

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

**PROCESSO INTEGRADO DE COZIMENTO E RESFRIAMENTO DE  
LEGUMES**

**LUIZ GUSTAVO GONÇALVES RODRIGUES  
Engenheiro de Alimentos**

**Florianópolis – SC  
2009**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**CENTRO TECNOLÓGICO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

**PROCESSO INTEGRADO DE COZIMENTO E RESFRIAMENTO DE  
LEGUMES**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Alimentos.

Área de concentração: Desenvolvimento de Processos na Indústria de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. João Borges Laurindo

**LUIZ GUSTAVO GONÇALVES RODRIGUES**  
**Engenheiro de Alimentos**

**Florianópolis – SC**  
**2009**

**“Tudo o que acontece é natural – inclusive o sobrenatural.”**  
Mário Quintana.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar aos meus pais, Adélia e Vanderlei pelo incentivo, carinho e apoio em todos os momentos. Também a toda minha família.

Ao professor João Borges Laurindo, pela orientação, oportunidade, disponibilidade, paciência e confiança prestadas durante este trabalho.

A todos os colegas de mestrado, em especial ao grupo de colegas e amigos Andréia, Bianca, Fernanda, Janaína, Jaqueline, Jéfferson, Maurício, Thiago e Wagner.

Aos amigos e colegas do laboratório de Propriedades Físicas de Alimentos: Bruno, Carmen, Fabinho e Vivian, pelo convívio e ajuda.

Agradeço as colegas Franciny e a Darlene pelos ensinamentos e disponibilidade durante este trabalho.

A todos os amigos de Rio Grande/RS e Uruguaiana/RS, pela amizade e incentivo durante esta etapa.

A minha madrinha Odila e seus filhos Luciane, Aline e Astor Filho.

Ao Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos da UFSC. Aos professores e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, pelo ensino e disponibilidade.

Aos professores Alcilene Fritz e José Carlos Petrus pela paciência e oportunidade durante o período na secretaria.

Aos membros banca examinadora pela disponibilidade.

A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

## RESUMO

As tendências de estilo de vida da população causaram mudanças nos hábitos alimentares em todo o planeta e a necessidade de redução do tempo de preparo de alimentos. Isso tem contribuído para o aumento nas vendas de produtos em porções únicas e de refeições rápidas. No processo de produção, as refeições rápidas devem ser imediatamente resfriadas ao final do processo de cozimento, com o propósito de melhorar a segurança alimentar, reduzindo o desenvolvimento microbiano. O resfriamento a vácuo tem sido apontado como uma alternativa viável para o resfriamento rápido de alguns produtos alimentícios. O objetivo deste trabalho foi investigar a possibilidade de integrar os processos de cozimento e de resfriamento de batatas e cenouras em um só equipamento, através do uso do resfriamento a vácuo. Estudou-se a influência de diferentes tempos e temperaturas de cozimento, diferentes métodos de cozimento (cozimento a vapor e imersão em água em ebulição) e resfriamento (a vácuo e em câmara fria, com e sem imersão em água) na perda ou ganho de massa e na textura do produto final. Os resultados indicaram que a perda de massa durante a etapa de resfriamento foi dependente do tempo e da temperatura de cozimento, assim como do processo de resfriamento. O tempo e a temperatura de cozimento influenciaram significativamente a textura dos vegetais, reduzindo a firmeza dos mesmos. Observou-se também que os parâmetros de textura de amostras de batatas e cenouras resfriadas a vácuo e em câmara fria foram dependentes do conteúdo de umidade final. Para um mesmo tempo de cozimento, quanto maior o teor de umidade final das amostras resfriadas, maiores foram os valores da força de compressão para uma mesma deformação relativa, da dureza, gomosidade e mastigabilidade resultantes das análises de TPA. Os parâmetros adesividade, coesividade e elasticidade das amostras não foram diferentes, ao nível de significância de 5%. Desta forma, o uso da técnica de resfriamento a vácuo integrado ao cozimento de legumes é uma alternativa para processamento industrial desses alimentos. Com esse procedimento, pode-se reduzir o tempo de resfriamento e de processamento e evitar o contato do produto com água de resfriamento, reduzindo o risco de contaminações cruzadas.

Palavras-chave: legumes, cozimento, resfriamento a vácuo, processo integrado.

## **ABSTRACT**

Changes on global life style have led to changes on food preparation and consumption. These changes have been increasing sales of products in single servings and ready meals. During ready meals industrial production, they must be immediately cooled after cooking, to prevent or reduce microbial growth. Vacuum cooling has been reported as a viable alternative to the rapid cooling of some food products. The aim of this work was to investigate the possibility of integrating food cooking and cooling of potatoes and carrots in single equipment, by the use of vacuum cooling. It was investigated the influence of different cooking times and temperatures, different methods of cooking (steam and immersion in boiling water) and cooling (vacuum cooling and cold room cooling) in the weight loss or weight gain, and on the texture of the final product. The results indicated that the weight loss during cooling was dependent of the time and of the cooking temperature, as well as of the process cooling (vacuum cooling and cold room cooling). Texture parameters of potatoes and carrots samples, cooled by vacuum or in the cold room, were dependent of the final moisture contents. Time and temperature of cooking influenced the vegetable texture, reducing their hardness. It was also observed that the increase of the final moisture content resulted in an increase of compression force for a given strain, hardness, gumminess and chewiness, resulting from TPA tests. The TPA parameters adhesiveness, springiness and cohesiveness did not show differences at 5% of significance level. Thus, the integration of cooking and vacuum cooling of potatoes and carrots in a same vessel can be a viable alternative for industrial processing. With this procedure, it is possible to reduce cooling and process times and to avoid contact between cooked product and cooling water, reducing risk of cross contamination.

**Keywords: vegetables, cooking, vacuum cooling, integrated process.**

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Relação entre a pressão de vapor de saturação da água e a temperatura de saturação. Eq. de Antoine: $\log_{10} P_{\text{vaporsat.}}=A-(B/(T+C))$ ; Para a água: $A=7,96681$ ; $B=1668,21$ ; $C=228,0$ .....	26
Figura 2.2 Sistema típico de resfriamento a vácuo (SUN e ZHENG, 2006). ....	27
Figura 2.3 Curvas típicas de resfriamento para grãos de arroz cozidos, resfriados por 4 diferentes métodos (ZHANG e SUN, 2006).....	30
Figura 3.1 Amostras de batatas e cenouras com os termopares inseridos.....	37
Figura 3.2 Sistema experimental do processo integrado de cozimento e resfriamento a vácuo de batata e cenoura. ....	39
Figura 3.3 Esquematisação da perda global de massa experimental de batatas. ....	41
Figura 3.4 Típica curva da análise do perfil de textura para alimentos sólidos ou semi-sólidos (Adaptado de DOLATOWSKI, STASIAK e LATOCH, 2000).....	43
Figuras 4.1 (a) Temperatura do centro geométrico das amostras (T1, T2 e T3) durante cozimento de batatas durante 900 segundos a 100 °C. $T_{\text{Ambiente}}$ : Temp. ambiente interno na autoclave. (b) Temperaturas comparativas dos centros geométricos de amostras durante cozimento de batatas durante 300, 600 e 900 segundos a 100 °C.....	46
Figuras 4.2 (a) Temperatura do centro geométrico das amostras (T1, T2 e T3) durante cozimento de batatas durante 1200s a 90 °C. $T_{\text{Ambiente}}$ : Temp. do ambiente interno na autoclave; (b) Temperaturas comparativas dos centros geométricos de amostras durante cozimento de batatas durante 600, 900 e 1200 segundos a 90 °C.....	46
Figura 4.3 Temperaturas comparativas de cozimento a vapor e em imersão de batatas até 90 °C. $T_{\text{vapor}}$ : Cozimento em vapor de batatas; $T_{\text{imerso}}$ : Cozimento de batatas imersas em água fervente (900ml). $T_{\text{Ambiente}}$ : Temp. ambiente no interior da autoclave; $T_{\text{água}}$ : Temp. da água durante o cozimento. ....	47
Figura 4.4 (a) Coz. de batatas a 100 °C durante 900 s, seguido de resfriamento a vácuo; (b) Coz. de batatas a 90 °C durante 900 s, seguido de resfriamento a vácuo. $T_{\text{Ambiente}}$ : Temp. do ambiente interno na autoclave; T1, T2 e T3: Temp.	

no centro das amostras 1, 2 e 3; Pressão: Comportamento da Pressão durante o processo.....	53
Figura 4.5 (a) Coz. de batatas a 100°C durante 300, 600 e 900 s, seguido de resfriamento a vácuo; (b) Cozimento de batatas a 90°C durante 600, 900 e 1200 s, seguido de resfriamento a vácuo. T1 e T2: Temp. no centro das amostras 1 e 2 em diferentes tempos de processo.....	53
Figura 4.6 Comparativo dos processos integrados de cozimento no vapor e em imersão até as amostras atingirem 90°C seguido de resfriamento a vácuo. CV-RV: Coz. a vapor seguido de resfriamento a vácuo; CIA-RVI: Coz. imerso seguido de resfriamento a vácuo imerso na mesma água do cozimento; CIA-RV: Coz. imerso seguido de resfriamento a vácuo com drenagem da água de cozimento.....	54
Figura 4.7 Comparativo entre o resfriamento a vácuo (CV-RV) e em câmara (CV-RC) de batatas cozidas (cozimento a vapor em autoclave até a temperatura de 90°C).....	56
Figura 4.8 Comparativo entre o resfriamento a vácuo imerso (CIA-RVI) e o resfriamento imerso em câmara (CIA-RCI) de batatas cozidas (cozimento imerso em água até a temperatura de 90°C); (a) curvas dos processos de cozimento + resfriamento; (b) curvas do processo de resfriamento.....	57
Figura 4.9 (a) Temperatura do centro geométrico das amostras durante cozimento de cenouras a 100°C durante 900 s. $T_{Ambiente}$ : Temp. do ambiente interno na autoclave. T1, T2 e T3: Temp. de três amostras de cenouras; (b) Temperaturas do centro geométrico de três amostras durante cozimento de cenouras a 100°C em 900, 1200, e 1500 s.....	72
Figura 4.10 (a) Temperatura do centro geométrico das amostras durante cozimento de cenouras a 90°C durante 1500 s. $T_{Ambiente}$ : Temp. do ambiente interno na autoclave. T1, T2 e T3: Temp. de três amostras de cenoura; (b) Temperaturas do centro geométrico de três amostras durante cozimento de cenouras a 90°C em 1200, 1500 e 1800 s.....	72
Figura 4.11 Temperaturas do centro geométrico de amostras de cenoura durante cozimento imerso (CIA) e a vapor (CV) em 1500 s. $T_{água}$ : Temp. da água durante o processo. $T_{Ambiente}$ : Temp. do ambiente interno na autoclave..	73
Figura 4.12 (a) Coz. de cenouras a 100°C durante 1500 s, seguido de resfriamento a vácuo; (b) Coz. de cenouras a 100°C durante: 900, 1200 e 1500	



s, seguido de resfriamento a vácuo. $T_{Amb.}$ : Temp. interna na autoclave; T1, T2 e T3: Temp. no centro das amostras 1, 2 e 3; Pressão: Comportamento da Pressão durante o processo.....	78
Figura 4.13 (a) Coz. de cenouras a 90°C durante 1800 s, seguido de resfriamento a vácuo; (b) Cozimento de cenouras a 90°C durante: 1200, 1500 e 1800 s, seguido de resfriamento a vácuo. $T_{Ambiente}$ : Temp. ambiente no interior na autoclave; T1, T2 e T3: Temp. no centro da amostra 1, 2 e 3; Pressão: Comportamento da Pressão durante o processo.....	79
Figura 4.14 Comparativo entre o resfriamento a vácuo (C100,1500s+RV) e em câmara fria (CV-RC) após cozimento a vapor e o resfriamento a vácuo após a drenagem da água de cozimento de cenouras cozidas (CIA) (tempo de cozimento de 1500s).....	81
Figura 4.15 Comparativo entre o resfriamento a vácuo imerso (CIA-RVI) e o resfriamento imerso em câmara fria (CIA-RCI) de cenouras cozidas (cozimento imerso em água durante 1500s).....	82

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 Propriedades do vapor de água sob baixas pressões (GEANKOPLIS, 1993).....	26
Tabela 3.1 Processos de cozimento em diferentes tempos e temperaturas para as amostras de batata e cenoura.....	37
Tabela 4.1 Ganhos de massa e teores de umidades de batatas cozidas em diferentes tratamentos.....	44
Tabela 4.2 Perda de massa e teor de umidade de batatas resfriadas após o cozimento em diferentes tratamentos.....	50
Tabela 4.3 Parâmetros de força de compressão para uma determinada deformação relativa de batatas cozidas em diferentes tratamentos.....	58
Tabela 4.4 Parâmetros de análise do perfil de textura de batatas cozidas em diferentes tratamentos.....	62
Tabela 4.5 Teor de umidade final e parâmetros de força de compressão para uma determinada deformação relativa de batatas resfriadas após cozimento em diferentes tratamentos.....	64
Tabela 4.6 Parâmetros de análise do perfil de textura (TPA) de batatas resfriadas após cozimento em diferentes tratamentos.....	67
Tabela 4.7 Perda de massa e teor de umidade de cenouras cozidas em diferentes tratamentos.....	71
Tabela 4.8 Perda de massa e teor de umidade de cenouras resfriadas após o cozimento em diferentes tratamentos.....	75
Tabela 4.9 Parâmetros de força de compressão para uma determinada deformação relativa de cenouras cozidas em diferentes tratamentos.....	83
Tabela 4.10 Parâmetros de análise do perfil de textura de cenouras cozidas em diferentes tratamentos.....	85
Tabela 4.11 Parâmetros de força de compressão para uma determinada deformação relativa de cenouras resfriadas após cozimento em diferentes tratamentos.....	87
Tabela 4.12 Parâmetros de análise do perfil de textura (TPA) de cenouras resfriadas cozidas em diferentes tratamentos.....	90

## NOMENCLATURA

C90,600s	Cozimento na temperatura de 90 °C durante 600 segundos
C90,900s	Cozimento na temperatura de 90 °C durante 900 segundos
C90,1200s	Cozimento na temperatura de 90 °C durante 1200 segundos
C90,1500s	Cozimento na temperatura de 90 °C durante 1500 segundos
C90,1800s	Cozimento na temperatura de 90 °C durante 1800 segundos
C100,300s	Cozimento na temperatura de 100 °C durante 300 segundos
C100,600s	Cozimento na temperatura de 100 °C durante 600 segundos
C100,900s	Cozimento na temperatura de 100 °C durante 900 segundos
C100,1200s	Cozimento na temperatura de 100 °C durante 1200 segundos
C100,1500s	Cozimento na temperatura de 100 °C durante 1500 segundos
C90,600s+RV	Cozimento na temperatura de 90 °C durante 600 segundos mais resfriamento a vácuo
C90,900s+RV	Cozimento na temperatura de 90 °C durante 900 segundos mais resfriamento a vácuo
C90,1200s+RV	Cozimento na temperatura de 90 °C durante 1200 segundos mais resfriamento a vácuo
C90,1500s+RV	Cozimento na temperatura de 90 °C durante 1500 segundos mais resfriamento a vácuo
C90,1800s+RV	Cozimento na temperatura de 90 °C durante 1800 segundos mais resfriamento a vácuo
C100,300s+RV	Cozimento na temperatura de 100 °C durante 300 segundos mais resfriamento a vácuo
C100,600s+RV	Cozimento na temperatura de 100 °C durante 600 segundos mais resfriamento a vácuo
C100,900s+RV	Cozimento na temperatura de 100 °C durante 900 segundos mais resfriamento a vácuo
C100,1200s+RV	Cozimento na temperatura de 100 °C durante 1200 segundos mais resfriamento a vácuo
C100,1500s+RV	Cozimento na temperatura de 100 °C durante 1500 segundos mais resfriamento a vácuo
CIA-RV	Cozimento imerso em água fervente, drenagem da água de cozimento mais resfriamento a vácuo
CIA	Cozimento imerso em água fervente
CV	Cozimento no vapor
$\eta_T$	Decréscimo de temperatura por unidade de perda de massa percentual
RC	Resfriamento em câmara fria
PG	Poligalacturonase
PME	Pectinametilsterase

RCI	Resfriamento em câmara fria imerso em água
RVI	Resfriamento a vácuo imerso em água
RV	Resfriamento a vácuo
TPA	Análise do perfil de textura
$\Delta T$	Varição de temperatura
Q	Vazão de bombeamento (m <sup>3</sup> /h)
$\rho_{ar}$	Densidade do ar (kg/m <sup>3</sup> )
dm/dt	Varição da massa de ar no interior da câmara de vácuo (kg/h).
R	Constante universal dos gases ideais
$P_{fp}$	Pressão no ponto “flash” (mmHg)
$\Delta m_w$	Perda de massa (kg)
c	Calor específico do produto no intervalo de temperaturas de trabalho (kJ/kg <sup>o</sup> C)
$\Delta \hat{H}_v$	Entalpia específica de vaporização da água na pressão final de trabalho (kJ/kg)

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 OBJETIVOS.....	16
1.1.1 Objetivos Específicos.....	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1 Batata .....	18
2.2 Cenoura .....	19
2.3 Refeições Rápidas.....	20
2.4 Cozimento de vegetais .....	21
2.4.1 <i>Textura de vegetais processados</i> .....	22
2.5 Resfriamento .....	24
2.6 Resfriamento a Vácuo .....	25
2.6.1 <i>Método de Resfriamento a Vácuo</i> .....	29
2.6.2 <i>Vantagens e desvantagens do resfriamento a vácuo</i> .....	29
2.6.3 <i>Aplicações resfriamento a vácuo</i> .....	31
2.6.4 <i>Resfriamento a vácuo de refeições rápidas</i> .....	34
3. Materiais e métodos.....	36
3.1 Preparação das amostras .....	36
3.2 Determinação dos teores de umidade das amostras <i>in natura</i> de batata e cenoura.....	36
3.3 Método de cozimento.....	36
3.4 Experimentos de resfriamento .....	38
3.4.1 <i>Resfriamento a vácuo (RV)</i> .....	38
3.4.2 <i>Comparação de outros métodos de resfriamento com o resfriamento a vácuo</i> .....	39
3.5 Determinação do ganho e perda de massa .....	40
3.5.1 <i>Ganho ou perda de massa no cozimento</i> .....	40
3.6 Análise de textura .....	41
3.6.1 <i>Análise do perfil de textura das amostras cozidas e resfriadas</i> .....	42
3.7 Análise estatística.....	43
4 Resultados e Discussão.....	44
4.1 Processo de cozimento de batatas em diferentes tratamentos .....	44
4.1.1 <i>Ganho de massa no cozimento em diferentes tratamentos</i> .....	44
4.2 Perda de massa no resfriamento a vácuo e resfriamento em câmara fria após cozimento em diferentes tratamentos .....	48
4.3 Análise de textura de batatas .....	57
4.3.1 <i>Análise da força de compressão para uma deformação relativa de 20% de batatas cozidas em diferentes tratamentos</i> .....	57
4.3.2 <i>Análise do perfil de textura (TPA) de batatas cozidas em diferentes tratamentos</i> .....	59

4.3.3 <i>Análise de textura de batatas resfriadas a vácuo e em câmara fria após o cozimento em diferentes tratamentos</i> .....	63
4.4 Processo de cozimento de cenouras em diferentes tratamentos .....	70
4.4.1 <i>Perda de massa no cozimento em diferentes tratamentos</i> .....	70
4.5 Perda de massa de cenouras no resfriamento a vácuo após cozimento em diferentes tratamentos .....	73
4.6 Análise de textura de cenouras .....	83
4.6.1 <i>Análise da força de compressão para uma deformação relativa de 30% de cenouras cozidas em diferentes tratamentos</i> .....	83
4.6.3 <i>Análise de textura de cenouras resfriadas a vácuo e em câmara fria após o cozimento em diferentes tratamentos</i> .....	86
5. CONCLUSÕES.....	93
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	95
APÊNDICE A.....	107
Curvas de resfriamento de batatas e cenouras.....	107

## 1 INTRODUÇÃO

A modernização do estilo de vida da população implica em mudanças nos hábitos de alimentação. Isso tem alterado hábitos e preferências e tem impactado as demandas por novos produtos. O aumento da demanda por alimentos convenientes ilustra este impacto das mudanças de estilo de vida, com a introdução de refeições rápidas e a utilização de alimentação fora do ambiente doméstico. O termo conveniência é definido em termos de tempo, energia física e esforço mental poupados no consumo e nas atividades do preparo de alimentos (BUCKLEY, COWAN e MCCARTHYB, 2007).

A indústria de alimentos tem reagido rapidamente à crescente demanda por conveniência, percebida pela considerável expansão de seus sortimentos de refeições pré-preparadas, incluindo as refeições rápidas. Refeições rápidas podem ser definidas como refeições completas com pequenas porções e sem a necessidade de acrescentar ingredientes extras, preparadas para substituir totalmente, de modo rápido, até mesmo a principal refeição feita em casa (COSTA et al.; 2001).

Os legumes são os principais acompanhamentos das refeições rápidas, estando a batata e a cenoura entre os principais componentes destes pratos prontos. Estes alimentos também estão muito presentes na composição de saladas com maionese, purês, acompanhamentos de carnes, frequentemente servidas em *buffets*. A elaboração destes pratos requer o máximo cuidado quanto aos requisitos de higiene e sanidade alimentar. O processo de cozimento e resfriamento de batatas e cenouras é um dos pontos críticos a ser monitorado para se obter um produto livre de microrganismos patogênicos e com baixa carga microbiana total. Similarmente às carnes cozidas, a fim de melhorar a segurança dos produtos, as refeições rápidas devem ser resfriadas imediatamente após o tratamento térmico, a fim de prevenir o desenvolvimento microbiano (SUN e ZHENG, 2006).

O resfriamento a vácuo tem sido apontado como uma alternativa viável para o resfriamento rápido de alguns produtos agrícolas e alimentícios (McDONALD, SUN e KENNY, 2000; ZHENG e SUN, 2004; HUBER e LAURINDO, 2005; APATI, FURLAN e LAURINDO, 2006; HUBER et al.,

2006; HUBER e LAURINDO, 2006). Trata-se de um método que utiliza a evaporação da água do próprio produto, através de sua superfície e de seus poros, para realizar a remoção de calor do mesmo (McDONALD e SUN, 2000). A diferença entre a taxa de resfriamento deste método com outros métodos convencionais de arrefecimento pode ser explicada pelos diferentes mecanismos envolvidos. Enquanto no resfriamento a vácuo o processo é controlado pela evaporação da água do próprio produto, nos métodos convencionais de resfriamento são os mecanismos de transferência de calor por convecção e condução que o controlam. Além da rápida taxa de resfriamento, que reduz o tempo de processo, o resfriamento a vácuo também pode reduzir o consumo de energia (SUN e ZHENG, 2006).

O resfriamento a vácuo apresenta a perda de massa (associada à evaporação de parte da água) como grande desvantagem. Contudo, essa perda de peso dos alimentos resfriados a vácuo pode ser reduzida pela adição de salmouras e molhos durante o cozimento e/ou resfriamento dos alimentos (WANG e SUN, 2001; HUBER e LAURINDO, 2005; APATI, FURLAN e LAURINDO, 2006).

## **1.1 OBJETIVOS**

O objetivo deste trabalho foi estudar a possibilidade de integrar os processos de cozimento e resfriamento de batatas e cenouras em um só equipamento, através do uso do resfriamento a vácuo.

### **1.1.1 Objetivos Específicos**

- Avaliar a influência de diferentes tempos e temperaturas de cozimento no ganho (perda) de massa e na textura do produto final (cozido e resfriado);



- 
- Analisar os diferentes métodos de cozimento (vapor e imersão em água fervente) de batata e cenoura, em relação à perda ou ganho de massa e textura do produto final;
  - Avaliar o processo integrado de cozimento e resfriamento a vácuo de batata e cenoura em relação à perda de massa e textura do produto final. Comparação da perda de massa, tempo de resfriamento e textura obtidos pelo processo integrado de cozimento e resfriamento a vácuo com o método de resfriamento em câmara fria.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Apresenta-se a seguir uma breve revisão sobre as matérias-primas, e processos de cozimento e resfriamento investigados neste trabalho.

### 2.1 Batata

A Batata (*Solanum tuberosum* L.) é uma das maiores culturas agrícolas do mundo, consumida diariamente por milhões de pessoas de diversas origens (CHIAVARO et al., 2006). A batata é originária da América do Sul, provavelmente da Cordilheira dos Andes, entre Peru e Bolívia, onde foi a fonte de alimento mais importante para as comunidades dos Andes e sul do Chile (FILGUEIRA, 2003; CHOER, 2003). A batata, considerada a terceira fonte de alimento para a humanidade, é apenas superada pelo arroz e pelo trigo (o milho é largamente utilizado em alimentação animal).

Do total de matéria seca da batata, 65 a 80% estão sob a forma de amido e estes representam 18% da matéria fresca (PEREIRA et al., 1999). Para Filgueira (1982) o conteúdo médio de umidade de batatas pode variar de 63 a 87%. O teor de proteína nas batatas é de cerca de 3%, de elevado valor nutritivo. A batata é também uma importante fonte de vitaminas e minerais, como cálcio, potássio e fósforo, mas o seu valor na dieta humana, especialmente como uma fonte de ácido ascórbico, é muitas vezes subestimado ou ignorado (FRIEDMAN, 1997).

A ONU declarou o ano de 2008 como sendo o ano internacional da batata, porque ela é essencial no combate à fome e à pobreza. Sua produção é ideal em regiões que possuam escassez de terra e abundância de mão-de-obra, condições que caracterizam boa parte dos países em desenvolvimento. Além disso, o plantio do tubérculo produz alimentos mais rapidamente e em condições climáticas mais adversas que qualquer outro grande cultivo. A produção de batatas em 2007 foi de aproximadamente 320 milhões de toneladas, em 19,2 milhões de hectares cultivados, com um rendimento de 16,64 toneladas por hectare (FAO, 2008).

A batata apresenta como grandes produtores mundiais a China, Rússia, Índia, Estados Unidos, Polônia e Ucrânia, ocupando o Brasil a 20ª posição. A cultura da batata representa um importante gerador de divisas para o agronegócio brasileiro, sendo os estados de Minas Gerais (29%), São Paulo (25%) e Paraná (24%) responsáveis por 78% da produção nacional. A indústria da batata é um segmento muito forte e competitivo na Europa e Estado Unidos, países onde o consumo *per capita* é alto nas suas diferentes formas industrializadas – *chips*, *french fries* (palito), amido, entre outras. No Brasil, a maior parte dos consumidores ainda adquire a batata na sua forma *in natura*. No entanto, nos últimos vinte anos, tem crescido o número de agroindústrias que processam batatas com o objetivo de abastecer o mercado de *fast food* com batata palha, *chips* e *french fries* (fritas) (LEONEL, 2005).

## 2.2 Cenoura

A cenoura (*Daucus carota L.*) é originária do sudoeste Asiático (FILGUEIRA, 2003). A planta da cenoura pertence à família das umbelíferas, produz uma raiz aromática e comestível, caracterizando-se como uma das mais importantes olericulturas, pelo seu grande consumo em todo mundo, pela extensão de área plantada e pelo grande envolvimento sócio-econômico dos produtores rurais. É também um dos legumes mais cultivados no Brasil, apresentando a maior produção no período de julho a novembro, preferindo climas amenos, conforme a variedade (LIMA et al., 2001). Segundo informações da Embrapa-Hortaliças, em 2006 foram produzidas 750 mil toneladas no Brasil (EMBRAPA, 2008).

As variedades de cenoura diferenciam-se pelo ciclo, forma, comprimento e coloração das raízes. A cor predominante é alaranjada, mas existem variedades amarelas e mesmo brancas, que são utilizadas somente como forrageiras (AROLDO, 2003).

A cenoura possui baixo valor calórico, mas seu teor de glicídios não pode ser desconsiderado. Eles são formados por açúcares livres, predominando sacarose sobre glicose e frutose, conferindo a esta raiz ótima

sensibilidade gustativa. Existem diferenças sensíveis na composição de açúcares nas partes de uma mesma raiz. O cilindro central, mais rico em fibra, é menos doce que a parte periférica (CHITARRA e CARVALHO, 1984).

As cenouras são conhecidas pelo seu conteúdo de nutrientes, caroteno e carotenóides, ao lado de apreciáveis quantidades de vitaminas B1, B2, B6 e B12, além de diversos minerais. São utilizadas em saladas, misturas de vegetais cozidos, em preparados para sopas, doces, sucos e pickles fermentados (SINGH, PANESAR e NANDA, 2008). Constitui-se em um dos legumes mais produzidas, sendo de grande emprego na indústria de alimentos, podendo ser processada para conserva enlatada, em mistura com outras hortaliças ou também na forma desidratada (SPAGNOL, PARK e SIGRIST, 2006).

### **2.3 Refeições Rápidas**

As refeições rápidas são itens de conveniência e estilo de vida e são consumidas predominantemente por uma única pessoa, casais que fazem as refeições fora de casa e cada vez mais por idosos (REDMOND, GORMLEY e BUTLER, 2004). De acordo com Ahlgren, Gustafsson e Hall (2005), a preparação de refeições é considerada uma atividade de grande consumo de tempo. Alimentar-se sozinho, sem tempo fixo para as refeições é resultado das mudanças dos hábitos alimentares, bem como do estilo de vida moderno. No momento, a conveniência é um dos mais importantes e desejáveis atributos em produtos alimentícios e foi transformada em uma grande categoria de produtos, que inclui as refeições rápidas preparadas (REED, MCILVEEN-FARLEY e STRUGNELL, 2003).

