

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**SECAGEM DE UVAS NIÁGARA VISANDO OBTER
SUBSÍDIOS PARA O PROCESSAMENTO, SUPERVISÃO
E CONTROLE**

WESLEY ESDRAR SANTIAGO

CAMPINAS
FEVEREIRO DE 2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**SECAGEM DE UVAS NIÁGARA VISANDO OBTER
SUBSÍDIOS PARA O PROCESSAMENTO, SUPERVISÃO
E CONTROLE**

Dissertação de Mestrado submetida à banca
examinadora para obtenção do título de Mestre
em Engenharia Agrícola, na área de
concentração de Máquinas Agrícolas.

WESLEY ESDRAR SANTIAGO

Orientador: Prof. Dr. Barbara Janet Teruel Mederos

Co-orientador: Prof. Dr. Rafael Augustus de Oliveira

CAMPINAS
FEVEREIRO DE 2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

Santiago, Wesley Esdrar

Sa59s Secagem de uvas Niágara visando obter subsídios para o processamento, supervisão e controle / Wesley Esdrar Santiago. --Campinas, SP: [s.n.], 2012.

Orientadores: Bárbara Janet Teruel Mederos, Rafael Augustus de Oliveira.

Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Uva - Secagem. 2. Controle automático - Instrumentação. 3. Pós-colheita. 4. Polifenóis. 5. Física química - Análise. I. Teruel Mederos, Bárbara Janet. II. Oliveira, Rafael Augustus de. III. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. IV. Título.

Título em Inglês: Drying of Niagara grapes in order to obtain the processing subsidies, supervision and control

Palavras-chave em Inglês: Grape - Drying, Automatic control - Instrumentation, Post-harvest, Polyphenols, Physical chemistry - Analysis

Área de concentração: Máquinas Agrícolas

Titulação: Mestre em Engenharia Agrícola

Banca examinadora: Reginaldo Ferreira Santos, Cláudio Luiz Messias

Data da defesa: 07-02-2012

Programa de Pós Graduação: Engenharia Agrícola

Este exemplar corresponde à redação final da **Dissertação de Mestrado** defendida por **Wesley Esdras Santiago**, aprovado pela Comissão Julgadora em 07 de fevereiro de 2012, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.

FEAGRI



Prof. Dra. Bárbara Janet Ternel Medeiros - Presidente e Orientadora
Feagri/Unicamp



Prof. Dr. Reginaldo Ferreira dos Santos - Membro Titular
Unioeste

Faculdade de Engenharia Agrícola
Unicamp



Prof. Dr. Cláudio Luiz Messias - Membro Titular
Feagri/Unicamp

EPÍGRAFE

"Os homens perdem a saúde para juntar dinheiro, depois perdem o dinheiro para recuperar a saúde. E por pensarem ansiosamente no futuro esquecem do presente de forma que acabam por não viver nem no presente, nem no futuro. E vivem como se nunca fossem morrer, e morrem como se nunca tivessem vivido." (Dalai Lama)

DEDICATÓRIA

In *memorian* de meus finados tios Daniel Izidório, grande incentivador de minha educação desde a infância e de Isiquiel Izidório pelos ensinamentos do regimento social e da vida em comunidade, sem as lições aprendidas com eles talvez não chegasse ao ponto de algum dia ter iniciado a pós-graduação. Amo-os mesmo não estando mais entre nós.

Dedico

AGRADECIMENTO

A Deus pelo dom da vida e por mais esta conquista na minha jornada rumo ao progresso, Senhor tu me sondas e me conhece e por isso louvo-o por ter providenciado todos os meios, pessoas e possibilidades para que fosse possível eu concluir esta etapa.

À minha família que através de muitas orações e horas ao telefone motivou-me a prosseguir nos momentos de desânimo, minha mãe (Dona Nilza), guerreira que através de seu exemplo sempre me instruiu a concluir este almejado projeto educacional. A galera lá de BH que curtiram a ideia do mestrado tanto quanto eu mesmo (Izolda, Nonô, Vaninha, Nida, Pretinha, Caio, Cássio, Débora, Gabriel, Davi, Carlos, Elias).

Aos meus irmãos, Viviane Santiago e Marcos Vinícius Santiago, cada um a sua maneira se esforçou dando conselhos, alimento e certificando-se que eu não abandonaria o Caminho.

À Jaqueline Aparecida da Cruz por ter aturado meu mau humor desde os dias de qualificação até a defesa, sempre se mantendo confiante de que eu conseguiria terminar um dia, mesmo que esse dia demorasse.

Aos meus camaradas do UNASP e de Artur Nogueira por todo apoio e solidariedade prestada durante o curso, em especial aos meus GRANDES amigos de almoço, futebol, bate papo de sábado à noite e aventuras diversas: André, Willie, Juninho, Maissolina, Tio Paulo, Anny, Mirlles, Mary e Simone. Aos amigos de Cascavel que embora distantes, nunca estiveram ausentes: prof. Reginaldo, Nayra, Cléber, Sarah com os agregados (Léo e Suzy), Lorena e o temível Gil Pescara.

À equipe de trabalho da FCA, muito obrigado Isa, Matias, professora Ieda (levo comigo sua cultura organizacional através da qualidade de nossa amizade) e o Marcelo Phaiffer que não fazia parte da equipe, mas foi fundamental para que eu conseguisse trabalhar em muitos momentos.

À equipe da CPG, técnicos da FEAGRI e professores por sempre estarem disponíveis para as inúmeras solicitações e dúvidas.

À equipe do LIC, Angel, Pantera, prof. Cappelli e Claudinho que não tendo relação com meu projeto me orientaram constantemente nas adaptações necessárias.

À equipe do LTPC, Rosa Helena, Rosália e Dani, o auxílio para execução das análises foi fundamental.

Aos amigos desenvolvidos durante as aulas, experimentos e dissertação, Guilherme e Rodolpho Tinini (nossa viagem para São Paulo...Indescritível!), Denize (não me esqueço do hospital), Eveline, Daniel Honório, Paulo Pelóia, Mateus Zerbinati, João Carlos (sem sua cooperação não haveria projeto).

Ao Professor Cláudio Messias pela cooperação na aquisição das uvas e pelas explicações sobre o processo de vinificação.

Aos produtores Daniel Fernando Miquelto e João Dimas por disponibilizarem parte de sua produção para que os ensaios fossem desenvolvidos.

Ao Professor Rafael Augustus de Oliveira pela co-orientação, incentivo e sugestões ao trabalho.

À minha orientadora Professora Bárbara Janet Teruel por ter aceitado o desafio de trabalharmos juntos.

À Capes pela bolsa de estudos concedida e a FAPESP pelos recursos disponibilizados para execução do projeto.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS	3
1.1.1 GERAL	3
1.1.2 ESPECÍFICOS	3
2 REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 Processamento de produtos hortícolas	4
2.1.1 Secagem de produtos hortícolas	5
2.1.2 Secagem e processamento de uvas destinadas à vinificação	6
2.1.3 Variáveis que influenciam no processo de secagem de produtos hortícolas	9
2.1.4 Temperatura	10
2.1.5 Umidade e atividade da água	11
2.2 Sistemas de pesagem no processo de secagem de produtos agrícolas	13
2.3 Sistemas de medição	15
2.4 Instrumentação de sistemas de secagem	16
2.5 Instrumentação de sistemas de pesagem dinâmica	16
2.5.1 Sensores de força	17
2.5.2 Extensômetros	17
2.5.3 Células de carga extensométricas	19
2.6 Planejamento experimental de testes	22
2.6.1 Calibração de sistemas dinâmicos	22
2.6.2 Fatores que intervêm no sistema de medição	23
2.6.3 Linearidade	24
2.6.4 Histerese	24
2.6.5 Repetibilidade	25
2.6.6 Erro combinado	25
2.6.7 Sensibilidade	25

2.6.8 Resolução	26
2.7 Características dos sinais	26
2.8 Sistema de aquisição de dados	27
2.9 Considerações do estado da arte da temática em estudo	28
3 MATERIAIS E MÉTODOS	29
3.1 Análise físico-química.....	31
3.1.1 Sólidos solúveis	31
3.1.2 Umidade	31
3.1.3 Acidez titulável total (ATT)	32
3.1.4 Determinação isolada do pH.....	32
3.1.5 Determinação de polifenóis.....	32
3.2 Caracterização do sistema físico experimental.....	33
3.2.1 Instrumentação do sistema	35
3.3 Aquisição de dados.....	39
3.4 Sistema de supervisão.....	40
3.5 Secagem.....	44
4 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL	46
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
5.1 Testes preliminares	48
5.2 Sistema de pesagem.....	56
5.3 Efeito de variações de temperatura e vazão de ar de secagem na qualidade físico-química de uvas Niágara rosada	57
5.4 Análise do processo de secagem	67
6 CONCLUSÕES	74
7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	75
8 REFERÊNCIAS	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Curva de secagem (PARK et al., 2007)	9
Figura 2. Isotermas de sorção de cogumelo in natura e desidratado osmoticamente a ..	12
Figura 3. Partes de um sistema de medição.....	15
Figura 4. Relação existente entre a deformação e a tensão de materiais duros (Adaptado de KIOWA, 2010).	18
Figura 5. Ponte de Wheatstone.....	20
Figura 6. Células de carga tipo “S” (a) e célula de carga tipo flexão (b).	21
Figura 7. Curva característica do processo de secagem (Adaptado de SILVA, 2010), Mip é a massa inicial de produto; Mfp é a massa final do produto.....	23
Figura 8. Linearidade da força eletromotriz de um sensor de oxigênio com a temperatura de funcionamento (STEIL et al., 2002).	24
Figura 9. Curva de calibração de erros, linearidade, não linearidade, histerese e repetibilidade (KYOWA, 2010).	25
Figura 10. Sensibilidade (Adaptado de MORA, 2008).	26
Figura 11. Dossel vegetativo e sistema de condução das uvas Niágara rosada do vinhedo em Louveira.....	29
Figura 12. Colheita de uvas (a). Amostragem para caracterização físico-química (b). .	30
Figura 13. Câmara de secagem com túnel de ar forçado.....	34
Figura 14. Esquema de posicionamento das resistências e o dreno de água para o Sistema de secagem a quente.	35
Figura 15. Esquema da plataforma de pesagem e célula de carga acoplada ao túnel de ar forçado.....	36
Figura 16. Esquema de posicionamento da instrumentação e aquisição de dados do sistema.	38
Figura 17. Esquema da aquisição de dados do processo.	39
Figura 18. Interface com o usuário parte 1.....	41
Figura 19. Interface com o usuário parte 2.....	42
Figura 20. Interface com o usuário parte 3.....	42
Figura 21. Tela de apresentação do sistema supervisorio implementado.	43
Figura 22. Diagrama de blocos do aplicativo desenvolvido.....	44
Figura 23. (a) Esquema da estrutura de secagem. (b) Esquema da disposição do produto.	45

