,09 | Desvio padrão | 0,08 |
| Variância da amostı | 0,01 | Variância da amost | 0,01 |
| Curtose | -0,18 | Curtose | 2,61 |
| Assimetria | -0,15 | Assimetria | 1,43 |
| Intervalo | 0,40 | Intervalo | 0,38 |
| Mínimo | 108,17 | Mínimo | 108,10 |
| Máximo | 108,57 | Máximo | 108,48 |
| Soma | 8779,47 | Soma | 8765,47 |
| Contagem | 81,00 | Contagem | 81,00 |

**Tabelas de dados estatísticos dos dados de temperatura obtidos na calibração – 110 °C.**

| *Tflex- Doric* | | *T02- Doric* | | *T05-Doric* | |
|---|---|---|---|---|---|
| Média | 109,8512195 | Média | 109,6573171 | Média | 109,6609756 |
| Erro padrão | 0,006315003 | Erro padrão | 0,007569907 | Erro padrão | 0,016439838 |
| Mediana | 109,9 | Mediana | 109,7 | Mediana | 109,7 |
| Modo | 109,9 | Modo | 109,7 | Modo | 109,7 |
| Desvio padrão | 0,057184783 | Desvio padrão | 0,06854842 | Desvio padrão | 0,148869068 |
| Variância da amostr | 0,003270099 | Variância da amost | 0,004698886 | Variância da am | 0,022161999 |
| Curtose | -0,556297527 | Curtose | 3,423328375 | Curtose | 4,173830232 |
| Assimetria | -0,657701149 | Assimetria | -1,567030932 | Assimetria | 0,241768477 |
| Intervalo | 0,2 | Intervalo | 0,4 | Intervalo | 1,1 |
| Mínimo | 109,7 | Mínimo | 109,4 | Mínimo | 109,2 |
| Máximo | 109,9 | Máximo | 109,8 | Máximo | 110,3 |
| Soma | 9007,8 | Soma | 8991,9 | Soma | 8992,2 |
| Contagem | 82 | Contagem | 82 | Contagem | 82 |

| *T06-Doric* | | *T11-Doric* | |
|---|---|---|---|
| Média | 109,5829268 | Média | 109,5268293 |
| Erro padrão | 0,015207575 | Erro padrão | 0,011252325 |
| Mediana | 109,6 | Mediana | 109,6 |
| Modo | 109,6 | Modo | 109,6 |
| Desvio padrão | 0,137710448 | Desvio padrão | 0,101894136 |
| Variância da amostr | 0,018964167 | Variância da amost | 0,010382415 |
| Curtose | -0,761264374 | Curtose | -0,806674684 |
| Assimetria | 0,02464544 | Assimetria | -0,421909846 |
| Intervalo | 0,6 | Intervalo | 0,4 |
| Mínimo | 109,3 | Mínimo | 109,3 |
| Máximo | 109,9 | Máximo | 109,7 |
| Soma | 8985,8 | Soma | 8981,2 |
| Contagem | 82 | Contagem | 82 |

| *T13-Doric* | | *T14-Doric* | |
|---|---|---|---|
| Média | 109,6341463 | Média | 109,5317073 |
| Erro padrão | 0,022169281 | Erro padrão | 0,017514828 |
| Mediana | 109,7 | Mediana | 109,5 |
| Modo | 109,8 | Modo | 109,7 |
| Desvio padrão | 0,200751374 | Desvio padrão | 0,158603511 |
| Variância da amostr | 0,040301114 | Variância da amost | 0,025155074 |
| Curtose | -1,161803284 | Curtose | -0,139850912 |
| Assimetria | -0,287270657 | Assimetria | 0,011320979 |
| Intervalo | 0,6 | Intervalo | 0,9 |
| Mínimo | 109,3 | Mínimo | 109,1 |
| Máximo | 109,9 | Máximo | 110 |
| Soma | 8990 | Soma | 8981,6 |
| Contagem | 82 | Contagem | 82 |