Nos últimos anos o mercado para as refeições rápidas resfriadas, as quais são cozidas e estocadas sob refrigeração, tem apresentado crescimento substancial (O'LEARY et al., 2000). A grande demanda por produtos saudáveis, seguros e de boa qualidade tem particularmente contribuído para o crescimento deste setor. As refeições rápidas resfriadas são compreendidas como de melhor qualidade do que refeições congeladas. Contudo, um dos maiores problemas com refeições rápidas refrigeradas é

seu relativo curto tempo de vida útil (REDMOND, BUTLER e GORMLEY, 2002).

As refeições rápidas podem ser distinguidas dos alimentos prontos para levar para casa e comer (*ready-to-eat take away foods*), pois conforme necessitam de algum cozimento ou reaquecimento antes de servi-las, enquanto que as refeições prontas para levar e comer não necessitam de cozimento ou aquecimento (GEEROMS, VERBEKE e KENHOVE, 2008).

## 2.4 Cozimento de vegetais

O processo de cozimento de legumes pode influenciar a qualidade final do produto de diversas maneiras, pois modifica as características organolépticas e de textura. O conhecimento das cinéticas dessas transformações é importante para simular o efeito do tratamento térmico na qualidade geral e aceitabilidade do produto processado (PAULUS e SAGUY, 1980).

Muitas mudanças ocorrem em frutas e vegetais comestíveis durante o processamento térmico e estes podem impactar em uma ou mais partes da hierarquia estrutural da matriz sólida (desde a escala das células até a escala do produto). A maior mudança causada pelo processamento térmico é a degradação das propriedades mecânicas, devido à quebra da estrutura da parede celular (WALDRON, PARKER e SMITH, 2003).

As batatas são sempre submetidas a tratamento térmico para produzir um produto comestível. Durante esta transformação, a estrutura muda à medida que o grânulo de amido gelatiniza (ALVAREZ, CANET e TORTOSA, 2001; MICKLANDER et al., 2007). A natureza e amplitude dessas mudanças influenciam na qualidade da batata cozida. Algumas condições de cozimento podem causar excessiva perda de qualidade, devido à ruptura do material celular (MASKAN, 2001). O amido presente nos tubérculos da batata absorve água e incha, criando pressões internas que podem levar à separação de células, reduzindo a coesão e o amolecimento (NOURIAN, RAMASWAMY e KUSHALAPPA, 2003). Além do grau de cozimento, a textura e a cor são considerados parâmetros muito importantes na qualidade

de batatas cozidas (CHIAVARO et al., 2006). De maneira geral, os fenômenos acima também ocorrem para as cenouras cozidas.

#### *2.4.1 Textura de vegetais processados*

A textura é uma importante característica dos alimentos e o controle desta propriedade é essencial para obterem-se alimentos apropriados ao consumo. O conhecimento das mudanças físicas como função do tempo e da temperatura é necessário para otimizar as condições de processo. Tais informações são úteis no desenvolvimento de processos térmicos que maximizem os atributos de qualidade dos produtos processados (MITTAL, 1994).

A textura de alimentos é uma das mais determinantes avaliações da qualidade de frutas e vegetais e é dependente do estado da parede celular e dos polissacarídeos da lamela média. Os polissacarídeos da parede celular consistem principalmente de pectina, hemicelulose e celulose. A pectina é o maior componente presente na lamela média, agindo como “cimento” na parede celular e dando firmeza e elasticidade para o tecido (RASTOGI et al., 2008). Alterações na textura de frutas e vegetais durante o processamento estão relacionadas com mudanças enzimáticas e não enzimáticas na pectina. A degradação enzimática da parede celular (da pectina) é catalisada por diferentes pectinases, tal como pectinametilesterase (PME) e poligalacturonase (PG) (VU et al., 2004).

O processamento térmico causa mudanças na textura de vegetais devido à quebra do material celular. O amolecimento de vegetais após o aquecimento é devido à perda de turgor causado pela perturbação da membrana celular e também pelas mudanças nos polímeros da parede celular (NG e WALDRON, 1997). O processo térmico pode também resultar na clivagem  $\beta$ -eliminativa e solubilização da pectina, a qual é responsável pela posterior perda de firmeza (RASTOGI et al., 2008).

A textura em batatas cozidas tem sido alvo de estudo de muitos pesquisadores (THYBO, MARTENS e LYSHEDE, 1998; KAUR, SINGH e

SODHI, 2002; VAN DIJK et al., 2002; ABU-GHANNAM e CROWLEY, 2006; CHIAVARO et al., 2006; GARCÍA-SEGOVIA, ANDRES-BELLO e MARTÍNEZ-MONZO, 2008). A textura da batata é determinada por vários fatores dependentes mutuamente. A genética determina as características de frescor do produto e ambas as condições agronômicas e de estocagem, bem como as condições de processo, têm um impacto na percepção sensorial de textura de batatas processadas (GARCÍA-SEGOVIA, ANDRES-BELLO e MARTÍNEZ-MONZO, 2008). A textura da batata é muito dependente do conteúdo de sólidos secos, amido, estrutura da parede celular e o *status* da água na matriz da batata (MICKLANDER et al., 2007).

Mudanças de textura em batatas cozidas estão principalmente associadas com a gelatinização e retrogradação do amido (KAUR, SINGH e SODHI, 2002), e com mudanças enzimáticas e não enzimáticas da pectina (GARCÍA-SEGOVIA, ANDRES-BELLO e MARTÍNEZ-MONZO, 2008). A gelatinização do amido e a separação da parede celular são consideradas como as duas principais mudanças nos tecidos das batatas durante o cozimento, embora as importâncias relativas dessas transformações sobre a textura ainda não estejam claramente descritos (JARVIS e DUNCAN, 1992; KARLSSON e ELIASSON, 2003). Sob refrigeração o amido gelatinizado retrograda, modificando novamente a textura das batatas (MICKLANDER et al., 2007).

Estudos do processamento de cenouras têm apresentado que o amolecimento devido ao tratamento térmico é acompanhado por mudanças na solubilidade, tamanho e carga de densidade dos polissacarídeos da pectina (NG e WALDRON, 1997; WALDRON et al., 1997; WALDRON, PARKER e SMITH, 2003). Quando as cenouras são processadas em alta temperatura (maiores do que 90°C), a firmeza do tecido é rapidamente perdida em poucos minutos e em seguida, mais lentamente ao longo da duração do período de processamento (GREVE et al., 1994b).

## 2.5 Resfriamento

A refrigeração está genericamente definida como o processo de redução de temperatura de um corpo. O desenvolvimento de tecnologias de refrigeração tornou-se essencial para a manutenção de uma gama de atividades industriais, entre elas a indústria alimentícia em geral, os frigoríficos, a indústria de pescado, as fábricas de gelo, os laticínios e a indústria de bebidas (TEIXEIRA e PIMENTA, 2004). A redução da temperatura retarda consideravelmente os fenômenos associados à perda de qualidade dos produtos de origem animal e vegetal, tais como crescimento microbiano, atividade enzimática e diversas reações bioquímicas (TOLEDO, 1991; DINCER, 1997).

Os métodos de refrigeração comerciais mais comuns são o resfriamento com ar forçado, imersão em água e em câmara de resfriamento. Em todos eles, o calor flui por condução até a superfície do produto e é transferido por convecção ao ambiente externo ao alimento (JACKMAN, SUN e ZHENG, 2007). Muitas câmaras não são projetadas para a rápida remoção do calor dos produtos nem apresentam movimentação de ar adequada, resultando em baixas taxas de resfriamento (HARDENBURG, WATADA e WANG, 1990). Além disso, o uso do mesmo compartimento para o resfriamento e armazenamento expõe produtos armazenados a temperaturas não constantes, causando sérios problemas em relação à conservação e perda de massa (AFONSO, 2005).

O resfriamento por imersão em água, apesar de ser um método barato, pode danificar o produto, requer embalagens que não absorvam água, além da necessidade do uso de anti-microbianos. O resfriamento com gelo-água é limitado a produtos que não se danifiquem facilmente com o gelo (CORTEZ e LEAL, 1997).

O resfriamento com ar forçado é um método convencional rápido, devido às altas taxas de transferência de calor na superfície. O produto resfria com 1/4 a 1/10 do tempo necessário para o resfriamento em câmaras, mas é de 2 a 3 vezes mais lento que aquele imerso em água. Dificulta o uso de



embalagens secundárias e ocasiona um resfriamento desigual do produto, além de considerável perda de massa (SPAGNOL e SIGRIST, 1992).

Neste contexto, a necessidade de um resfriamento imediato após o cozimento de alimentos, vem fazendo com que novas tecnologias estejam sendo propostas e analisadas. Uma destas novas técnicas é o resfriamento a vácuo.

## **2.6 Resfriamento a Vácuo**

No resfriamento a vácuo, a água, naturalmente presente no produto e/ou intencionalmente aspergida sobre ele, é que atua como refrigerante primário, sendo evaporada dentro de uma câmara a baixa pressão. O calor requerido para essa evaporação (calor latente de vaporização) é fornecido pelo produto (calor sensível). Portanto, o princípio básico é extrair o calor sensível do produto pela evaporação da água (MALPAS, 1972). A evaporação da água do próprio produto, através de sua superfície e de seus poros, é usada para realizar a remoção de calor (McDONALD e SUN, 2000). Os produtos são colocados dentro de uma câmara cuja pressão é reduzida até valores de 4-5 mmHg, quando se deseja temperaturas próximas à 0°C.

A água evapora a 100°C à pressão de 760mmHg. A redução de pressão causa um abaixamento na temperatura de ebulição da água. Assim a água pode evaporar a temperaturas tão baixas quanto 0°C se esta estiver a uma pressão de 4,6 mmHg, como pode-se acompanhar pela Figura 2.1 (GEANKOPLIS, 1993). Assim, é possível controlar o resfriamento apenas controlando a pressão do interior da câmara, o que é uma vantagem em relação a outros métodos (McDONALD e SUN, 2000).

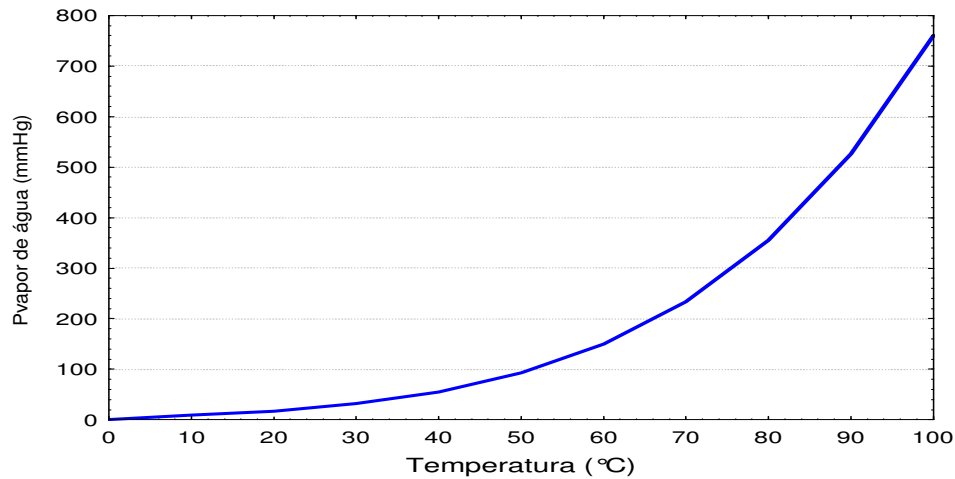


Figura 2.1 Relação entre a pressão de vapor de saturação da água e a temperatura de saturação. Eq. de Antoine:  $\log_{10} P_{\text{vaporsat.}} = A - (B/(T+C))$ ; Para a água:  $A=7,96681$ ;  $B=1668,21$ ;  $C=228,0$ .

Na Tabela 2.1 são apresentados alguns valores da entalpia de vaporização da água, a diferentes pressões, além do volume específico do vapor de água, sob diferentes pressões, em condições de vácuo. Cabe observar que o volume específico do vapor de água a 5,68 mmHg é aproximadamente 100 vezes maior que o volume específico do vapor de água à pressão atmosférica. Isso faz com que os equipamentos de resfriamento a vácuo possuam sistemas de condensação desse vapor, pois as bombas de vácuo não poderiam retirar os enormes volumes de vapor gerados durante o processo.

Tabela 2.1 Propriedades do vapor de água sob baixas pressões (GEANKOPLIS, 1993).

Pressão Absoluta (mmHg)	Temperatura de Ebulição (°C)	Entalpia específica de Vaporização (kJ/kg)	Volume específico do vapor (m <sup>3</sup> /kg)
760	100	2257,06	1,67
355,45	80	2308,79	3,41
31,84	30	2430,51	32,89
12,79	15	2465,91	77,93
5,68	3	2494,33	168,13

Uma instalação de resfriamento a vácuo varia em tamanho e forma, dependendo da aplicação. Contudo, os componentes básicos são similares e consistem em uma câmara de vácuo, bomba de vácuo, condensador de vapores e outros acessórios, como mostrado esquematicamente na Figura 2.2 (SUN e ZHENG, 2006).

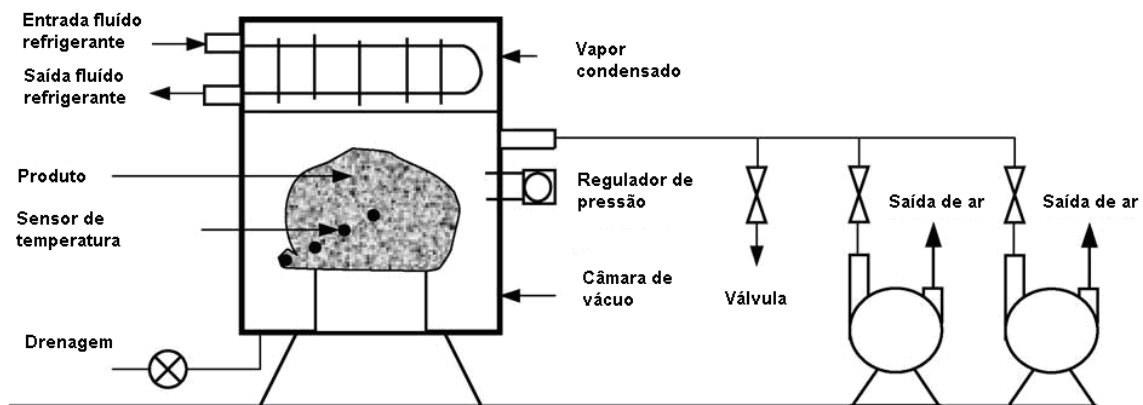


Figura 2.2 Sistema típico de resfriamento a vácuo (SUN e ZHENG, 2006).

Um sistema de refrigeração a vácuo é composto de uma câmara, uma ou mais bombas de vácuo e um sistema para condensação dos vapores de água. Teoricamente, apenas a bomba de vácuo e a câmara seriam necessárias, mas o sistema de refrigeração é necessário para condensar os vapores de água oriundos dos produtos, reduzindo as exigências de bombeamento e evitando que grandes massas de vapor atinjam a bomba de vácuo. Tal sistema é responsável pela maior parte do consumo de energia elétrica no processo de resfriamento a vácuo (THOMPSON et al., 1998; McDONALD e SUN, 2000). Em plantas comerciais de refrigeração a vácuo é usual a utilização de um sistema de refrigeração auxiliar na condensação e remoção desse vapor de água. Resfriadores menores podem usar gelo para condensar o vapor de água e podem ser deslocados de um lugar a outro como um reboque (CORTEZ e LEAL, 1997).

A vazão de bombeamento necessária para a aplicação da técnica de vácuo pode ser obtida de um balanço de massa em regime transiente na câmara de vácuo, conforme Equação 2.1:

$$-Q\rho_{ar} = \frac{dm}{dt} \quad (2.1)$$

onde  $Q$  é a vazão de bombeamento ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ),  $\rho_{ar}$  é a massa específica do ar ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) e  $dm \cdot dt^{-1}$  é a variação da massa de ar no interior da câmara de vácuo ( $\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$ ). Considerando o ar da câmara como um gás ideal, tem-se que:

$$\rho_{ar} = \frac{PM}{RT} \quad (2.2)$$

onde  $P$  é a pressão,  $M$  é a massa molar do ar,  $T$  é a temperatura e  $R$  é a constante universal dos gases ideais. Substituindo a Equação (2.2) em (2.1) chega-se a:

$$-Q \frac{PM}{RT} = \frac{d\left(\frac{PM}{RT} V\right)}{dt} \quad (2.3)$$

ou

$$-\frac{Q}{V} \int_0^t dt = \int_{P_0}^{P_{fp}} \frac{dP}{P} \quad (2.4)$$

de onde chega-se à equação 2.5, que relaciona a pressão da câmara em um dado instante com a vazão de bombeamento, com sua pressão inicial e com o volume da mesma.

$$Q = \frac{V}{t} \ln \frac{P_0}{P_{fp}} \quad (2.5)$$

onde  $Q$  é vazão de bombeamento ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ),  $V$  é o volume livre da câmara de vácuo ( $\text{m}^3$ ),  $t$  é o tempo de bombeamento (h),  $P_0$  é a pressão inicial (atmosférica) (mmHg) e  $P_{fp}$  é a pressão no ponto “flash” (mmHg).

Para atingir grandes taxas de bombeamento, associações de bombas de vácuo em paralelo podem ser utilizadas (WANG e SUN, 2001, HUBER, 2004).

### 2.6.1 Método de Resfriamento a Vácuo

O processo termodinâmico envolvido no resfriamento a vácuo pode ser dividido em duas fases distintas. Na primeira, com o produto carregado dentro da câmara à temperatura ambiente, a bomba de vácuo é acionada para reduzir a pressão interna da câmara. A temperatura do produto permanece constante até a câmara atingir a pressão de saturação, isto é, até a pressão na câmara atingir a pressão de vapor de água do produto. Com a temperatura de saturação (temperatura de ebulição) atingida, começa-se a evaporação e o vapor de água começa a ocupar o espaço do ar na câmara. A segunda fase começa simultaneamente com o fim da primeira, onde a saturação continua até o produto ser resfriado à temperatura desejada (ASHRAE, 2002). A perda de massa pelo produto durante o resfriamento a vácuo é dada pela Equação 2.6.

$$\Delta m_w = \frac{cm_p \Delta T}{\Delta \hat{H}_v} \quad (2.6)$$

onde  $\Delta m_w$  é a perda de massa (kg),  $c$  é o calor específico médio do produto no intervalo de temperaturas de trabalho  $\text{kJ.kg}^{-1}.\text{°C}^{-1}$ ,  $m_p$  é a massa do produto antes do resfriamento (kg),  $\Delta T$  é a redução da temperatura do material no resfriamento ( $\text{°C}$ ) e  $\Delta \hat{H}_v$  é a entalpia específica de vaporização da água na pressão final de trabalho ( $\text{kJ.kg}^{-1}$ ) (WANG e SUN, 2001, HUBER, 2004).

### 2.6.2 Vantagens e desvantagens do resfriamento a vácuo

A maior vantagem do resfriamento a vácuo é a rápida taxa de resfriamento, quando comparada com métodos de resfriamento convencionais. Por exemplo, resultados experimentais de resfriamento a vácuo de vegetais relatados na literatura apresentam taxa média de

resfriamento de  $0,5 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ , que é 60 vezes mais rápida do que no resfriamento em ar lento (LONGMORE, 1973; WANG e SUN, 2001). De acordo com McDonald e Sun (2000) as principais vantagens do resfriamento a vácuo em frutas e hortaliças pós-colheita são o incremento do tempo de comercialização, o rápido resfriamento resultando em uma rápida distribuição, grande precisão no controle de temperatura e baixo custo operacional.

Na Figura 2.3 são comparados os decréscimos de temperatura de grãos de arroz cozidos, submetidos a 4 diferentes tipos de resfriamento. Com o resfriamento a vácuo conseguem-se tempos de resfriamento 16 vezes menor que o resfriamento com ar frio forçado e 46 vezes menor que o resfriamento em câmara frigorífica, onde a circulação de ar é muito baixa.

Além das vantagens listadas anteriormente, no processo de resfriamento a vácuo há menor risco de contaminações microbiológicas, pois somente ar atmosférico entra na câmara de vácuo no final do processo, quando a câmara é aberta para quebra do vácuo (LONGMORE, 1973).

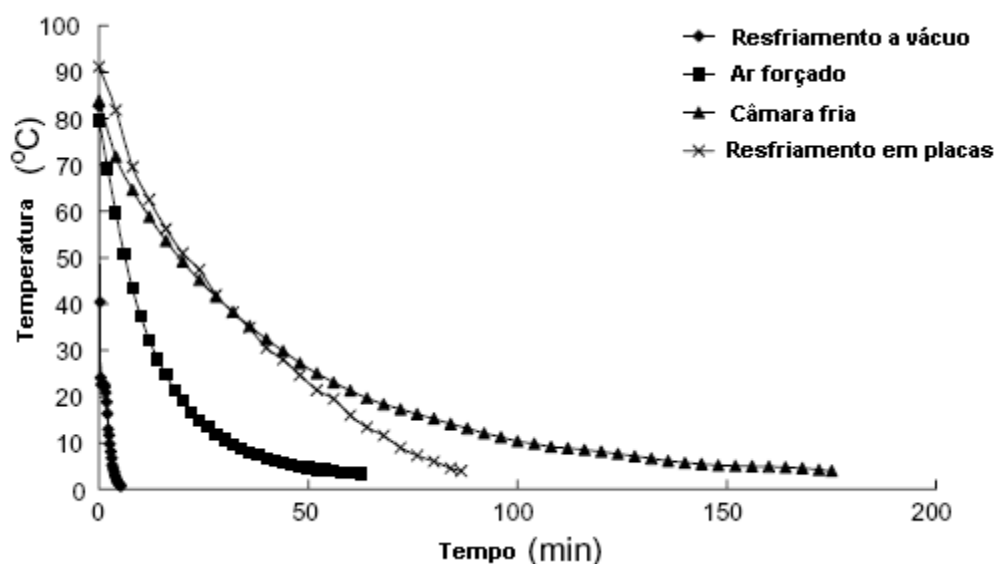


Figura 2.3 Curvas típicas de resfriamento para grãos de arroz cozidos, resfriados por 4 diferentes métodos (ZHANG e SUN, 2006).

O resfriamento a vácuo tem menor custo energético por unidade de produto resfriado, se comparado com o resfriamento com ar frio (air cooling)

e com o resfriamento por imersão em água fria (hydrocooling) (Chen, 1986). Isto ocorre porque o processo não necessita de um meio de resfriamento e também porque o vácuo minimiza a transferência de calor do meio ambiente para o produto (quase não há perda de frio, e o processo tende a ser “isoentálpico”). Para o resfriamento a vácuo de uma tonelada de alface em 1 °C, a energia consumida é aproximadamente 0,56 kW, comparada com os 3.7 kWh para reduzir 1 °C para resfriamento por imersão em água fria (WANG e SUN, 2001).

Por outro lado as principais desvantagens são as limitações do método aos produtos folhosos, perda de água do produto e alto investimento inicial. A maior desvantagem do resfriamento a vácuo é a perda de massa devido à remoção de parte da umidade do produto. A perda de massa é inevitável no resfriamento a vácuo, que é um processo de resfriamento evaporativo. A perda de massa depende de vários fatores, em particular da área superficial específica do produto. Aumentando-se a área superficial, facilita-se a remoção de água, aumentando-se a perda de água. Alguns procedimentos operacionais, como pulverizar água sobre o produto antes do resfriamento, para compensar a perda de massa, são fáceis de aplicar e podem ser vantajosos. A adição de água durante o resfriamento é mais difícil de ser realizada e os equipamentos envolvidos podem se tornar caros, além da necessidade do uso de embalagens tolerantes a água, se o resfriamento for realizado em produtos com embalagens perfuradas (McDONALD e SUN, 2000).

### *2.6.3 Aplicações resfriamento a vácuo*

Todo produto que tenha água livre e a estrutura não seja danificada pela perda da água pela evaporação pode ser resfriado a vácuo (WANG e SUN, 2001). O resfriamento a vácuo é um processo indicado para produtos com grande área superficial específica ou produtos com estrutura porosa. O produto deve ter uma estrutura porosa a fim de facilitar a difusão do vapor de água gerado dentro da amostra para a vizinhança (ZHENG e SUN, 2004). Existem vários estudos da aplicação do resfriamento a vácuo em vegetais

logo após a colheita, em flores, produtos de panificação, pescados, carnes cozidas e componentes das refeições rápidas. Devido à perda de água, o rendimento (relacionado à eficiência do produto obtido) durante o resfriamento a vácuo é menor do que em outros métodos de resfriamento (SUN e ZHENG, 2006).

### *2.6.3.1 Resfriamento a vácuo de vegetais*

O resfriamento a vácuo foi inicialmente utilizado em 1948, quando 34 vagões de alface foram resfriados por este método em Salinas, Califórnia, nos Estados Unidos. As vantagens desta técnica foram tão evidentes que a partir de 1954, entre 40 e 85% da alface da Califórnia e do Arizona foram refrigerados a vácuo, para depois atingir 100% do produto comercializado (CORTEZ, NEVES FILHO e CARDOSO, 2000). O resfriamento a vácuo é o método comercial padrão utilizado para alface em muitos países europeus, assim como nos Estados Unidos (SANDERS, 2001; HUBER, 2004). Alfaces estocadas à temperatura ambiente normalmente possuem uma vida útil de 3 a 5 dias. No entanto, estocadas a 1°C com UR de 90% esta vida útil pode aumentar para até 14 dias (ARTÉS e MARTÍNEZ, 1996). Afonso (2005), em estudo de resfriamento a vácuo de alfaces hidropônicas obteve uma perda de massa de alfaces de 3,01% até 5,44% e a vida útil das alfaces aumentou de 19 dias até 23 dias. Utilizando o resfriamento a vácuo, vegetais como a alface podem ser resfriados de 25°C (temperatura ambiente) para 1°C em menos de 30 minutos (McDONALD e SUN, 2000; HUBER, 2004).

O resfriamento a vácuo também tem sido aplicado com sucesso em repolho, couve-flor, cogumelos, espinafre, aipo, aspargo, milho-doce (MALPAS, 1972). Outra importante aplicação do resfriamento a vácuo em vegetais é para cogumelos. Cogumelos têm uma curta vida de prateleira de 3–4 dias na temperatura ambiente, apesar de poderem ter significativamente aumentado usando estocagem refrigerada. Por possuírem cerca de 90% de água, sua estrutura porosa permite que esta umidade seja removida com facilidade pela aplicação do resfriamento a vácuo (McDONALD e SUN,



2000). Os efeitos do resfriamento a vácuo em cogumelos, foram investigados por Burton, Frost e Atkey (1987), onde as baixas pressões aplicadas nos experimentos não provocaram alterações na qualidade (coloração), porém observou-se elevada perda de massa. Apati (2004), em estudo com cogumelos *Pleurotus ostreatus* constatou que a aspersão de água nos cogumelos antes do resfriamento diminuiu significativamente a perda efetiva de massa.

Apati, Furlan e Laurindo (2006) relatam em estudo de resfriamento a vácuo de cogumelos frescos *Pleurotus ostreatus*, que para cada 3-4 °C de resfriamento foram obtidas perdas de massa próximas de 1% da massa da amostra resfriada, resultado da evaporação da água livre do produto.

O resfriamento a vácuo também tem sido utilizado para o pré-resfriamento de produtos de floricultura, para aumento da “vida de vaso” (SUN e BROSANAN, 1999; APATI, 2004; SUN e ZHENG, 2006). Utilizando aspersão de água antes do processo, o tempo de resfriamento foi reduzido para 40 segundos, e a perda de massa de 3% para 1,5%. Outros estudos concluíram que a aspersão de água antes do resfriamento a vácuo de lírios reduziu os percentuais de perda de massa de 5,4% para até 0%, porém não teve efeito na vida útil destas plantas (BROSANAN e SUN, 2001). Encontram-se ainda aplicações do resfriamento a vácuo em diversos tipos de flores e ervas aromáticas (VANDIEVOET e FOURNIER, 1983). De acordo com Sun e Brosnan (1999), o resfriamento a vácuo é efetivo na extensão da “vida de vaso” de flores do tipo narciso.

#### 2.6.3.2 Resfriamento a vácuo de produtos de panificação

Produtos da indústria de panificação também têm sido resfriados pela aplicação de vácuo. Produtos como panetones, tortas salgadas e algumas variedades de pães, têm sido resfriados de 98-30°C, resultando em perdas de massa em torno de 6,8%, dependendo do calor específico do produto (WANG e SUN 2001).

### *2.6.3.3 Resfriamento a vácuo de cortes de carnes cozidos*

Nos últimos anos, o método de resfriamento a vácuo vem sendo extensivamente pesquisado como uma nova e rápida técnica de resfriamento de carnes cozidas (SUN e ZHENG, 2006; HUBER e LAURINDO; 2006). O resfriamento a vácuo tem sido utilizado para resfriar rapidamente carnes cozidas, reduzindo a manipulação do produto e retardando o crescimento microbiológico, para manutenção da segurança e qualidade de carnes cozidas (McDONALD e SUN, 2000; JIN, 2007; HUBER e LAURINDO; 2006).

### *2.6.4 Resfriamento a vácuo de refeições rápidas*

Nos últimos anos as refeições rápidas refrigeradas tornaram-se mais populares. Considerando que todos estes produtos são produzidos em pequenas porções, é essencial assegurar que eles sejam seguros para os consumidores (NISSEN et al., 2002). Na indústria de refeições rápidas, alimentos cozidos são frequentemente resfriados por ar forçado ou câmara fria resfriada.