Figura 24. Amostra de uvas após análise de umidade em estufa (a) 60 ⁰ C; (b) 85 ⁰ C.	48
Figura 25. Resultados físico-químicos antes e após os tratamentos (a) CSS; (b) pH; (c) ATT.	49
Figura 26. Gráficos de perda de massa do processo (a) ensaio 1; (b) ensaio 2; (c) ensaio 3; (d) ensaio 4.	52
Figura 27. Validação dos parâmetros operacionais controlados durante o processo, (a) ensaio 1; (b) ensaio 2; (c) ensaio 3; (d) ensaio 4.	53
Figura 28. Comportamento da umidade relativa do ar (a) ensaio 1; (b) ensaio 2; (c) ensaio 3; (d) ensaio 4.	55
Figura 29. Comparação de médias para os parâmetros (a) Acidez Total Titulável e (b) pH.	60
Figura 30. Comparação de médias para sólidos solúveis (a), polifenóis (b) e umidade (c).	63
Figura 31. Superfície de resposta para mudança na concentração de compostos fenólicos.	65
Figura 32. Faixa de melhores valores e pontos experimentais indicados.	66
Figura 33. Cinética de secagem da uva para os níveis de temperatura e vazão.	68
Figura 34. Gráficos de comparação entre o predito e experimental.	72
Figura 35. Gráfico de taxa de secagem.	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Especificações técnicas da célula de carga.....	36
Tabela 2. Níveis das variáveis codificada e real para o planejamento experimental.	46
Tabela 3. Resultado da calibração estática do sistema	56
Tabela 4. Resultado da calibração dinâmica do sistema	56
Tabela 5. Caracterização físico-química das uvas.....	58
Tabela 6. Análise de variância para os parâmetros indicativos de acidez.....	59
Tabela 7. Análise de variância para a concentração de sólidos solúveis e teor de polifenóis.	61
Tabela 8. Análise de variância dos fatores operacionais da secagem de uva Niágara para concentração de compostos fenólicos.	66
Tabela 9. Resultados dos ensaios de secagem de uvas Niágara em leito fixo.....	67
Tabela 10. Análise do modelo matemático da cinética de secagem.....	69
Tabela 11. Taxa de secagem.....	72

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	.....	12
Equação 2	.....	13
Equação 3	.....	18
Equação 4	.....	18
Equação 5	.....	19
Equação 6	.....	19
Equação 7	.....	31
Equação 8	.....	32
Equação 9	.....	65

RESUMO

Tradicionalmente utilizada em alguns países vinícolas e com pouca ou nenhuma aplicação no Brasil, a secagem de uvas destinadas a vinificação representa uma importante metodologia para obtenção de vinhos de mesa com elevado nível de qualidade, no entanto até o presente momento diversos problemas oriundos da falta de controle das condições ambientais da secagem destes produtos tem impedido a quantificação e obtenção de um desempenho razoável para tal procedimento. Nesta pesquisa foi desenvolvido um sistema de monitoramento da perda de massa através de um sensor extensométrico e implementado um aplicativo computacional de monitoramento e aquisição de dados do processo de secagem. O objetivo do estudo foi analisar o efeito de cinco níveis de temperatura e de vazão de ar na perda de massa e na qualidade físico química de uvas Niágara rosada a fim de determinar as melhores condições e parâmetros de secagem para os efeitos causados no processo e na qualidade físico-química das uvas. Um planejamento composto central com cinco níveis de variação foi utilizado para determinar as influências dos fatores (temperatura e vazão de ar) nas respostas (Concentração de Sólidos Solúveis, Acidez Total Titulável, concentração de polifenóis, pH, taxa e tempo de secagem). Obteve-se como resultado aumento médio de 2,9 pontos na concentração de sólidos solúveis, sendo o mínimo de 16,1 e o máximo de 23 °Brix, e aumento médio de 265,1 pontos na concentração de polifenóis, mínimo de 940 e máximo de 1359 mg de ácido gálico para cada 100 gramas de suco, a acidez total titulável apresentou baixa variação entre antes e o depois, tendo maior redução nos ensaios com maior temperatura, comprovando os efeitos positivos da secagem e principalmente quando realizada em condição controlada. O grau das respostas para os diferentes níveis de tratamento não interferiram nas mudanças ocorridas nos parâmetros físico-químicos, porém apenas a concentração de polifenóis teve influência linear e quadrática da temperatura e vazão de ar. A secagem até o nível estabelecido de 12% de perda de massa ocorre no período de taxa constante, caracterizando-a como um processo sem dinâmica, resultante em modelos matemáticos de primeira ordem altamente capazes de representar as variações que ocorrem no processo real. O sistema de pesagem em tempo real desenvolvido mostrou-se adequado para medição da perda de massa de uvas durante a secagem, tanto em alta como em baixa temperatura, sendo uma ferramenta de grande utilidade para a obtenção dos parâmetros necessários para a construção de modelos matemáticos de processos de secagem, além de fornecer subsídios durante a análise do processo e tomada de decisão.

Palavras – chave: Instrumentação, perda de massa, sólidos solúveis, polifenóis, acidez.

ABSTRACT

Traditionally used in wineries and in some countries with little or no application in Brazil, the drying of grapes for wine making is an important methodology for obtaining wines with high quality, yet so far various problems of lack of control of environmental conditions in the drying of these products has prevented the quantification and obtainment of a reasonable performance for such procedure. In this research was developed a system to monitor mass loss through an extensometer sensor and implementing a computer application for monitoring and data acquisition in the drying process. The objective of this study was to analyze the effect of five temperature levels and air flow in the mass loss and qualities physico and chemical from Niagara grapes to determine the best conditions and parameters in the drying for the effects caused during the process and physical chemical quality of the grapes. A central compost planning with five levels of variance was used to determine the influences of the factors (temperature and air flow) in the responses (Concentration of Soluble Solids, Titratable Acidity, Polyphenols Concentration, pH, rate and drying time). It was obtained as a result an average increasing of 2.9 points in the concentration of soluble solids, being the 16,1 minimum and 23 °Brix maximum, and an average increase of 265.1 points in the concentration of polyphenols, minimum 940 and maximum 1359 mg of gallic acid per 100 grams of juice, the total acidity titratable presented low variation between before and after, having a bigger reduction in the examples with higher temperature, proving the positive effects of the drying and mainly when performed in controlled conditions. The variation of the responses for different levels of treatment did not interfere in the changes that happen, but only the concentration of polyphenols had linear and quadratic influence from temperature and air flow. The drying until the established level of 12% weight loss occurs in the period of constant rate, characterizing it as a process without dynamic, resulting in first order mathematical models of high capacity to represent the variations that happen in the real process. The weighing system developed in real time demonstrated to be adequate for measuring of mass loss during the drying of grapes, as in high as in low temperature, being a very useful tool to obtain the necessary parameters for the construction of mathematical models in the process of drying, besides providing subsidies during the process analysis and decision making.

Key - words: Instrumentation, mass loss, soluble solid, polyphenols, acidity.

1 INTRODUÇÃO

Embora os relatos da introdução de videiras no território brasileiro afirmem que as primeiras plantas tenham sido introduzidas ainda no século 16, apenas a partir da segunda metade do século 19 o cultivo de uvas e sua industrialização através da produção de vinhos e sucos apresentou grande desenvolvimento, principalmente no estado de São Paulo (OLIVER, 2007).

Atualmente a vitivinicultura está presente em diversos estados brasileiros, sendo que a maior concentração de vinhedos comerciais se encontra no Rio Grande do Sul. De acordo com o censo agropecuário publicado pelo IBGE (2011), no ano de 2010 a produção nacional de uvas foi de 1.305.672 toneladas, sendo que 53% da produção nesse período esteve concentrada no Rio Grande do Sul.

Com o avanço da globalização e internacionalização dos mercados, o agronegócio vitivinícola brasileiro tem experimentado grande expansão, assim como exigências de adaptações as normas de segurança e qualidade internacionais. Neste aspecto têm surgido selos e certificações de origem, de qualidade e de segurança conforme características do produto ou da região onde é produzido.

Na produção de vinho, é essencial que técnicas de padronização e melhorias da matéria prima sejam inseridas no processo de forma a atender as exigências tecnológicas para elaboração de vinhos de altíssima qualidade. A chaptalização é uma técnica comumente aplicada em diversas vinícolas brasileiras, ela é empregada com o objetivo de obter a padronização da matéria prima que por fatores adversos não atinge as especificações para produção de vinho. Sua metodologia consiste na simples adição de açúcar (sacarose) no mosto de fermentação no intuito de aumentar o poder fermentativo e possibilitar que o vinho elaborado alcance o teor alcoométrico mínimo de acordo com o regulamento brasileiro (DOU, 2004).

Como o princípio da chaptalização consiste no aumento da concentração de açúcar no mosto e por consequência elevação da concentração de sólidos solúveis (RIZZON e MIELE, 2005; SATO et al.,2011), a proposta de outra técnica que permita o mesmo benefício, com menor custo e garantias de manutenção da qualidade do vinho é de imensa valia para o setor, pois a adição de açúcar além de alterar a qualidade do vinho torna o processo oneroso por agregar custos à produção, já que os açúcares predominantes nas uvas viníferas são glicose e frutose.

O processo de maturação das uvas traz como consequência aumento na taxa respiratória, redução no teor de água e aumento na concentração de sólidos solúveis. A

quantificação da influência da secagem nos aspectos indicativos de maturação e o conhecimento da relação existente entre a mudança destes aspectos e das características do processo de secagem representam informações essenciais para que a tomada de decisão quanto à estratégia de adequação e/ou preparação do mosto seja definida.

Além das análises físico-químicas que determinam as características intrínsecas dos produtos vegetais, a utilização de instrumentos tecnológicos que possibilitam a aquisição de dados e monitoramento em tempo real das mudanças na composição do produto e nos fatores climáticos que influenciam diretamente nas modificações qualitativas de uvas destinadas a vinificação pode fornecer subsídios importantes para que o tempo e nível de secagem não afetem negativamente tais características, mas que possam potencializá-las, possibilitando assim a elaboração de um vinho de altíssimo potencial enológico.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 GERAL

Estudar o processo de secagem de uvas Niágara submetidas a cinco níveis de temperatura e de vazão de ar, analisando seu efeito na perda de massa e na qualidade físico química.

1.1.2 ESPECÍFICOS

- Desenvolver um sistema de pesagem dinâmica e um aplicativo de supervisão das variáveis do processo de secagem;
- Desenvolver um aplicativo de supervisão das variáveis de temperatura, umidade relativa do ar, consumo de energia e peso das frutas;
- Determinar os efeitos da secagem sobre o teor de sólidos solúveis, acidez total titulável, pH e polifenóis das uvas;
- Analisar a cinética do processo de secagem a partir do efeito de diferentes níveis de temperatura e vazões do ar de secagem, formulando um modelo matemático que represente o processo;
- Gerar subsídios para a supervisão e controle do processo de secagem de uvas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Processamento de produtos hortícolas

Produtos hortícolas frescos fornecem nutrientes e elementos essenciais à nutrição e equilíbrio fisiológico do ser humano. Como desde os primórdios da civilização humana onde o homem deixou de ser nômade, a preocupação com a racionalização das fontes de alimentos culminou com o desenvolvimento de métodos de conservação e transformação de alimentos. A remoção da umidade dos alimentos é uma das técnicas mais antigas para preservar alimentos. Em Azeredo (2004) é apresentado como sendo o objetivo principal da secagem de alimentos a redução das taxas de alterações microbiológicas, além da redução de alterações químicas.