**Tabelas de dados estatísticos dos dados de temperatura obtidos na calibração – 118 °C.**

| *Tflex- Doric* | | *T02-Doric* | | *T05-Doric* | |
|---|---|---|---|---|---|
| Média | 117,754321 | Média | 117,498765 | Média | 117,548148 |
| Erro padrão | 0,00963042 | Erro padrão | 0,01556486 | Erro padrão | 0,01876685 |
| Mediana | 117,7 | Mediana | 117,5 | Mediana | 117,6 |
| Modo | 117,7 | Modo | 117,4 | Modo | 117,6 |
| Desvio padrão | 0,08667379 | Desvio padrão | 0,14008375 | Desvio padrão | 0,16890168 |
| Variância da am | 0,00751235 | Variância da am | 0,01962346 | Variância da am | 0,02852778 |
| Curtose | -0,6445809 | Curtose | -1,0588147 | Curtose | 1,25809752 |
| Assimetria | 0,09995106 | Assimetria | -0,0894494 | Assimetria | -0,6694859 |
| Intervalo | 0,3 | Intervalo | 0,5 | Intervalo | 1 |
| Mínimo | 117,6 | Mínimo | 117,2 | Mínimo | 117 |
| Máximo | 117,9 | Máximo | 117,7 | Máximo | 118 |
| Soma | 9538,1 | Soma | 9517,4 | Soma | 9521,4 |
| Contagem | 81 | Contagem | 81 | Contagem | 81 |

| *T06-Doric* | | *T11-Doric* | |
|---|---|---|---|
| Média | 117,412346 | Média | 117,376543 |
| Erro padrão | 0,02499276 | Erro padrão | 0,01583788 |
| Mediana | 117,4 | Mediana | 117,4 |
| Modo | 117,6 | Modo | 117,4 |
| Desvio padrão | 0,22493483 | Desvio padrão | 0,14254088 |
| Variância da am | 0,05059568 | Variância da am | 0,0203179 |
| Curtose | 2,60832021 | Curtose | -0,7600559 |
| Assimetria | -1,1645171 | Assimetria | 0,26741489 |
| Intervalo | 1,2 | Intervalo | 0,6 |
| Mínimo | 116,6 | Mínimo | 117,1 |
| Máximo | 117,8 | Máximo | 117,7 |
| Soma | 9510,4 | Soma | 9507,5 |
| Contagem | 81 | Contagem | 81 |

| *T13- Doric* | | *T14-Doric* | |
|---|---|---|---|
| Média | 117,516049 | Média | 117,423457 |
| Erro padrão | 0,02029541 | Erro padrão | 0,02779286 |
| Mediana | 117,6 | Mediana | 117,4 |
| Modo | 117,7 | Modo | 117,6 |
| Desvio padrão | 0,18265869 | Desvio padrão | 0,25013577 |
| Variância da am | 0,0333642 | Variância da am | 0,0625679 |
| Curtose | -1,1711846 | Curtose | 0,33003519 |
| Assimetria | -0,1931614 | Assimetria | 0,18812229 |
| Intervalo | 0,7 | Intervalo | 1,5 |
| Mínimo | 117,1 | Mínimo | 116,7 |
| Máximo | 117,8 | Máximo | 118,2 |
| Soma | 9518,8 | Soma | 9511,3 |
| Contagem | 81 | Contagem | 81 |

**Tabelas de dados estatísticos dos dados de temperatura obtidos na calibração – 118 °C.**

| *T02-Genie* | | *T05-Genie* | | *Tflex-Genie* | |
|---|---|---|---|---|---|
| Média | 116,257265 | Média | 115,518928 | Média | 117,366265 |
| Erro padrão | 0,15521776 | Erro padrão | 0,0055704 | Erro padrão | 0,02170225 |
| Mediana | 116,015 | Mediana | 115,527 | Mediana | 117,4 |
| Modo | 116,015 | Modo | 115,527 | Modo | 117,4 |
| Desvio padrão | 1,41410109 | Desvio padrão | 0,05074873 | Desvio padrão | 0,19771691 |
| Variância da amos | 1,9996819 | Variância da amostr | 0,00257543 | Variância da amos | 0,03909198 |
| Curtose | 0,25350472 | Curtose | -0,6054576 | Curtose | 0,83211833 |
| Assimetria | 0,82299207 | Assimetria | -0,3068319 | Assimetria | 0,12546581 |
| Intervalo | 6,598 | Intervalo | 0,234 | Intervalo | 1,2 |
| Mínimo | 113,671 | Mínimo | 115,385 | Mínimo | 116,8 |
| Máximo | 120,269 | Máximo | 115,619 | Máximo | 118 |
| Soma | 9649,353 | Soma | 9588,071 | Soma | 9741,4 |
| Contagem | 83 | Contagem | 83 | Contagem | 83 |

| *T06-Genie* | | *T11-Genie* | |
|---|---|---|---|
| Média | 116,268169 | Média | 116,198446 |
| Erro padrão | 0,06773882 | Erro padrão | 0,00734613 |
| Mediana | 116,178 | Mediana | 116,203 |
| Modo | 115,735 | Modo | 116,203 |
| Desvio padrão | 0,61713004 | Desvio padrão | 0,06692647 |
| Variância da amos | 0,38084948 | Variância da amostr | 0,00447915 |
| Curtose | -0,3740065 | Curtose | 1,11045593 |
| Assimetria | 0,41669529 | Assimetria | -0,688566 |
| Intervalo | 2,703 | Intervalo | 0,367 |
| Mínimo | 115,026 | Mínimo | 115,978 |
| Máximo | 117,729 | Máximo | 116,345 |
| Soma | 9650,258 | Soma | 9644,471 |
| Contagem | 83 | Contagem | 83 |