Zhang e Sun (2003, 2006a) conduziram pesquisas de resfriamento a vácuo com componentes de refeições rápidas, tais como cenouras e arroz cozidos, e os resultados indicaram que o tempo de resfriamento de tiras de cenouras (cada tira com 3 mm de espessura) foi de 2,2 min, muito diferente dos 16,9 min necessários para o resfriamento de uma cenoura inteira de mesmo tamanho. A perda de massa no resfriamento (12,1%), correspondente a uma redução de temperatura de aproximadamente 85°C para 5°C, para as tiras de cenoura foi bem menor do que para a cenoura inteira (20,0%) (ZHANG e SUN, 2003; SUN e ZHENG, 2006). Zhang e Sun, (2006b) estudaram o efeito de diferentes métodos de resfriamento (resfriamento a vácuo, ar forçado, câmara fria e em placas) e encontraram que o resfriamento a vácuo foi o mais eficiente no resfriamento de brócolis e cenouras cozidos. Também encontraram que a perda de massa foi reduzida

consideravelmente pela aspersão de água sobre os legumes antes do resfriamento a vácuo.

O desenvolvimento do sistema de vácuo necessita de cuidadosas considerações de segurança. O sistema de geração de vácuo pode puxar o produto cozido para dentro do sistema de bombeamento de vácuo ou para a tampa do recipiente de processo. Neste caso, extensas operações de limpeza serão necessárias para remover os produtos do equipamento e prevenir a proliferação microbiana (WANG e SUN, 2001).

Uma alternativa para o uso eficiente do sistema de resfriamento a vácuo é a utilização da integração com a operação de cozimento de refeições rápidas industrializadas. Neste caso a mesma unidade pode ser utilizada para ambos os processos de cozimento e resfriamento sem a necessidade ou demora de transferências físicas de recipientes contendo os produtos (McDONALD e SUN, 2000). Tal operação reduz o tempo de processo, mantém a alta qualidade do calor sensível dos produtos e prevê um eficiente método de resfriamento de molhos, suspensões e outros alimentos (JAMES et al., 1987 apud McDONALD e SUN, 2000).

### **3. Materiais e métodos**

#### **3.1 Preparação das amostras**

Foram utilizadas batatas (*Solanum tuberosum L.*) e cenouras (*Daucus carota L.*) adquiridas em um mercado local (Florianópolis - SC) e mantidas em sala escura, para evitar mudanças na textura das amostras associadas com longos tempos de estocagem (Temperatura de 20–25 °C), até a realização dos experimentos. Amostras cilíndricas homogêneas de 1,9 cm de altura e 2,4 cm de diâmetro e massa de aproximadamente 9 gramas foram extraídas de batatas e cenouras previamente descascadas e usadas nos experimentos de cozimento e de resfriamento.

#### **3.2 Determinação dos teores de umidade das amostras *in natura* de batata e cenoura**

Os teores de umidade das amostras de batata e cenoura "*in natura*", cozidas e resfriadas foram determinados através de secagem em estufa com circulação de ar, a 105°C até peso constante. As pesagens foram realizadas em balança analítica (marca Shimadzu, modelo AY220). Todas as determinações ocorreram em triplicata.

#### **3.3 Método de cozimento**

O cozimento das amostras foi realizado à pressão atmosférica, em câmara de cozimento (autoclave vertical marca Phoenix, modelo AV-18, Brasil) previamente aquecida. O cozimento em diferentes tempos e temperaturas (90 e 100°C) foi realizado utilizando-se vapor para aquecimento da câmara de cozimento com as temperaturas sendo controladas por um termostato que mantinha a temperatura interna desejada. Também foram estudados o cozimento com vapor e imersão em água fervente (900 mL de água) até as amostras atingirem 90°C no seu centro geométrico foi realizado seguindo metodologias propostas por: a) Batata: García-Segovia, Andres-Bello e Martínez-Monzo, (2008), Chiavaro et al., (2006) e Kaur, Singh e Sodhi, (2002); e b) Cenoura: Paulus e Saguy (1980), Zhang e Sun (2006b) e Miglio et al., (2008), visando avaliar o efeito do cozimento nos parâmetros de textura. Na Tabela 3.1 estão apresentados os diferentes experimentos de cozimento

realizados para amostras de batata e cenoura. Aproximadamente 50g de amostras cilíndricas foram utilizadas para cada experimento.

Tabela 3.1 Processos de cozimento em diferentes tempos e temperaturas para as amostras de batata e cenoura.

Processos				
Amostras	Câmara de cozimento a 90 °C	Câmara de cozimento a 100 °C	Vapor*	Imersão em água fervente
Tempo de processamento (s)				
Batata	600	300		
	900	600	Aprox. 300	Aprox. 300*
	1200	900		
Cenoura	1200	900		
	1500	1200	-	1500
	1800	1500		

\*As amostras foram aquecidas até atingirem 90 °C no centro da mesma.

Após o preparo e pesagem das amostras, efetuou-se a inserção de termopares nos centros geométricos das amostras de batata e cenoura, (conforme Figura 3.1) para acompanhamento do perfil de temperatura durante o cozimento. Os termopares utilizados são do tipo “T” (marca IOPE, modelo A-TX-TF-TF-R30AWG, Brasil), conectados a um sistema de aquisição de dados (marca National Instruments, modelo PCI 4351, Hungria). Os termopares foram calibrados utilizando banho termostatizado (marca Tecnal, modelo Te – 184, Brasil) numa faixa de temperatura de 2 °C a 95 °C. Um termômetro de mercúrio aferido (marca Incoterm, modelo 28368/01, Brasil) foi utilizado como padrão.

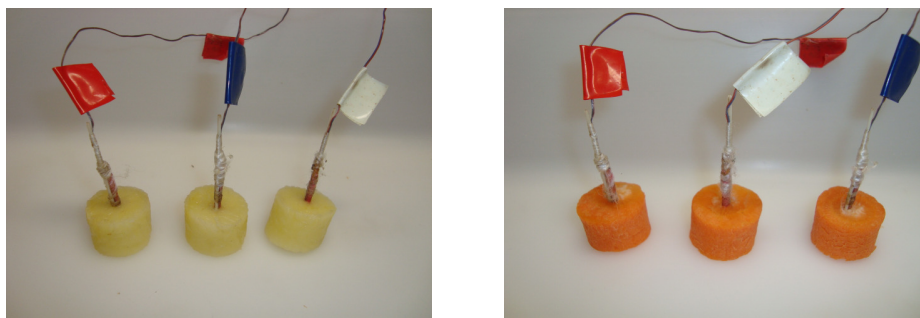


Figura 3.1 Amostras de batatas e cenouras com os termopares inseridos.

Foram realizadas 5 repetições para cada condição experimental de tempo-temperatura, para cada amostra. Para cada repetição, determinou-se o ganho de massa, a perda de massa e o teor de umidade final.

### 3.4 Experimentos de resfriamento

#### 3.4.1 Resfriamento a vácuo (RV)

O resfriamento a vácuo foi realizado no mesmo aparato experimental do cozimento, conectando-se a câmara de cozimento a um sistema de vácuo, como esquematizado na Figura 3.2. Após a etapa de cozimento em diferentes tratamentos (Tabela 3.1), a água da câmara de cozimento foi retirada e iniciou-se o resfriamento, acionando-se o sistema de produção de vácuo. O sistema de resfriamento a vácuo possui os seguintes componentes: (1) Uma bomba de vácuo (rotativa marca *VEB*, modelo A DS 30, Alemanha), com vazão nominal de  $30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , com pressão final chegando aos 40-50 mmHg (etapa de resfriamento a vácuo para amostras batata); (2) bomba de vácuo (rotativa marca *DVP*, modelo LC. 305, Itália), com vazão nominal de  $350 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , com pressão final chegando aos 30-35 mmHg (etapa de resfriamento a vácuo para amostras cenoura) (3) Uma câmara de vácuo (autoclave adaptada) com volume de 18 litros; (4) Um condensador em espiral, imerso em um banho termostaticado, com temperatura de  $1^\circ\text{C}$  (marca Microquímica, Modelo MQBMP-01, Brasil), utilizado como desumidificador da linha de bombeamento; (5) Um recipiente (erlenmeyer com volume de 1L) empregado como armadilha (*trapping*) de gotículas de água, evitando que as mesmas atinjam a bomba de vácuo.

O acompanhamento do histórico das temperaturas de resfriamento das amostras foi realizado pelo mesmo sistema de aquisição de dados utilizado no cozimento. O controle da pressão na câmara foi feito através de 2 válvulas solenóides (marca Ascoval, modelos UA26A516V e 587785, Brasil) ligadas a um sensor de pressão (marca Freescale, modelo MPX2102, EUA). O monitoramento da pressão na câmara durante o experimento foi realizado por software especialmente desenvolvido para essa atividade.

Foi avaliado também o método de resfriamento a vácuo de amostras de batata e cenoura sob imersão da mesma água da etapa de cozimento (900 mL)

(processos CIA-RVI). Foram realizados 5 (cinco) experimentos de resfriamento a vácuo para cada tipo de cozimento avaliado. Para cada repetição determinaram-se a perda de massa e o teor de umidade final.

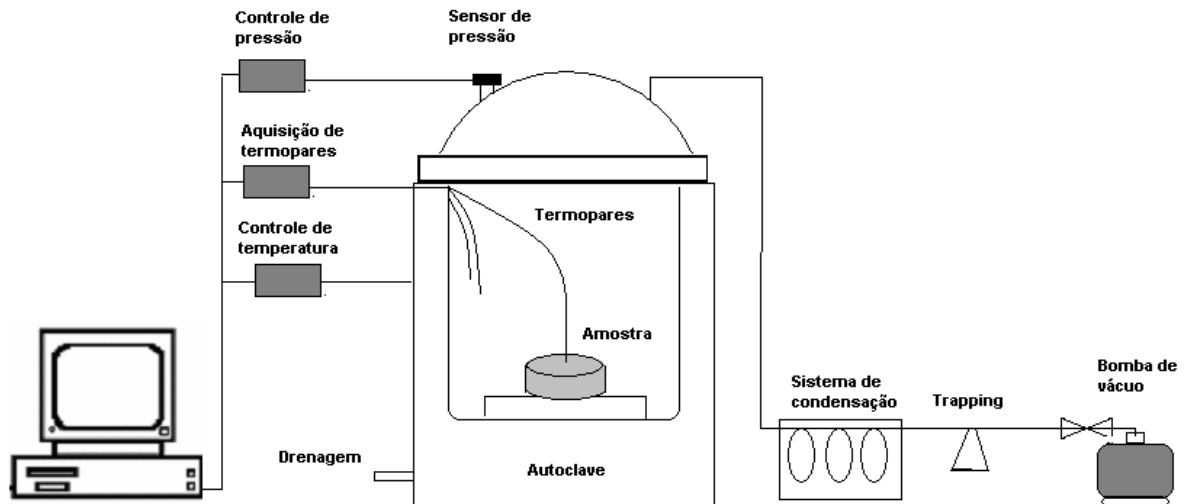


Figura 3.2 Sistema experimental do processo integrado de cozimento e resfriamento a vácuo de batata e cenoura.

#### 3.4.2 Comparação de outros métodos de resfriamento com o resfriamento a vácuo

Foi realizada a avaliação de outro método de resfriamento de batatas e cenouras cozidas, o resfriamento em câmara fria (RC), com a finalidade de comparar a perda de massa, o tempo de resfriamento, e a textura com os resultados encontrados no processo integrado de cozimento-resfriamento a vácuo.

O método de resfriamento em câmara fria foi realizado em refrigerador com controle de temperatura (marca Expectron, Florianópolis, SC). Após o cozimento das amostras (Batatas: Até atingirem 90 °C no seu centro; Cenouras: 1500 s) (Tabela 3.1), as amostras foram imediatamente conduzidas ao refrigerador, com temperatura controlada em 5 °C e com velocidade do ar em torno de 1,3 m.s<sup>-1</sup> (velocidade medida através de Anemômetro Térmico Compacto, marca Testo 425). Com umidade relativa em torno de 74 – 78%. A aquisição de temperatura das amostras foi realizada de maneira análoga ao resfriamento a vácuo, com os mesmos termopares inseridos no centro das

amostras. Também foi monitorada a temperatura do ar dentro da câmara. O resfriamento foi realizado até as amostras atingirem a mesma temperatura obtida ao final da etapa de resfriamento a vácuo.

A perda de massa foi determinada de acordo com o cálculo para as amostras resfriadas a vácuo descritos no item 3.5.3. A análise de textura foi realizada conforme descrito no item 3.6.

Assim como para o processo de resfriamento a vácuo, também foi avaliado o método de resfriamento em câmara fria de amostras de batata e cenoura sob imersão na mesma água da etapa de cozimento (900 mL) (CIA-RCI). Foram realizados 5 (cinco) experimentos de resfriamento em câmara fria para cada tipo de cozimento avaliado. Para cada repetição determinaram-se a perda de massa e o teor de umidade final.

### 3.5 Determinação do ganho e perda de massa

#### 3.5.1 Ganho ou perda de massa no cozimento

A determinação do ganho (ou perda) de massa percentual foi calculada a partir da diferença entre a massa da amostra crua e da amostra cozida (Equação 3.1). Para o cozimento a vapor, a massa da amostra crua foi medida antes do cozimento e o peso da amostra cozida imediatamente após o cozimento. Cinco repetições foram realizadas para cada tratamento de cozimento.

$$\%GM = \frac{m_f - m_i}{m_i} \cdot 100 \quad (3.1)$$

onde  $GM$  é o ganho de massa,  $m_i$  é a massa inicial da amostra “*in natura*” (g) e  $m_f$  é a massa da amostra final após o cozimento (g).

#### 3.5.2 Perda de massa no resfriamento a vácuo

Para determinação da perda de massa durante o resfriamento e da perda de massa global (com relação à massa inicial da amostra “*in natura*”), foram empregadas as Equações 3.2 e 3.3, respectivamente.



$$\%PMR = \frac{m_{fc} - m_{fr}}{m_{fc}} \cdot 100 \quad (3.2)$$

$$\%PMG = \frac{m_i - m_{fr}}{m_i} \cdot 100 \quad (3.3)$$

onde,  $\%PMR$  é a perda no resfriamento,  $\%PMG$  é a perda global,  $m_{fc}$  é a massa final após o cozimento (g),  $m_{fr}$  é a massa final após o resfriamento a vácuo (g) e  $m_i$  é a massa inicial da amostra “*in natura*” (g).

Na Figura 3.3 apresenta-se de forma esquemática o cálculo da perda de massa da batata durante o resfriamento, a partir da perda de massa global (processo de cozimento-resfriamento) e do ganho de massa durante o cozimento.

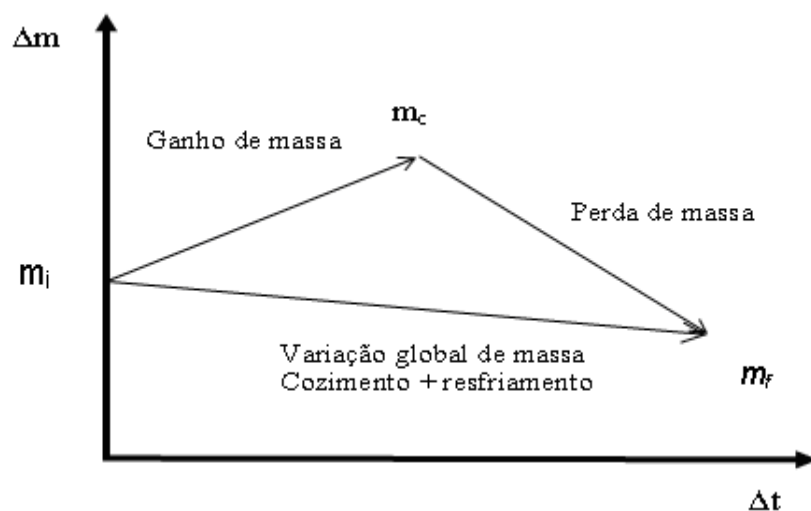


Figura 3.3 Esquemática da perda global de massa experimental de batatas.

### 3.6 Análise de textura

Ensaio de força de compressão para uma determinada deformação relativa e do perfil de textura (TPA) foram realizados para avaliação da textura das amostras após os processos de cozimento e resfriamento, utilizando um equipamento de análise de textura (Stable Micro System, modelo TA.XT2i, Inglaterra).

Após o cozimento e o resfriamento as amostras cilíndricas de batata e cenoura foram colocadas em sacos plásticos, previamente umidificados, e armazenadas em geladeira (período de 1 hora a 4°C) para evitar a perda de umidade e padronizar as amostras até o momento das análises. Para as análises, todas as amostras estavam inicialmente em temperatura aproximada de 4°C e foram colocadas sobre a base do texturômetro, usando uma “probe” (sonda) cilíndrica de alumínio (25 mm de diâmetro) e uma célula de carga de 25 kg. Os testes de força de compressão para uma determinada deformação relativa e TPA foram realizados com um nível de deformação de 20% da dimensão original da amostra e uma taxa de compressão aparente de 1 mm.s<sup>-1</sup> (CHIAVARO et al., 2006) para amostras de batata e com nível de deformação de 30% da dimensão original e taxa de compressão aparente de 1 mm.s<sup>-1</sup> (VU, et al., 2004) para amostras de cenoura.

### *3.6.1 Análise do perfil de textura das amostras cozidas e resfriadas.*

A força de compressão para uma determinada deformação relativa foi medida pelo pico da força de compressão (N) desenvolvida durante o ensaio. Os parâmetros de textura (TPA) avaliados foram: (1) **Dureza (N)**: Força necessária para produzir uma determinada deformação. Representada pelo pico da força F2 na Figura 3.4; (2) **Elasticidade**: Velocidade na qual um material deformado volta à condição não deformada, depois que a força de deformação é removida. Na Figura 3.4 apresenta-se como a razão entre o tempo decorrido T2 e T1; (3) **Adesividade (Ns)**: Energia necessária para superar forças atrativas entre superfície do alimento e outro material com o qual o alimento está em contato. Representada na Figura 3.4 como a área (A3); (4) **Coesividade**: Extensão a que um material pode ser deformado antes da ruptura. Na Figura 3.4 representa a razão entre as áreas A2 e A1; (5) **Gomosidade (N)**: Energia para desintegrar um semi-sólido até deglutição. Firmeza multiplicada pela coesividade; (6) **Mastigabilidade (N)**: Energia para mastigar um alimento sólido até deglutição (CIVILLE e SZCZESNIAK, 1973; BOURNE, 2002). Cinco (5) ensaios de força de compressão para uma determinada deformação relativa e de TPA foram realizadas para cada tratamento de cozimento e resfriamento para cada amostra.

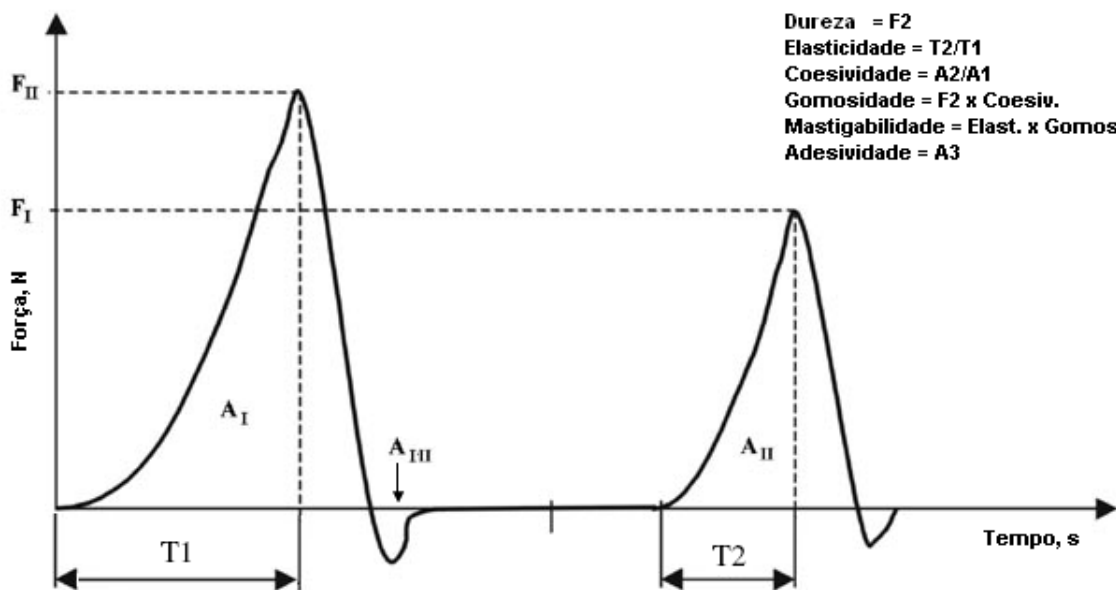


Figura 3.4 Típica curva da análise do perfil de textura para alimentos sólidos ou semi-sólidos (Adaptado de DOLATOWSKI, STASIAK e LATOCH, 2000).

### 3.7 Análise estatística

A análise estatística foi realizada utilizando-se o software Statistica (versão 6.0, USA). A análise de variância (ANOVA) foi empregada para comparar os parâmetros de perda de massa e umidades após o cozimento e o resfriamento a vácuo e em câmara fria de amostras de batata e cenoura. O teste de Tukey foi utilizado para comparar os parâmetros significativamente diferentes. Ambos os parâmetros de ganho de massa, perda de massa e umidades após o cozimento e o resfriamento a vácuo foram determinados com nível de significância de 95%.

## 4 Resultados e Discussão

### 4.1 Processo de cozimento de batatas em diferentes tratamentos

#### 4.1.1 Ganho de massa no cozimento em diferentes tratamentos

Os valores dos ganhos de massa e dos teores de umidade de batatas cozidas sob diferentes binômios tempo x temperatura são apresentados na Tabela 4.1, para os tratamentos de cozimento, cozimento a vapor e por imersão em água.

Os processos de cozimento a 90°C (C90) por 900 e 1200s, cozimento a 100°C em 300s (C300) e o processo de cozimento a vapor, CV, levaram a maiores ganhos de massa em relação aos outros processos. O cozimento a 100°C (C100), por 600 e 900s, levou a menores ganhos de massa pelas amostras de batatas, em relação aos outros tratamentos. Maiores tempos de cozimento a 100°C (600 e 900s), podem favorecer a lixiviação do amido da batata, principalmente das moléculas de amilose, que saem dos grãos de amido no processo de gelatinização.

Tabela 4.1 Ganhos de massa e teores de umidades de batatas cozidas em diferentes tratamentos.

<b>Processo</b>	<b>Ganho de massa (%)</b>	<b>Teor de umidade (kg<sub>água</sub>/kg<sub>ss</sub>)</b>
C90,600s	6,15 ± 0,5 <sup>a</sup>	6,32 ± 0,3 <sup>a</sup>
C90,900s	6,70 ± 0,9 <sup>a,b</sup>	5,97 ± 0,4 <sup>a,b</sup>
C90,1200s	6,52 ± 0,6 <sup>a,b</sup>	6,22 ± 0,3 <sup>a</sup>
C100,300s	6,45 ± 0,5 <sup>a</sup>	5,69 ± 0,3 <sup>b</sup>
C100,600s	3,69 ± 0,4 <sup>c</sup>	6,27 ± 0,4 <sup>a</sup>
C100,900s	3,31 ± 0,6 <sup>c</sup>	5,57 ± 0,5 <sup>b</sup>
CV	7,83 ± 0,7 <sup>b</sup>	6,02 ± 0,2 <sup>a,b</sup>
CIA	1,08 ± 0,3 <sup>d</sup>	6,40 ± 0,2 <sup>a</sup>

Médias na mesma coluna com letras diferentes representam diferença significativa ( $p < 0,05$ ).

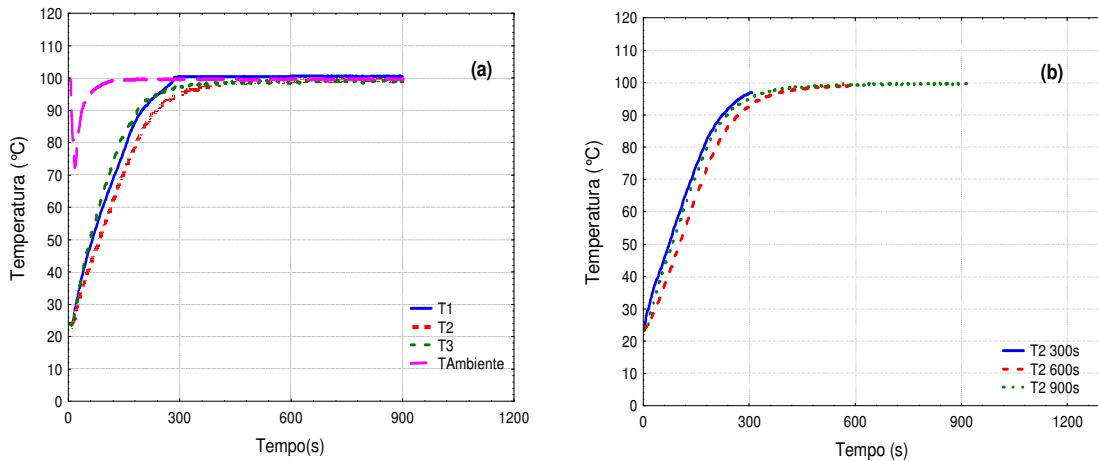
No processo de cozimento de batatas imersas em água fervente (CIA) o valor do ganho de massa foi muito menor do que o ganho de massa do restante dos processos de cozimento de batatas (Tabela 4.1). Este menor valor de ganho para o experimento de cozimento em água fervente é provavelmente devido à solubilização ou lixiviação do amido gelatinizado em água fervente de cozimento. Entretanto não foi encontrada diferença significativa entre os conteúdos de umidade do processo de cozimento em água fervente (CIA) e os processos de cozimento C90, C100,600s e CV.

GARCÍA-SEGOVIA, ANDRES-BELLO e MARTÍNEZ-MONZO, (2008), estudando os seguintes métodos de cozimento: Cook-vide (sistema de cozimento a vácuo, com pressões de vácuo alcançadas para cada tratamento em temperatura de: -0,84 bar/60°C, -0,75 bar/70°C, -0,6 bar/80°C e -0,36 bar/90°C.), Sous-vide (termo Francês que significa “sob vácuo” e descreve o método de cozimento em embalagens plásticas de PEBD termo resistentes seladas a vácuo antes do cozimento) e Atmosférico (em equipamento específico para o cozimento sob pressão atmosférica), observaram perdas de massas de 2,27, 3,37 e 3,23 %, respectivamente. Os autores obtiveram esses valores de perda de massa pesando as amostras cozidas somente após atingirem a temperatura ambiente (25°C). Como o objetivo do presente trabalho foi realizar o cozimento das amostras e resfriá-las em seguida, a perda ou ganho de massa foi determinada logo após o cozimento. Assim foi possível discriminar os ganhos no cozimento e as perdas no resfriamento.

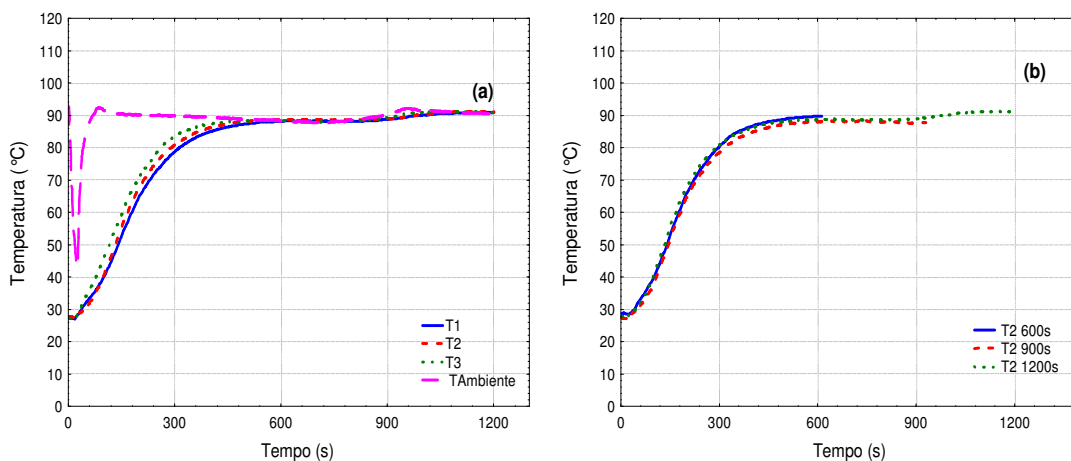
Com relação ao teor de umidade ( $\text{kg}_{\text{água}} \cdot \text{kg}_{\text{ss}}^{-1}$ ) para o C100 a 600s, observou-se uma diferença significativa com relação aos demais tempos de cozimento avaliados nesta mesma temperatura (100°C), mas não se observou diferença com relação aos valores de umidade para os processos de cozimento a 90°C. No processo C90 não se observou diferença significativa entre os tempos analisados, nem com os processos de cozimento CV e CIA. Esses resultados eram esperados, pois estão de acordo com os ganhos de massa percentuais.

Na Figura 4.1 estão representados os históricos de temperatura das amostras de batata referentes aos cozimentos a 100°C (C100). Na Figura 4.2 são apresentados os resultados referentes aos cozimentos a 90°C (C90), em diferentes tempos, assim como a temperatura do vapor dentro do tanque de

cozimento. Como pode ser observado, ocorre um aumento gradual da temperatura das amostras durante os primeiros minutos, até as mesmas atingirem a temperatura interna dentro do equipamento, ou seja, a temperatura de equilíbrio em ambos os processos de cozimento.



Figuras 4.1 (a) Temperatura do centro geométrico das amostras (T1, T2 e T3) durante cozimento de batatas durante 900 segundos a 100°C. T<sub>Ambiente</sub>: Temp. ambiente interno na câmara de cozimento. (b) Temperaturas comparativas dos centros geométricos de amostras durante cozimento de batatas durante 300, 600 e 900 segundos a 100°C.