O primeiro método de secagem utilizado para conservação de frutas é a secagem pelo sol, este tipo de processamento era inicialmente aplicado no antigo Egito como técnica de conservação de uvas, com o desenvolvimento da produção de vinhos percebeu-se que este método trazia ainda como benefício à melhoria da fermentação e qualidade do vinho produzido, tornando-se uma técnica presente no processamento de uvas destinadas a vinificação em países tradicionalmente vinícolas até os tempos atuais (CÓDIGO INTERNACIONAL DE PRÁTICAS ENÓLOGAS, 2006).

Apesar da diversidade de métodos de secagem disponíveis atualmente, metodologias que empregam transferência de calor e massa por convecção (PARK et al., 2001; TELIS et al., 2006; GOUVEIA et al., 2002) têm sido mais aplicadas comercialmente. Durante a secagem a umidade é deslocada do interior para a superfície do produto, onde é perdida por evaporação para o ambiente. Em Jasper et al. (2008), é vista uma evolução do antigo método de secagem em terreiro para café. A avaliação do desempenho da secagem de um silo secador alambrado com ar à temperatura ambiente revelou haver boa eficiência energética do processo e um produto seco com o mesmo padrão de qualidade do café seco em terreiro.

Com o avanço da ciência e tecnologia, novos métodos de desidratação foram sendo propostos, assim como o desenvolvimento de equipamentos e sistemas de secagem. Além dos métodos de secagem por vaporização, sublimação, vácuo ou ar forçado, há ainda o método de desidratação osmótica que tem sido bastante empregado na transformação e beneficiamento de determinadas frutas tropicais (MEDEIROS et al., 2006 ;EL-AOUAR e MURR, 2003; DIONELLO et al., 2009).

A tecnologia da conservação e transformação de produtos hortícolas consiste, atualmente, na aplicação de princípios físicos ou químicos no produto. Princípios como

o uso de altas e baixas temperaturas, remoção de água e adição de substâncias, causam mudanças físicas e químicas capazes de melhorar o processamento do produto ou prolongar sua vida útil. Assim, a possibilidade de incorporação destes processos tecnológicos na cadeia produtiva de alimentos hortícolas serve como elemento de difusão e desenvolvimento do setor agroindustrial.

2.1.1 Secagem de produtos hortícolas

A qualidade de um produto está diretamente atrelada ao seu uso final. Alimentos para consumo *in natura* devem conservar características que o consumidor considera importante, tais como aroma, sabor e textura (ABRAHÃO et al., 2009). Para alimentos que serão processados e transformados, deve-se manter ou melhorar características que possam agregar valor, manter os critérios de qualidade e reduzir os custos de processamento e adequação da matéria prima. Deste modo, a metodologia do processo de secagem a ser utilizado é definida com base nas características a serem conservadas ou melhoradas.

Alimentos hortícolas são considerados meios capilares porosos, ou seja, a umidade interna do produto pode se deslocar de forma ascendente gerando transferência de calor e massa, caso seus gradientes de concentração, pressão parcial de vapor, temperatura e pressão total sofram alterações. Embora existam vários mecanismos que influenciam na alteração das condições internas e externas dos produtos hortícolas, toda vez que a atuação destes mecanismos trazerem como consequência a remoção de umidade, estes serão definidos como mecanismos de secagem.

Como a secagem se baseia na perda de água do produto para o meio onde está inserido, é importante que o vapor de água no ar, expresso pela umidade relativa (%), seja menor que o do produto, pois segundo Garcia et al. (2004), para que o processo de secagem de produtos vegetais ocorra é necessário que haja um déficit do gradiente de pressão de vapor de água na superfície do produto em relação ao ar de secagem, conforme descrevem as propriedades higroscópicas dos produtos. O aumento da temperatura do ambiente é utilizado com o propósito de aumentar o diferencial do gradiente de pressão de vapor, deste modo, quando associado à atuação de um fluxo de ar a água interna do produto é deslocada para as partes mais externas e para o ambiente em maior capacidade e rapidez. Resultados encontrados por Neves et al. (2005) e Cavariani et al. (1999), afirmam que o uso de insufladores de ar reduzem

significativamente o tempo de secagem, com maior desempenho físico na combinação com altas temperaturas.

No caso de secagem a altas temperaturas (OLIVEIRA et al., 2010; SIMIONI et al., 2008; MARINI et al., 2007), a umidade relativa do ar é reduzida, enquanto nos casos de resfriamento e secagem a baixas temperaturas (VIEIRA e CAL – VIDAL, 1995; SAVY FILHO et al., 1986; DEGAN et al., 2001) como o aplicado em frutas, a redução da umidade relativa do ar é feita através do auxílio de unidades desumificadoras.

Portanto, a finalidade da secagem é a remoção de um líquido volátil contido num corpo não volátil através de sua evaporação. O tipo de secagem utilizada depende de considerações acerca do produto a ser desidratado, como sua constituição química e características finais a serem mantidas, devendo também ser observado o nível de redução de umidade a ser permitido, pois o mesmo deve ser feito até um ponto, onde a concentração de açúcares, ácidos, sais minerais e outros componentes seja suficientemente elevados para reduzir a atividade de água e inibir, portanto, o desenvolvimento de microrganismos, sem comprometer o objetivo final do produto.

As técnicas e equipamentos de secagem dependem diretamente do tipo de produto, teor de água a ser removido e tipo de armazenamento ou processo ao qual será submetido posteriormente. No entanto, de acordo com a literatura as operações de secagem se distinguem basicamente em relação ao tipo de fluxo de ar (secagem natural ou artificial), a exposição ao calor (secagem contínua ou intermitente), a movimentação do produto (secagem estacionária ou contínua) e a temperatura empregada (secagem a quente ou a frio) (MIRANDA et al. 1999; NETO et al., 1998; MENEZES et al., 2005; BERTI et al., 2005; SARAIVA et al., 2007).

2.1.2 Secagem e processamento de uvas destinadas à vinificação

No Brasil, uvas processadas industrialmente para produção de vinhos geralmente não são submetidas a nenhuma forma de tratamento que possibilite melhorias da qualidade do vinho produzido e aumento na eficiência do processo de vinificação. Além da dificuldade na determinação do ponto ótimo de colheita, em muitos casos a característica da cultivar utilizada na produção de vinho, traz como consequência um baixo teor de açúcar no mosto, o que impede a obtenção de vinhos de mesa com níveis de etanol conforme o recomendado pela legislação que é de 10 a 13%, segundo DOU (2004).

É comum em muitas vinícolas a adição de açúcar ao mosto, procurando melhorar a graduação alcoólica, no entanto este processo resulta em vinhos de baixa qualidade, baixo valor de mercado e maior custo de produção. Como a secagem de uvas possibilita maior concentração de açúcar e de outros compostos químicos na baga, este procedimento pode viabilizar a redução dos custos com a adição de açúcar no mosto, porém ainda é um procedimento pouco utilizado no Brasil, sendo visto comumente em países tradicionalmente vinícolas (CURVELO – GARCIA, 2005), no entanto sem nenhuma técnica ou ferramenta que permita controle das condições ambientais.

Embora a secagem de uvas e outros produtos hortícolas seja benéfica do ponto de vista físico, químico, biológico e econômico, é preciso considerar que estes alimentos possuem níveis de tolerância para perda de água antes que sua estrutura celular entre em colapso e danos fisiológicos irreversíveis ocorram (MARTINS et al., 2008).

O Código Internacional de Práticas Enológicas (2006) determina que uvas destinadas à vinificação, quando submetidas a processos de secagem percam no máximo 20% de sua umidade inicial e que o teor alcoométrico potencial não exceda a 2% do volume. Por isso é fundamental que os níveis de tolerância à desidratação sejam determinados e respeitados durante a secagem.

Pesquisas feitas com frutas destinadas a processamento industrial como fabricação de sucos, polpas e concentrados mostram que após redução da umidade do produto, estes conseguem obter maior valor de sólidos solúveis, maior concentração de componentes químicos e maior estabilidade microbiológica (GABAS et al., 1998; AZEREDO e JARDINE, 2006).

As pesquisas dos efeitos da secagem em uvas destinadas a vinificação, atualmente tem se fundamentado não apenas na estabilidade biológica do produto, mas em grande parte na possibilidade de aumento na concentração dos compostos químicos na baga, especialmente dos compostos fenólicos, além da redução de água no mosto de fermentação, o que permite menores gastos de energia para sua evaporação.

Pesquisas estudando a desidratação pós-colheita de uvas e o efeito comprovado na concentração de açúcar, compostos fenólicos e componentes aromáticos nos vinhos produzidos, são relatados por Bellincontro et al. (2004); Constantini et al. (2006), Moreno et al. (2008), Barbanti et al. (2008) e Serratosa et al. (2010).

Uvas cv. Pedro Ximenez, utilizada para produzir os vinhos doces do mesmo nome, no sul de Espanha, foram submetidas à secagem numa câmara com temperaturas

entre 40 e 50°C, substituindo o processo tradicional de secagem ao sol, reduzindo-se o tempo necessário para atingir uma concentração de 450 gL⁻¹ de açúcar em 40%. A evaporação de água trouxe consigo aumento da concentração dos compostos, porém o aumento em alguns casos foi inferior ou superior ao esperado, o que pode ter sido provocado pelo efeito da reação particular de cada composto, além da falta de controle automático do processo (SERRATOSA et al., 2010).

Segundo Barbanti et al. (2008), cultivares de uvas Corvinone e Rondinella, da região de Valpolicella na Itália, utilizadas na produção dos vinhos Amarone e Recioto, tradicionalmente eram submetidas ao processo de desidratação, colocadas em bandejas em condições ambientes, durante 90 a 120 dias. A evaporação da água se dava em função da variabilidade das condições ambiente, sem controle, e podiam chegar até 40%. As mudanças bioquímicas que ocorrem nas uvas durante o murchamento são induzidas pelo metabolismo endógeno das uvas resultando na modificação da qualidade do vinho. Porém, a secagem a expensas das condições ambientais, além de demorada, trazia outros problemas, como a contaminação por fungos e bactérias. O estudo do processo de secagem a baixas temperaturas (10, 15, 20 e 25 °C) e umidade relativa do ar variando entre 53; 75 e 95% reduziram significativamente o tempo necessário para a evaporação de água, atingindo-se maiores concentrações de açúcares, diminuindo o risco de desenvolvimento de *Botrytis cinerea*, que afeta a qualidade dos vinhos.

Na região da Sicília ou na Ilha de Pantelleria onde é fabricado o vinho Passito, a técnica utilizada para redução do teor de água das uvas consiste na exposição do cacho diretamente ao sol. Os cachos de uva geralmente são colocados sob o telhado ou em outros ambientes ventilados sem controle termo-higrométrico (vinho Vin Santo), ou ainda, uma combinação de ventilação natural e artificial (vinho Amarone).

Bellincontro et al. (2004) estudaram a secagem de uvas num túnel termo-condicionado. Os resultados se mostraram favoráveis, comparando as taxas de desidratação rápida e lenta, que tem influência no aumento do teor de açúcar e, sobretudo, no aumento na concentração do etanol, ésteres e alcoóis superiores (cultivares de uva Malvasia e Sangiovese), e em um elevado acréscimo na concentração de fenóis e antocianinas (cultivar Sangiovese). Entretanto a cultivar Trebbiano perdeu menos água durante o tratamento, mas não teve efeito negativo nos teores de fenóis.