| *T13-Genie* | | *T14-Genie* | |
|---|---|---|---|
| Média | 116,140253 | Média | 115,947578 |
| Erro padrão | 0,01311128 | Erro padrão | 0,01297252 |
| Mediana | 116,153 | Mediana | 115,936 |
| Modo | 116,312 | Modo | 115,936 |
| Desvio padrão | 0,11944943 | Desvio padrão | 0,11818527 |
| Variância da amos | 0,01426817 | Variância da amostr | 0,01396776 |
| Curtose | -0,7773355 | Curtose | -0,6653052 |
| Assimetria | -0,2069941 | Assimetria | 0,0944144 |
| Intervalo | 0,476 | Intervalo | 0,493 |
| Mínimo | 115,886 | Mínimo | 115,702 |
| Máximo | 116,362 | Máximo | 116,195 |
| Soma | 9639,641 | Soma | 9623,649 |
| Contagem | 83 | Contagem | 83 |

**Tabelas de dados estatísticos dos dados de temperatura obtidos na calibração – 121 °C.**

| *Tflex -Doric* | | *T02-Doric* | |
|---|---|---|---|
| Média | 120,722892 | Média | 120,455422 |
| Erro padrão | 0,01074992 | Erro padrão | 0,0182429 |
| Mediana | 120,7 | Mediana | 120,5 |
| Modo | 120,8 | Modo | 120,6 |
| Desvio padrão | 0,09793639 | Desvio padrão | 0,16620074 |
| Variância da amo | 0,00959154 | Variância da am | 0,02762269 |
| Curtose | -0,5096057 | Curtose | 0,56326945 |
| Assimetria | -0,2395684 | Assimetria | -0,1707468 |
| Intervalo | 0,4 | Intervalo | 1 |
| Mínimo | 120,5 | Mínimo | 119,9 |
| Máximo | 120,9 | Máximo | 120,9 |
| Soma | 10020 | Soma | 9997,8 |
| Contagem | 83 | Contagem | 83 |

| *T05-Doric* | | *T06-Doric* | |
|---|---|---|---|
| Média | 120,562651 | Média | 120,395181 |
| Erro padrão | 0,0223975 | Erro padrão | 0,02542057 |
| Mediana | 120,5 | Mediana | 120,4 |
| Modo | 120,4 | Modo | 120,2 |
| Desvio padrão | 0,20405095 | Desvio padrão | 0,23159237 |
| Variância da amo | 0,04163679 | Variância da am | 0,05363503 |
| Curtose | -0,2877906 | Curtose | 0,15042939 |
| Assimetria | 0,40871691 | Assimetria | -0,3082486 |
| Intervalo | 1 | Intervalo | 1,2 |
| Mínimo | 120,2 | Mínimo | 119,6 |
| Máximo | 121,2 | Máximo | 120,8 |
| Soma | 10006,7 | Soma | 9992,8 |
| Contagem | 83 | Contagem | 83 |

| *T11-Doric* | | *T13-Doric* | | *T14-Doric* | |
|---|---|---|---|---|---|
| Média | 120,318072 | Média | 120,444578 | Média | 120,775904 |
| Erro padrão | 0,01839462 | Erro padrão | 0,02008306 | Erro padrão | 0,01289556 |
| Mediana | 120,3 | Mediana | 120,4 | Mediana | 120,8 |
| Modo | 120,4 | Modo | 120,4 | Modo | 120,7 |
| Desvio padrão | 0,16758295 | Desvio padrão | 0,18296542 | Desvio padrão | 0,11748416 |
| Variância da amo | 0,02808404 | Variância da am | 0,03347634 | Variância da am | 0,01380253 |
| Curtose | 1,34594372 | Curtose | -1,2378448 | Curtose | -0,2946008 |
| Assimetria | -0,5160172 | Assimetria | 0,0582207 | Assimetria | 0,43909 |
| Intervalo | 1 | Intervalo | 0,7 | Intervalo | 0,5 |
| Mínimo | 119,7 | Mínimo | 120,1 | Mínimo | 120,6 |
| Máximo | 120,7 | Máximo | 120,8 | Máximo | 121,1 |
| Soma | 9986,4 | Soma | 9996,9 | Soma | 10024,4 |
| Contagem | 83 | Contagem | 83 | Contagem | 83 |