Figuras 4.2 (a) Temperatura do centro geométrico das amostras (T1, T2 e T3) durante cozimento de batatas durante 1200s a 90°C. T<sub>Ambiente</sub>: Temp. do ambiente interno na câmara de cozimento; (b) Temperaturas comparativas dos centros geométricos de amostras durante cozimento de batatas durante 600, 900 e 1200 segundos a 90°C.

Na Figura 4.3 estão representados os históricos de temperatura das amostras de batata referentes aos cozimentos em vapor (CV) e imersão em água fervente (CIA) até as amostras atingirem 90°C. Os termopares foram inseridos no centro geométrico das amostras de batata. Ocorre um aumento gradual da temperatura das amostras até as mesmas atingirem a temperatura de 90°C. Verifica-se uma grande variação no termopar de acompanhamento da temperatura ambiente ( $T_{\text{ambiente}}$ ) logo aos primeiros segundos do processo de cozimento, esse fato deve-se a abertura do equipamento para colocação das amostras em seu interior. O tempo médio de cozimento para ambos os tratamentos apresentou-se semelhante (aproximadamente 290s), para o cozimento CV e CIA.

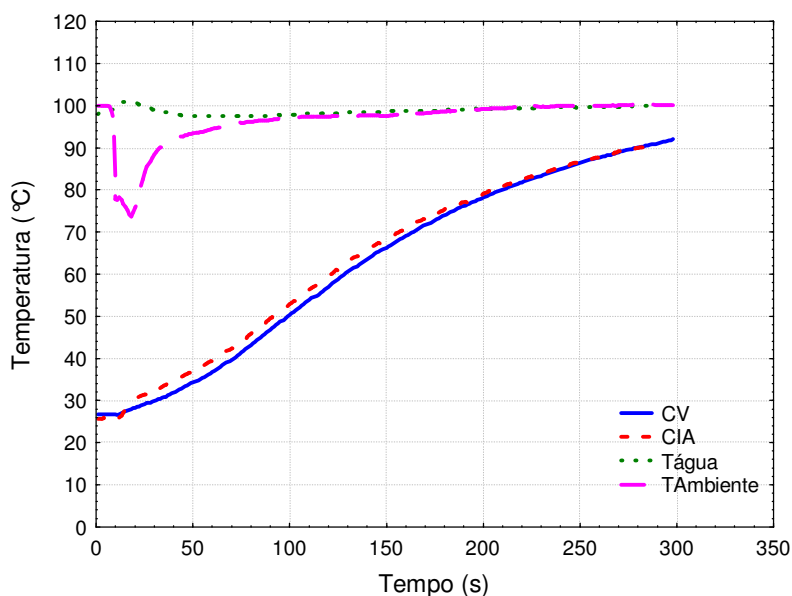


Figura 4.3 Temperaturas comparativas de cozimento a vapor e em imersão de batatas até 90°C.  $T_{\text{vapor}}$ : Cozimento em vapor de batatas;  $T_{\text{imerso}}$ : Cozimento de batatas imersas em água fervente (900ml).  $T_{\text{ambiente}}$ : Temp. ambiente no interior da câmara de cozimento;  $T_{\text{água}}$ : Temp. da água durante o cozimento.

## 4.2 Perda de massa no resfriamento a vácuo e resfriamento em câmara fria após cozimento em diferentes tratamentos

Na Tabela 4.2 são apresentados os resultados para a perda de massa global (com relação à massa da amostra *in natura*), para as perdas de massa no resfriamento, as umidades finais (após o resfriamento), as temperaturas finais das amostras após o resfriamento, as variações de temperatura no resfriamento a vácuo e os decréscimos de temperatura por unidade de perda de massa percentual ( $\eta_T$  °C/1%). Os dados são relativos a amostras de batata cozidas com diferentes tratamentos e resfriadas a vácuo e em câmara fria.

As perdas de massa globais nos tratamentos com cozimento a 100°C (C100+RV) e o processo CIA-RV apresentaram os maiores valores, na comparação entre todos os tratamentos. O processo de C100,300s+RV e CV-RV apresentaram as maiores perdas de massa na etapa de resfriamento. A diferença ocorrida no cozimento (maior ganho) parece ser a explicação para essa diferença.

Os resultados apresentados na Tabela 4.2 demonstram não haver diferenças significativas para as perdas de massa no tratamento global de cozimento a 90°C em diferentes tempos, seguido de resfriamento a vácuo.

Conforme mostra a Tabela 4.2 o processo CIA-RV perdeu a menor quantidade de massa durante a etapa de resfriamento entre todos os processos estudados (8,7%) (com exceção dos processos de resfriamento em imersão), o que se pôde verificar no valor encontrado para o conteúdo de umidade envolvendo experimentos sem imersão de água durante o resfriamento. Este fato pode estar relacionado com o tempo médio de resfriamento, que no caso dos processos integrados C90+RV, C100+RV e CV-RV são aproximadamente o dobro do processo CIA-RV. Assim, o processo CIA-RV apresenta maior eficiência de resfriamento (maior índice de  $\eta_T$ ).

Segundo a Tabela 4.2 o resfriamento a vácuo das amostras imersas na mesma água de cozimento praticamente não mostra perda de massa sensível durante o resfriamento (0,2%), pois durante o processo integrado de cozimento-resfriamento a vácuo (CIA-RVI) ocorre um ganho global de massa em relação à massa *in natura*. Durante o cozimento por imersão há um ganho médio de massa das amostras de batata de 1,08%.



O cozimento a vapor em câmara de cozimento foi realizado para os dois processos de resfriamento (vácuo e câmara), onde o valor médio de 7,83% de ganho de massa foi levado em consideração para realização dos cálculos de perda de massa nos processos de resfriamento posteriores. Há diferença significativa na perda de massa global e no conteúdo de umidade final entre os dois métodos experimentais (CV-RV e CV-RC). No processo CV-RV ocorre uma perda de massa maior (12,5%) do que no resfriamento em câmara fria (10,5%).

A Tabela 4.2 mostra que os produtos resfriados a vácuo com as amostras imersas em água (RVI) não apresentaram perda de massa sensível durante o resfriamento (0,21%), ao contrário do processo em câmara fria, onde ocorre ganho de massa após o resfriamento (3,3%). O processo integrado de cozimento-resfriamento a vácuo em um mesmo equipamento pode ser considerado análogo ao processo de aspersão de água nos produtos antes do resfriamento a vácuo, o que reduz a perda de massa (APATI, FURLAN e LAURINDO, 2006; ZHANG e SUN, 2006a,b).

Os valores de perda de massa durante a etapa de resfriamento a vácuo ficaram próximos aos valores encontrados por Zhang e Sun (2006a), que verificaram a perda de massa entre 11,42 e 12,31% para 400 g de arroz cru submetido ao resfriamento a vácuo após cozimento em diferentes tempos (15, 20 e 25 min).

Tabela 4.2 Perda de massa e teor de umidade de batatas resfriadas após o cozimento em diferentes tratamentos.

Processo	Perda de massa global média (%)	Perda massa resfriamento (%)	Umidade final média (kg <sub>água</sub> /kg <sub>ss</sub> )	Temperatura final da amostra (°C)	ΔT (°C)	ηT (°C/1%)
C90,600s+RV	3,8 ± 1,1 <sup>a,b</sup>	9,9	5,6 ± 0,3 <sup>b,c,d,e</sup>	31,3 ± 0,1	51,0	5,1
C90,900s+RV	4,0 ± 1,0 <sup>a,b</sup>	10,7	5,8 ± 0,4 <sup>c,e</sup>	31,6 ± 1,7	53,7	5,0
C90,1200s+RV	4,1 ± 0,5 <sup>a,b</sup>	10,6	5,1 ± 0,4 <sup>b</sup>	30,7 ± 1,6	54,5	5,1
C100,300s+RV	5,4 ± 0,7 <sup>a,c</sup>	11,9	5,5 ± 0,5 <sup>b,c,d,e</sup>	30,2 ± 1,4	65,9	5,5
C100,600s+RV	7,0 ± 0,3 <sup>c,d</sup>	10,7	5,4 ± 0,3 <sup>b,c,d</sup>	30,3 ± 1,6	68,9	6,4
C100,900s+RV	7,6 ± 0,3 <sup>d</sup>	10,8	5,2 ± 0,3 <sup>b,d</sup>	30,2 ± 1,34	70,1	6,4
CV-RV	4,7 ± 0,9 <sup>a</sup>	12,5	4,4 ± 0,2 <sup>a</sup>	30,2 ± 0,7	65,2	5,2
CIA-RV	7,7 ± 0,5 <sup>d</sup>	8,7	6,1 ± 0,2 <sup>d,e</sup>	29,9 ± 1,6	61,6	7,0
CIA-RVI	-0,8 ± 0,2 <sup>*e</sup>	0,2	7,9 ± 0,3 <sup>f</sup>	29,9 ± 0,8	64,9	-
CV-RC	2,7 ± 0,8 <sup>b</sup>	10,5	5,1 ± 0,3 <sup>b,d</sup>	28,7 ± 2,2	60,5	5,7
CIA-RCI	-4,4 ± 0,5 <sup>*f</sup>	-3,3 <sup>*</sup>	5,9 ± 0,2 <sup>c,d,e</sup>	30,4 ± 0,3	63,4	-

Médias na mesma coluna com letras diferentes representam diferença significativa (p<0,05).

\*Ganho de massa ao invés de perda de massa.

O teor de umidade médio, em base seca, da amostra *in natura* ficou em torno de  $4,99 \pm 0,16 \text{ kg}_{\text{água}} \cdot \text{kg}_{\text{ss}}^{-1}$ . Na Tabela 4.2 verifica-se que o processo CV-RV apresenta o menor conteúdo de umidade final médio entre todos os demais processos de cozimento seguido de resfriamento. Observa-se que os processos C100+RV, não apresentaram diferenças significativas nos teores de umidade final médio das amostras, para os diferentes tempos de cozimento.

Como esperado, o conteúdo de umidade das amostras resfriadas a vácuo imersas em água foi maior do que nas amostras resfriadas após drenagem da água. No primeiro caso, pode estar ocorrendo impregnação a vácuo das amostras resfriadas, quando do restabelecimento da pressão atmosférica.

Com respeito aos valores do conteúdo de umidade em base seca para os tratamentos CV-RV e CV-RC, observa-se que o maior teor de umidade em massa seca foi do processo CV-RC ( $5,1 \text{ kg}_{\text{água}} \cdot \text{kg}_{\text{ss}}^{-1}$ ), apresentando diferença significativa com o processo de CV-RV.

Na análise do conteúdo de umidade dos processos de resfriamento imersos em água (CIA-RVI e CIA-RCI), observa-se os maiores teores de umidade final médio entre todos os demais processos (juntamente com o processo CIA-RV) (Tabela 4.2). No entanto, esses resultados apresentaram diferença significativa entre si.

McDonald, Sun e Kenny, (2000) e Zhang e Sun (2006a,b) descrevem que a evaporação da umidade durante o resfriamento a vácuo é maior do que em outros tipos de resfriamento (ar forçado, câmara de refrigeração, etc.). Em estudo de cozimento com posterior resfriamento de arroz, Zhang e Sun (2006a) apresentam resultados comparativos entre diferentes tipos de resfriamento (vácuo, ar forçado e câmara fria) que também indicam que o resfriamento a vácuo é o processo no qual há maior perda de massa de arroz. Os autores apresentam neste estudo um valor de  $6,65^\circ\text{C}/1\%$  para o índice de efetividade do resfriamento a vácuo.

Com base nestes dados de perda de massa no resfriamento e com os valores da variação de temperatura no período de resfriamento, pode se calcular a efetividade dos processos analisando o decréscimo de temperatura por unidade de perda de massa percentual ( $\eta_T \text{ }^\circ\text{C}/1\%$ ). Pode se observar na Tabela 4.2 que os valores de  $\eta_T$  ficaram entre  $5,0^\circ\text{C}/1\%$  e  $5,13^\circ\text{C}/1\%$

(tratamento de cozimento a 90 °C) e entre 5,54 °C/1% e 6,45 °C/1% (tratamento de cozimento a 100 °C). O valor de  $\eta_T$  do processo CIA-RV apresentou-se o maior entre todos os demais experimentos analisados, em virtude da menor perda de massa encontrada na etapa de resfriamento a vácuo.

Observa-se na Tabela 4.2 que os processos de resfriamento imersos (CIA-RVI e CIA-RCI) não apresentam resultados de  $\eta_T$ , devido ao fato de que nesses processos ocorre uma perda muito pequena e também um ganho de massa durante a etapa de resfriamento (0,2 e 3,3%, respectivamente). Desta maneira é desnecessária a avaliação da eficiência do resfriamento.

Zhang e Sun (2006a), em estudo de resfriamento a vácuo após o cozimento de 1100g de arroz, apresentaram que para a redução da temperatura de 80 °C para 1 °C, a perda de massa média foi de 11,42%, implicando na redução de 6,65 °C para cada 1% de perda de massa. Resultados similares têm sido relatados para o resfriamento a vácuo de vegetais (5,5–6 °C para cada 1% de perda de massa) com alto conteúdo de água em excesso (90%) (McDONALD e SUN, 2000).

Na Figura 4.4 são apresentados os perfis de temperatura e de pressão durante o processo integrado de cozimento-resfriamento a vácuo de amostras de batatas (três amostras para cada experimento). Na Figura 4.5 são apresentados os perfis de temperatura, de uma única amostra em três diferentes tempos de cozimento em cada temperatura estudada, durante o processo integrado de cozimento-resfriamento a vácuo de amostras de batatas.

Observa-se na Figura 4.4 que o sensor de temperatura ( $T_{Ambiente}$ ) posicionado dentro da câmara de cozimento /câmara de vácuo, eleva-se após um determinado período de resfriamento em todos os experimentos devido a radiação de calor das paredes do equipamento.

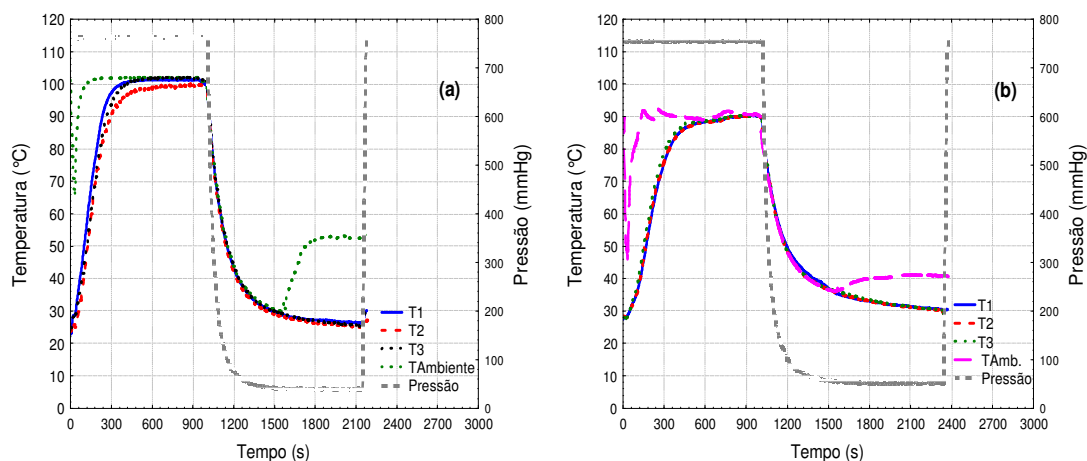


Figura 4.4 (a) Coz. de batatas a 100°C durante 900 s, seguido de resfriamento a vácuo; (b) Coz. de batatas a 90°C durante 900 s, seguido de resfriamento a vácuo. T<sub>Ambiente</sub>: Temp. do ambiente interno na câmara; T1, T2 e T3: Temp. no centro das amostras 1, 2 e 3; Pressão: Comportamento da Pressão durante o processo.

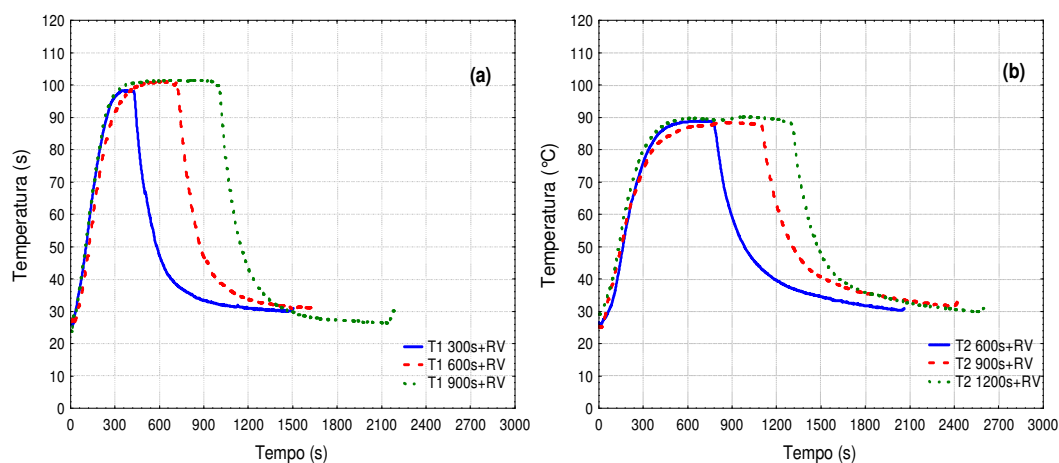


Figura 4.5 (a) Coz. de batatas a 100°C durante 300, 600 e 900 s, seguido de resfriamento a vácuo; (b) Cozimento de batatas a 90°C durante 600, 900 e 1200 s, seguido de resfriamento a vácuo. T1 e T2: Temp. no centro das amostras 1 e 2 em diferentes tempos de processo.

A Figura 4.6 representa a comparação entre os diferentes processos de cozimento, ou seja: (i) cozimento a vapor até as amostras atingirem 90°C no centro mais resfriamento a vácuo de batatas (CV-RV); (ii) cozimento por imersão em água fervente (900mL de água) até as amostras atingirem entre 90 e 95°C seguido de resfriamento a vácuo após a drenagem da água de cozimento (CIA-RV); e (iii) cozimentos por imersão em água fervente até as

amostras atingirem 90°C, seguido de resfriamento a vácuo imerso na mesma água de cozimento (CIA-RVI).

Observa-se uma rápida e homogênea redução da temperatura das amostras durante a etapa de resfriamento a vácuo, desde a temperatura de cozimento (início do resfriamento) até os valores próximos a 30°C (fim do resfriamento). O resfriamento homogêneo das amostras é um indicativo de que ocorre evaporação da água em todo o volume da amostra.

Após a conexão da câmara de cozimento com o sistema de vácuo (vazão nominal da bomba de vácuo de  $30\text{m}^3.\text{h}^{-1}$ ), a pressão cai rapidamente até atingir valores constantes entre 40 e 50 mmHg (processos integrados C100 e C90). Em seguida, há a recuperação da pressão ambiente, finalizando o experimento. A fim de obter resfriamentos até temperaturas de 4-5°C, faz-se necessário uma redução ainda maior da pressão de saturação da água a valores abaixo de 6 mmHg.

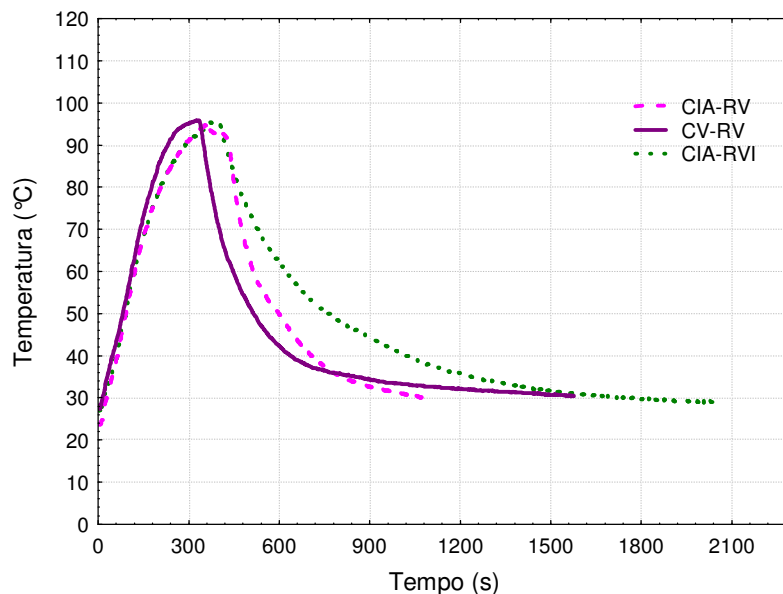


Figura 4.6 Comparativo dos processos integrados de cozimento no vapor e em imersão até as amostras atingirem 90°C seguido de resfriamento a vácuo. CV-RV: Coz. a vapor seguido de resfriamento a vácuo; CIA-RVI: Coz. imerso seguido de resfriamento a vácuo imerso na mesma água do cozimento; CIA-RV: Coz. imerso seguido de resfriamento a vácuo com drenagem da água de cozimento.

Após o término do tempo de cozimento (aproximadamente 300 s) as temperaturas das amostras continuam aumentando durante a etapa de drenagem da água da câmara de cozimento, até o momento do acionamento da bomba de vácuo. Isso é explicado pelo processo de condução de calor através da amostra, devido aos gradientes de temperatura ainda existentes no final da etapa de cozimento. Após o acionamento do sistema de vácuo, a pressão cai rapidamente para valores entre 40 e 50 mmHg. Observou-se uma rápida e homogênea redução da temperatura das amostras até temperaturas próximas a 30 °C.

Na Figura 4.6 verifica-se que as amostras foram resfriadas a vácuo partindo de temperaturas médias entre 91 e 95,7 °C até atingirem aproximadamente 30 °C no centro das mesmas. Observa-se o menor tempo experimental para o tratamento CIA-RV (625s). Com relação aos tratamentos CIA-RVI e CV-RV, o primeiro mostrou maior tempo de resfriamento do que o segundo tratamento (1673 e 1250, respectivamente), o que é explicado pelo resfriamento conjunto da água de cozimento e das amostras de batatas cozidas.

Wang e Sun (2001) mencionam que o processo de resfriamento a vácuo integrado ao cozimento reduz a manipulação do produto, reduzindo o risco de contaminações e o desenvolvimento de microrganismos por consequência destes procedimentos.

Na Figura 4.7 está apresentado o comparativo entre os históricos de temperatura de amostras de batata para o processo de cozimento a vapor-resfriamento a vácuo (CV-RV) e o processo de cozimento a vapor-resfriamento em câmara fria a 5 °C (CV-RC). A etapa de resfriamento a vácuo apresentou maiores tempos (em média 1250 s) do que a etapa de resfriamento em câmara (em média 400 s) para redução de temperatura das amostras de valores entre 85-95 °C até 30 °C.

Este fato deve-se às diferentes condições de resfriamento utilizadas nesta comparação e à pressão final obtida no resfriamento a vácuo (entre 40 e 50 mmHg). A temperatura inicial da câmara fria (temperatura da circulação de ar dentro da câmara) no momento de transferência das amostras cozidas era de aproximadamente 5 °C. No entanto, a câmara de vácuo logo no início do

acionamento da bomba de vácuo para o resfriamento encontrava-se na temperatura do vapor de água (100 °C).

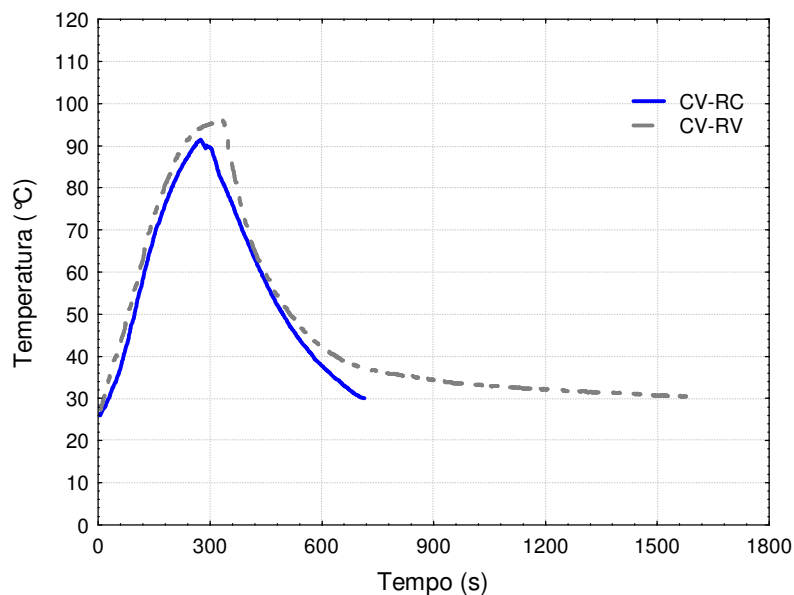


Figura 4.7 Comparativo entre o resfriamento a vácuo (CV-RV) e em câmara (CV-RC) de batatas cozidas (cozimento a vapor em câmara de cozimento até a temperatura de 90 °C).

Na Figura 4.8 está apresentado o comparativo entre os perfis de temperatura versus tempo para o processo integrado de cozimento imerso em água fervente seguido de: (i) resfriamento a vácuo imerso (CIA-RVI); (ii) resfriamento em câmara fria imerso (CIA-RCI). O resfriamento a vácuo imerso apresentou menores tempos (em média 1673 s) do que o resfriamento imerso em câmara fria (em média 2861 s) para uma redução de temperatura das amostras de valores entre 92-96 °C até 30 °C, diferente da comparação entre os tempos dos processos de cozimento a vapor-resfriamento a vácuo (CV-RV) e o cozimento a vapor-resfriamento em câmara fria (CV-RC) sem imersão, onde o maior tempo de processo ficou com o experimento envolvendo o resfriamento a vácuo. Os experimentos com imersão em água indicam o que estudos anteriores (SUN e WANG, 2001; McDONALD e SUN, 2000; McDONALD, SUN e KENNY, 2000; ZHANG e SUN, 2006a,b) comprovam, ou seja, que o resfriamento a vácuo é um eficiente método para resfriamento de alimentos e também, a grande vantagem da taxa de resfriamento ser mais rápida do que em outros métodos de resfriamento.



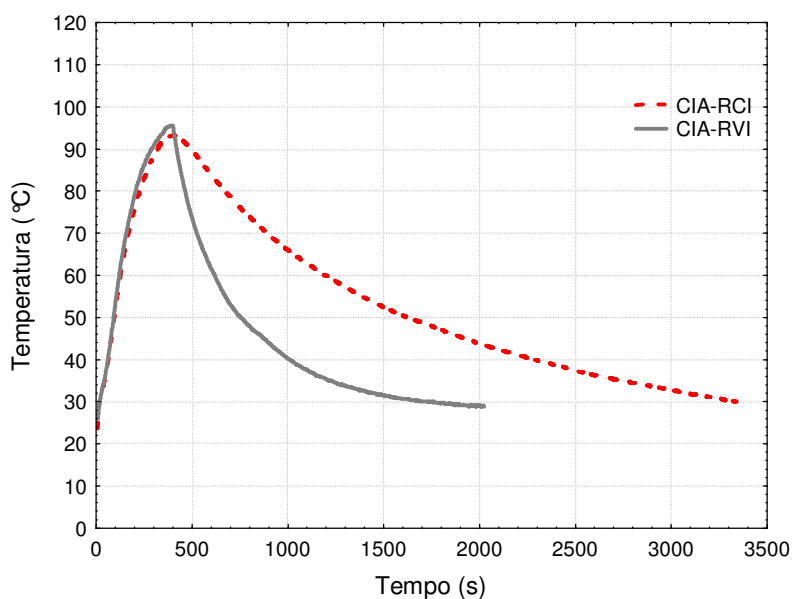


Figura 4.8 Comparativo entre o resfriamento a vácuo imerso (CIA-RVI) e o resfriamento imerso em câmara (CIA-RCI) de batatas cozidas (cozimento imerso em água até a temperatura de 90°C); (a) curvas dos processos de cozimento + resfriamento; (b) curvas do processo de resfriamento.

O processo de resfriamento a vácuo imerso difere de outros métodos de resfriamento pela ação da evaporação da água superficial da amostra e também pela evaporação do líquido de cozimento, como consequência da redução da pressão na câmara de vácuo. Este resfriamento evaporativo, ao contrário da ação do ar frio forçado sobre as amostras, em outros métodos de resfriamento, torna mais rápido e eficiente o processo de resfriamento a vácuo (WANG e SUN, 2001; MELLOR, 1980).

No Apêndice A (Figuras A1, A2 e A3), encontram-se as demais curvas de resfriamento a vácuo de batatas cozidas obtidas neste estudo.

### 4.3 Análise de textura de batatas

#### 4.3.1 Análise da força de compressão para uma deformação relativa de 20% de batatas cozidas em diferentes tratamentos

Na Tabela 4.3 são apresentados os resultados para a força de compressão para uma determinada deformação relativa e o teor de umidade médio de batatas cozidas em diferentes tratamentos. Percebe-se o decréscimo da força de compressão para uma deformação relativa de 20% de batatas com

o aumento do tempo de cozimento das amostras, para os processos de cozimento C90 e C100 estudados. Verifica-se que o conteúdo de umidade não apresentou grande influência nos valores finais de força de compressão de batatas após o cozimento em diferentes tempos e temperaturas, indicando que o aumento do amolecimento das amostras está ligada ao aumento do tempo e da temperatura de cozimento. Houve diferença significativa para a força de compressão entre os diferentes tempos de cozimento, nos tratamentos nas temperaturas de 90 e 100 °C. O tratamento C90,1200s apresentou a menor força de compressão para uma determinada deformação relativa (9,45 N), enquanto o tratamento C100,300s apresentou a maior força de compressão para uma determinada deformação relativa (130,5 N). A Tabela 4.3 também mostra que não houve diferença significativa entre os valores de força de compressão e teor de umidade, para os métodos CV e CIA.