A relação entre as variáveis térmicas, higrométricas e a velocidade do ar (temperatura de 15 °C, umidade relativa do ar de 40%, e velocidade do ar de 1,0 a 1,5 ms⁻¹), e o efeito na perda de peso, concentração de sólidos solúveis, teor de compostos

voláteis, atividades de lipoxigenase e álcool desidrogenase, foi avaliado por Mencarelli et al. (2006) e Mencarelli et al. (2009), chamando o processo de secagem a frio, em cultivares Cesanese tinta e Malvasia.

2.1.3 Variáveis que influenciam no processo de secagem de produtos hortícolas

Como as transferências internas de massa dos produtos vegetais são influenciadas principalmente pela migração dos solutos, geometria do produto (KARIM e HAWLADER, 2006; NGUYEN e PRICE, 2007) e coeficiente de transferência de calor, não é possível estabelecer uma única relação teórica capaz de generalizar diferentes tratamentos térmicos para um mesmo produto.

A cinética de secagem de produtos biológicos não é uniforme, devendo ser avaliada conforme o período de secagem considerado. No primeiro período a taxa de secagem é constante, o processo de transferência de calor e massa é determinado pela interação da superfície do produto com o meio de secagem, fixando a velocidade do processo (FIORENTIN et al., 2010). No segundo período ocorre uma inflexão na curva de secagem como mostra a Figura 1, neste período a taxa de secagem decrescente é determinada pela transferência de calor e massa da parte interna do produto, ou seja, a água a ser removida terá que percorrer uma distância maior até chegar à superfície e ser eliminada, além do fato da transferência de calor ter diminuído em razão da barreira isolante formada pela camada externa seca.

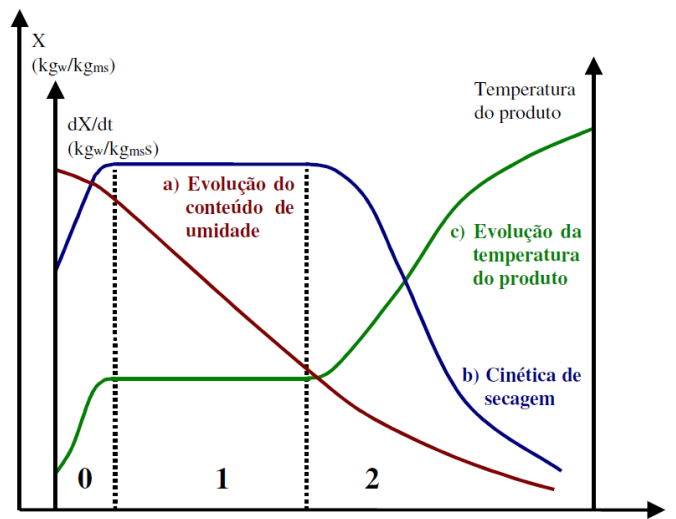


Figura 1. Curva de secagem (PARK et al., 2007)

Assim, a eficiência dos processos de secagem depende diretamente das propriedades do produto, do ar de secagem, da umidade relativa, da velocidade do ar de secagem e da temperatura.

2.1.4 Temperatura

A temperatura é um fator determinante para o tempo e taxa de secagem, assim como para a qualidade final do produto, pois quando excessiva ela pode causar injúria ou deterioração antecipada do produto. Sampaio e Queiroz (2006) destacam que a secagem feita utilizando altas temperaturas resulta em menor tempo de processo, portanto, menor consumo de energia, porém a qualidade do produto é comprometida por conferir ao material maior dureza, gomosidade e escurecimento. Gabas et al. (2003) assinalam que em frutas cítricas a secagem em temperaturas a partir de 60 °C tem efeito negativo do ponto de vista econômico, pois nestes casos ocorre rápida degradação do ácido ascórbico, um elemento essencial na qualidade nutricional desse tipo de produto.

O uso de baixa temperatura como técnica de secagem além de prolongar o armazenamento de diversos produtos hortícolas como mangas, laranjas ou limões, inibe a ação de micro-organismos patogênicos. Brackmann et al. (1999) afirmam que a faixa de temperatura entre 3 e 7 °C garante menor incidência de podridões e menor perda de peso em laranja Valência resfriada por convecção. O cuidado no uso de baixas temperaturas para secagem é advindo da possibilidade da ocorrência de injúrias por frio ou congelamento da célula, o que traz como consequência extravasamento de líquido celular e formação de um ambiente propício ao desenvolvimento de fungos e bactérias. Segundo Brackmann et al. (2008), no armazenamento de tangerinas, em temperaturas a partir de 2 °C é comum a ocorrência de injúrias por frio, portanto, para que secagem a baixa temperatura seja feita é preciso considerar o quanto o produto é sensível ao frio.

Como os tratamentos térmicos exigem uma quantidade considerável de energia para que o ar de secagem possa ser aquecido ou resfriado, e considerando o quanto este elemento pode inviabilizar o processamento dos produtos em razão de sua influência nos custos da secagem, encontrar uma relação entre o consumo de energia e qualidade de secagem que tenha bom resultado e principalmente baixo consumo de energia tem se tornado um foco atual para pesquisadores. Segundo Simioni et al. (2008) a temperatura do ar na entrada do secador é um dos parâmetros essenciais para a análise do desempenho energético de processos de secagem, principalmente quando se trata de produtos em que a umidade final deve ficar próxima de 13%.

Para Carlesso et al. (2007) a eficiência energética dos processos de secagem pode ser obtida através de uma perfeita combinação entre a temperatura e o fluxo do ar de secagem. Mudanças para os extremos na temperatura implicam em menor gasto de energia por unidade de água removida e maior taxa de secagem, apesar do aumento no fluxo de ar reduzir a eficiência energética pelo aumento no consumo de energia, ele também aumenta a velocidade de secagem. Portanto, estes dois parâmetros são os de maior flexibilidade em um sistema de secagem, sendo ambos responsáveis pela quantidade de água removida no processo de secagem e pela qualidade final do produto. Durante a secagem a frio, é comum o uso de canalizadores de ar forçado visando reduzir o tempo de processo, pois este mecanismo forma um túnel que conduz o ar frio de secagem de forma que passe por toda a camada de produto.

Ainda na linha de eficiência energética, pesquisas recentes têm procurado melhorar esta combinação através do uso de inversores de frequência e do controle automático da rotação dos motoventiladores de sistemas de secagem, estes mecanismos atuam diretamente sobre a potência útil mecânica do equipamento insuflador de ar, gerando vazões de ar variáveis no sistema e reduzindo o consumo de energia ao evitar o funcionamento em carga nominal (SOUZA et al., 2009; TERUEL et al., 2008; SILVA, 2010).

2.1.5 Umidade e atividade da água

As características e propriedades dos produtos vegetais interferem no processo de transferência de calor e massa, influenciando características de imensa importância no produto final. A umidade é uma destas características que tem grande importância na cinética de secagem, assim como na qualidade final do produto. O teor de água de um produto pode ser entendido como a proporção direta entre a massa de água existente no produto e sua massa seca, ou seja, a que não possui água.

Durante a secagem a maneira como a água é removida, assim como a quantidade influenciam nas alterações das propriedades físicas dos produtos. O modo como ela afeta as propriedades dos alimentos é complexo, devido à interação entre a água e o meio, envolvendo a estrutura física de secagem e a composição química dos solutos. É preciso ainda considerar a participação da água nas transformações químicas, bioquímicas e microbiológicas dos alimentos.

A atividade da água (a_w) quantifica o grau de ligação da água contida no produto e como consequência, a disponibilidade para atuar como um solvente nas

reações metabólicas do produto. A atividade da água pode ser expressa pela relação entre a pressão de vapor de água em equilíbrio sobre o alimento e a pressão de vapor da água pura (Eq. 1), à mesma temperatura, ou seja, a umidade relativa em equilíbrio com o produto na mesma temperatura considerada.

Equação 1
$$A_w = \frac{P}{P_o}$$

Em que:

P = pressão parcial de vapor da água no produto;

Po = pressão de vapor da água pura.

O valor máximo para a atividade de água de qualquer produto é sempre inferior a 1 e no estado de equilíbrio existe uma igualdade entre a umidade relativa do ar e a atividade de água do produto, que é chamado de umidade relativa de equilíbrio. Assim, é possível utilizar as curvas de equilíbrio, ou isotermas de sorção de umidade de cada produto para conduzir a secagem e estabelecer a umidade final ou atividade de água do produto, tal que garanta nas condições de estocagem (temperatura e umidade relativa do ar) a integridade biológica do produto (Figura 2).

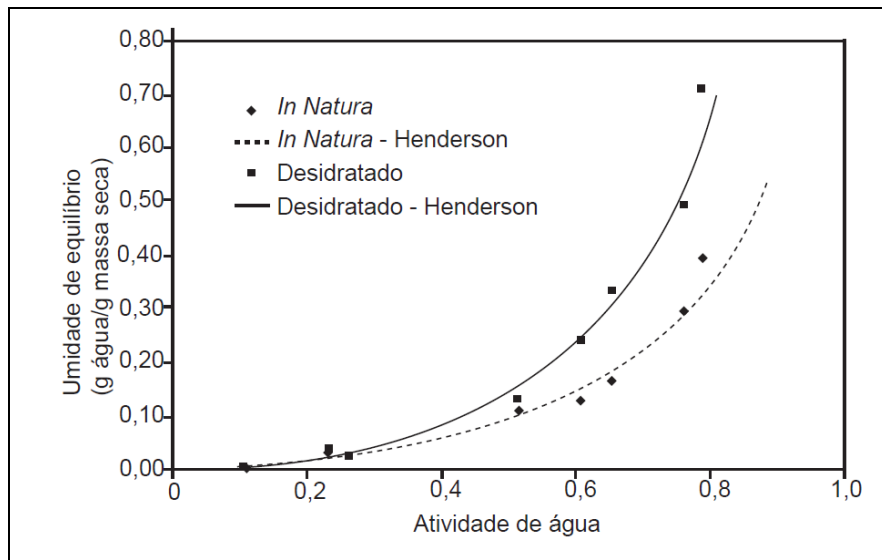


Figura 2. Isotermas de sorção de cogumelo in natura e desidratado osmoticamente a 80 °C (KUROZAWA, et al., 2005).

A perda de água dos produtos hortícolas é diretamente proporcional à perda de massa, o que justifica os métodos de determinação de umidade de produto por diferença de massa. A taxa de perda de massa durante secagem de produtos hortícolas pode variar segundo o tipo de produto, método e equipamentos de secagem, tipo de embalagem e principalmente o manejo do sistema de secagem (TERUEL et al., 2001).

A perda de massa dos produtos hortícolas não ocorre a uma taxa constante, sua evolução acompanha o progresso da secagem, ou seja, com o avanço da secagem, sob condições fixas, a taxa de perda de massa diminui. As variações durante o processo só podem ser determinadas através do monitoramento constante da diferença de massa no decorrer do tempo (Eq. 2).