**Tabelas de dados estatísticos dos dados de temperatura obtidos na calibração – 121 °C.**

| T02-Genie | | T05-Genie | | Tflex -Genie | |
|---|---|---|---|---|---|
| Média | 118,6709 | Média | 118,462 | Média | 120,38375 |
| Erro padrão | 0,145104 | Erro padrão | 0,006615 | Erro padrão | 0,02435521 |
| Mediana | 118,7415 | Mediana | 118,45 | Mediana | 120,4 |
| Modo | 118,733 | Modo | 118,429 | Modo | 120,2 |
| Desvio padrão | 1,29785 | Desvio padrão | 0,059165 | Desvio padrão | 0,21783965 |
| 'ariância da amostr | 1,684415 | 'ariância da amostr | 0,003501 | Variância da amost | 0,04745411 |
| Curtose | -0,31877 | Curtose | -0,49689 | Curtose | -0,6926158 |
| Assimetria | -0,46242 | Assimetria | 0,531322 | Assimetria | 0,06292212 |
| Intervalo | 5,561 | Intervalo | 0,258 | Intervalo | 1 |
| Mínimo | 115,432 | Mínimo | 118,346 | Mínimo | 119,8 |
| Máximo | 120,993 | Máximo | 118,604 | Máximo | 120,8 |
| Soma | 9493,671 | Soma | 9476,962 | Soma | 9630,7 |
| Contagem | 80 | Contagem | 80 | Contagem | 80 |

| T06-Genie | | T11-Genie | |
|---|---|---|---|
| Média | 119,2082 | Média | 119,176 |
| Erro padrão | 0,047207 | Erro padrão | 0,007474 |
| Mediana | 119,187 | Mediana | 119,179 |
| Modo | 119,32 | Modo | 119,196 |
| Desvio padrão | 0,422229 | Desvio padrão | 0,066848 |
| 'ariância da amostr | 0,178278 | Variância da amos | 0,004469 |
| Curtose | -0,73482 | Curtose | -0,71342 |
| Assimetria | -0,05793 | Assimetria | 0,045713 |
| Intervalo | 1,791 | Intervalo | 0,258 |
| Mínimo | 118,287 | Mínimo | 119,046 |
| Máximo | 120,078 | Máximo | 119,304 |
| Soma | 9536,655 | Soma | 9534,077 |
| Contagem | 80 | Contagem | 80 |

| T13-Genie | | T14-Genie | |
|---|---|---|---|
| Média | 119,0934 | Média | 118,9033 |
| Erro padrão | 0,008958 | Erro padrão | 0,009116 |
| Mediana | 119,079 | Mediana | 118,908 |
| Modo | 119,079 | Modo | 118,946 |
| Desvio padrão | 0,08012 | Desvio padrão | 0,081536 |
| Variância da amos | 0,006419 | Variância da amos | 0,006648 |
| Curtose | -0,45764 | Curtose | -0,92756 |
| Assimetria | 0,059368 | Assimetria | 0,141279 |
| Intervalo | 0,374 | Intervalo | 0,333 |
| Mínimo | 118,888 | Mínimo | 118,738 |
| Máximo | 119,262 | Máximo | 119,071 |
| Soma | 9527,47 | Soma | 9512,266 |
| Contagem | 80 | Contagem | 80 |

**Tabelas de dados estatísticos dos dados de temperatura obtidos na calibração – 123 °C.**

| *Tflexível Doric* | | *T02-Doric* | | *T05-Doric* | |
|---|---|---|---|---|---|
| Média | 122,718519 | Média | 122,474074 | Média | 122,588889 |
| Erro padrão | 0,00768016 | Erro padrão | 0,01781054 | Erro padrão | 0,01859245 |
| Mediana | 122,7 | Mediana | 122,4 | Mediana | 122,6 |
| Modo | 122,7 | Modo | 122,4 | Modo | 122,6 |
| Desvio padrão | 0,06912147 | Desvio padrão | 0,16029487 | Desvio padrão | 0,16733201 |
| Variância da amc | 0,00477778 | Variância da amost | 0,02569444 | Variância da amost | 0,028 |
| Curtose | 0,5459937 | Curtose | -0,3224231 | Curtose | -0,5145696 |
| Assimetria | -0,2619188 | Assimetria | 0,23116823 | Assimetria | -0,1647357 |
| Intervalo | 0,4 | Intervalo | 0,7 | Intervalo | 0,7 |
| Mínimo | 122,5 | Mínimo | 122,1 | Mínimo | 122,2 |
| Máximo | 122,9 | Máximo | 122,8 | Máximo | 122,9 |
| Soma | 9940,2 | Soma | 9920,4 | Soma | 9929,7 |
| Contagem | 81 | Contagem | 81 | Contagem | 81 |