Tabela 4.3 Parâmetros de força de compressão para uma determinada deformação relativa de batatas cozidas em diferentes tratamentos.

<b>Processo</b>	<b>Teor de umidade médio (kg<sub>água</sub>/kg<sub>ss</sub>)</b>	<b>Compressão (N)</b>
C90,600s	6,32 ± 0,3 <sup>a</sup>	83,20 ± 6,0 <sup>c</sup>
C90,900s	5,97 ± 0,4 <sup>a,b</sup>	52,50 ± 3,5 <sup>b</sup>
C90,1200s	6,22 ± 0,3 <sup>a</sup>	9,45 ± 4,9 <sup>a</sup>
C100,300s	5,69 ± 0,3 <sup>b</sup>	130,50 ± 2,0 <sup>d</sup>
C100,600s	6,27 ± 0,4 <sup>a</sup>	58,02 ± 8,4 <sup>b</sup>
C100,900s	5,57 ± 0,5 <sup>b</sup>	20,80 ± 2,8 <sup>a</sup>
CV	6,02 ± 0,2 <sup>a,b</sup>	82,17 ± 14,8 <sup>c</sup>
CIA	6,40 ± 0,2 <sup>a</sup>	77,02 ± 2,16 <sup>c</sup>

Médias na mesma coluna com letras diferentes representam diferença significativa ( $p < 0,05$ ).

Alvarez e Canet (1998), ao analisarem um ensaio de compressão (faixa de deformação entre 25-30% das dimensões originais) além do ponto de falha (ponto de quebra do material celular) de amostras cilíndricas de batatas (25,4 mm diâmetro e 19,06 mm altura) cozidas durante 900 s imersas em água fervente, obtiveram valores de força de compressão neste ponto de falha de 50,84 N. Este valor foi próximo ao encontrado no presente trabalho para o

mesmo tempo de cozimento (900 s) na temperatura de 90 °C (52,8 N). Porém o cozimento realizado de maneira imersa em água fervente (CIA) durante aproximadamente 300 s apresentou um valor de força de compressão de 77,02 N (Tabela 4.3). O menor tempo de cozimento e a diferente deformação utilizada no processo CIA deste trabalho comparado com o processo de cozimento dos autores, parece ser a explicação da diferença entre os valores de força de compressão entre estes dois ensaios de compressão. O processo C100,900s de cozimento no vapor apresentou valor de força de compressão de 20,8 N. Parâmetros experimentais de força de compressão para uma determinada deformação relativa de algumas amostras de alimentos são difíceis de comparar com valores da literatura, devido à ampla variação de condições experimentais utilizadas. Inúmeros fatores como tamanho e forma da amostra, modo de deformação, taxa de deformação, aparato experimental e fatores ambientais das amostras afetam os resultados dos testes de compressão.

#### *4.3.2 Análise do perfil de textura (TPA) de batatas cozidas em diferentes tratamentos*

Na Tabela 4.4 apresentam-se os parâmetros referentes à análise de perfil de textura (TPA) das amostras de batata cozidas em diferentes tratamentos. Dentre os parâmetros obtidos pela análise de TPA, a dureza pode ser definida como a força necessária para produzir uma determinada deformação no alimento. Os valores para dureza obtidos apresentaram diferença significativa para os diferentes tempos de cozimento, nas temperaturas de 90 e 100 °C. Observa-se que ocorre uma considerável redução dos valores de dureza obtidos, conforme se aumenta o tempo de cozimento, para ambas as temperaturas de processo.

Observa-se que os dados de dureza apresentam diferenças significativas quando se comparam o mesmo tempo de cozimento em temperaturas de cozimento diferentes. Da mesma forma como ocorreu na análise de força de compressão para uma determinada deformação relativa de batatas cozidas, os resultados de dureza das amostras analisadas na Tabela 4.4 apresentaram valores menores de força (N) para o tratamento na maior

temperatura (100 °C), quando comparados aos valores de menor temperatura durante o cozimento (90 °C), em ambos os tempos de cozimento de 600 e 900s. Este fato deve-se provavelmente à ocorrência de mudanças na estrutura da parede celular e no material péctico da lamela média do tecido da batata durante os diferentes processos térmicos, como relatado em estudos anteriores com batatas cozidas (ALVAREZ, CANET e TORTOSA, 2001; CHIAVARO et al., 2006).

O processo CV apresentou diferença significativa e resultou em produtos com maior valor de dureza em relação ao processo CIA (101,6 e 67,62 N respectivamente). O maior valor de dureza encontrado para o processo CV pode estar relacionado à incompleta gelatinização do amido. Alvarez e Canet (1998) realizaram estudo de força de compressão de 70% para deformação relativa de batatas cozidas durante 15 min (900 s) imersas em água fervente e encontraram um valor de 50,8 N.

Alguns autores destacaram o efeito do binômio tempo-temperatura (GARCÍA-SEGOVIA, ANDRES-BELLO e MARTÍNEZ-MONZO, 2008, THYBO, MARTENS e LYSHEDE, 1998) nos parâmetros de textura dos produtos cozidos. Alvarez, Canet e Tortosa, (2001), estudando o processo de amolecimento térmico de tecidos de batata, observaram que em temperaturas de 90 e 100 °C, o processo de amolecimento é alcançado rapidamente, pois é controlado pela gelatinização do amido, a qual ocorre a temperaturas de aproximadamente 58-65 °C (FENNEMA, 1996). A solubilização do material péctico na parede celular e da lamela média durante o cozimento também é um fator que influencia o processo de modificação da textura do produto. Jarvis e Duncan (1992), afirmam que a clivagem (divisão celular) da parede celular e a separação celular contribuem na redução da resistência do tecido de batatas cozidas, devido à dissolução do gel formado de pectina-cálcio na matriz da parede celular e na lamela média.

García-Segovia, Andres-Bello e Martínez-Monzo, (2008) estudando as propriedades de textura de batatas cozidas em diferentes temperaturas (60, 70, 80 e 90 °C), tempos (entre 5 e 60 min) e processos de cozimento (atmosférico, *sous-vide* e *cook-vide*), apresentaram resultados de redução dos parâmetros de dureza, gomosidade e mastigabilidade em função das temperaturas e dos tempos de cozimento. Ainda neste estudo os autores observaram que os

parâmetros de adesividade, elasticidade e coesividade apresentaram-se muito similares em todas as condições de processo investigadas, fato também observado no presente estudo.

Na Tabela 4.4 verifica-se, que a análise de variância para os parâmetros de elasticidade e adesividade não apresentam diferenças significativas entre os tratamentos em diferentes tempos, em cada processo de cozimento nas temperaturas de 90 e 100 °C.

Os parâmetros de adesividade nos cozimentos realizados na temperatura de 100 °C foram maiores do que nos processos de cozimento a 90 °C, nos dois diferentes tempos de processo.

Para o parâmetro coesividade, verifica-se que quando o cozimento é realizado na temperatura de 90 °C, o maior valor encontrado é no tempo de 600s e este difere significativamente dos demais processos nesta mesma temperatura de processo (Tabela 4.4). Quando o cozimento é realizado na temperatura de 100 °C (C100), CV e CIA, não se observou diferença significativa entre os diferentes tempos de cozimento nestes diferentes processos (Tabela 4.4). Assim como o parâmetro de firmeza, a gomosidade e a mastigabilidade apresentaram redução dos seus valores com o passar do tempo de cozimento em ambas as temperaturas estudadas.

Os dados de elasticidade, adesividade e coesividade apresentados na Tabela 4.4 não apresentam diferença significativa quando comparados os processos CV e CIA para cada parâmetro de textura. Nota-se que a adesividade do tratamento CIA foi o único parâmetro que apresentou maior valor (1,03 N) quando comparado o CV.

Para os parâmetros gomosidade e mastigabilidade, pode se observar que ocorre uma redução desses valores quando se aumenta a temperatura de cozimento em dois tempos de cozimento comparados (600 e 900 segundos).

Para a gomosidade e a mastigabilidade, observa-se que há diferença significativa entre os processos de cozimento. Verifica-se que as amostras submetidas ao processo CV apresentam valores mais elevados que as amostras submetidas ao processo CIA, em ambos os casos (Tabela 4.4).

Tabela 4.4 Parâmetros de análise do perfil de textura de batatas cozidas em diferentes tratamentos.

<b>Processo</b>	<b>Dureza (N)</b>	<b>Elasticidade (-)</b>	<b>Adesividade (N.s)</b>	<b>Coesividade (-)</b>	<b>Gomosidade (N)</b>	<b>Mastigabilidade (N)</b>
C90,600s	112,5 ± 13,9 <sup>e,f</sup>	0,64 ± 0,03 <sup>a,b</sup>	1,0 ± 0,4 <sup>a,b</sup>	0,30 ± 0,04 <sup>d</sup>	34,1 ± 9,0 <sup>c</sup>	21,8 ± 5,8 <sup>c</sup>
C90,900s	60,1 ± 11,2 <sup>c,d</sup>	0,67 ± 0,04 <sup>a,b</sup>	1,6 ± 1,3 <sup>a,b</sup>	0,17 ± 0,01 <sup>a</sup>	10,3 ± 2,6 <sup>a,b</sup>	7,0 ± 2,1 <sup>a,b</sup>
C90,1200s	7,3 ± 1,9 <sup>a</sup>	0,65 ± 0,1 <sup>a,b</sup>	0,4 ± 0,1 <sup>a</sup>	0,19 ± 0,01 <sup>a,b</sup>	1,4 ± 0,3 <sup>a</sup>	0,9 ± 0,1 <sup>a</sup>
C100,300s	135,7 ± 16,6 <sup>f</sup>	0,74 ± 0,08 <sup>a,b</sup>	2,3 ± 0,9 <sup>a,b</sup>	0,23 ± 0,05 <sup>a,b,c</sup>	31,1 ± 2,3 <sup>c</sup>	22,8 ± 2,0 <sup>c</sup>
C100,600s	36,6 ± 7,2 <sup>b,c</sup>	0,81 ± 0,1 <sup>a,b</sup>	2,9 ± 1,0 <sup>b</sup>	0,25 ± 0,01 <sup>b,c,d</sup>	9,1 ± 2,1 <sup>a,b</sup>	7,4 ± 2,6 <sup>a,b</sup>
C100,900s	16,2 ± 2,1 <sup>a,b</sup>	0,68 ± 0,07 <sup>a,b</sup>	1,7 ± 0,9 <sup>a,b</sup>	0,24 ± 0,02 <sup>b,c</sup>	3,8 ± 0,6 <sup>a</sup>	2,6 ± 0,5 <sup>a,b</sup>
CV	101,6 ± 14,7 <sup>e</sup>	0,68 ± 0,06 <sup>a,b</sup>	0,8 ± 0,3 <sup>a,b</sup>	0,29 ± 0,03 <sup>c,d</sup>	29,8 ± 7,2 <sup>c</sup>	20,6 ± 6,7 <sup>c</sup>
CIA	67,6 ± 4,8 <sup>d</sup>	0,60 ± 0,07 <sup>a</sup>	1,0 ± 0,5 <sup>a,b</sup>	0,26 ± 0,02 <sup>b,c,d</sup>	17,7 ± 0,3 <sup>b</sup>	10,7 ± 1,2 <sup>b</sup>

Médias na mesma coluna com letras diferentes representam diferença significativa ( $p < 0,05$ ).

Os resultados da Tabela 4.4 indicam que o binômio tempo-temperatura exerce grande influência nas propriedades de textura, devido às mudanças nas estruturas da parede celular do produto. Segundo Reeve (1972), um cozimento de batatas (em temperaturas entre 88 e 100°C) resulta em uma rápida e grande dissolução das substâncias da lamela média (estrutura de união entre as paredes celulares primárias) existente entre a parede celular e a taxa de dissolução aumenta com o aumento da temperatura de cozimento.

Mittal (1994), em estudo de análise de textura de batatas inteiras submetidas ao cozimento nas temperaturas de 20 a 90°C, entre os tempos de 8 a 18 min, verificou a redução dos valores de TPA, conforme a temperatura do processo térmico aumenta.

Do presente estudo e dos trabalhos citados acima, observa-se que os parâmetros de TPA como dureza, gomosidade e mastigabilidade, são os que melhor representam a influência do binômio tempo-temperatura no processo de cozimento da batata.

#### *4.3.3 Análise de textura de batatas resfriadas a vácuo e em câmara fria após o cozimento em diferentes tratamentos*

##### *4.3.3.1 Análise da força de compressão para uma deformação relativa de 20% de batata resfriadas a vácuo e em câmara fria após cozimento em diferentes tratamentos*

A Tabela 4.5 apresenta os resultados para o teor de umidade médio final e a análise de força de compressão para uma deformação relativa de 20% de batatas resfriadas a vácuo e em câmara fria após o cozimento em diferentes tratamentos.

Observa-se na Tabela 4.5 que os resultados dos conteúdos de umidade final de amostras de batata cozidas em diferentes tempos e temperaturas (C90 e C100) com posterior RV, não apresentaram grande influência nos valores de força de compressão (N). Através da análise estatística, verificou-se que os valores de força de compressão para uma deformação relativa de 20% de batatas resfriadas após o cozimento na temperatura de 90°C apresentam diferenças significativas entre os tratamentos nesta temperatura. O tratamento

(C90,600s+RV) apresenta valor mais elevado de força de compressão (77,90 N).

Tabela 4.5 Teor de umidade final e parâmetros de força de compressão para uma determinada deformação relativa de batatas resfriadas após cozimento em diferentes tratamentos.

<b>Processo</b>	<b>Umidade média final (kg<sub>água</sub>/kg<sub>ss</sub>)</b>	<b>Compressão (N)</b>
C90,600s+RV	5,67 ± 0,3 <sup>b,c,d,e</sup>	77,90 ± 8,0 <sup>d</sup>
C90,900s+RV	5,8 ± 0,4 <sup>c,e</sup>	27,10 ± 2,1 <sup>b</sup>
C90,1200s+RV	5,16 ± 0,4 <sup>b</sup>	14,75 ± 2,6 <sup>a</sup>
C100,300s+RV	5,51 ± 0,5 <sup>b,c,d,e</sup>	62,50 ± 11,0 <sup>c,d</sup>
C100,600s+RV	5,39 ± 0,3 <sup>b,c,d</sup>	11,10 ± 2,3 <sup>a,b</sup>
C100,900s+RV	5,26 ± 0,3 <sup>b,d</sup>	8,50 ± 2,3 <sup>a</sup>
CV-RV	4,45 ± 0,2 <sup>a</sup>	52,39 ± 5,8 <sup>c</sup>
CIA-RV	6,09 ± 0,2 <sup>d,e</sup>	70,88 ± 11,1 <sup>c,d</sup>
CIA-RVI	7,96 ± 0,3 <sup>f</sup>	99,18 ± 8,9 <sup>e</sup>
CV-RC	5,15 ± 0,3 <sup>a,b,d</sup>	77,89 ± 10,7 <sup>d</sup>
CIA-RCI	5,88 ± 0,2 <sup>c,d,e</sup>	71,26 ± 7,6 <sup>d</sup>

Médias na mesma coluna com letras diferentes representam diferença significativa ( $p < 0,05$ ).

Quando a temperatura de cozimento foi de 100°C, o tratamento com menor tempo de cozimento aparece com valor mais elevado de força de compressão para uma deformação relativa de 20% de batatas (62,50 N) apresentando diferença significativa para os demais tratamentos nesta temperatura de processo. Nota-se que houve uma redução destes valores conforme o aumento do tempo de cozimento, em ambos os processos estudados. Este fato também foi percebido na análise de força de compressão para uma determinada deformação relativa de batatas cozidas (Tabela 4.3).

Quando se compara estes valores nas amostras de batata resfriadas (Tabela 4.5) e cozidas (Tabela 4.3), observa-se que ocorre redução destes parâmetros após o resfriamento a vácuo para todos os tratamentos analisados, menos para o tratamento C90,1200s + RV.

Conforme a Tabela 4.5 os dados obtidos para os processos CV-RV e CIA-RV apresentam-se menores (52,39 e 70,88 N, respectivamente) e



significativamente diferentes do processo CIA-RVI (99,18 N), quando analisado o valor de força de compressão para 20% de deformação relativa. Verificou-se que o conteúdo de umidade das amostras submetidas nestes diferentes processos de cozimento mais RV, apresentaram uma relação de aumento do conteúdo de umidade com o aumento dos valores de força de compressão em uma deformação de 20% de batatas resfriadas.

Quando se analisa somente o efeito do resfriamento a vácuo (RV) nos processos CV-RV e CIA-RV em comparação com os processos somente de cozimento CV e CIA, percebe-se a redução da força de compressão para uma deformação relativa de 20% de batatas após o RV. Uma perda mais elevada de umidade final das amostras resfriadas pelo processo CV-RV comparada à perda de umidade final do processo CIA-RV, provavelmente influenciou a estrutura da parede celular das amostras de batata, reduzindo significativamente a força de compressão para uma determinada deformação relativa aplicada no processo CV-RV. Verifica-se na também Tabela 4.5, a relação de menor conteúdo de umidade e menor valor de força de compressão do processo CV-RV na comparação com o processo de resfriamento em câmara fria (CV-RC).

Quando se avaliam os métodos de CIA-RV e CIA-RVI percebe-se que há uma influência da água durante o processo de resfriamento a vácuo. Sendo o teor de umidade final encontrado para o tratamento CIA-RVI maior, e diferente significativamente, do que para o tratamento CIA-RV (Tabela 4.5), o valor da força de compressão para uma determinada deformação relativa encontrado no primeiro tratamento é maior até mesmo ao se comparar o valor somente da etapa de cozimento imerso em água fervente (77,01 N) (Tabela 4.3). Possivelmente o aumento da força de compressão para uma deformação relativa de 20% de batatas é motivado pela impregnação da água no final do restabelecimento da pressão ambiente (final do resfriamento).

Segundo Karlsson e Eliasson (2004), o resfriamento posterior ao tratamento térmico irá iniciar a recristalização da amilopectina. Embora, a amilopectina recristalizada esteja dissolvida ao final do cozimento, o processo de resfriamento ainda vai ter um impacto na textura final do produto.

#### *4.3.3.2 Análise do perfil de textura (TPA) de batatas resfriadas a vácuo e em câmara fria após etapa de cozimento em diferentes tratamentos*

Na Tabela 4.6 são apresentados os dados de análise do perfil de textura (TPA) para amostras de batata resfriadas a vácuo e em câmara fria após o cozimento em diferentes tratamentos. Observa-se que ocorre a redução dos dados de dureza, gomosidade e mastigabilidade com o aumento do tempo de cozimento, em ambas as temperaturas empregadas após a etapa de cocção (tratamentos C90+RV e C100+RV). Os valores de dureza (N), encontrados para as amostras resfriadas a vácuo após o cozimento em 90°C, indicam uma diferença significativa entre o primeiro tratamento (C90,600s+RV) e os outros dois tratamentos (C90,900s+RV e C90,1200s+RV). Quando a temperatura de cozimento foi 100°C, houve diferença significativa entre os tratamentos C100,300+RV e os outros dois tratamentos de cozimento nessa mesma temperatura.

Na comparação entre os valores de dureza (N) entre as amostras após cozimento e após resfriamento (Tabelas 4.4 e 4.6, respectivamente), observa-se que houve uma redução destes valores quando do resfriamento a vácuo das amostras. Porém, assim como o ocorrido na análise de força de compressão para uma deformação relativa de 20% das dimensões originais de batatas (Tabela 4.5), não houve redução dos valores de dureza após um tratamento de C90,1200s+RV e sim um acréscimo no valor de dureza na comparação ao valor após o cozimento em 1200 s. Provavelmente este resultado está ligado a um rearranjo da estrutura celular das amostras de batata durante a etapa de resfriamento a vácuo, ou seja, as amostras processadas neste maior tempo de cozimento na temperatura de 90°C tornaram-se mais compactadas e apresentando maiores valores de dureza do que os valores encontrados para a etapa de cozimento de batatas na temperatura de 90°C.

Tabela 4.6 Parâmetros de análise do perfil de textura (TPA) de batatas resfriadas após cozimento em diferentes tratamentos.

Processo	Dureza (N)	Elasticidade (-)	Adesividade (N.s)	Coesividade (-)	Gomosidade (N)	Mastigabilidade (N)
C90,600s+RV	73,7 ± 3,1 <sup>c,d</sup>	0,7 ± 0,07 <sup>a,b</sup>	1,1 ± 0,6 <sup>a,b</sup>	0,3 ± 0,02 <sup>b,c</sup>	24,8 ± 1,7 <sup>c,d,e</sup>	16,9 ± 2,0 <sup>b,c</sup>
C90,900s+RV	24,3 ± 8,9 <sup>a,b</sup>	0,8 ± 0,1 <sup>a,b</sup>	0,7 ± 0,2 <sup>a,b</sup>	0,2 ± 0,03 <sup>a</sup>	5,9 ± 1,4 <sup>a</sup>	4,9 ± 1,8 <sup>a</sup>
C90,1200s+RV	22,2 ± 3,9 <sup>a,b</sup>	0,7 ± 0,001 <sup>a,b</sup>	0,7 ± 0,3 <sup>a,b</sup>	0,2 ± 0,01 <sup>a</sup>	5,4 ± 1,2 <sup>a</sup>	3,7 ± 0,8 <sup>a</sup>
C100,300s+RV	74,7 ± 11 <sup>c,d,e</sup>	0,7 ± 0,07 <sup>a,b</sup>	1,4 ± 0,7 <sup>a,b</sup>	0,3 ± 0,01 <sup>b,c</sup>	25,4 ± 4,4 <sup>c,d,e</sup>	18,5 ± 1,5 <sup>b,c</sup>
C100,600s+RV	27,9 ± 11,9 <sup>a,b</sup>	0,8 ± 0,03 <sup>b</sup>	1,7 ± 0,7 <sup>a,b</sup>	0,3 ± 0,02 <sup>a,b</sup>	7,8 ± 4,0 <sup>a,b</sup>	6,4 ± 3,1 <sup>a</sup>
C100,900s+RV	7,2 ± 2,0 <sup>a</sup>	0,7 ± 0,06 <sup>a,b</sup>	0,6 ± 0,2 <sup>a</sup>	0,3 ± 0,04 <sup>b,c</sup>	2,4 ± 0,8 <sup>a</sup>	1,7 ± 0,6 <sup>a</sup>
CV-RV	52,2 ± 4,0 <sup>b,c</sup>	0,7 ± 0,04 <sup>a,b</sup>	1,7 ± 0,3 <sup>b</sup>	0,3 ± 0,01 <sup>c</sup>	18,2 ± 1,3 <sup>b,c</sup>	13,8 ± 1,2 <sup>b</sup>
CIA-RV	66,0 ± 9,9 <sup>c,d</sup>	0,6 ± 0,07 <sup>a,b</sup>	0,8 ± 0,4 <sup>a,b</sup>	0,3 ± 0,01 <sup>b,c</sup>	21,9 ± 3,2 <sup>c,d</sup>	14,6 ± 3,2 <sup>b</sup>
CIA-RVI	90,2 ± 6,0 <sup>d,e</sup>	0,6 ± 0,05 <sup>a</sup>	0,9 ± 0,01 <sup>a,b</sup>	0,3 ± 0,02 <sup>b,c</sup>	29,7 ± 9,4 <sup>d,e</sup>	18,6 ± 5,0 <sup>b,c</sup>
CV-RC	100,8 ± 10,6 <sup>e</sup>	0,6 ± 0,04 <sup>a</sup>	1,8 ± 0,62 <sup>b</sup>	0,3 ± 0,02 <sup>b,c</sup>	33,4 ± 5,1 <sup>e</sup>	22,3 ± 2,9 <sup>c</sup>
M CIA-RCI	81,8 ± 8,3 <sup>d,e</sup>	0,6 ± 0,03 <sup>a</sup>	0,6 ± 0,3 <sup>a</sup>	0,3 ± 0,02 <sup>a,b</sup>	23,4 ± 3,9 <sup>c,d</sup>	14,9 ± 2,5 <sup>b</sup>

Médias na mesma coluna com letras diferentes representam diferença significativa ( $p < 0,05$ ).

Conforme a Tabela 4.6, os valores de elasticidade e adesividade não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos de cozimento a 90 e 100°C, em diferentes tempos, com posterior resfriamento a vácuo. Quando se comparam os resultados de elasticidade e adesividade das amostras resfriadas a vácuo com os resultados das amostras apenas cozidas, percebemos uma certa similaridade entre os resultados, com um leve aumento dos valores em alguns casos, para as amostras resfriadas a vácuo após os diferentes métodos de cozimento, conforme verifica-se nas Tabelas 4.4 e 4.6.

Os valores de coesividade apresentados pela Tabela 4.6 para amostras de batata resfriadas a vácuo, indicam uma diferença significativa entre os tratamentos C90,900s+RV e C90,1200s+RV e o tratamento C90,600s+RV. Quando o experimento de cozimento foi realizado em 100°C em diferentes tempos com posterior resfriamento a vácuo, os valores de coesividade das amostras resfriadas não apresentam diferença significativa (Tabela 4.6). Quando se compara os valores de coesividade das amostras cozidas em diversos tempos e nas temperaturas de 90 e 100°C (Tabela 4.4), com os valores de coesividade das amostras resfriadas a vácuo (Tabela 4.6), observa-se um pequeno aumento em todos os valores de batata resfriados a vácuo.

Conforme a Tabela 4.6, os dados de gomosidade e mastigabilidade decrescem com o aumento do tempo de cozimento e posterior resfriamento a vácuo. Os dados de gomosidade e a mastigabilidade da Tabela 4.6, para o processo de cozimento a 90°C com posterior resfriamento a vácuo, mostram uma diferença significativa do tratamento C90,600s+RV com os outros dois tratamentos C90,900s+RV e C90,1200s+RV. A mesma situação ocorre para os dados de gomosidade, porém, quando o processo de cozimento é realizado a 100°C com posterior resfriamento a vácuo (Tabela 4.6).

Quando compara-se os valores de gomosidade e mastigabilidade de amostras cozidas e resfriadas a vácuo, percebe-se a mesma condição vista pelo atributo de TPA dureza, ou seja, todos os valores para as amostras resfriadas apresentaram-se menores do que para as amostras cozidas, com exceção ao tratamento C90,1200s+RV que aparece com os valores maiores para estes 2 atributos referidos.

Assim como nos estudos de TPA do cozimento de batatas, observou-se um comportamento semelhante para os parâmetros de dureza, gomosidade e

mastigabilidade das amostras submetidas ao processo de resfriamento a vácuo. Estes parâmetros também apresentaram uma redução dos valores conforme se aumentavam os tempos de cozimento e resfriamento a vácuo e as temperaturas da etapa de cozimento.

A comparação entre os processos de resfriamento a vácuo após a etapa de cozimento em 600 s em duas temperaturas diferentes mostra que somente os parâmetros adesividade e coesividade não apresentam diferença significativa entre os resultados observados. Em geral, o processo de resfriamento a vácuo com uma etapa anterior de cozimento a 100 °C apresenta menores valores para os parâmetros de TPA.

Observando a Tabela 4.6, o processo CIA-RVI não apresenta diferença significativa com o processo CIA-RV, quando da análise da dureza e gomosidade, porém, apresenta diferença com o processo CV-RV na comparação entre estes três diferentes processos de resfriamento a vácuo. Os valores de elasticidade, adesividade, coesividade e mastigabilidade não apresentaram diferenças significativas entre os três tratamentos de resfriamento a vácuo analisados.

Comparando os processos CV-RV e CV-RC verifica-se que apenas os parâmetros elasticidade, adesividade e coesividade não apresentam diferenças significativas. O tratamento realizado utilizando resfriamento a vácuo apresentou dados de dureza de aproximadamente a metade dos valores obtidos em câmara fria (52,23 e 100,78 N, respectivamente), mostrando que por se tratar de um processo integrado de cozimento e resfriamento, as amostras permanecem em maior tempo com o calor do sistema da câmara de cozimento (super-cozimento). Este super-cozimento provavelmente continua modificando as estruturas da parede celular e aumentando o amolecimento das batatas durante a etapa de resfriamento a vácuo. Os parâmetros de gomosidade e mastigabilidade também foram maiores para o processo de resfriamento em câmara fria.

Quando compara-se os processos imersos de cozimento mais resfriamento, verifica-se que o processo CIA-RVI apresenta maiores valores para todos os parâmetros de perfil de textura, com exceção do parâmetro elasticidade. Contudo, todos os parâmetros de TPA não apresentaram

diferença significativa entre os dois processos de resfriamento imersos em água (CIA-RVI e CIA-RCI).

Também verifica-se que não houve diferença significativa entre os resultados dos parâmetros de TPA dos processos resfriados a vácuo CV-RV e CIA-RV, ou seja, um diferente processo de cozimento (imersão em água fervente ou no vapor) de batatas um processo de resfriamento a vácuo após o cozimento das amostras imersas em água em ebulição não apresentou grande variação nos resultados encontrados para a análise de TPA na comparação a um processo de resfriamento após o cozimento ser realizado no vapor.

#### **4.4 Processo de cozimento de cenouras em diferentes tratamentos**

##### *4.4.1 Perda de massa no cozimento em diferentes tratamentos*

Os resultados das perdas de massa e conteúdos de umidade de cenouras cozidas sob diferentes tratamentos estão apresentados na Tabela 4.7. Observa-se que conforme ocorre um aumento no tempo de cozimento, há um aumento também da perda de massa das cenouras. As maiores perdas de massa da etapa de cozimento foram as encontradas para os processos de cozimento a 100°C (C100). Entretanto, essas perdas não apresentaram diferenças significativas na comparação entre todos os tratamentos de cozimento avaliados. O conteúdo de umidade (em base seca) apresentou diferença significativa do tratamento C90,1200 para os outros 2 tratamentos na mesma temperatura de processo, apresentando maior valor ( $11,86 \text{ kg}_{\text{água}} \cdot \text{kg}_{\text{ss}}^{-1}$ ) e sem diferença significativa ao conteúdo de umidade da amostra cozida imersa em água fervente ( $12,06 \text{ kg}_{\text{água}} \cdot \text{kg}_{\text{ss}}^{-1}$ ).