Equação 2
$$X = X_i - \frac{dX}{dt} t$$

Onde:

X = Umidade em base seca (%);

X_i = Umidade inicial do produto em base seca (%);

$\frac{dX}{dt}$ = Variação da umidade no tempo (%.s⁻¹).

A umidade interna da estrutura de secagem pode ser expressa através da umidade relativa do ar que é definida como a razão entre a pressão de vapor d'água em um determinado momento e a pressão vapor d'água quando o ar está saturado de umidade para a mesma temperatura. Além disso, pode-se determinar a umidade a partir da diferença entre a temperatura de bulbo úmido e a de bulbo seco. Como na secagem a transferência de massa também depende da umidade relativa do ar na câmara de secagem, as informações referentes à temperatura e umidade relativa do ar são bastante úteis na determinação da amplitude dos parâmetros do processo.

2.2 Sistemas de pesagem no processo de secagem de produtos agrícolas

A determinação da massa fresca e massa seca de vegetais além de importantes indicadores das condições físicas e químicas dos produtos, servem de fonte de informações referentes ao desenvolvimento e manejo do produto durante cultivo, principalmente da interação do sistema solo – água – planta, pois o acúmulo de minerais e matéria seca ocorrem em função da nutrição e boa interação da planta com o ambiente. Pessoa et al. (2010) estudaram a quantidade dos principais componentes da fibra de açaí após secagem dos frutos e remoção da polpa através do uso do método de pesagem estática variando por ciclos de carregamento da balança.

As propriedades físicas dos produtos agrícolas são influenciadas diretamente pela secagem, uma vez que através da redução de seu teor de água as atividades biológicas, físicas e químicas dos produtos também diminuem. Resende et al. (2008)

procuraram investigar variações nas propriedades físicas de feijões em função de seu teor de água e de outros fatores durante a secagem através de medidas da perda de água utilizando valores de massa específica aparente e unitária. Apesar da modelagem não ter considerado a dinâmica do processo térmico e a pesagem ter sido estática, os autores conseguiram uma representação linear das variações em função do teor de água.

A presença de equipamentos de pesagem é essencial para o monitoramento da eficiência dos processos térmicos de secagem de produtos hortícolas. A metodologia de ciclos de pesagem do material submetido à secagem até atingir massa constante é amplamente citada na literatura como técnica para certificar que a água foi plenamente removida (MASETO et al., 2008). Em Soares et al. (2007) uma balança semi - analítica é utilizada para obtenção da umidade e controle da secagem de folhas de manjericão.

Embora o fato de medir em intervalos constantes a variação na massa de produtos agrícolas que tenham sido submetidos à secagem seja justificado pela necessidade de monitoramento da eficiência e término do processo, a aplicação de sistemas de pesagem dinâmica durante a secagem é pouco disseminada, pois os processos térmicos de secagem ocorrem em estruturas e/ou equipamentos completamente fechados, a metodologia empregada atualmente consiste na interrupção do processo, retirada do material em tratamento e pesagem do mesmo em balanças externas ao processo, sendo essa metodologia fundamentada no fato de que o uso de instrumentos de medição em locais com temperaturas bastante elevadas ou umidade relativa alta, compromete a eficiência dos equipamentos e dos sinais gerados, além de que a eletrônica presente em tais equipamentos pode não suportar a condição climática no interior de estruturas de secagem (GONZÁLEZ e HERRADOR, 2007).

De fato, a aplicação da pesagem dinâmica no processo de secagem aperfeiçoaria o tratamento térmico dado aos produtos agrícolas, tanto no âmbito de qualidade e eficiência no tempo de processo, como também na redução do consumo de energia. Ao considerar as limitações existentes para a inserção de instrumentos de controle como balanças de precisão, em processos agrícolas onde variações ambientais, mecânicas e/ou físicas estão constantemente presentes é possível constatar que através do uso das ferramentas desenvolvidas pela agricultura de precisão juntamente com as técnicas de controle automático, o uso de tais equipamentos em processos térmicos é viável (SERRANO et al., 2007; TERUEL, 2010; FREITAS et al., 2002).

2.3 Sistemas de medição

Um sistema de medição tem como objetivo principal identificar o valor de uma variável física a qual deverá ser quantificada e utilizada para gerar conhecimento, auxiliando na tomada de decisão do processo envolvido.

Quando se tem como objetivo monitorar ou controlar um sistema, são instalados sensores que transformam um fenômeno físico em sinais elétricos. Os sinais elétricos produzidos variam de acordo com os parâmetros físicos que estão sendo monitorados, e devem ser condicionados para fornecerem sinais apropriados para a placa de aquisição de dados. Deste modo, tem-se que um sistema de medição de grandezas físicas deve ser formado por partes distintas, que são compostas pela integração de um elemento sensor capaz de captar fenômenos físicos, um transdutor para emitir o sinal do fenômeno físico medido junto com o condicionamento do sinal gerado que irá permitir que ele seja processado e emitido como sinal de saída (Figura 3).

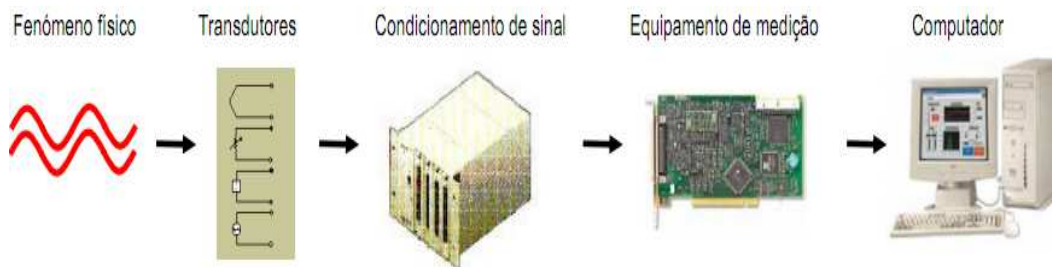


Figura 3. Partes de um sistema de medição.

A automação dos processos tem sido alcançada devido aos avanços na interação entre mecanismos mecânicos e eletrônicos e principalmente pelo desenvolvimento de instrumentos capazes de medir com elevada exatidão, alta sensibilidade e alta resolução procedimentos e variabilidades envolvidas (TERUEL 2010).

Como atualmente, diversos mecanismos têm sido empregados nas atividades agropecuárias com objetivo de aquisição de informações que possibilitem intervenção direta durante a produção, as pesquisas mais recentes nessa área têm procurado desenvolver sensores ou interações com ferramentas computacionais que permitam obtenção de informações e atuação em tempo real (ADAMCHUK et al., 2004).

2.4 Instrumentação de sistemas de secagem

A seleção de sensores deve atender prioritariamente às exigências e condições do processo, as características estáticas (range, precisão, exatidão, repetitividade e sensibilidade) e às características dinâmicas (tempo de resposta). A necessidade de maior volume de informação no menor espaço de tempo tem direcionado pesquisas que avaliem a viabilidade e qualidade da obtenção de informação em tempo real.

A aplicação de redes de sensores sem fio que permitem monitoramento das alterações em ambientes protegidos em tempo real tem apresentado alto potencial em confiabilidade, baixo custo e pouca exigência em infraestrutura, o que possibilita sua utilização em diferentes culturas (RIQUELME et al., 2009).

O uso de sensores sem fio tem possibilitado não apenas a aquisição de dados como também o aprendizado e tomada de decisão. Anurag et al. (2008) desenvolveram um modelo de aquisição de conhecimento e tomada de decisões utilizando rede de sensores sem fio construindo uma nova rota para o algoritmo, baseado numa hierarquia estatística. Em Vellidis et al. (2008), é exposto o desenvolvimento de um sistema inteligente para manutenção de um sistema de irrigação em tempo real, atuando sobre o momento de ação do controlador e quantidade específica para atuação.

Para que os sinais dos sensores possam ser bem utilizados pela placa de aquisição de dados, estes devem passar pela etapa de condicionamento do sinal onde é feita a amplificação, excitação, atenuação, isolamento e remoção de interferências através de filtragem. Antes da definição das estratégias e do desenho do sistema de aquisição de dados, deve-se realizar um estudo preliminar contemplando as variáveis mensuráveis e as que serão controladas, para a partir daí definir o tipo de equipamento, sensor e técnica de condicionamento de sinal a ser utilizado.

2.5 Instrumentação de sistemas de pesagem dinâmica

Devido à necessidade de monitoramento das características de um elemento ou produto em tempo real, o uso de sensores para determinar as oscilações de massa, torque, tensão e compressão tem contribuído intensamente para tomadas de decisão em relação a determinados processos.

2.5.1 Sensores de força

A aplicabilidade dos sensores de força tem feito com que diversas pesquisas avaliando seu potencial ou viabilidade de implantação em procedimentos agrícolas sejam desenvolvidas, principalmente no intuito de obter sistemas de pesagem ou de medição de grandezas mecânicas ou físicas em tempo real, além de serem capazes de compensar erros de leitura devido às variações de operação. Bergeijk et al. (2001) conseguiram reduzir o desvio padrão de um sistema de aplicação localizada de fertilizante a taxa variável utilizando sensores de força como estratégia para compensação de erros na distribuição.

Em análise do desempenho de uma sonda de dissipação térmica na medida de transpiração de plantas de lima ácida, Delgado - Rojas et al. (2007) utilizaram lisímetros com sistema de pesagem baseado num conjunto composto por três células de carga para determinar a transpiração das plantas através da diferença de massa.

Em Lopes et al. (2006), é apresentada a análise técnica de um sistema de pesagem aplicado em carregamento de madeiras, o equipamento desenvolvido utiliza um sensor de força para determinar indiretamente a massa do material colhido. Saraiva et al. (2000) avaliaram a capacidade e consistência dos dados gerados por um sistema de pesagem de colheita manual de cana de açúcar. Devido ao fato de que sistemas de pesagem dinâmica exigem um alto grau de exatidão e confiabilidade dos equipamentos utilizados, é bastante comum o uso de extensômetros e células de carga extensométricas como sensores de medição de forças.

2.5.2 Extensômetros

O funcionamento dos extensômetros está baseado numa análise quantitativa da relação entre a tensão sofrida por um objeto e a deformação (contração ou extensão) de um elemento metálico sensível (GOMES et al., 2002). A tensão também chamada de força interna ou força de repulsão é na verdade uma força gerada como resposta a uma força externa aplicada sobre o objeto, normalmente a força peso exercida pela massa do objeto associada à força gravitacional. A deformação sofrida pela barra ou estirante metálico é baseada na lei da elasticidade proposta por Hook, que aborda a relação proporcional entre a tensão aplicada e a deformação sofrida. A deformação do elemento metálico é transmitida ao extensômetro que sofre uma mudança em sua resistência ôhmica, a qual é utilizada para determinar os valores de força ou pressão aplicados sobre o elemento metálico.

Deste modo temos:

Equação 3
$$\delta = \frac{P}{A}$$

Onde:

P = é o produto da massa pela aceleração da gravidade, (N);

A = área da base ou secção transversal do objeto (m²);

δ = tensão (Pa ou N.m⁻²).

Equação 4
$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

Onde:

ΔL = variação na extensão da barra (m);

L = tamanho original da barra (m);

ϵ = deformação do metal (adimensional).