| *T06-Doric* | | *T11-Doric* | |
|---|---|---|---|
| Média | 122,414815 | Média | 122,292593 |
| Erro padrão | 0,0219505 | Erro padrão | 0,0154937 |
| Mediana | 122,4 | Mediana | 122,3 |
| Modo | 122,3 | Modo | 122,3 |
| Desvio padrão | 0,19755449 | Desvio padrão | 0,13944334 |
| Variância da amc | 0,03902778 | Variância da amost | 0,01944444 |
| Curtose | -0,9007632 | Curtose | 0,43597035 |
| Assimetria | 0,23765981 | Assimetria | 0,47552808 |
| Intervalo | 0,7 | Intervalo | 0,7 |
| Mínimo | 122,1 | Mínimo | 122 |
| Máximo | 122,8 | Máximo | 122,7 |
| Soma | 9915,6 | Soma | 9905,7 |
| Contagem | 81 | Contagem | 81 |

| *T13-Doric* | | *T14-Doric+C9* | |
|---|---|---|---|
| Média | 122,432099 | Média | 122,766667 |
| Erro padrão | 0,01906998 | Erro padrão | 0,01372121 |
| Mediana | 122,4 | Mediana | 122,8 |
| Modo | 122,3 | Modo | 122,7 |
| Desvio padrão | 0,17162981 | Desvio padrão | 0,12349089 |
| Variância da amc | 0,02945679 | Variância da amost | 0,01525 |
| Curtose | -0,8767464 | Curtose | 0,47228983 |
| Assimetria | 0,25957779 | Assimetria | 0,58527723 |
| Intervalo | 0,7 | Intervalo | 0,6 |
| Mínimo | 122,1 | Mínimo | 122,5 |
| Máximo | 122,8 | Máximo | 123,1 |
| Soma | 9917 | Soma | 9944,1 |
| Contagem | 81 | Contagem | 81 |

**Tabelas de dados estatísticos dos dados de temperatura obtidos na calibração – 123 °C.**

| *T02-Genie* | | *T05 - Genie* | | *Tflex - Genie* | |
|---|---|---|---|---|---|
| Média | 121,81 | Média | 120,3367 | Média | 122,3823 |
| Erro padrão | 0,1082 | Erro padrão | 0,008705 | Erro padrão | 0,02402 |
| Mediana | 121,83 | Mediana | 120,321 | Mediana | 122,4 |
| Modo | 122,47 | Modo | 120,321 | Modo | 122,3 |
| Desvio padrão | 0,9618 | Desvio padrão | 0,077369 | Desvio padrão | 0,213493 |
| Variância da amos | 0,925 | Variância da amost | 0,005986 | Variância da amost | 0,045579 |
| Curtose | -0,0267 | Curtose | 0,557769 | Curtose | 2,063658 |
| Assimetria | 0,3293 | Assimetria | 0,985543 | Assimetria | -0,76042 |
| Intervalo | 4,52 | Intervalo | 0,325 | Intervalo | 1,2 |
| Mínimo | 119,8 | Mínimo | 120,204 | Mínimo | 121,6 |
| Máximo | 124,32 | Máximo | 120,529 | Máximo | 122,8 |
| Soma | 9622,8 | Soma | 9506,6 | Soma | 9668,2 |
| Contagem | 79 | Contagem | 79 | Contagem | 79 |

| *T06 -Genie* | | *T11-Genie* | |
|---|---|---|---|
| Média | 121,26 | Média | 121,0957 |
| Erro padrão | 0,0364 | Erro padrão | 0,007144 |
| Mediana | 121,27 | Mediana | 121,087 |
| Modo | 121,32 | Modo | 121,095 |
| Desvio padrão | 0,3236 | Desvio padrão | 0,063494 |
| Variância da amos | 0,1047 | Variância da amost | 0,004031 |
| Curtose | -0,5156 | Curtose | 0,384471 |
| Assimetria | -0,1247 | Assimetria | 0,650221 |
| Intervalo | 1,454 | Intervalo | 0,291 |
| Mínimo | 120,47 | Mínimo | 120,97 |
| Máximo | 121,93 | Máximo | 121,261 |
| Soma | 9579,4 | Soma | 9566,558 |
| Contagem | 79 | Contagem | 79 |