Tabela 4.7 Perda de massa e teor de umidade de cenouras cozidas em diferentes tratamentos.

<b>Processo</b>	<b>Perda de massa média (%)</b>	<b>Teor médio de umidade (kg<sub>água</sub>/kg<sub>ss</sub>)</b>
C90,1200s	3,34 ± 0,9 <sup>a</sup>	11,86 ± 0,3 <sup>c</sup>
C90,1500s	4,08 ± 0,8 <sup>a</sup>	10,91 ± 0,1 <sup>b</sup>
C90,1800s	4,18 ± 0,5 <sup>a</sup>	10,68 ± 0,2 <sup>a,b</sup>
C100,900s	4,06 ± 1,5 <sup>a</sup>	10,52 ± 0,6 <sup>a,b</sup>
C100,1200s	5,07 ± 1,0 <sup>a</sup>	10,08 ± 0,1 <sup>a,b</sup>
C100,1500s	5,46 ± 1,9 <sup>a</sup>	9,85 ± 0,3 <sup>a</sup>
CIA 1500s	4,74 ± 0,6 <sup>a</sup>	12,06 ± 0,1 <sup>c</sup>

Médias na mesma coluna com letras diferentes representam diferença significativa ( $p < 0,05$ ).

Com respeito ao teor de umidade ( $\text{kg}_{\text{água}} \cdot \text{kg}_{\text{ss}}^{-1}$ ) para o C100, observa-se que não há diferença significativa entre os diferentes tempos de cozimento avaliados, sendo apresentada uma ocorrência de leve redução do conteúdo de umidade conforme o aumento do tempo de cozimento. O processo de cozimento em imersão apresenta maior teor de umidade em base seca (12,06  $\text{kg}_{\text{água}} \cdot \text{kg}_{\text{ss}}^{-1}$ ) entre todos os outros processos de cozimento, entretanto, este resultado não apresentou diferença significativa do tratamento C90,1200s.

Na Figura 4.9 estão representados os históricos de temperatura das amostras de cenoura (3 amostras para cada experimento) referentes ao cozimento a 100°C (C100) no tempo de 900 s e o gráfico comparativo de amostras de cenoura processadas em três diferentes tempos de cozimento na temperatura de 100°C. Na Figura 4.10 verifica-se as curvas referentes ao cozimento a 90°C (C90) no tempo de 1500 segundos e o cozimento de três amostras de cenoura em três diferentes tempos na temperatura de 90°C.

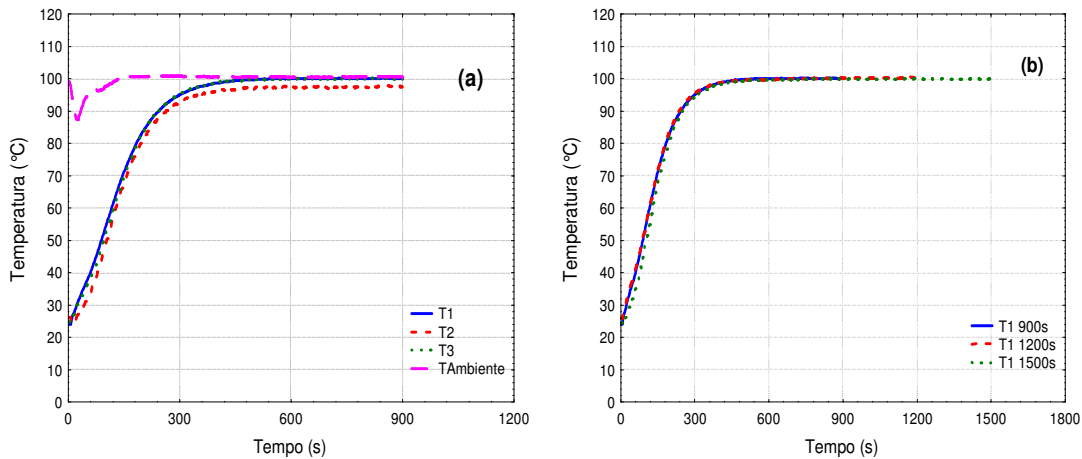


Figura 4.9 (a) Temperatura do centro geométrico das amostras durante cozimento de cenouras a 100°C durante 900 s.  $T_{\text{Ambiente}}$ : Temp. do ambiente interno na câmara de cozimento. T1, T2 e T3: Temp. de três amostras de cenouras; (b) Temperaturas do centro geométrico de três amostras durante cozimento de cenouras a 100°C em 900, 1200, e 1500 s.

Observa-se que ocorre um aumento gradual da temperatura das amostras durante os primeiros minutos, até as mesmas atingirem a temperatura do experimento dentro do equipamento, ou seja, a temperatura de equilíbrio dentro da câmara de cozimento.

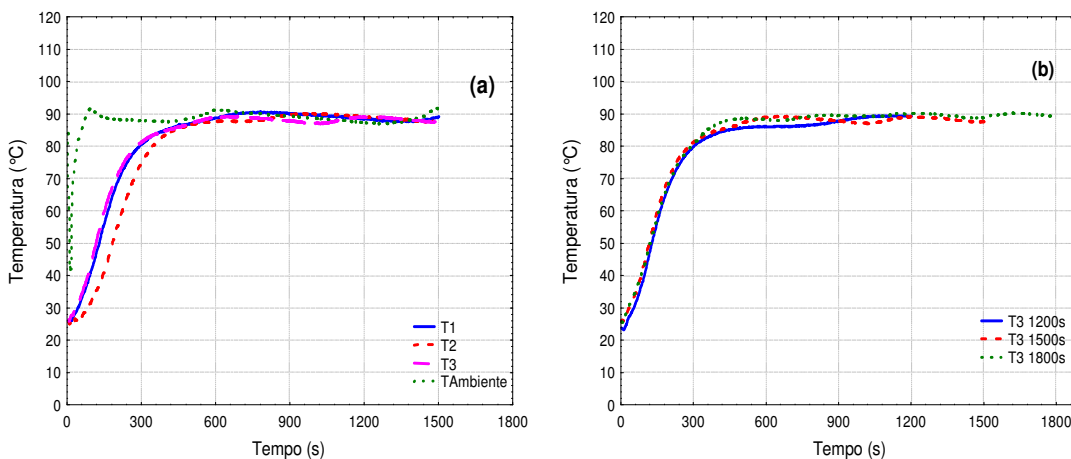


Figura 4.10 (a) Temperatura do centro geométrico das amostras durante cozimento de cenouras a 90°C durante 1500 s.  $T_{\text{Ambiente}}$ : Temp. do ambiente interno na câmara de cozimento. T1, T2 e T3: Temp. de três amostras de cenoura; (b) Temp. do centro geométrico de três amostras durante cozimento de cenouras a 90°C em 1200, 1500 e 1800 s.

A Figura 4.11 representa o cozimento comparativo de amostras de cenoura imersas em água fervente durante 1500 segundos (CIA) e o cozimento a vapor (CV) na mesma duração. Observa-se que não há grande diferença



entre as curvas de cozimento de cenouras cozidas a vapor ou imersas em água fervente.

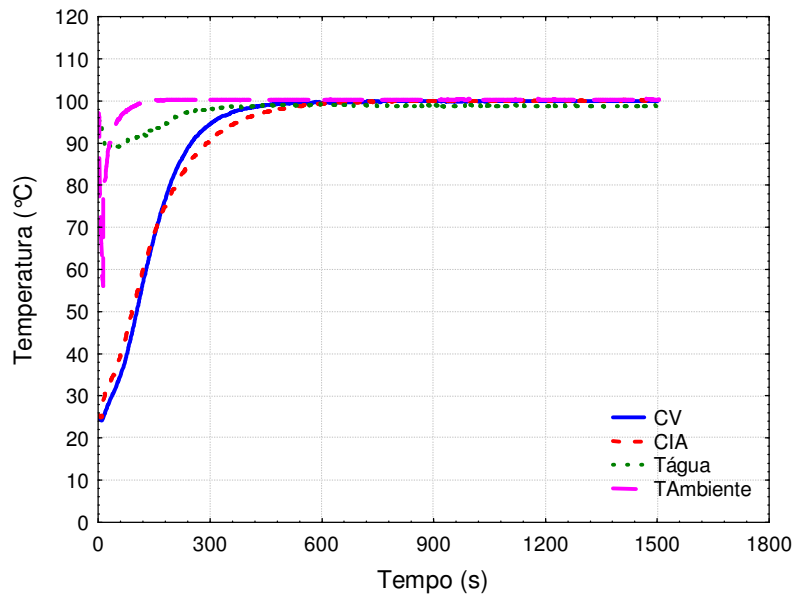


Figura 4.11 Temperaturas do centro geométrico de amostras de cenoura durante cozimento imerso (CIA) e a vapor (CV) em 1500 s.  $T_{\text{água}}$ : Temp. da água durante o processo.  $T_{\text{ambiente}}$ : Temp. do ambiente interno na câmara.

#### 4.5 Perda de massa de cenouras no resfriamento a vácuo após cozimento em diferentes tratamentos

Na Tabela 4.8 são apresentados os resultados para a perda média de massa global (com relação à massa da amostra de cenoura *in natura*), perda no resfriamento a vácuo, umidades finais médias (após o resfriamento), temperaturas finais médias das amostras após o resfriamento, a variação de temperatura no resfriamento a vácuo e o decréscimo de temperatura por unidade de perda de massa percentual ( $\eta_T$  °C/1%). Os dados são relativos a amostras de cenouras cozidas em diferentes tratamentos com posterior resfriamento a vácuo e resfriamento em câmara fria. Observa-se que os resultados da Tabela 4.8 indicam não haver diferenças significativas entre as perdas de massa globais dos tratamentos de cozimento, C90 e C100, seguido de resfriamento a vácuo quando da análise realizada separadamente. Ou seja, não houve diferença significativa entre as perdas de massa do processo C90+RV nos diferentes tempos de cozimento nesta temperatura específica. Fato que também é verificado para o processo C100+RV, onde observa-se a

maior perda de massa (processo integrado e de resfriamento a vácuo) na comparação entre todos os processos estudados de resfriamento no experimento realizado em maior tempo de cozimento (C100,1500s+RV).

A perda de massa (água) no decorrer do resfriamento a vácuo foi obtida pela diferença entre a perda de massa média global (perda ao fim do processo integrado de cozimento mais resfriamento a vácuo) e a perda de massa média na etapa de cozimento. Durante o resfriamento a vácuo, é inevitável a evaporação da umidade, assim, a menor perda de massa entre os experimentos de resfriamento utilizando a técnica de vácuo após o cozimento, foi para o processo CIA-RV no valor de 8,92 %, enquanto que a maior perda ocorreu no tratamento C90,1800s+RV (12,72 %). A perda de massa do processo CIA-RV mostra-se similar significativamente aos processos de cozimento em menor temperatura e menor tempo de experimento (Tabela 4.8).

Tabela 4.8 Perda de massa e teor de umidade de cenouras resfriadas após o cozimento em diferentes tratamentos.

Processo	Perda de massa global média (%)	Perda massa resfriamento (%)	Umidade média final (kg <sub>água</sub> /kg <sub>ss</sub> )	Temperatura final média das amostras (°C)	ΔT (°C)	η <sub>T</sub> (°C/1%)
C90,1200s+RV	13,7 ± 1,3 <sup>d</sup>	10,4	8,43 ± 0,6 <sup>a</sup>	24,6 ± 0,7 <sup>a</sup>	62,5	5,9
C90,1500s+RV	14,3 ± 1,6 <sup>d,e</sup>	10,2	8,87 ± 0,4 <sup>a,b</sup>	23,8 ± 0,5 <sup>a</sup>	62,0	6,0
C90,1800s+RV	15,0 ± 0,9 <sup>d,e,f</sup>	10,8	8,78 ± 1,0 <sup>a,b</sup>	24,7 ± 1,3 <sup>a</sup>	60,2	5,5
C100,900s+RV	16,5 ± 0,7 <sup>e,f,g</sup>	12,4	8,82 ± 0,4 <sup>a</sup>	24,9 ± 1,2 <sup>a</sup>	70,1	5,6
C100,1200s+RV	17,4 ± 1,3 <sup>f,g</sup>	12,3	8,67 ± 0,8 <sup>a,b,c</sup>	24,7 ± 0,9 <sup>a</sup>	71,6	5,8
C100,1500s+RV	18,2 ± 0,7 <sup>g</sup>	12,7	8,81 ± 0,9 <sup>a</sup>	25,3 ± 0,5 <sup>a</sup>	69,5	5,4
CIA-RV	13,6 ± 1,0 <sup>c,d,e</sup>	8,9	11,05 ± 0,4 <sup>c</sup>	24,7 ± 0,5 <sup>a</sup>	51,6	5,8
CIA-RVI	-1,2 ± 0,4 <sup>b*</sup>	-5,9 <sup>*</sup>	14,06 ± 1,0 <sup>d</sup>	25,2 ± 0,2 <sup>a</sup>	70,9	-
CV-RC	10,9 ± 1,0 <sup>c</sup>	5,4	10,62 ± 1,0 <sup>b,c</sup>	24,3 ± 0,6 <sup>a</sup>	72,6	13,3
CIA-RCI	-4,5 ± 0,7 <sup>a*</sup>	-9,3 <sup>*</sup>	17,92 ± 2,1 <sup>e</sup>	24,8 ± 0,5 <sup>a</sup>	73,4	-

Médias na mesma coluna com letras diferentes representam diferença significativa (p<0,05).

\*Ganho de massa ao invés de perda de massa.

Conforme mostra a Tabela 4.8, o processo de resfriamento em câmara fria (CV-RC) causou a menor perda de massa durante a etapa de resfriamento entre todos os processos estudados (com exceção dos processos em imersão de água). A perda média de massa da etapa de cozimento em vapor durante 1500 s foi considerada a mesma para ambos os processos (4,05%). Os processos realizados em imersão em água nas etapas de resfriamento (CIA-RVI e CIA-RCI) apresentaram ganho de massa durante o processo global, e por consequência gerando um ganho de massa ao final da etapa de resfriamento. Percebe-se que o processo, utilizando a técnica de resfriamento a vácuo, apresenta menor ganho de massa do que a técnica utilizando o resfriamento em câmara fria. Este ganho de massa durante o resfriamento a vácuo compensou a perda de massa da etapa de cozimento imerso de cenouras, e provavelmente, aconteceu devido à impregnação de água na amostra no momento do restabelecimento da pressão ambiente ao final do resfriamento a vácuo, conforme relatam estudos anteriores de impregnação a vácuo em alimentos. De acordo com SCHMIDT, CARCIOFI e LAURINDO (2008b), essa impregnação deve-se à ação do mecanismo hidrodinâmico, resultante dos gradientes macroscópicos de pressão, o que leva ao preenchimento dos espaços intercelulares (poros) pela água de imersão.

Em pesquisa para avaliação do efeito de diferentes tipos de resfriamento de cenouras cozidas, Zhang e Sun, (2006b), mostram que o resfriamento a vácuo apresentou uma maior perda de massa (7,76%) do que o resfriamento em câmara fria (6,92%), porém, estas diferenças não foram significativas. Os autores realizaram o experimento de cozimento sob imersão em 3 litros de água fervente por um período de 25 min (1500 s), sendo que depois de alcançado o tempo final de cozimento houve a retirada da água de cozimento e aspersão de outros 100ml de água antes da etapa de resfriamento a vácuo. Assim reduzindo a perda de massa da etapa de resfriamento a vácuo.

Em estudo de resfriamento a vácuo de aproximadamente 100 g de cenouras inteiras e em fatias (2,5 mm de espessura) cozidas em vapor durante 30 min, Zhang e Sun (2003), obtiveram perdas de massa de cenouras fatiadas (20,04%) muito superiores às de cenouras similares inteiras (12,14%). Os autores identificaram que para a cenoura, a evaporação de água durante o

resfriamento a vácuo ocorreu preferencialmente na superfície externa e não nos poros da mesma.

Os valores de umidade final de amostras resfriadas a vácuo observadas na Tabela 4.8 não apresentam diferenças significativas entre os dois processos de cozimento-resfriamento a vácuo, quando a etapa de cozimento foi realizada em diferentes tempos nas temperaturas de 90 e 100°C. O conteúdo de umidade final média das amostras resfriadas a vácuo após drenagem da água de cozimento (CIA-RV) e das amostras resfriadas em câmara fria (CV-RC), não apresentaram diferenças significativas. Os maiores conteúdos de umidade encontrados foram para os processos imersos de CIA-RVI e CIA-RCI, entretanto, estes valores diferenciaram-se significativamente.

O decréscimo de temperatura por unidade de perda de massa percentual ( $\eta_T$  °C/1%) representado pelo quociente da variação de temperatura ( $\Delta T$ ) pela perda de massa durante o resfriamento, pode ser usado para avaliar a eficiência do resfriamento a vácuo de um produto. Os valores de  $\eta_T$  para os 2 tratamentos de resfriamento a vácuo após o cozimento a 90 e 100°C, ficaram próximos nos diferentes tempos (processos) de experimentos. Os valores de  $\eta_T$  ficaram entre 5,55°C/1% e 6,08°C/1% (tratamento C90+RV) e entre 5,46°C/1% e 5,80°C/1% (tratamento C100+RV).

O processo de resfriamento em câmara fria apresenta o maior valor de  $\eta_T$  entre todos os experimentos estudados. Isto deve-se a baixa perda de massa deste processo de resfriamento na comparação com o resfriamento utilizando o vácuo. Devido ao ganho de massa encontrado na etapa de resfriamento dos processos CIA-RVI e CIA-RCI, não é possível estimar o valor  $\eta_T$ .

Zhang e Sun (2006b) em estudo de resfriamento a vácuo realizado com 1,2 kg de cenouras cozidas em fatias (5 mm de espessura e 25-45 mm de diâmetro), obtiveram resultados de perda de massa de 7,8%, para uma redução da temperatura de 70°C para 4°C, significando um efeito do resfriamento a vácuo de 8,5°C para cada 1% de perda de massa de água da cenoura. Cabe salientar que no processo de resfriamento a vácuo utilizado pelos autores, houve a adição de 100 mL de água antes da etapa de resfriamento, a fim de diminuir as perdas de massa decorrentes do resfriamento a vácuo. Os autores citam que em estudos preliminares de perda

de massa durante o resfriamento a vácuo de cenouras cozidas sem a aspersão de água, a perda de massa encontrada ficou em torno de 10%.

Na Figura 4.12a são apresentados os perfis de temperatura e pressão durante o processo integrado de cozimento (100°C em 1500 segundos) com posterior resfriamento a vácuo de amostras de cenoura (3 amostras para cada experimento). Na Figura 4.12b são apresentados os perfis de temperatura durante os processos integrados a diferentes tempos de cozimento (900, 1200 e 1500 s) com posterior resfriamento a vácuo de amostras de cenoura. Observa-se, em ambos os casos, uma rápida e homogênea redução da temperatura das amostras, da temperatura de cozimento até os valores próximos a 25°C.

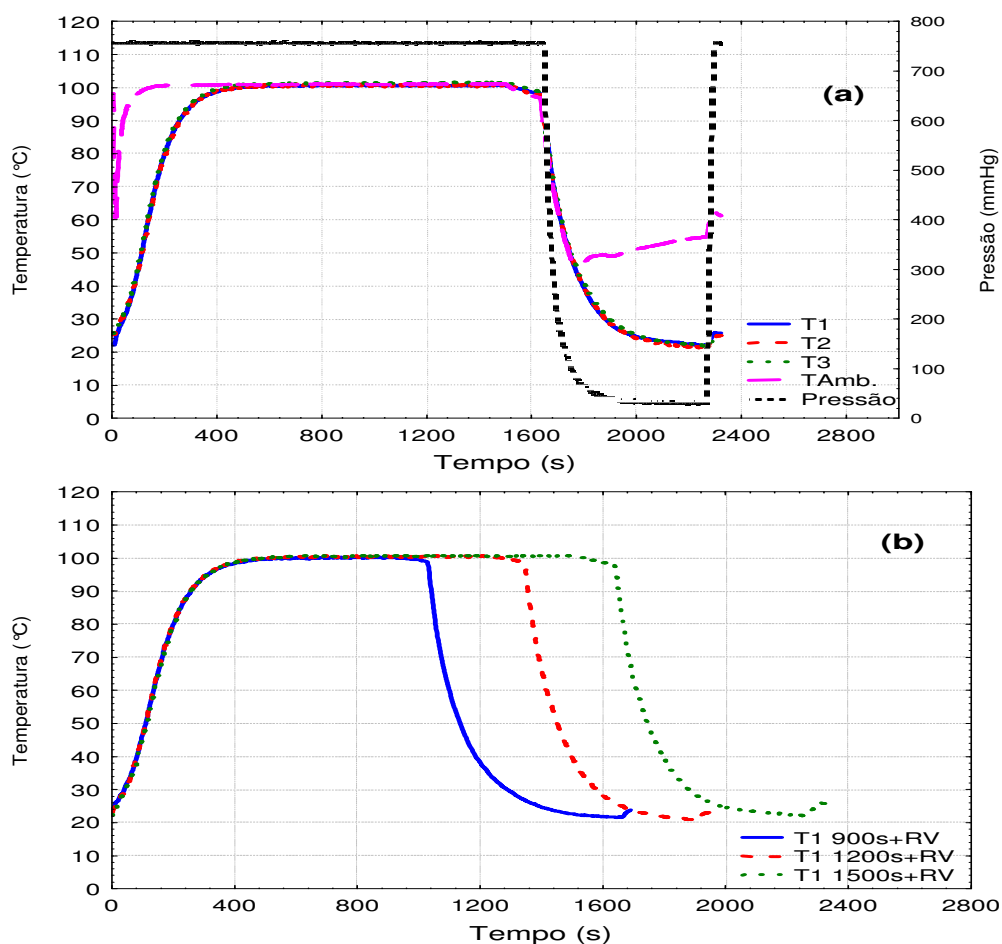


Figura 4.12 (a) Coz. de cenouras a 100°C durante 1500 s, seguido de resfriamento a vácuo; (b) Coz. de cenouras a 100°C durante: 900, 1200 e 1500 s, seguido de resfriamento a vácuo. T<sub>Amb.</sub>: Temp. interna na câmara; T1, T2 e T3: Temp. no centro das amostras 1, 2 e 3; Pressão: Comportamento da Pressão durante o processo.

Na Figura 4.13a são apresentados os perfis de temperatura e pressão durante o processo integrado de cozimento (90°C em 1800 segundos) com posterior resfriamento a vácuo de amostras de cenoura (3 amostras para cada experimento). Na Figura 4.13b são apresentados os perfis de temperatura durante processos integrados a diferentes tempos de cozimento (1200, 1500 e 1800 segundos) com posterior resfriamento a vácuo de amostras de cenoura.

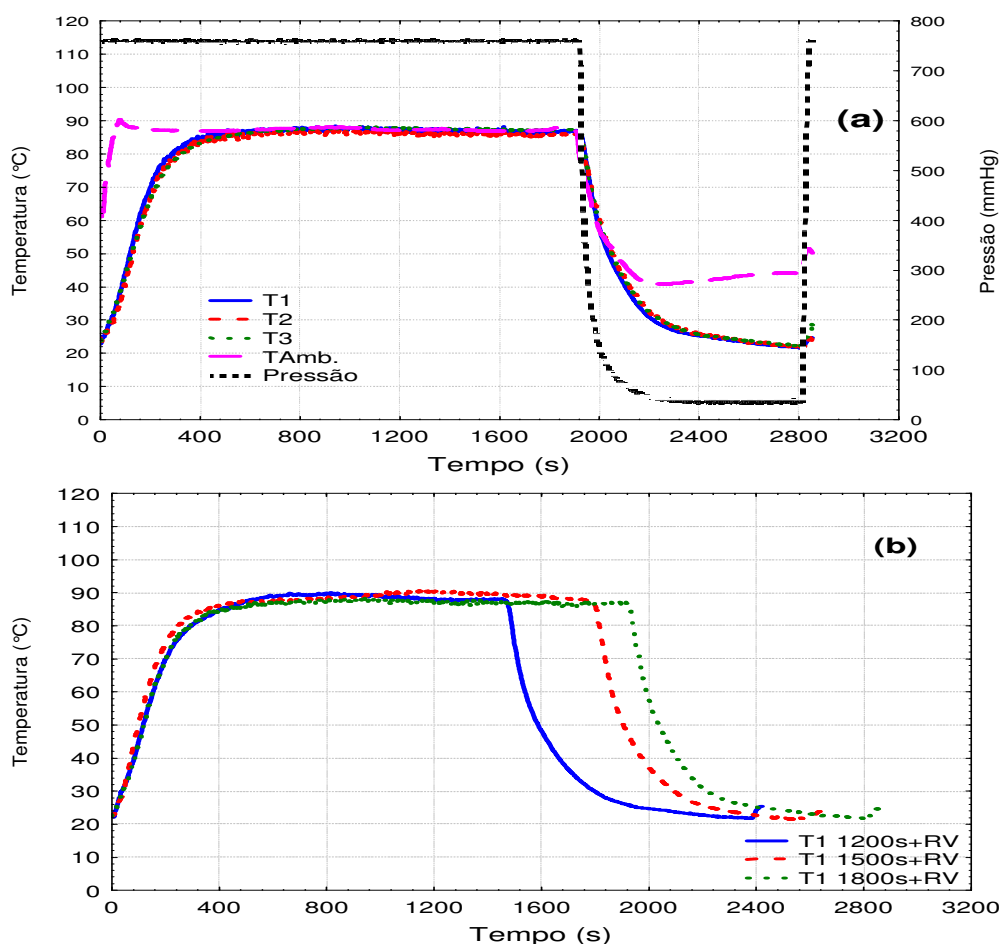


Figura 4.13 (a) Coz. de cenouras a 90°C durante 1800 s, seguido de resfriamento a vácuo; (b) Cozimento de cenouras a 90°C durante: 1200, 1500 e 1800 s, seguido de resfriamento a vácuo. T<sub>Ambiente</sub>: Temp. ambiente no interior na câmara; T1, T2 e T3: Temp. no centro da amostra 1, 2 e 3; Pressão: Comportamento da Pressão durante o processo.

Observa-se nas Figuras 4.12a e 4.13a que o sensor de temperatura (T<sub>Ar</sub>) posicionado dentro da câmara de cozimento/câmara de vácuo, eleva-se após um determinado período de resfriamento em todos os experimentos devido a radiação de calor das paredes do equipamento. Também nota-se que durante a etapa de retomada da pressão ambiente dentro do equipamento, ocorre uma pequena elevação da temperatura das amostras de 21 para 24°C

aproximadamente. Estas temperaturas finais foram determinadas após a realização de experimentos anteriores e devido à capacidade de pressão final atingida de vácuo dentro da câmara de resfriamento.

O tempo médio de resfriamento a vácuo necessário para as amostras atingirem as temperaturas finais entre 21 e 24 °C em seu centro geométrico partindo de temperaturas entre 96 e 83 °C (Figuras 4.12 e 4.13), ficou entre 770 e 556 s (de 13 a 9,3 min) de resfriamento para os diferentes tempos da etapa de cozimento nas temperaturas de 90 e 100 °C.

Após a conexão da câmara de cozimento com o sistema de vácuo, a pressão cai rapidamente até atingir valores constantes entre 32 e 37 mmHg (processos integrados C100 e C90). Em seguida, há a recuperação da pressão ambiente finalizando o experimento. A fim de obter resfriamentos até temperaturas de 4-5 °C, faz-se necessário uma redução ainda maior da pressão de saturação da água a valores abaixo de 6 mmHg.

Na Figura 4.14 estão apresentados os comparativos entre os perfis de temperatura de amostras de cenoura para o processo de cozimento ao vapor-resfriamento a vácuo (C100,1500s+RV), o processo de cozimento ao vapor-resfriamento em câmara fria a 5 °C (CV-RC) e o processo de cozimento imerso em água fervente seguido da drenagem da água de cozimento com posterior resfriamento a vácuo, em um período de cozimento de 1500 s.



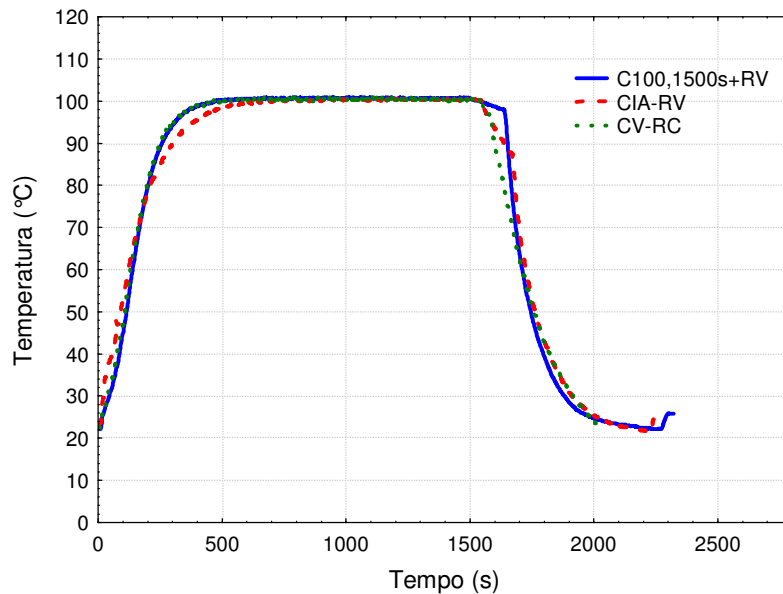


Figura 4.14 Comparativo entre o resfriamento a vácuo (C100,1500s+RV) e em câmara fria (CV-RC) após cozimento a vapor e o resfriamento a vácuo após a drenagem da água de cozimento de cenouras cozidas (CIA) (tempo de cozimento de 1500s).