Em vários materiais a relação entre a tensão e a deformação tem sido obtida experimentalmente, concreto (SILVA et al., 2002), metais (MUTZENBERG et al., 2004; ANTUNES e ANTUNES, 2007), plástico (COLTRO et al. 2008; CORREA et al., 1999), madeira (MOLINA e CALIL JÚNIOR, 2009; CAIXETA et al., 2003) e elementos mistos (LIMA JÚNIOR et al., 2010). A Figura 4 mostra a relação típica entre a tensão e a deformação em metais.

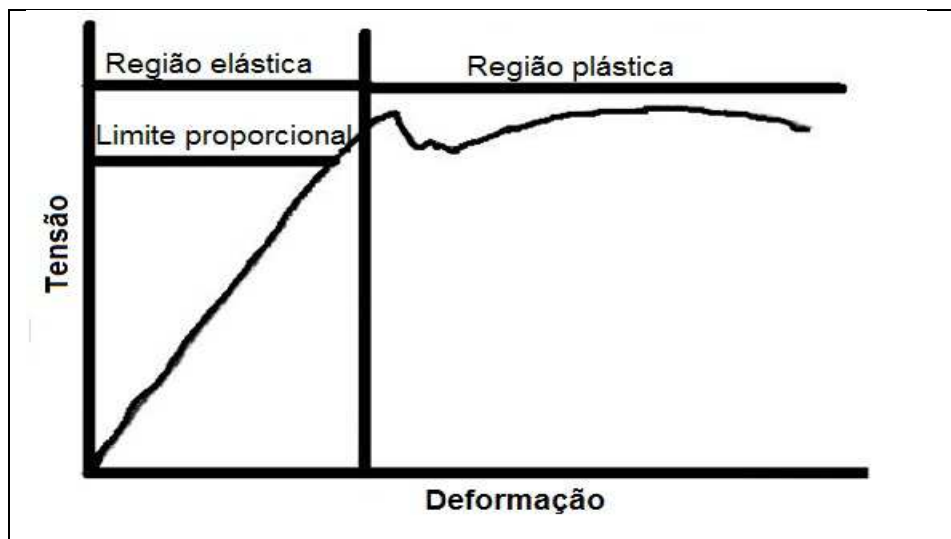


Figura 4. Relação existente entre a deformação e a tensão de materiais duros (Adaptado de KIOWA, 2010).

A região onde a tensão e a deformação têm relação linear é chamada de limite proporcional, ou seja, é a região onde o elemento suporta tensões e retorna a sua forma original. A região determinada como plástica caracteriza o momento onde o elemento não é mais capaz de retornar a sua forma original, ocorrendo em muitos casos o cisalhamento e fadiga do material, satisfazendo a lei de Hooke.

Equação 5
$$\delta = \epsilon \cdot E$$

Onde:

δ = tensão (Pa ou N.m²);

ϵ = deformação do metal (adimensional);

E = Módulo de elasticidade (Pa ou N.m⁻²).

Assim, é possível obter a tensão por medida indireta através do uso da lei da elasticidade, ou seja, medindo a deformação sofrida pelo elemento metálico (LIMA JÚNIOR et al., 2010; LIMA JÚNIOR et al., 2005; FERREIRA e RINO, 2006). Geralmente o elemento utilizado é uma mistura de cobre e níquel que tem uma taxa de mudança de resistência proporcional a deformação com certa constância. Assim temos:

Equação 6
$$\frac{\Delta R}{R} = K \cdot \epsilon$$

Onde:

R = resistência original do extensômetro (Ohm);

ΔR = variação da resistência metálica (Ohm);

ϵ = deformação do objeto (adimensional);

K = coeficiente de expansão do material (adimensional).

Como a medida da deformação com alta precisão é extremamente difícil devido a mudanças instantâneas, não é possível que tais medidas sejam feitas com medidores Ôhmetros convencionais. Assim, as mudanças de resistência têm sido ampliadas e medidas usando os circuitos elétricos conhecidos como pontes de Wheatstone.

2.5.3 Células de carga extensométricas

Células de carga são transdutores extensométricos, onde um sinal elétrico é obtido através de uma solicitação resultante de alguma força aplicada ou exercida sobre a célula de carga. A deformação sofrida pela célula de carga causa uma deformação

proporcional no extensômetro que está colado em seu corpo, causando uma variação na resistência elétrica do extensômetro e gerando um sinal elétrico capaz de determinar a magnitude da sollicitação mecânica atuante sobre o equipamento. Em virtude da relação direta de proporcionalidade existente entre esta força externa atuante e as características do corpo da célula de carga (geometria, material) com a deformação dos extensômetros, é importante que a preservação da deformação tanto no ciclo inicial de pesagem quanto nos ciclos subsequentes independentes das condições ambientais seja garantida.

Para garantir que a variação da resistência elétrica ocorrida em razão de alguma atuação externa sobre a célula de carga seja preservada durante todo o ciclo de pesagem e que variações ambientais não alterem o sinal a ser emitido pelo equipamento, é bastante comum o uso da ponte de Wheatstone. A ponte, como mostra a Figura 5, consiste na ligação de quatro extensômetros juntos, pois de acordo com Roballo et al. (2009) esse tipo de montagem dos extensômetros aumenta a sensibilidade, a linearidade e a estabilidade, sendo que neste circuito podem ser incorporadas técnicas de correção e compensação de erros, principalmente os gerados por temperatura. Ao realizar um ensaio em túnel de vento, os autores utilizaram extensômetros configurados no formato de ponte de Wheatstone para corrigir e manter a temperatura de um anemômetro de fio quente constante durante a obtenção da velocidade de escoamento do ar no interior do túnel.

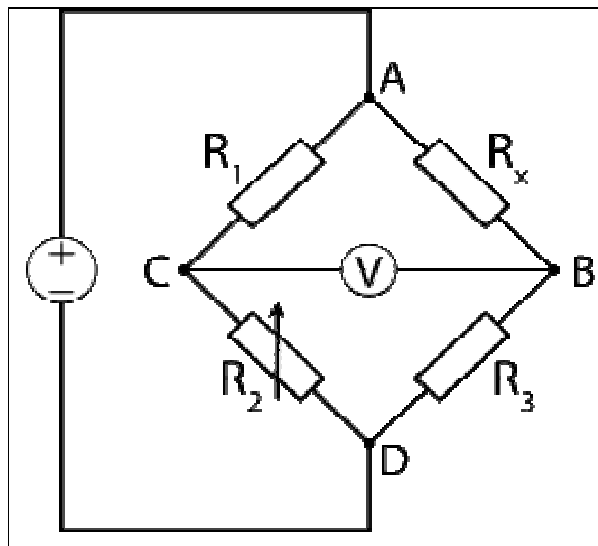


Figura 5. Ponte de Wheatstone.

As células de carga são classificadas de acordo com o princípio de funcionamento, podendo ser hidráulicas (LOPES et al., 2006), pneumáticas (RAFFUL et al., 2006) e eletrônicas (REINERT et al., 2007). Em relação ao tipo de força aplicada

as células de são classificadas como tipo “S” (SANTO et al., 2010) e de flexão (LEÃO et al., 2007), conforme mostra a Figura 6.



Figura 6. Células de carga tipo “S” (a) e célula de carga tipo flexão (b).

Atualmente o emprego de células de carga extensométrica sem mecanismos de calibração e implementação de sistemas de medições industriais tem sido bastante comum. Em Leão et al. (2007), uma célula de carga foi utilizada para desenvolvimento de um dispositivo de calibração de sensores de umidade do solo, o qual tem seu funcionamento baseado na variação de massa de água nas amostras de solo. Os autores conseguiram desenvolver um dispositivo capaz de operar com sensibilidade correspondente a variação de 12,28 mL de água e cargas máximas e mínimas de solo variando entre 1,0 e 50,0 kg.

Tavares e Lima (2006) conseguiram obter resultados consistentes para fraturas de partículas em intervalo de tempo de interesse na fragmentação. Os resultados foram obtidos através do uso de uma célula de carga de impacto, a qual forneceu os parâmetros referentes à deformação e fratura de partículas individuais, assim como resistência, energia específica de fratura e rigidez de partícula.

De acordo com Vargas (2006) as principais limitações no emprego de células de carga em sistemas de pesagem para indústria consistem nos problemas oriundos da variação de temperatura e umidade, pois podem causar erros de leitura, mudança de zero ou spam; os problemas causados por vibrações também podem comprometer o uso de células de carga, pois estes afetam a precisão e estabilidade de leitura dos sinais.

Outros dois problemas encontrados em sistemas de pesagem é o efeito de histerese e repetibilidade. O primeiro é decorrente de trocas térmicas com ambiente da

energia elástica gerada pela deformação, produzindo resultados diferentes para as mesmas etapas de pesagem durante ciclos de carregamento e descarregamento sucessivos, enquanto o segundo consiste no fato do sistema não indicar o mesmo valor de pesagem decorrente da aplicação da mesma carga sucessivamente.

2.6 Planejamento experimental de testes

Para que o sistema experimental seja desenvolvido, é preciso que conceitos básicos de sistemas de medição de grandezas e de processos, assim como seus erros a partir da instrumentação utilizada sejam descritos. A descrição das partes que envolvem os sistemas e a escolha dos sensores e equipamentos de medição deve ser definida a partir da determinação das variáveis a serem mensuradas e da análise de disponibilidade de ferramentas para manipulação dos dados que seja aplicável ao sistema proposto.

2.6.1 Calibração de sistemas dinâmicos

Em geral, uma das principais características de sistemas dinâmicos é a existência de um comportamento não linear. Segundo Aguirre et al. (1999) um sistema é classificado como dinâmico quando o valor atual de sua saída depende do valor atual de entrada e também da evolução temporal do sinal de entrada e de saída. Considerando a influência dos fenômenos externos ao sistema, o fato do sensor não ser um dispositivo ideal e ainda a variação da resposta frente à dinâmica do processo (histerese, não linearidade, repetitividade, sensibilidade), torna-se necessária a definição do funcionamento anômalo do equipamento através da calibração do sistema.

Para que a calibração do sistema completo (secagem e pesagem) seja feita, é preciso que o comportamento da pesagem seja analisado no decorrer do processo de secagem, pois este altera os valores de entrada do sistema de pesagem numa evolução temporal. Esse efeito pode ser visto na curva característica do processo de secagem (Figura 7), onde a redução do teor de água até que um valor de *setpoint* (regime permanente) seja alcançado, faz com que a massa também seja alterada desde o princípio (regime transiente). O modelo matemático final do processo é descrito através de uma função exponencial decrescente.