| *T13-Genie* | | *T14-Genie* | |
|---|---|---|---|
| Média | 120,99 | Média | 120,6989 |
| Erro padrão | 0,0091 | Erro padrão | 0,055226 |
| Mediana | 120,99 | Mediana | 120,812 |
| Modo | 120,99 | Modo | 120,904 |
| Desvio padrão | 0,0808 | Desvio padrão | 0,490857 |
| Variância da amos | 0,0065 | Variância da amost | 0,240941 |
| Curtose | -0,8794 | Curtose | 11,04858 |
| Assimetria | 0,0704 | Assimetria | -3,52085 |
| Intervalo | 0,322 | Intervalo | 2,189 |
| Mínimo | 120,85 | Mínimo | 118,811 |
| Máximo | 121,17 | Máximo | 121 |
| Soma | 9558,5 | Soma | 9535,217 |
| Contagem | 79 | Contagem | 79 |

## VIII.Referências bibliográficas:


1. ADVANTECH GENIE Basic Script: Programmer's Reference. S.I.: Advantech Co., Ltd., 1997. 552p.

2. AGGETT, P. New niche for processables. **Food Manufacture.** London, v.65, n.6, p.43-46, jun. 1990

3. BALL, C.O. & OLSON, F.C.W. Foundation of food process calculation methods. **Food Research,** v. 20, p. 666-686, 1955. *Apud*: STOFOROS, N.G. Thermal process design. **Food Control**, v.6, n.2, p.81-94, 1995.

4. BALLABAN, M.; TEIXEIRA, A. **Computer applications in thermal processing of canned foods.** In: SEMINÁRIO SOBRE DESVIOS DE PROCESSOS DE ESTERILIZAÇÃO COMERCIAL DE ALIMENTOS. Publicação especial do Instituto de Tecnologia de Alimentos, Campinas. 1997. Paginação irregular.

5. BERRY, M. R. JR. & Busch, R.C. Thermal processing retortable plastic containers with metal lids in steam and water with comparisons to metal cans. **Journal of Food Science,** v.53, n.6, p.1877-1879, 1988.

6. BHOWMIK, S.R.; TANDON, S. A method for thermal process evaluation of conduction heated food in retortable pouch. **Journal of Food Science,** v.52, p.202-209, 1987.

7. BIGELOW, W.D.; BOHART, G.S.; RICHARDSON, A.C.; BALL, C.O. Heat penetration in Process Canned Foods. **National Canner's Association**, Bulletin 16L, Washington,

D.C., U.S.A. *Apud:* PFLUG,I.J. 1990. **Microbiology and Engineering of Sterilization Processes.** 7th ed. Environmental Sterilization Laboratory, Minneapolis, U.S.A.

8. UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. **Normas para publicação de dissertações e teses**, elaborado pela Bibioteca Central da UNICAMP, 1997. Referências Bibliográficas NBR6023/89. Resolução CPG/FEA 01/92.

9. BOSTON, R. & SWIENTEK, R.J. Computerized data collection system speeds thermal process calculations. **Food Processing**, v.42, n.11, 1981.

10. CAMPBELL, S. & RAMASWAMY, H.S. Heating rate, lethality and cold spot location in air-entrapped retort pouches during over-pressure processing. **Journal of Food Science**, v.57, n.2, p. 485-489, 1993.

11. CASTILLO, P.F.; BARREIRO, J.A.; SALAS, G.R. Prediction of nutrient retention in thermally processed heat conduction food packaged in retortable pouchs. **Journal of Food Science**, v.45, p.1513-1517, 1980.

12. CARDELLI, C. C. **Estudo da esterilização numa autoclave vertical modificada para o termoprocessamento de bolsas flexíveis.** Campinas, 1992. 281p. Dissertação (Mestre em Engenharia de Alimentos), Faculdade de Engenahria de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

13. CARVALHO, C.D. **Utilização do bioteste com esporos de Bacillus subtilis na avaliação da integridade asséptica de embalagens flexíveis esterilizáveis**. Campinas, 1996. 113p. Dissertação (Mestre em Ciência de Alimentos), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

14. CARSLAW, H.S. & JAEGER, J.C. **Conduction of heat in solids**. London: Oxford University Press, 1959. 254 p.

15. CRISTIANINI, M. **Estudo da distribuição de temperaturas durante o processo de esterilização de atum (*Katsuwonus pelamis)* em bolsa flexível.** Campinas, 1998. 134 p. Dissertação (Doutor em Ciência dos Alimentos), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

16. DATTA, A.K.; TEIXEIRA, A.A.; MANSON, J. Computer based retort control logic for on-line correction of process deviations. **Journal of Food Science**, v. 51, n.2, p.480-483, 1986.