A temperatura inicial da câmara fria (temperatura de circulação do ar dentro da câmara) no momento de transferência das amostras cozidas era de aproximadamente 5 °C, já a câmara de vácuo, por ser integrada ao processo de cozimento, logo no início do acionamento da bomba de vácuo para o resfriamento encontrava-se na temperatura do vapor de água (100 °C aproximadamente). Este processo integrado de resfriamento leva um maior tempo (628 s em média) para o resfriamento das amostras de temperaturas em torno de 95 °C até 24-25 °C finais em média após a etapa de restabelecimento da pressão, enquanto que a etapa de resfriamento em câmara fria, por esta estar a uma temperatura inicial de 5 °C, o processo de resfriamento se tornou mais rápido do que os dois processos a vácuo (492 s em média) (Figura 4.14).

No processo CIA-RV há a necessidade da abertura do equipamento para retirada do recipiente e da água ao qual o cozimento realizou-se. Esta abertura do equipamento libera grande quantidade de vapor de dentro da câmara de vácuo o que reduz o tempo de resfriamento a vácuo (593 s em média) na comparação com o experimento de resfriamento a vácuo CV-RV.

Na Figura 4.15 está apresentado o comparativo entre os perfis de temperatura versus tempo para o processo integrado de cozimento imerso em

água fervente seguido de: (i) resfriamento a vácuo imerso (CIA-RVI); (ii) resfriamento em câmara fria imerso (CIA-RCI).

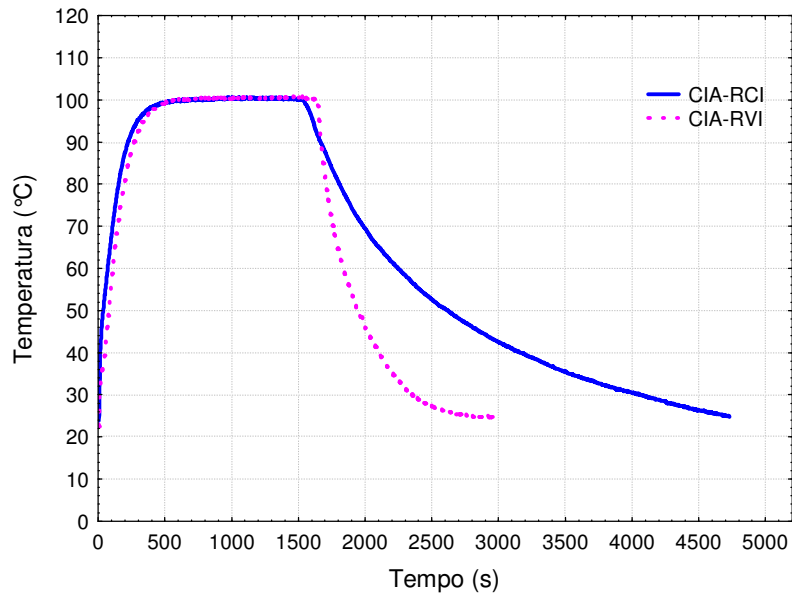


Figura 4.15 Comparativo entre o resfriamento a vácuo imerso (CIA-RVI) e o resfriamento imerso em câmara fria (CIA-RCI) de cenouras cozidas (cozimento imerso em água durante 1500s).

O resfriamento a vácuo imerso apresentou menores tempos (em média 1447 s) do que o resfriamento imerso em câmara fria (em média 3201s) para uma redução de temperatura das amostras de valores em torno de 95°C até 25°C. Este fato reforça a idéia de que o resfriamento a vácuo evaporativo, ao contrario da ação do ar frio forçado sobre as amostras, em outros métodos de resfriamento, torna mais rápido e eficiente o processo de resfriamento a vácuo (WANG e SUN, 2001; MELLOR, 1980).

Zhang e Sun (2006b) encontraram uma considerável diferença entre os tempos de resfriamento a vácuo e em câmara fria de 1 kg de cenouras cozidas em pedaços. O tempo de resfriamento a vácuo encontrado foi de 7,75 min, enquanto que o tempo de resfriamento para a câmara fria ficou em 192,83 minutos.

No Apêndice A (Figuras A4, A5 e A6), encontram-se as demais curvas de resfriamento a vácuo de cenouras cozidas obtidas neste estudo.

## 4.6 Análise de textura de cenouras

### 4.6.1 Análise da força de compressão para uma deformação relativa de 30% de cenouras cozidas em diferentes tratamentos

A Tabela 4.9 apresenta os dados referentes à força de compressão (N) para 30% de deformação relativa de cenouras cozidas em diferentes tratamentos.

Tabela 4.9 Parâmetros de força de compressão para uma determinada deformação relativa de cenouras cozidas em diferentes tratamentos.

Processo	Teor de umidade médio (kg <sub>água</sub> /kgss)	Compressão (N)
C90,1200s	11,86 ± 0,3 <sup>c</sup>	122,32 ± 13,6 <sup>e</sup>
C90,1500s	10,91 ± 0,1 <sup>b</sup>	91,33 ± 6,3 <sup>d</sup>
C90,1800s	10,68 ± 0,2 <sup>a,b</sup>	72,64 ± 5,8 <sup>c</sup>
C100,900s	10,52 ± 0,6 <sup>a,b</sup>	85,98 ± 3,2 <sup>c,d</sup>
C100,1200s	10,08 ± 0,1 <sup>a,b</sup>	50,15 ± 3,8 <sup>b</sup>
C100,1500s	9,85 ± 0,3 <sup>a</sup>	36,12 ± 2,6 <sup>a</sup>
CIA (1500s)	12,06 ± 0,1 <sup>c</sup>	77,22 ± 2,2 <sup>c,d</sup>

Médias na mesma coluna com letras diferentes representam diferença significativa ( $p < 0,05$ ).

Observa-se na Tabela 4.9 que existe diferença significativa entre os processos de cozimento em uma mesma temperatura e diferentes tempos. Os dados mostram que há a redução da força de compressão para uma determinada deformação relativa (N) com o passar do tempo de cozimento em uma mesma faixa de temperatura.

Pode ser verificado que a redução dos valores de compressão foi correspondente à redução dos teores de umidade das amostras cozidas em diferentes tempos nas temperaturas de 90 e 100 °C (Tabela 4.9). Os valores da força de compressão para uma deformação relativa de 30% de cenouras cozidas em imersão (CIA) não apresenta diferença significativa aos processos C100,900s, C90,1500s e C90,1800.

Observa-se na Tabela 4.9 que os valores de força de compressão para uma determinada deformação relativa de cenouras cozidas em uma menor temperatura (90 °C), foram sempre maiores do que os valores de cozimento na

maior temperatura (100°C) quando da comparação entre o mesmo período de tempo de cozimento. Ou seja, a maior temperatura de processo ocasionou um amolecimento mais elevado das amostras no mesmo período de cozimento.

Miglio et al. (2008) em estudo de cozimento de cenouras no vapor, em água fervente e em fritura, apresenta dados que indicam uma redução da firmeza e o conseqüente amolecimento do legume em todos os processos estudados. Os autores também relatam que o processo de cozimento em água fervente apresentou uma redução significativa do valor da força de cisalhamento (com um alto grau de amolecimento >96%) na comparação com o processo no vapor e em fritura das amostras.

#### 4.6.2 Análise do perfil de textura (TPA) de cenouras cozidas em diferentes tratamentos

Na Tabela 4.10 apresentam-se os dados da análise do perfil de textura de cenouras cozidas em diferentes tratamentos.

Verifica-se que os parâmetros de dureza, gomosidade e mastigabilidade do tratamento C90,1200s foram sempre os maiores e apresentaram diferença significativa com relação aos demais tratamentos nos tempos de 1500 e 1800 s nesta mesma temperatura (90°C).

Os dados de dureza, gomosidade e mastigabilidade decrescem conforme aumenta-se o tempo de cozimento em ambos os processos de cozimento nas temperaturas de 90 e 100°C. Segundo Mittal (1994), a grande mudança causada pelo tratamento térmico na perda de textura é devido à quebra do material da parede celular. O amolecimento de legumes quando aquecidos, em parte é devido à perda de turgor, mas também devido a complexas mudanças químicas nos polissacarídeos da matriz da parede celular.

Quando o processo de cozimento das amostras foi realizado na temperatura de 100°C, os valores dos parâmetros de dureza, gomosidade e mastigabilidade apresentaram diferença significativa entre o menor tempo de cozimento (C100,1200s) e os outros dois maiores tempos de cozimento (C100,1500s e C100,1800s).

Tabela 4.10 Parâmetros de análise do perfil de textura de cenouras cozidas em diferentes tratamentos.

<b>Processo</b>	<b>Dureza (N)</b>	<b>Elasticidade (-)</b>	<b>Adesividade (N.s)</b>	<b>Coesividade (-)</b>	<b>Gomosidade (N)</b>	<b>Mastigabilidade (N)</b>
C90,1200s	121,3 ± 14,9 <sup>d</sup>	0,6 ± 0,03 <sup>a</sup>	0,6 ± 0,4 <sup>a</sup>	0,16 ± 0,03 <sup>a</sup>	19,3 ± 4,4 <sup>e</sup>	11,4 ± 2,6 <sup>d</sup>
C90,1500s	89,5 ± 4,3 <sup>c</sup>	0,6 ± 0,06 <sup>a</sup>	0,5 ± 0,3 <sup>a</sup>	0,16 ± 0,03 <sup>a</sup>	14,1 ± 2,6 <sup>d</sup>	8,5 ± 1,9 <sup>c</sup>
C90,1800s	70,3 ± 10,7 <sup>b</sup>	0,6 ± 0,05 <sup>a</sup>	0,6 ± 0,4 <sup>a</sup>	0,14 ± 0,02 <sup>a</sup>	9,6 ± 1,5 <sup>b,c</sup>	6,1 ± 1,3 <sup>b</sup>
C100,900s	74,6 ± 10,0 <sup>b,c</sup>	0,5 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,8 ± 0,3 <sup>a</sup>	0,16 ± 0,01 <sup>a</sup>	11,8 ± 2,3 <sup>c,d</sup>	6,7 ± 1,3 <sup>b,c</sup>
C100,1200s	48,6 ± 4,5 <sup>a</sup>	0,6 ± 0,03 <sup>a</sup>	0,9 ± 0,05 <sup>a</sup>	0,15 ± 0,01 <sup>a</sup>	7,1 ± 0,9 <sup>a,b</sup>	4,1 ± 0,5 <sup>a</sup>
C100,1500s	37,0 ± 3,4 <sup>a</sup>	0,6 ± 0,09 <sup>a</sup>	0,5 ± 0,4 <sup>a</sup>	0,12 ± 0,02 <sup>a</sup>	4,5 ± 1,0 <sup>a</sup>	2,7 ± 0,7 <sup>a</sup>
CIA (1500s)	36,0 ± 2,0 <sup>a</sup>	0,6 ± 0,06 <sup>a</sup>	0,4 ± 0,4 <sup>a</sup>	0,14 ± 0,02 <sup>a</sup>	4,9 ± 0,6 <sup>a</sup>	2,9 ± 0,6 <sup>a</sup>

Médias na mesma coluna com letras diferentes representam diferença significativa ( $p < 0,05$ ).

Os parâmetros de elasticidade, adesividade e coesividade não apresentam diferença significativa para todos os diferentes tratamentos de cozimento de cenoura estudados.

Quando compara-se os valores dos parâmetros de dureza, gomosidade e mastigabilidade em um mesmo tempo de processo em diferentes temperaturas, observa-se que os valores dos parâmetros encontrados no processo a 100°C apresentaram-se sempre menores do que os valores encontrados no processo de cozimento em 90°C.

Observa-se na Tabela 4.10 que os valores dos parâmetros de TPA para o processo de cozimento imerso em água fervente durante 1500 s (CIA), ficaram muito próximos, não apresentando diferença significativa, aos valores encontrados no processo de cozimento a vapor no mesmo tempo de experimento (C100,1500s).

Durante o processo de cozimento a firmeza dos tecidos é perdida devido à quebra da parede celular e perda da turgicidade (SILA et al., 2004 apud RASTOGI et al., 2008). Segundo Waldron et al. (1997) e Greve et al. (1994a) o cozimento de vegetais ou legumes, resulta em uma perda inicial da firmeza instrumental devido a perturbação da membrana e esta associada a perda de turgor.

#### *4.6.3 Análise de textura de cenouras resfriadas a vácuo e em câmara fria após o cozimento em diferentes tratamentos*

##### *4.6.3.1 Análise da força de compressão para uma deformação relativa de 30% de cenouras resfriadas a vácuo e em câmara fria após cozimento em diferentes tratamentos*

Na Tabela 4.11 são apresentados os resultados para o conteúdo de umidade final média de resfriamento a vácuo e em câmara fria e a análise de força de compressão para uma deformação relativa de 30% de cenouras resfriadas a vácuo e em câmara fria após o cozimento em diferentes tratamentos.

Tabela 4.11 Parâmetros de força de compressão para uma determinada deformação relativa de cenouras resfriadas após cozimento em diferentes tratamentos.

<b>Processo</b>	<b>Umidade média final (kg<sub>água</sub>/kg<sub>ss</sub>)</b>	<b>Compressão (N)</b>
C90,1200s+RV	8,43 ± 0,6 <sup>a</sup>	136,13 ± 7,9 <sup>a</sup>
C90,1500s+RV	8,87 ± 0,4 <sup>a,b</sup>	102,5 ± 6,7 <sup>b</sup>
C90,1800s+RV	8,78 ± 1,0 <sup>a,b</sup>	90,14 ± 9,3 <sup>b</sup>
C100,900s+RV	8,82 ± 0,4 <sup>a</sup>	63,03 ± 13,6 <sup>c</sup>
C100,1200s+RV	8,67 ± 0,8 <sup>a,b,c</sup>	44,38 ± 7,4 <sup>d,e</sup>
C100,1500s+RV	8,81 ± 0,9 <sup>a</sup>	28,0 ± 5,3 <sup>e</sup>
CIA-RV	11,05 ± 0,4 <sup>c</sup>	48,90 ± 9,6 <sup>d</sup>
CIA-RVI	14,06 ± 1,0 <sup>d</sup>	34,23 ± 2,3 <sup>e</sup>
CV-RC	10,62 ± 1,0 <sup>b,c</sup>	65,75 ± 3,6 <sup>c</sup>
CIA-RCI	17,92 ± 2,1 <sup>e</sup>	52,76 ± 2,1 <sup>d</sup>

Médias na mesma coluna com letras diferentes representam diferença significativa ( $p < 0,05$ ).

Na Tabela 4.11 verifica-se que os resultados dos conteúdos de umidade final de amostras de cenouras cozidas em diferentes tempos e temperaturas (C90 e C100) com posterior RV, não apresentaram grande influência nos valores de força de compressão (N). Através da análise estatística, observa-se que os valores de força de compressão (N) para uma deformação relativa de 30% de cenouras resfriadas a vácuo após o cozimento em 90 °C, apresentaram diferença significativa entre o tratamento de menor tempo de cozimento C90,1200s+RV e os outros dois experimentos de resfriamento a vácuo nesta mesma temperatura de cozimento. Os valores de força de compressão para uma determinada deformação relativa do processo C90,1200s+RV diferenciaram-se significativamente de todos os outros processos estudados.

Quando observa-se os valores de força de compressão para uma deformação relativa de 30% de cenouras resfriadas a vácuo após o tratamento de cozimento na temperatura de 100 °C, nota-se que há diferença significativa entre os tratamentos C100,900s+RV e C100,1500s+RV.

Em ambos os processos de cozimento nas temperaturas de 90 e 100 °C em diferentes tempos seguidos de resfriamento a vácuo, houve a mesma tendência de redução da força de compressão para uma deformação relativa de 30% das amostras com o aumento do tempo e temperatura. Ou seja, conforme aumenta-se o tempo de cozimento com posterior resfriamento a vácuo, a força de compressão para uma determinada deformação relativa das amostras reduzia-se.

Quando compara-se os mesmos tempos de cozimento em diferentes temperaturas mais o processo de resfriamento a vácuo (Tabela 4.11), percebe-se uma significativa redução da força de compressão para uma deformação relativa de 30% de cenouras quando do processo de cozimento a 100 °C seguido de RV em detrimento do processo em menor temperatura (90 °C) seguido de RV.

O valor de força de compressão encontrado para o processo CIA-RV apresenta diferença significativa na comparação ao processo de cozimento a 100 °C durante 1500 s, com posterior resfriamento a vácuo (C100,1500s+RV). O maior conteúdo de umidade final das amostras submetidas ao primeiro processo parece ter influencia na diferença nos valores finais de força de compressão entre estes dois processos (Tabela 4.11 e 4.8).

A Tabela 4.11 mostra que ocorre uma diferença significativa entre os valores da força de compressão para uma deformação relativa de 30% de cenouras entre os métodos de resfriamento em câmara fria (CV-RC) e a vácuo (C100,1500s+RV), ambos após o cozimento de cenouras no vapor durante 1500 s. Verifica-se que esta diferença também é vista com relação aos conteúdos de umidade finais das amostras resfriadas pelos dois diferentes métodos. Ou seja, um maior conteúdo de umidade final das amostras resfriadas ocasionou um maior valor de força de compressão (N). O valor da força de compressão para uma deformação relativa de 30% de cenouras resfriadas em câmara fria (CV-RC), não apresentou diferenças significativas aos valores encontrados para as amostras submetidas ao processo C100,900s+RV.

Na análise de força de compressão para uma determinada deformação relativa de amostras de cenoura cozidas imersas em água e resfriadas em imersão a vácuo e em câmara fria (CIA-RVI e CIA-RCI, respectivamente),



verifica-se diferença significativa entre os resultados destes dois processos estudados.

Redmond, Gormley e Butler, (2004) em trabalho utilizando um tratamento de resfriamento-congelamento de cenouras cozidas, encontrou um maior amolecimento das amostras quando comparado somente a um tratamento de resfriamento isoladamente. Zhang e Sun (2006b) em estudo de 1 kg de cenouras cozidas encontraram um valor de força de cisalhamento (shear force) de cenouras resfriadas a vácuo menor do que outro valor encontrado para as mesmas amostras, porém, resfriadas em câmara fria (7,76 e 6,92%, respectivamente). Entretanto os autores não encontraram diferenças significativas nos resultados de força de cisalhamento entre estes dois processos de resfriamento.

#### *4.6.3.2 Análise do perfil de textura (TPA) de cenouras resfriadas a vácuo e em câmara fria após etapa de cozimento em diferentes tratamentos*

Na Tabela 4.12 são apresentados os dados de análise do perfil de textura (TPA) para amostras de cenouras resfriadas a vácuo e em câmara fria após o cozimento em diferentes tratamentos.

Tabela 4.12 Parâmetros de análise do perfil de textura (TPA) de cenouras resfriadas cozidas em diferentes tratamentos.

Processo	Dureza (N)	Elasticidade (-)	Adesividade (N.s)	Coesividade (-)	Gomosidade (N)	Mastigabilidade (N)
C90,1200s+RV	138,8 ± 12,6 <sup>a</sup>	0,6 ± 0,04 <sup>a</sup>	0,5 ± 0,4 <sup>a</sup>	0,2 ± 0,03 <sup>a</sup>	33,5 ± 6,2 <sup>a</sup>	20,7 ± 3,0 <sup>a</sup>
C90,1500s+RV	102,2 ± 8,3 <sup>b</sup>	0,6 ± 0,03 <sup>a</sup>	0,7 ± 0,4 <sup>a</sup>	0,2 ± 0,03 <sup>a,b</sup>	19,3 ± 3,8 <sup>b</sup>	11,65 ± 2,5 <sup>b</sup>
C90,1800s+RV	79,6 ± 4,8 <sup>c</sup>	0,6 ± 0,06 <sup>a</sup>	0,6 ± 0,4 <sup>a</sup>	0,1 ± 0,03 <sup>b</sup>	12,2 ± 2,2 <sup>c</sup>	7,14 ± 1,7 <sup>c</sup>
C100,900s+RV	65,3 ± 13,9 <sup>c,d</sup>	0,6 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,4 ± 0,3 <sup>a</sup>	0,2 ± 0,04 <sup>a,b</sup>	12,9 ± 5,3 <sup>b,c</sup>	8,01 ± 3,4 <sup>a,c</sup>
C100,1200s+RV	47,2 ± 3,4 <sup>e,f</sup>	0,5 ± 0,05 <sup>a</sup>	0,4 ± 0,3 <sup>a</sup>	0,1 ± 0,03 <sup>b</sup>	7,6 ± 1,5 <sup>c,d</sup>	4,33 ± 1,1 <sup>c,d</sup>
C100,1500s+RV	28,1 ± 5,1 <sup>g</sup>	0,5 ± 0,08 <sup>a</sup>	0,2 ± 0,06 <sup>a</sup>	0,1 ± 0,05 <sup>b</sup>	4,5 ± 1,8 <sup>b,d</sup>	2,65 ± 1,3 <sup>d</sup>
CIA-RV	50,9 ± 7,3 <sup>d,e</sup>	0,6 ± 0,03 <sup>a</sup>	0,5 ± 0,3 <sup>a</sup>	0,1 ± 0,02 <sup>b</sup>	7,2 ± 1,8 <sup>c,d</sup>	4,28 ± 1,2 <sup>c,d</sup>
CIA-RVI	34,3 ± 4,6 <sup>f,g</sup>	0,6 ± 0,06 <sup>a</sup>	0,3 ± 0,3 <sup>a</sup>	0,1 ± 0,03 <sup>b</sup>	4,2 ± 1,2 <sup>a,d</sup>	2,78 ± 0,8 <sup>d</sup>
CV-RC	64,7 ± 5,0 <sup>c,d</sup>	0,5 ± 0,03 <sup>a</sup>	0,8 ± 0,3 <sup>a</sup>	0,2 ± 0,03 <sup>a,b</sup>	11,7 ± 1,9 <sup>c</sup>	6,41 ± 1,3 <sup>c,d</sup>
CIA-RCI	54,7 ± 3,5 <sup>d,e</sup>	0,6 ± 0,07 <sup>a</sup>	0,1 ± 0,03 <sup>a</sup>	0,1 ± 0,02 <sup>a,b</sup>	8,6 ± 0,8 <sup>c,d</sup>	5,5 ± 1,0 <sup>c,d</sup>

Médias na mesma coluna com letras diferentes representam diferença significativa ( $p < 0,05$ ).

A Tabela 4.12 indica que o parâmetro dureza apresenta diferença significativa entre os diferentes processos de cozimento seguidos de RV em cada temperatura de cozimento experimental utilizada. Assim como o parâmetro dureza, os parâmetros coesividade, gomosidade e mastigabilidade reduziram-se com o aumento do tempo de cozimento com posterior RV.

Nos parâmetros de TPA elasticidade e adesividade, encontrados na Tabela 4.12, não foram observadas diferenças significativas em todos os processos de resfriamento estudados após o cozimento.

Verifica-se que no processo de resfriamento a vácuo integrado ao cozimento, a etapa de cozimento em uma temperatura mais elevada (100°C) proporcionou uma significativa redução dos valores de dureza, gomosidade e mastigabilidade ao comparar-se o processo de resfriamento a vácuo após o cozimento ser realizado em uma menor temperatura (90°C), em um mesmo tempo de cozimento (1200 e 1500 s).

Os valores encontrados para os parâmetros dureza e gomosidade de amostras de cenoura submetidas ao resfriamento em câmara fria após o cozimento a vapor durante 1500 s, apresentaram diferença significativa na comparação com o processo C100,1500+RV. No processo C100,1500+RV a etapa de cozimento é realizada da mesma maneira e mesmo tempo do processo CV-RC. Quando compara-se o processo de resfriamento em câmara fria com outros processos envolvendo o uso da técnica de vácuo, percebe-se que o primeiro não apresenta diferenças significativas entre os processos C90,1800+RV, C100,900+RV e CIA-RV, no que se refere aos parâmetros de TPA dureza, coesividade, gomosidade e mastigabilidade.

O processo CIA-RV, apresenta diferença significativa quando compara-se o parâmetro de dureza dos processos C100,1500s+RV e CIA-RVI. Entretanto, o valor de dureza do processo CIA-RV não apresenta diferença significativa do processo CIA-RCI. Observa-se que os experimentos de resfriamento imersos em água (CIA-RVI e CIA-RCI) apresentam diferença quando comparados os valores do parâmetro de dureza de cenouras resfriadas.

Comparando os resultados de textura dos processos de cozimento e resfriamento a vácuo, separadamente, verifica-se que todos os valores dos parâmetros de TPA e força de compressão para uma deformação relativa de

30% de cenouras do processo integrado de cozimento a 90°C (em diferentes tempos) seguido de resfriamento a vácuo, apresentaram um aumento nesses valores quando comparados somente com a etapa de cozimento. Entretanto o inverso aconteceu quando da comparação do processo de cozimento em uma temperatura maior (100°C), ou seja, verificou-se que houve redução de todos os valores dos parâmetros de textura após as amostras realizarem o processo de resfriamento a vácuo integrado ao cozimento.

Este fato pode estar relacionado a uma maior degradação das estruturas dos tecidos da cenoura no cozimento realizado em uma maior temperatura (100°C), em comparação com as amostras processadas em menor temperatura de cozimento (90°C), o que acarretou uma maior perda de massa conforme discutido anteriormente. Durante o resfriamento a vácuo pode ocorrer um rearranjo da estrutura celular da cenoura deixando-a mais compactada nas amostras que perderam menos massa, ou seja, as amostras cozidas a 90°C. Essa compactação já não ocorre com as amostras cozidas a 100°C, por isso após o resfriamento a vácuo a dureza encontrada para as amostras de cenoura foram maiores na comparação com os valores das amostras durante a etapa de cozimento.

## 5. CONCLUSÕES

O processo integrado de cozimento e resfriamento a vácuo de legumes em um mesmo equipamento apresenta-se como uma alternativa viável para o processamento desse tipo de alimento, evitando a manipulação excessiva do produto e a utilização de água no resfriamento.

Os resultados indicam que a perda de massa durante a etapa de resfriamento é dependente do tempo e da temperatura de cozimento, assim como do processo de resfriamento aplicado.

Os maiores tempos e temperaturas durante a etapa de cozimento levam a maiores perdas de massa, com conseqüente modificação dos valores dos parâmetros de textura. O tempo e a temperatura de cozimento influenciaram significativamente na textura dos vegetais, reduzindo a dureza dos mesmos.

Observou-se também que os parâmetros de textura de amostras de batatas e cenouras resfriadas a vácuo e em câmara fria foram dependentes do conteúdo de umidade final. Para um mesmo tempo de cozimento, um maior teor de umidade final das amostras resfriadas em câmara fria, resultou em um aumento de aproximadamente duas vezes nos valores da força de compressão para uma mesma deformação relativa, e da dureza, gomosidade e mastigabilidade resultantes das análises de TPA, quando comparados com os valores das amostras resfriadas a vácuo. Os parâmetros adesividade, coesividade e elasticidade das amostras não foram diferentes, ao nível de significância de 5%.

O método de cozimento imerso em água fervente seguido de resfriamento a vácuo (CIA-RV) reduz a perda de massa em 3,8%, na comparação com o método de cozimento a vapor seguido de resfriamento a vácuo (CV-RV).

Os métodos de resfriamento a vácuo com e sem imersão em água (CV-RV e CIA-RVI, respectivamente) após cozimento (a vapor e imerso em água) dos legumes apresenta maior perda de massa quando comparado com os métodos de resfriamento em câmara fria com e sem imersão em água (CV-RC e CIA-RCI, respectivamente).

Baseado no exposto acima, o processo integrado de cozimento-resfriamento de batatas e cenouras é uma alternativa tecnicamente viável para o processamento de legumes.

## **6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Avaliar sensorialmente (através de um painel sensorial), a aceitação das amostras resfriadas de batatas e cenouras após diferentes processos de cozimento, para assim correlacionar os resultados dos parâmetros de textura encontrados neste trabalho.

Avaliação da influência da taxa de redução de pressão (curva de vácuo) durante o resfriamento a vácuo de batatas e cenouras após diferentes processos de cozimento.

Avaliação da qualidade microbiológica dos produtos obtidos pelos processos integrados de cozimento e resfriamento a vácuo.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABU-GHANNAM, N., CROWLEY, H. The effect of low temperature blanching on the texture of whole processed new potatoes. **Journal of Food Engineering**, v. 74, p. 335-344, 2006.

AFONSO, M. R. A. **Resfriamento a vácuo de alfaces hidropônicas (*Lactuca sativa* .L.) cv. Salad bowl: avaliação do processo e da vida pós-colheita.** Campinas, 2005. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

AHLGREN, M. K.; GUSTAFSSON, I. B.; HALL, G. The impact of the meal situation on the consumption of ready meals. **International Journal of Consumer Studies**, v. 29, 6, p. 485–492. November, 2005.

ALVAREZ, M. D.; CANET, W. Rheological characterization of fresh and cooked potato tissues (cv. Monalisa). **Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung A**. v. 207 pg. 55–65, 1998.

ALVAREZ, M.D.; CANET, W.; TORTOSA, M.E. Kinetics of thermal softening of potato tissue (cv. Monalisa) by water heating, **European Food Research and Technology** 212, pp. 588–596, 2001.

APATI , G. P. **Secagem e resfriamento a vácuo de cogumelos comestíveis da espécie *Pleurotus ostreatus* DSM 1833.** 2004. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina.

APATI, G. P.; FURLAN, S. A.; LAURINDO, J. B. Resfriamento a vácuo de cogumelos comestíveis *Pleurotus ostreatus*. **Brazilian Journal of Food Technology (ITAL)**, v. 9, p. 1-10, 2006.