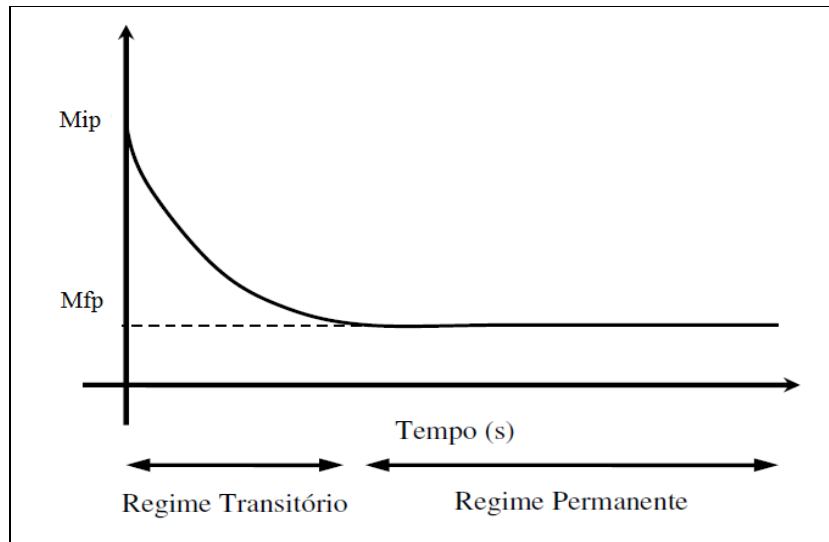


Figura 7. Curva característica do processo de secagem (Adaptado de SILVA, 2010),
 M_{ip} é a massa inicial de produto; M_{fp} é a massa final do produto.

Como as alterações na temperatura afetam o comportamento e resistência dos elementos metálicos, inclusive os que constituem os extensômetros utilizados em sistemas de pesagem são esperados que erros nos sinais obtidos ocorram. Entendendo a calibração como sendo uma relação entre os valores indicados pelo sistema de medições e os valores correspondentes as grandezas estabelecidas por padrões, os valores dos erros podem ser obtidos através de testes e construção de curvas de calibração do equipamento.

2.6.2 Fatores que intervém no sistema de medição

González e Herrador (2007) consideram que o uso de instrumentos de medição e sua submissão a trabalho em baixas ou altas temperaturas podem causar erros nos sinais adquiridos. O autor averiguou que sinais gerados por instrumentos em baixas temperaturas são factíveis a presença de erro devido à alteração das propriedades térmicas e elétricas de alguns instrumentos.

Embora Kiowa (2010) defenda que o grau de proteção e robustez de células de carga que tem vários extensômetros acoplados em sua estrutura, seja capaz de gerar sinais com baixo valor de erro, estes ainda devem ser medidos e se necessário corrigidos, principalmente em casos onde as medições podem em algum momento ultrapassar as faixas do valor de erro assumido pelo fabricante, ou o equipamento estiver sujeito a condições externas que gerem interferências nas medições, pois de

acordo com Gregory et al. (2010), a deformação de extensômetros é influenciada pela temperatura, refletindo em alterações de sua resistência ôhmica.

Além dos problemas causados pela influência de elementos ambientais, existe uma série de erros que podem ocorrer em sistemas instrumentados, principalmente pelo fato do sensor não ser um dispositivo ideal e de sua resposta variar frente à dinâmica do processo, abaixo eles são tratados isoladamente.

2.6.3 Linearidade

O erro de linearidade, ou a não linearidade de instrumentos de medição é definido pelas normas NBR 8197 (2002), NBR 10583 (1989) e NBR 10584 (1989) como sendo o desvio máximo em função da curva de resposta e uma reta de referência unindo os pontos de máximo e mínimo, de forma que a maior distância entre os pontos será tomada como erro de linearidade (Figura 8).

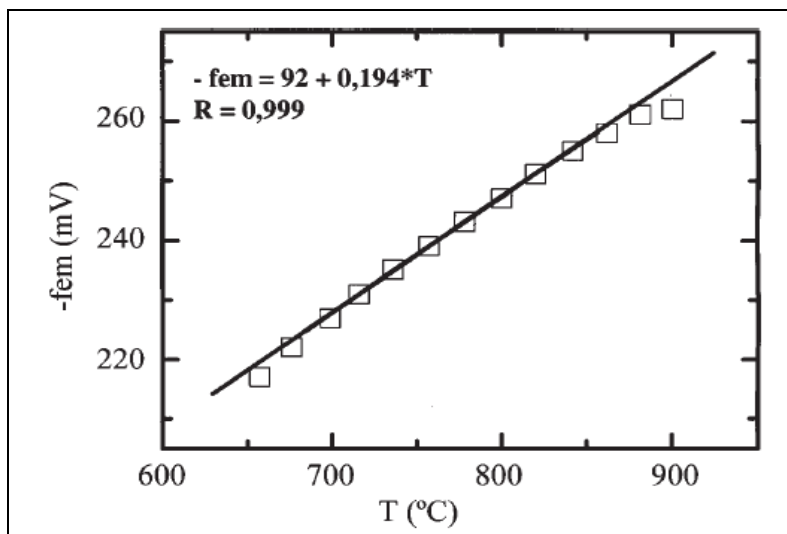


Figura 8. Linearidade da força eletromotriz de um sensor de oxigênio com a temperatura de funcionamento (STEIL et al., 2002).

2.6.4 Histerese

O erro de histerese de instrumentos de medição é definido pelas normas NBR 8197 (2002), NBR 10583 (1989) e NBR 10584 (1989) como sendo o desvio máximo em função da curva de resposta crescente e a curva de resposta decrescente unindo os pontos de máximo e mínimo, considerando todos os ciclos de medição (Figura 9).

2.6.5 Repetibilidade

Segundo VIM (2008) e de acordo com as normas NBR 8197(2002), NBR 10583 (1989) e NBR 10584 (1989) o erro de repetibilidade corresponde a máxima diferença entre medidas feitas seguindo uma única direção, ascendente ou descendente, considerando todos os ciclos de medição (Figura 9).

2.6.6 Erro combinado

Erros são diferenças algébricas entre os valores indicados pelo sistema de medições e o valor real do mensurando. Os erros não podem ser eliminados, mas conhecendo seu comportamento ele pode ser reduzido ou corrigido. O erro combinado é o desvio máximo entre a reta de referência e a curva de calibração, incluindo os efeitos de não linearidade, histerese e repetibilidade, ele é expresso em porcentagem do sinal de saída nominal do instrumento (Figura 9).

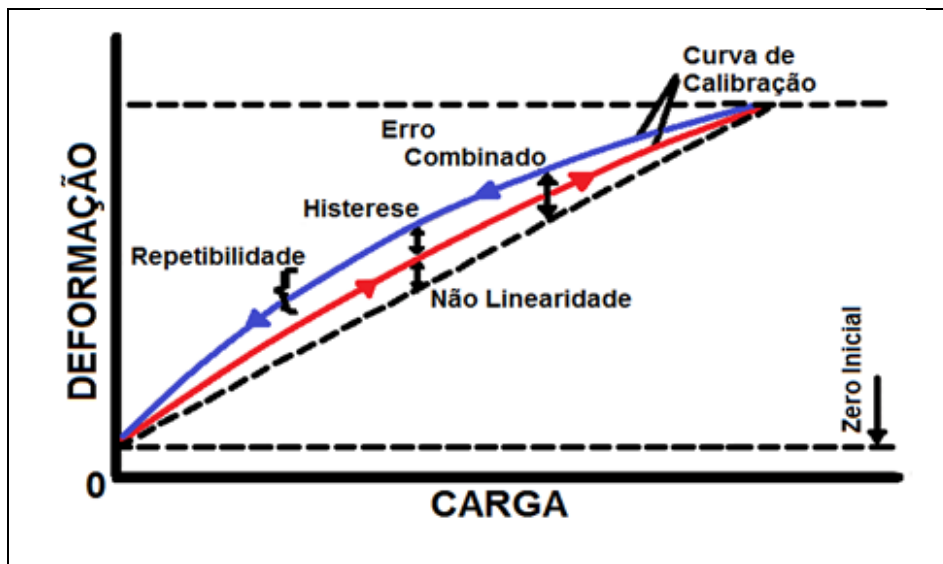


Figura 9. Curva de calibração de erros, linearidade, não linearidade, histerese e repetibilidade (KYOWA, 2010).

2.6.7 Sensibilidade

É a relação entre a variação do sinal de saída e a variação do sinal de entrada, podendo ser representada como o grau de inclinação da curva de calibração do sistema (Figura 10).

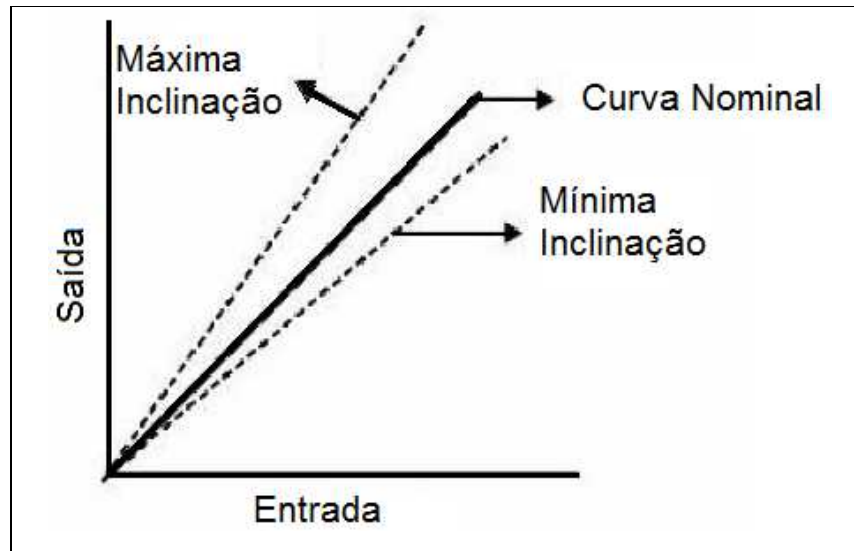


Figura 10. Sensibilidade (Adaptado de MORA, 2008).

2.6.8 Resolução

É o menor valor de leitura no instrumento indicador, sem uso de interpolação (VIM, 2008).

2.7 Características dos sinais

Os instrumentos utilizados para obterem sinais referentes a grandezas físicas são em sua maioria dispositivos analógicos, os quais medem sinais reais de características analógicas, para que o processamento digital dos sinais obtidos seja feito, é necessário que os mesmos sejam convertidos para o formato digital. A conversão dos sinais de analógicos para digitais é realizada mediante a ação de uma série de equipamentos e mecanismos que sincronizados processam, determinam e disponibilizam conforme a necessidade a grandeza física medida.

Regazzi et al. (2005) assinala que para converter um sinal analógico, é preciso haver compatibilidade entre o sinal de entrada e o conversor analógico digital (AD), é necessário também que o sinal de entrada seja filtrado, amostrado e quantificado pelo AD. A última etapa no processamento digital dos sinais analógicos consiste na conversão do sinal quantificado de volta para o domínio analógico, porém para que isso ocorra agora são necessários um conversor digital analógico (DA), um filtro de reconstrução e um *buffer* de saída para alimentar a carga.

Em alguns casos, os sinais medidos pelos instrumentos sensores não possuem tensão o suficiente para atender a faixa de operação do conversor analógico/digital, desse modo o sinal deve ser amplificado até alcançar o ponto de operação (SOUZA e CANTO, 2004). Em outros casos pode ocorrer o oposto da necessidade de amplificação, como uma medição também pode gerar tensões superiores a faixa de operação do próximo componente, o sinal deve ser atenuado até um ponto de funcionamento que atenda a especificação e necessidade do equipamento seguinte.