17. GHAZALA, S.; RAMASWAMY, H.S.; SMITH, J.P.; SIMPSON, M.V. Thermal process simulations for *sous vide* processing of fish and meat foods. **Food Research International,** v.28, n.2, p.117-122, 1995.

18. GHAZALA, S.; RAMASWAMY, H. S.; SMITH, J.; SIMPSON, B. Thermal process time calculations for thin profile packages: comparison of formula methods. **Journal of Food Process Engineering,** Trumbull, v.13, p.269-282, 1991.

19. GILL, T.A. ; THOMPSON, J.W.; LEBLANC, G. Computerized control strategies for a steam retort. **Journal of Food Engineering**, v.10, p.135-154, 1990.

20. GOLDFARB, S.M. Microcomputer data acquisition. **Chemical Engineering**, v.40, n.7, p.89-91, 1983.

21. GÜTENSPERGER, B. & ESCHER, F.E. Oxidative changes of heat sterilized meat in trays. **Journal of Food Science,** v.59, n.4, p. 689-692, 1994.

22. HAYAKAWA, K. Experimental formulas for accurate estimation of transient temperature of food and their application to thermal process evaluation. **Food Technology,** v. 24, p.1407-1418, 1970.

23. HAYAKAWA, K. A critical review of mathematical procedures for determining proper heat sterilization processes. **Food Technology**, v.32, n.3,.p.59-65, 1978.

24. HAYAKAWA, K. Empirical formulas for estimating nonlinear survivor curves of thermally vulnerable factors. **Canadian Institute of Food science and Technology Journal,** v. 15, p. 116-119, 1982.

25. HAYAKAWA, K. & GIANNONI-SUCCAR, E. Modified Duhamel's theorem for variable coefficient of convective surface heat transfer. **Journal of Food Engineering**, v.27, p.125-143, 1996.

26. FASTAG, J., KOIDE, H., RIZVI, S.S.H. Variable control of a batch retort and process simulation for optimization studies. **Journal of Food Process Engineering**, v.19, p. 1-14, 1996.

27. JUDGE, E.E. **The Almanac of the Canning , Freezing and Preserving Industries.** 8th. Westminster: Edward E. Judge and Sons, Inc., 1997. 824 p.

28. KANELLOPOULOS, G. & POVEY, M.J.W. A finite element model for conduction errors in thermocouples during thermal sterilization of conduction-heating foods. **International Journal of Food Science and Technology,** v.26, p.409-421, 1991.

29. KEBEDE, E.; MANNHEIM, C.H. ; MILTZ, J. Heat penetration and quality preservation during thermal treatment in plastic trays and metal cans. **Journal of Food Science,** v.30, p.109-115, 1996.

30. LAPPO, B.P.& POVEY, M.J. A microprocessor control system for thermal sterilisation operations. **Journal of Food Engineering**, v.5, p. 31-56, 1986.

31. LEBOWITZ, S.F. & BHOWMIK, S.R. Determination of retortable pouch heat transfer coefficients by optimization method. **Journal of Food Science,** v.54, n.6, p.1407-1412, 1989.

32. LU, Q.; MULVANEY, S.J.; HSIEH, F. Thermal processes for metal cans compared to retortable plastic containers. **Journal of Food Science,** v.56, n.3, 1991.

33. MERMELSTEIN, N.H. Retourt pouch earns 1978 IFT Food Technology Industrial Achievement Award. **Food Technology,** v.32, n 6, p.22-25, 1978.

34. MILTZ, J.; RAZ, I.; PASSY, N. Shelf-life of grapefruit segmwents in multilayer plastic trays. **Lebensm – Wiss. U. technol,** v.28, p.442-447, 1995.

35. MULVANEY, S.J., HOUGHTON, G.E., RIZVI, S.S.H. Development of computer – based process control experiments for a food engineering course. **Food Technology,** abril, p. 98 – 102, 1985.

36. NAVANKASATTUSAS, S & LUND, D.B. Monitoring and controlling thermal processes by on-line measurement of accomplished lethality. **Food Technology**, v.3, p.79-83, 1978.

37. NFPA, NATIONAL FOOD PROCESSORS ASSOCIATION. Guidelines for process development for foods packaged in flexible containers. Washington, D.C.: National Food Processors Association, 1985. *Apud*: BALLABAN, M.; TEIXEIRA, A. **Computer applications in thermal processing of canned foods.** In: SEMINÁRIO SOBRE DESVIOS DE PROCESSOS DE ESTERILIZAÇÃO COMERCIAL DE ALIMENTOS, . Publicação. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1997. Paginação irregular.