AROLDO, A. P. **Secagem a vácuo de cenoura (*Daucus carota*) e abobora (*Cucurbita maxima*) : estudo das características do processo.** 2003. Tese



(Doutorado em Engenharia de Alimentos), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

ARTÉS, F.; MARTÍNEZ, J. A. Influence of Packaging Treatments on the Keeping Quality of 'Salinas' Lettuce. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, v. 29, p. 664-668, 1996.

ASHRAE. Methods of precooling fruits, vegetables and cut flowers. **Refrigeration Handbook**, Chapter 14, Atlanta, Georgia (USA), 2002.

BOURNE, M. **Food texture and viscosity-Concept and measurement**. 2<sup>nd</sup>. ed. London: Academic Press, p. 427, 2002.

BROSNAN, T., SUN, D.-W. Compensation for water loss in vacuum pre-cooled cut lily flowers. **Journal of Agricultural Engineering Research**, 79(3), 299–305, 2001.

BUCKLEY, M.; COWAN, C.; MCCARTHY, M. The convenience food market in Great Britain: Convenience food lifestyle (CFL) segments. **Appetite**, v. 49, p. 600–617, 2007.

BURTON, K. S.; FROST, C. E.; ATKEY, P. T. Effect of Vacuum Cooling on Mushroom Browning. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 22, p. 599-606, 1987.

CHEN, Y.; L. Vacuum cooling and its energy use analysis. **Journal of Chinese Agricultural Engineering**, v. 32, p. 43-50, 1986.

CHIAVARO, E; BARBANTI, D; VITTADINI, E; MASSINI, R; The effect of different cooking methods on the instrumental quality of potatoes (cv. Agata). **Journal of Food Engineering**, v. 77, p.169–178, 2006.

CHITARRA, M.I.F.; CARVALHO, V.D. Cenoura: qualidade e industrialização. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.10, n.120, p.73-75. 1984.

CHOER, E. Origem e Evolução. In: PEREIRA, A. S., DANIELS, J. O cultivo da batata na região sul do Brasil. **Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas**, 2003.

CIVILLE, G. V.; SZCZESNIAK, A. S. Guidelines to training a texture profile panel. **Journal of Texture Studies**, v. 4, p. 204–223, 1973.

CORTEZ, L. A. B.; LEAL, P. A. M. Métodos de pré-resfriamento de frutas e hortaliças. **II Curso de Atualização em Tecnologia de Resfriamento de Frutas e Hortaliças**, Campinas, Brasil, 1997.

CORTEZ, L. A. B.; NEVES FILHO, L.; CARDOSO, J. L. Análise Preliminar de uma Unidade de Resfriamento a Vácuo de Alface. **Horticultura Brasileira**, v. 18, n. 3, p. 232-238, 2000.

COSTA, A. I. A., DEKKER, M., BEUMER, R. R., ROMBAUTS, F. M., JONGEN, W. M. F. A consumer-oriented classification system for home meal replacements. **Food Quality and Preference**, v. 12, p. 229–242, 2001.

DINCER, I. Heat Transfer in Food Cooling Applications. Taylor & Francis, Washington. 2nd ed., 1997. 399 p.

DOLATOWSKI, Z.; STASIAK, D. M.; LATOCH, A. Effect of ultrasound processing of meat before freezing on its texture after thawing. **Electronic Journal Of Polish Agricultural Universities. V. 3, I. 2, 2000.**

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em <http://www.cnph.embrapa.br>. Acesso em: 04. fevereiro. 2009.

FAO – Food And Agriculture Organization. Disponível em: <http://www.potato2008.org/en/world/index.html>. Acesso em: 30.novembro.2008.

FENNEMA, O. R. **Food Chemistry**, CRC Press, Third Edition, 1996. 1069 p.

FILGUEIRA, F. A. R. **Manual de olericultura: cultura e comercialização de hortícolas (Olericultura Especial, 2).**2.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, p. 357, 1982.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**, 2<sup>a</sup> ed. São Paulo: UFV, 2003.

FRIEDMAN, M. Chemistry, biochemistry, and dietary role of potato polyphenols: A review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 45, p. 1523–1540. 1997.

GARCÍA-SEGOVIA, P.; ANDRES-BELLO, A.; MARTÍNEZ-MONZO, J. Textural properties of potatoes (*Solanum tuberosum* L., cv. Monalisa) as affected by different cooking processes. **Journal of Food Engineering**, 88, p. 28–35, 2008.

GEANKOPLIS, C.J. **Transport processes and unit operations**. New Jersey: Prentice Hall. Third Edition, 1993. 921p.

GEEROMS, N; VERBEKE, W; KENHOVE, P, V. Consumers' health-related motive orientations and ready meal consumption behaviour. **Appetite**, 51, p. 704–712, 2008.

GREVE, L C.; SHACKEL, K. A.; AHMADI, H. MCARDLE, R. N.; GOHLKE, J. R.; LABAVITCH, J. M. Impact of heating on carrot firmness: Contribution of cellular turgor. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 42, p. 2896-2889. 1994a.

GREVE, L. C.; MCARDLE, R. N.; GOHLKE, J. R.; LABAVITCH, J. M. Impact of heating on carrot firmness: changes in cell wall components. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 42, p. 2900-2906, 1994b.

HARDENBURG, R. E.; WATADA, A. E.; WANG, C. Y. The comercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks. **Agriculture Handbook**. United States Department of Agriculture, n. 66, 1990.

HUBER, E. **Resfriamento a Vácuo de Cortes de Carnes após o Cozimento**. Florianópolis, Tese (Mestre em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina. 74p. 2004.

HUBER, E.; LAURINDO, J.B. Weight Loss of Precooked Chicken Breast Cooled by Vacuum Application. **Journal of Food Process Engineering**, Estados Unidos, v. 28, p. 299-312, 2005.

HUBER, E.; SOARES, L. P.; CARCIOFI, B. A. M.; HENSE, H.; LAURINDO, J.; B. Vacuum Cooling of Cooked Mussels (Perna perna). **Food Science and Technology International**, Estados Unidos, v. 12, p. 19-25, 2006.

HUBER, E.; LAURINDO, J. B. Determination of mass transfer coefficients during the vacuum cooling of pre-cooked meat cuts. **International Journal of Food Properties**, Inglaterra, v. 9, n. 2, p. 287-298, 2006.

JACKMAN, P.; SUN, D-W.; ZHENG, L. Effect of combined vacuum cooling and air blast cooling on processing time and cooling loss of large cooked beef joints, **Journal of Food Engineering**, 81, p. 266–271, 2007.

JARVIS, M. C.; DUNCAN, H. J. The textural analysis of cooked potato. 1. Physical principles of the separate measurement of softness and dryness. **Potato Research**, 35, 83–91. 1992.

JIN, T. X. Experimental investigation of the temperature variation in the vacuum chamber during vacuum cooling. **Journal of Food Engineering**, v. 78, p. 333–339, 2007.

KARLSSON, M.; ELIASSON A. C. Potato starch properties within botanical structures. In V. P. Yuryev, P. Tomasik & H. Ruck. **Starch: From Starch Containing Sources to Isolation of Starches and Their Applications**, Nova Science Publishers, Inc. pp. 105-113. 2004.

KAUR, L.; SINGH, N.; SODHI, N. S. Some properties of potatoes and their starches II. Morphological, thermal and rheological properties of starches. **Food Chemistry**, v. 79, p. 183–192, 2002.

LIMA, K. S. C.; GROSSI, J. L. S.; LIMA, A. L. S.; ALVES, P. F. M. P.; CONEGLIAN, R. C. C.; GODOY, R. L. O.; SABAA-SRUR, A. U. O. Efeito da irradiação ionizante  $\gamma$  na qualidade pós-colheita de cenouras (*daucus carota* L.) cv. nantes. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, 21(2), p. 202-208, 2001.

LEONEL, M. **PROCESSAMENTO DE BATATA: FÉCULA, FLOCOS, PRODUTOS DE EXTRUSÃO**, 2005. Disponível em: <[http://www.abbabatatabrasileira.com.br/minas2005/18%20-%20-  
Outras%20formas%20de%20processamento.pdf](http://www.abbabatatabrasileira.com.br/minas2005/18%20-%20-Outras%20formas%20de%20processamento.pdf)> Acesso em: 24. fevereiro. 2009.

LONGMORE, A. P. The pros and cons of vacuum cooling. **Food Industries of South Africa**, v. 26, p. 9–11, 1973.

MALPAS, E. W. Vacuum equipment for evaporative cooling. **Process Biochemistry**, v.7, n.10, p.15-17, 1972.

MASKAN, M.; Kinetics of color change of kiwifruits during hot air and microwave drying. **Journal of Food Engineering**, 48, p.169–175, 2001.

McDONALD, K.; SUN, D-W. Vacuum cooling technology for the food processing industry: a review. **Journal of Food Engineering**, v.45, n.2, p.55-65, 2000.

McDONALD, K., SUN, D.-W., KENNY, T. Comparison of the quality of cooked beef products cooled by vacuum and by conventional cooling. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, v. 33, p. 21–29, 2000.

MELLOR, J. D. Vacuum techniques in the food industry. **Food Technology Australia**, 32, p. 397–398 - 400–401.1980.

MICKLANDER, E.; THYBO, A.K.; BERG, F. VAN DEN. Changes occurring in potatoes during cooking and reheating as affected by salting and cool or frozen storage - A Lf-Nmr Study. **Food Science and Technology**, 2007.

MIGLIO, C.; CHIAVARO, E.; VISCONTI, A.; FOGLIANO, V.; PELLEGRINI, N. Effects of Different Cooking Methods on Nutritional and Physicochemical Characteristics of Selected Vegetables. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 56, p. 139–147, 2008.

MITTAL, G. S. Thermal softening of potatoes and carrots. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, v. 27, p. 253-258, 1994.

NISSEN, H.; ROSNES, J.T.; BRENDHAUG, J.; KLEIBERG, G.H. Safety evaluation of sous vide-processed ready meals. **The Society for Applied Microbiology, Letters in Applied Microbiology**, 35, p. 433–438, 2002.

NG, A.; WALDRON, K. W. Effect of cooking and pre-cooking on cell-wall-chemistry in relation to firmness of carrot tissues. **Journal of Science Food Agriculture**. vol. 73, p. 503-512, 1997.

NOURIAN, F.; RAMASWAMY, H.S.; KUSHALAPPA, A.C.; Kinetic changes in cooking quality of potatoes stored at different temperatures, **Journal of Food Engineering**, 60, p. 257–266, 2003.

O'LEARY, E.; GORMLEY, T. R.; BUTLER, F.; SHILTON, N. The effect of freeze-chilling on the quality of ready-meal components. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**. vol. 33, p. 217-224. 2000.

PAULUS, K.; SAGUY, I. Effect of heat treatment on the quality of cooked carrots. **Journal of Food Science**, v. 45, p. 239-245, 1980.

PEREIRA, J.; CIACCO, C. F.; VILELA, E. R.; TEIXEIRA, A. L. de S. Féculas fermentadas na fabricação de biscoitos: estudo de fontes alternativas, **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, vol.19, n.2, Maio/Agosto. 1999.

RASTOGI, N. K.; NGUYEN, L. T.; JIANG, B.; BALASUBRAMANIAM, V. M. Improvement in texture of pressure-assisted thermally processed carrots by combined pretreatment using response surface methodology. **Food Bioprocess Technol.** Springer. 2008.

REDMOND, G. A.; BUTLER, F.; GORMLEY, T. R. The effect of freezing conditions on the quality of freeze-chilled reconstituted mashed potato. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, v. 35, p. 201–204, 2002.

REDMOND, G. A.; GORMLEY, T. R.; BUTLER, F. The effect of short- and long-term freeze-chilling on the quality of cooked green beans and carrots. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, 5, p. 65–72, 2004.

REED, Z.; MCILVEEN-FARLEY, H.; STRUGNELL, C. Factors affecting consumer acceptance of chilled ready meals on the island of Ireland. **International Journal of Consumer Studies**, v. 27, 1, p. 2–10, January, 2003.

REEVE, R.; M. Pectin and starch in preheating firming and final texture of potato products. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 20 (6), p. 1282-1282, 1972.

SANDERS, D.; C. Lettuce Production. **Horticulture Information Leaflet**. NC State University, n. 11, 2001.

SCHMIDT, F. C.; CARCIOFI, B. A. M.; LAURINDO, J. B. Efeito da impregnação a vácuo na transferência de massa durante o processo de salga de cortes de peito de frango. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 28, p. 366-372, 2008b.

SINGH, B.; PANESAR, P. S.; NANDA, V. Optimization of osmotic dehydration process of carrot cubes in sucrose solution. **Journal of Food Process Engineering**, **31**, p. 1–20, 2008.

SPAGNOL, W. A.; SIGRIST, J. M. M. Pré-resfriamento. **Tecnologia Pós-colheita de Frutas Tropicais**. Manual n.9. ITAL, Campinas 1992.

SPAGNOL, W. A.; PARK, K. J.; SIGRIST, J. M. M. Taxa de respiração de cenouras minimamente processadas e armazenadas em diferentes temperaturas. **Ciência e Tecnologia Alimentos**. Campinas, 26(3): p.550-554, jul.-set. 2006.

SUN, D-W.; BROSANAN, T. Extension of the vase life of cut daffodil flowers by rapid vacuum cooling. **International Journal of Refrigeration**, v.22, n.6, p.472-478, 1999.

SUN, D.-W. ZHENG, L. Vacuum cooling technology for the agri-food industry: Past, present and future. **Journal of Food Engineering**, v. 77, p. 203–214, 2006.

SUN, D-W.; WANG, L. J. Rapid cooling of porous and moisture foods by using vacuum cooling technology. **Food Science and Technology**, v.12, p.174-184, 2001.

TEIXEIRA, P. S.; PIMENTA, J. M. D. **Estudo da Aplicação de Hidrocarbonetos como Fluidos Refrigerantes**. MERCOFRIO 2004-IV Feira e



Congresso de Ar Condicionado, Refrigeração, Aquecimento e Ventilação do Mercosul, Curitiba – PR, 2004.

THOMPSON, J. F.; MITCHELL, F. G.; RUMSEY, T. R.; KASMIRE, R. F.; CRISOSTO, C. H. Commercial cooling of fruits, vegetables and flowers, **Universidade da Califórnia – Divisão de agricultura e recursos naturais**, Cap. 4 e 5. Publicação 21567, p.33-34, 1998.

THYBO, A.K.; MARTENS, H.J.; LYSHEDE, O.B. Texture and microstructure of steam cooked, vacuum packed potatoes. **Journal of Food Science**, v. 63, p. 692-695, 1998.

TOLEDO, R. T. **Fundamentals of Food Process Engineering**. New York, USA: Chapman & Hall, cap. 10, p. 398-436, 1991.

VANDIEVOET, A. C.; FOURNIER P. La pré-réfrigération rapide par le vide à la convergence des tests aéronautiques et de l'agro-alimentaire. **Industries Alimentaires et Agricoles**, v.10, n.100, p.691-695, 1983.

VAN DIJK, C.; FISCHER, M.; BEEKHUIZEN, J.G.; BOERIU, C.; STOLLE-SMITS, T., Texture of cooked potatoes (*Solanum tuberosum*). 3. Preheating and the consequences for the texture and cell wall chemistry. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 50, p. 5098-5106, 2002.

VU, T, S; SMOUT, C; SILA, D, N; LYNGUYEN, B; VAN LOEY, A, M, L; HENDRICKX, M, E, G. Effect of preheating on thermal degradation kinetics of carrot texture. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, 5, p. 37–44, 2004.

WALDRON, K. W.; SMITH, A. C.; PARR, A. J.; NG, A.; PARKER, M. L. New approaches to understanding and controlling cell separation in relation to fruit and vegetable texture. **Trends in Food Science & Technology**, v. 81, p. 213 – 221, 1997.

WALDRON, K. W.; PARKER, M. L.; SMITH, A.C. Plant cell walls and food quality. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**. Vol. 2. 2003.

WANG, L.; SUN, D.-W. Rapid cooling of porous and moisture foods by using vacuum cooling technology. **Trends in Food Science & Technology**, v.12, p. 174–184, 2001.

ZHANG, Z.; SUN, D. W. Experimental Study on Temperature and Weight Loss Profiles of Vacuum Cooling of Sliced Cooked Carrot. In: **21<sup>o</sup> IIR International Congress of Refrigeration**, Washington, DC USA, p. ICR0470, 2003.

ZHANG, Z.; SUN, D.-W. Effects of cooling methods on the cooling efficiency and quality of cooked rice. **Journal of Food Engineering**, 77, p. 269–274, 2006a.

ZHANG, Z.; SUN, D.-W. Effect of cooling methods on the cooling efficiencies and qualities of cooked broccoli and carrot slices. **Journal of Food Engineering**, 77, p. 320–326, 2006b.

ZHENG, L.; SUN, D.-W.; Vacuum cooling for the food industry—a review of recent research advances, **Trends in Food Science & Technology**, 15, p. 555–568, 2004.

## **APÊNDICE A**

Curvas de resfriamento de batatas e cenouras

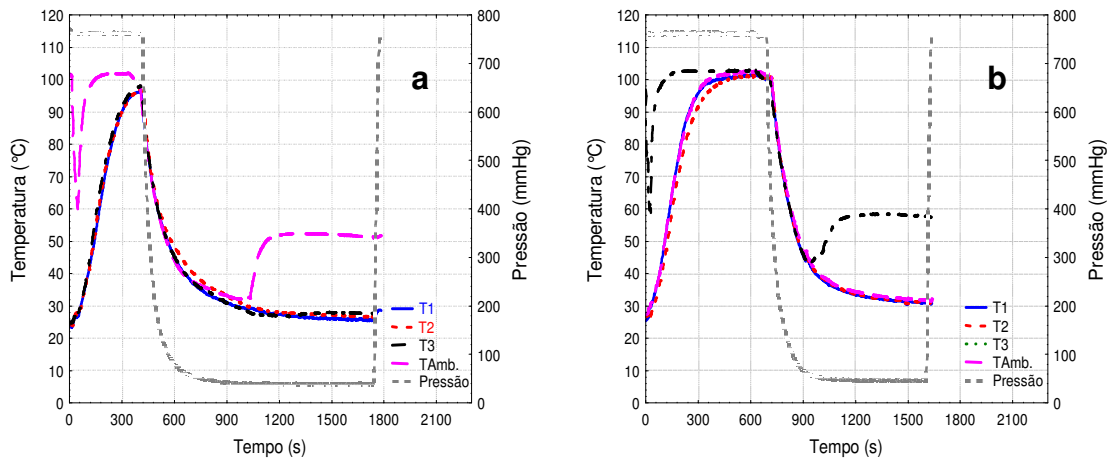


Figura A1 Cozimento de **batatas** a 100°C seguido de resfriamento a vácuo; (a) em 300 s; (b) em 600 s. T<sub>Amb.</sub>: Temperatura ambiente na câmara; T<sub>1</sub>, 2 e 3: Temp. no centro da amostra 1, 2 e 3; Pressão: Comportamento da Pressão durante o processo.

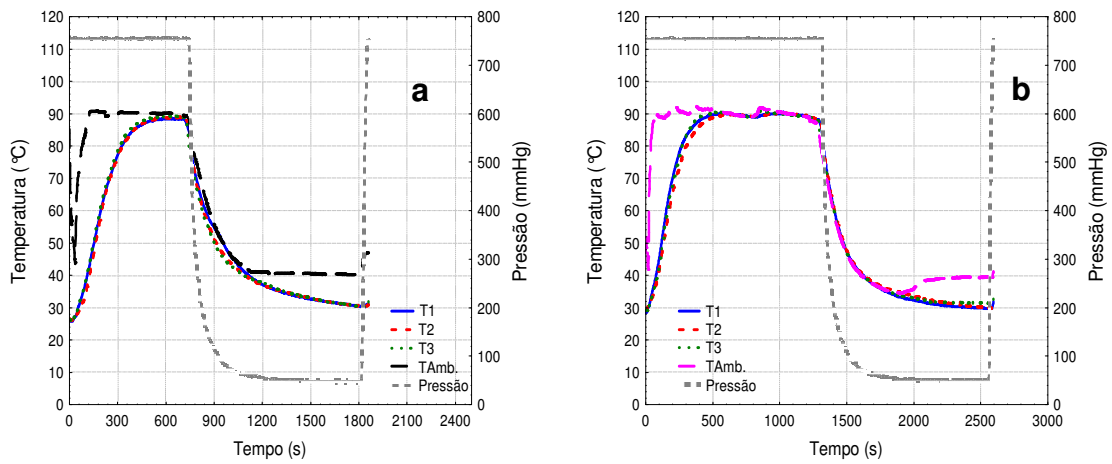


Figura A2 Cozimento de **batatas** a 90°C seguido de resfriamento a vácuo; (a) em 600 s; (b) em 1200 s. T<sub>Amb.</sub>: Temperatura ambiente na câmara; T<sub>1</sub>, 2 e 3: Temp. no centro da amostra 1, 2 e 3; Pressão: Comportamento da Pressão durante o processo.

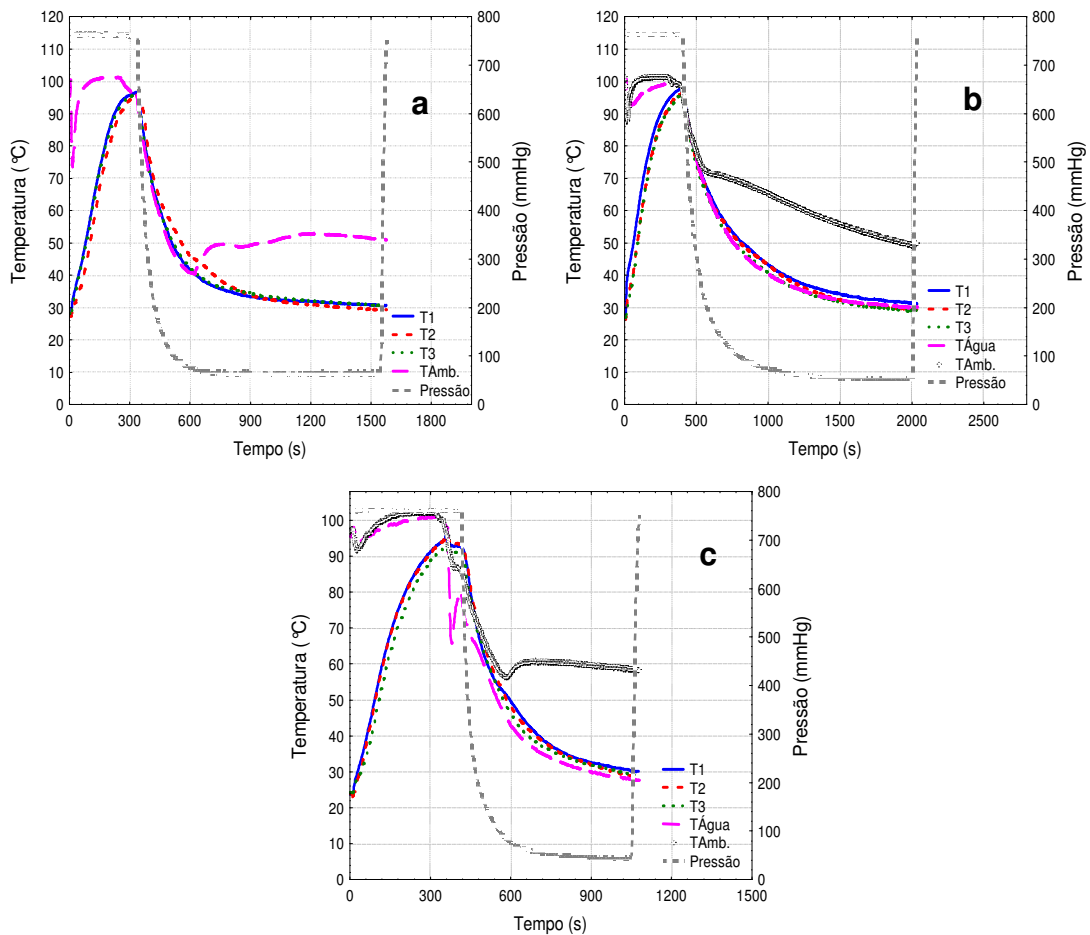


Figura A3 Processo integrado de cozimento até 90 °C + RV de batatas. (a) Coz. Vapor + RV; (b) Coz. Imerso + RV; (c) coz. imerso + drenagem da água de coz. + RV TÁmb.: Temp. ambiente na câmara; T1, 2 e 3: Temp. no centro das amostras 1, 2 e 3; TÁgua: Temp. da água durante o processo; e Pressão: Comportamento da pressão durante o processo.

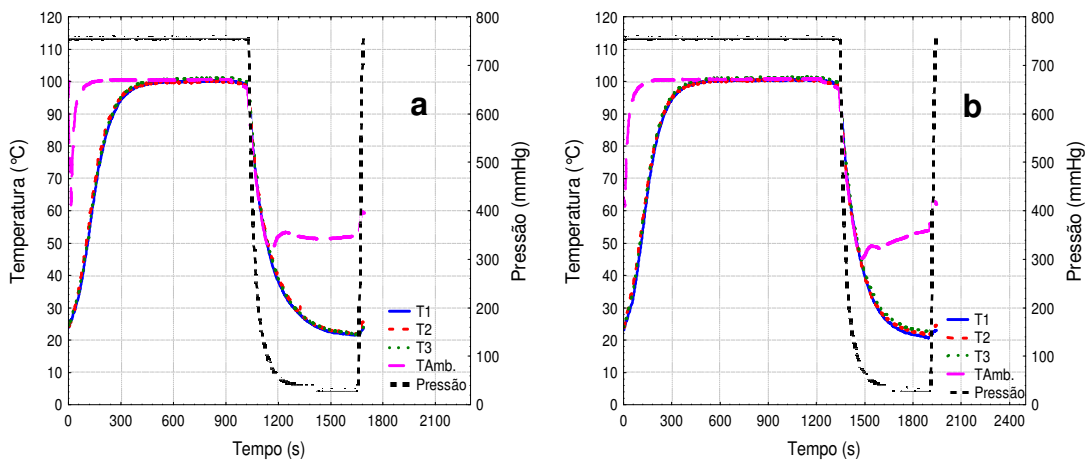


Figura A4 Cozimento de cenouras a 100 °C seguido de resfriamento a vácuo; (a) em 900 s; (b) em 1200 s. TÁmb.: Temperatura ambiente na câmara; T1, 2 e 3: Temp. no centro da amostra 1, 2 e 3; Pressão: Comportamento da Pressão durante o processo.

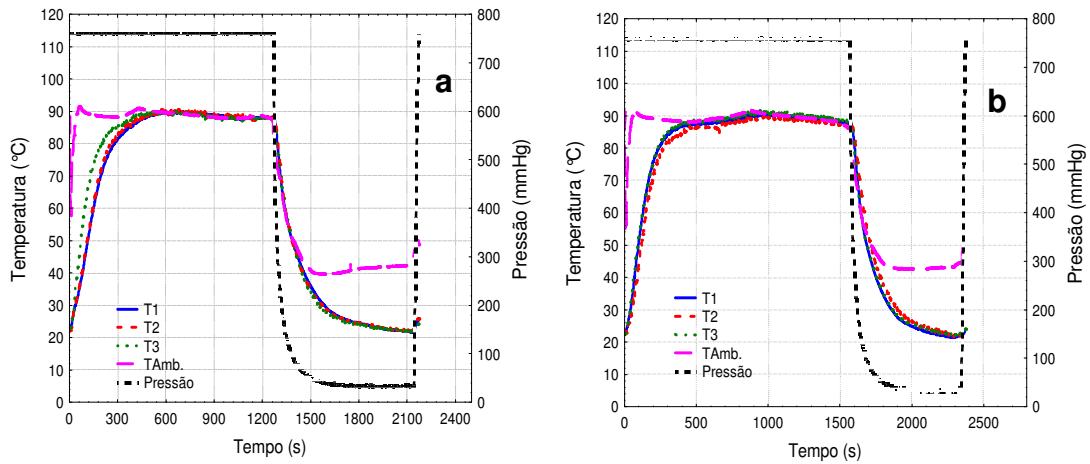


Figura A5 Cozimento de **cenouras** a 90°C seguido de resfriamento a vácuo; (a) em 1200 s; (b) em 1500 s. T<sub>Amb.</sub>: Temperatura ambiente na câmara; T1, 2 e 3: Temp. no centro da amostra 1, 2 e 3; Pressão: Comportamento da Pressão durante o processo.

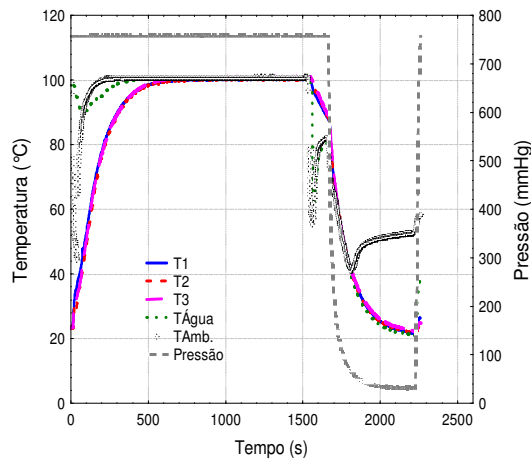


Figura A6 Cozimento de **cenouras** imerso em água durante 1500 segundos seguido de resfriamento a vácuo, após a drenagem da água de cozimento. T<sub>Amb.</sub>: Temperatura do vapor na câmara; T<sub>Água</sub>: Temp. da água durante o cozimento e temp. do ar após a drenagem desta água fervente; T1, 2 e 3: Temp. no centro da amostra 1, 2 e 3; Pressão: Comportamento da Pressão durante o processo.