38. OLIVEIRA, L.M.; D'ERRICO, P.A.; MARTINS, M.I.; ORTIZ, S.A.; ANJOS, V.D.A. **Retortable Pouch & Retortable Container.** Campinas: CETEA / Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1990. 24 p. (Publicações Técnicas).

39. OHLSSON, T. Optimal sterilization temperatures for flat containers**. Journal of Food Science,** v.45, p.848-852, 1980.

40. ORTIZ, S.A.; ALVES, R.M.V.; OLIVEIRA, L.M.; ANJOS, V.D.A.; GONÇALVES, J.R. Performance of aluminium trays for sterilized products. **Packaging Technology and Science,** v.8, p.55-72, 1995.

41. PATEL, P.N.; CHANDARA, D.I.; GAVIN III, A. Internal Pressure profile in semi-rigid food packages during thermal processing in steam / air. **Journal of Food Science**, v.56, n.3, p.831-834, 1991.

42. PETERSON, W.R. & ADAMS, J.P. Temperature Sensor Placement Errors in Institutional Size Retort Pouches**. Journal of Food Science**, v.50, p.192-196, 1985.

43. PFLUG, I. **Microbiology and Engineering of Sterilization processes**. 7 th. Minnesota: Department of Food science and Nutrition, University of Minnesota, E.U.A., 1990. 534p.

44. RAMASWAMY, H.S.; TUNG, M.A.; STARK, R. A method to measure surface heat transfer from steam/air mixtures in batch retorts. **Journal of Food Science**, v.48, p.900-904, 1983.

45. RODRIGUEZ, A. C.; SMERAGE, G..H.; TEIXEIRA, A..A.; BUSTA, F.F.. Kinetic effects of lethal temperatures on spore populations. **Transactions of ASAE**, St. Joseph, 1988. [In-Press]

46. ROOP, R.A. & BADENHOP, A.F. A computer-thermocouple interfacing system for time-temperature data collection from thermal food processes. **Journal of Food Process Engineering,** v.2, p.323-337, 1978.

47. SHIN, S. & BHOWMIK, S.R. Computer simulation to evaluate thermal processing of food in cylindrical plastic cans. **Journal of Food Engineering**, v.12, p.117-131, 1990.

48. SIMPSON, R., ALMONACID-MERINO, S.F., TORRES, J.A. Mathematical models and logic for the computer control of batch retorts: conduction-heated foods. **Journal of Food Engineering**, v.20, p.283-295, 1993.

49. SILVA, S.L.M.; OLIVEIRA, F.A.R.; PEREIRA, P.A.A. Optimum sterilization; a comparative study between average and surface quality**. Journal of Food Process Engineering,** v.17, p.155-176, 1994.

50. SNYDER, C.J. & HENDERSON, J.M. A preliminary stydy of heating characteristics and quality attributes of product packaged in the retort pouch compared with the conventional can. **Journal of Food Process Engineering**, v.10, p. . 221-236, 1989.

51. STOFOROS, N.G. Thermal process design. **Food Control**, v.6, n.2, p.81-94, 1995.

52. STUMBO, C.R. **Thermobacteriology in Food Porcessing.** 2nd . New York: Academic Press, 1973. 325 p.

53. TANDON, S. & BHOWMIK, S. Evaluation of thermal processing of retortable pouches filled with conduction heated foods considering their actual shapes. **Journal of Food Science**,v.51, n.3 , p.709-714, 1986.

54. TEIXEIRA, A. A. & MANSON, J.E. Computer control of batch retort operations with on-line correction of process deviations. Food Technology, abril, p.85-90, 1990.

55. TEIXEIRA, A.A. ; DIXON, J.R.; ZAHRADNIK, J.W; ZINSMEISTER, G.E. Computer Optimization of Nutrient Retention in the Thermal processing of Conduction-Heated Foods. **Food Technology** , v.23, p.137-142, 1969.

56. TEIXEIRA, A.A. & TUCKER, G.S. On-line retort control in thermal sterilization of canned foods. **Food Control**, vol.8, p. 13-20.

57. TUNG, M.A.; RAMASWAMY, H.S.; SMITH, T.; STARK, R. Surface heat transfer coefficients for steam / air mixtures in two pilot scale retorts. **Journal of Food Science**, v.49, p.939-943, 1984.

58. WEINTRAUB, S.E.; RAMASWAMY, H.S.; TUNG, M.A. Heating rates in flexible packages containing entrapped air during overpressure processing, **Journal of Food Science,** v.54, n.6, 1989.

59. YAMAGUCHI, K. Retortable Packaging. In: KADOYA, T. **Food Packaging**. New York: Academic Press, Inc., 1990. Capítulo 11: p.185-211.