Em processamento de sinais, entende-se como filtragem a remoção de ruídos visando melhorias na interpretação e utilização dos dados. Na literatura são encontradas diferentes propostas de filtros (TOBIAS e SEARA, 2003; GALVÃO et al., 2001), porém, segundo Grover e Deller (1998), como o filtro é um dispositivo onde um sinal dependente do tempo é modificado dependendo de sua frequência, os filtros digitais podem estar definidos dentro de quatro categorias, sendo a primeira os filtros passa baixa, os quais permitem que apenas frequências abaixo de um valor definido permaneçam (SANTOS e OLIVEIRA, 2005; CARVALHO et al., 2010; SILVA et al., 2005), a segunda os filtros passa alto, onde o conteúdo de alta frequência no sinal analisado é separado dos demais (SILVA et al., 2005), a terceira os filtros passa banda, os quais situam os sinais e permitem a passagem apenas dentro de uma faixa específica (RECH et al., 2008) e a quarta os filtros rejeita banda, onde todas os sinais em todas as frequências passam, exceto os que se situam numa determinada faixa ..

2.8 Sistema de aquisição de dados

De acordo com Garcia et al. (2003) a aquisição de dados é um dos principais problemas encontrados nas pesquisas em máquinas agrícolas. Para estabelecer parâmetros referentes ao desempenho destes equipamentos uma série de variáveis necessita ser monitorada. O objetivo de um sistema de aquisição de dados é apresentar ao observador, os valores das variáveis ou parâmetros que estão sendo medidos de acordo com uma unidade de medida que representa o valor real da variável obtido pelo sensor de medida.

Fazem parte do sistema de aquisição de dados as funções de coleta e agrupamento dos sinais, transformação, filtragem e processamento de sinais da maneira mais conveniente.

A taxa de aquisição de dados é definida no início do projeto, pois ela também interfere na escolha dos equipamentos de processamento a serem utilizados,

principalmente na placa de aquisição de dados. O uso da taxa de amostragem no mínimo duas vezes a frequência máxima do sinal amostrado é aceitável (USIDA et al., 2009) embora o recomendável é utilizar uma taxa pelo menos cinco vezes a frequência máxima do sinal amostrado, contudo sem exceder a capacidade de medição do sensor de acordo com seu tempo de resposta (MAGNAGO et al., 2010).

2.9 Considerações do estado da arte da temática em estudo

-Sistemas dinâmicos de pesagem têm sido incorporados às atividades agrícolas como ferramentas da agricultura de precisão, no entanto até o momento sua inserção tem ocorrido apenas em projetos de avaliação e desenvolvimento de máquinas agrícolas destinadas a operações em campo.

- A metodologia convencional de avaliação dos níveis secagem através da análise periódica do teor de água do produto, permite a ocorrência de perda de produto devido a erros de análises por parte do responsável pelo tratamento;

- Existem poucos trabalhos que tratam a desidratação de uvas como uma técnica viável ou propondo formas padronizadas para efetuar-la a fim de obter adequação ou melhoria da matéria prima para vinificação.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizadas uvas da cultivar americana Niágara rosada (*Vitis labrusca*), pois esta, além de estar bastante estabelecida em diversos vinhedos brasileiros com alta produtividade, possui diferentes possibilidades de comercialização (sucos, vinhos, mesa).

Visando garantir a maior homogeneidade possível das amostras, menor tempo entre a colheita e a experimentação, assim como a transferência da tecnologia desenvolvida para a cadeia produtiva, optou-se por adquirir as uvas diretamente do produtor, pois o material disponível no mercado ou nas centrais de abastecimento – CEASA poderiam estar em estado avançado de maturação e senescência.

Para os ensaios preliminares foram utilizadas uvas cultivadas numa propriedade agrícola situada no município de Louveira, (latitude 23°05'11" sul, longitude 46°57'02" oeste e altitude de 690 m) e temperatura média de 28 °C. Este município faz parte da região metropolitana de Campinas e pertence ao circuito das frutas e região vitivinícola do Estado de São Paulo. O sistema de condução do vinhedo é do tipo espaldadeira baixa, onde através de poda e uso de arames e tutores, o dossel vegetativo se estabelecesse na posição vertical (Figura 11).



Figura 11. Dossel vegetativo e sistema de condução das uvas Niágara rosada do vinhedo em Louveira

A safra das uvas Niágara rosada no município de Louveira ocorre tradicionalmente nos meses de dezembro e janeiro, no entanto há uma segunda safra no período entre Abril e Junho. A colheita das uvas para os ensaios da secagem foi feita na

última semana de Maio, sendo que o corte do cacho se deu no período da manhã, de modo a reduzir o tempo de exposição ao sol (Figura 12a). Após o acondicionamento em caixas com dimensões de 25x45x12cm e capacidade para até 7 kg, o produto foi transportado até o Laboratório de Termodinâmica e Energia da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas (LTE - UNICAMP), onde se realizou uma limpeza prévia (remoção do engaço e de bagas deterioradas ou comprometidas pela presença de fungos), distribuição das parcelas conforme o tratamento e amostragem para ensaios de secagem e caracterização físico-química no Laboratório de Tecnologia Pós-Colheita (Figura 12b).



(a)

(b)

Figura 12. Colheita de uvas (a). Amostragem para caracterização físico-química (b).

Os ensaios definitivos foram realizados também com uvas da variedade Niágara rosada. No entanto, como o período da safra em Louveira findou no mês de Junho foram utilizadas amostras coletadas num vinhedo comercial da Cidade de Jales na região noroeste do Estado de São Paulo. O município de Jales também é pioneiro na produção de uvas, tendo como principal diferencial em relação as demais regiões produtoras o seu período de safra que inicia em Julho e se finda em meados de novembro, possibilitando o abastecimento do mercado nacional no período de entressafra das demais regiões.

De forma similar a realizada com as uvas adquiridas em Louveira, as amostras foram transportadas ao Laboratório de Termodinâmica e Energia da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, limpas, selecionadas e submetidas às análises

físico-químicas e aos ensaios de secagem. O procedimento de amostragem consistiu na retirada aleatória de seis bagas por cacho, totalizando em média 150 bagas. As bagas foram retiradas em posições diferentes do cacho conforme proposto por Araújo et al. (2009). Esse procedimento foi realizado antes e após cada ensaio de secagem.

3.1 Análise físico-química

A caracterização físico-química das uvas foi realizada no Laboratório de Tecnologia Pós-colheita da Faculdade de Engenharia Agrícola, sendo efetuadas com base em metodologias específicas do INSTITUTO ADOLFO LUTZ (2005) a partir dos seguintes parâmetros pH, acidez titulável, sólidos solúveis (°Brix), polifenóis e umidade. Cerca de 150 bagas de uvas selecionadas aleatoriamente (seis bagas por cacho) foram maceradas para homogeneizar a amostra. A suspensão aquosa obtida foi em seguida peneirada para remoção das cascas, engaço e sementes e o mosto segregado para as respectivas análises físico-químicas. A perda de massa foi determinada em tempo real durante a secagem pelo sistema de pesagem dinâmica.

3.1.1 Sólidos solúveis

Para determinação do teor de sólidos solúveis em graus Brix, foi adotada a metodologia da refratometria, onde através de um refratômetro manual da Atago, modelo Pocket PAL-1 foi determinado o índice de refração em graus Brix do mosto das bagas de uva maceradas.

3.1.2 Umidade

Determinada através do método de gravimetria, utilizaram-se amostras aleatórias de bagas com massa total de amostra variando entre 10 e 25g, sendo acondicionadas em cápsulas metálicas previamente taradas. As amostras permaneceram em estufa a 55 °C, sendo retiradas e resfriadas em dessecador até atingir a temperatura ambiente. Esse processo foi repetido até a obtenção de massa constante do produto. Com a massa final do produto seco, a umidade é calculada por diferença de massa e expressa em porcentagem.

$$\text{Equação 7} \quad U_{bs}(\%) = 100 * \frac{m_w}{m_s}$$

Em que:

U_{bs} = umidade em base seca (%);

m_w = massa de água (g);

m_s = massa seca (g).

3.1.3 *Acidez titulável total (ATT)*

A ATT foi determinada pelo método da titulação volumétrica com indicador. Sub-amostras de 10 g da suspensão aquosa do mosto é separada num Erlenmeyer acrescidas de 50 mL de água e 4 gotas de solução fenolftaleína. A titulação com a solução hidróxido de sódio 0,1 M é feita até o ponto de viragem que tem como característica a coloração rósea. O valor da ATT é obtido através da equação 8.

Equação 8 $ATT = \frac{v*f*100}{P}$

Em que:

v = volume (ml);

f = fator de solução de NaOH;

P = massa da amostra (g).

3.1.4 *Determinação isolada do pH*

A leitura do pH da suspensão aquosa foi feita de modo direto com o auxílio de um potenciômetro digital (modelo B474 da Micronal) devidamente calibrado com soluções tampões.

3.1.5 *Determinação de polifenóis*

Para a extração dos polifenóis nas amostras utilizou-se uma solução extratora composta por soluções de etanol 90% e HCl concentrado. Do extrato aquoso de cada amostra é tomado 0,5 mL em tubo de ensaio, adicionando 4,75 mL de água destilada e 0,3 mL do reagente *Folin Ciocalteau*. A solução é homogeneizada e, após 3 min, acrescenta-se 0,9 mL de solução saturada de NaCO₃. Após 1 hora de repouso a temperatura de 75 °C, são realizadas as leituras em triplicata das absorbâncias em espectrofotômetro a 720 nm. Como padrão foi utilizado o ácido gálico, nas concentrações de 100, 150, 500 e 1000 mg.L⁻¹ para construir uma curva de calibração. A partir da reta obtida, foi realizado o cálculo do teor de fenólicos totais, expresso em mg de ácido gálico.100 g⁻¹ de mosto de uva (OBANDA e OWUOR,1997; LARRAURI et al.,1997; VARGAS, 2008).

3.2 Caracterização do sistema físico experimental

O sistema de pesagem dinâmica foi projetado e instalado no LTE, os processos de secagem foram determinados no interior de uma câmara fria adaptada para tais procedimentos.

O sistema térmico é composto por uma unidade evaporadora com capacidade frigorífica de $4.440 \text{ kcal.h}^{-1}$ à $-10 \text{ }^\circ\text{C}$; uma unidade condensadora que utiliza o refrigerante R – 22; temperatura de condensação de $-35 \text{ }^\circ\text{C}$; dois ventiladores de 1/15 HP (230 V; 0,65 A; TWE) com cinco pás de hélices de 300 mm de diâmetro e um compressor hermético de 1 HP monofásico além de um sistema de ar forçado composto por um exaustor e um túnel de ar forçado. O exaustor possui vazão de $2900 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$, potência de 3,73 kW (5 cv), tensão de 220 V, corrente de 12,9 A, $\cos \alpha$ de 0,88 e peso de 32 kg. Esse exaustor trabalha succionando o ar da câmara para o túnel de ar forçado expelindo-o novamente à câmara por uma saída lateral. O túnel formado em torno do produto está acoplado ao exaustor e possui 80 cm de comprimento por 66 cm de largura e 32 cm de altura, sendo que no final há um afunilamento de 28 cm de comprimento e largura final de 33 cm; a base do túnel fica 60 cm elevada do piso da câmara por um suporte móvel, como demonstra a Figura 13.

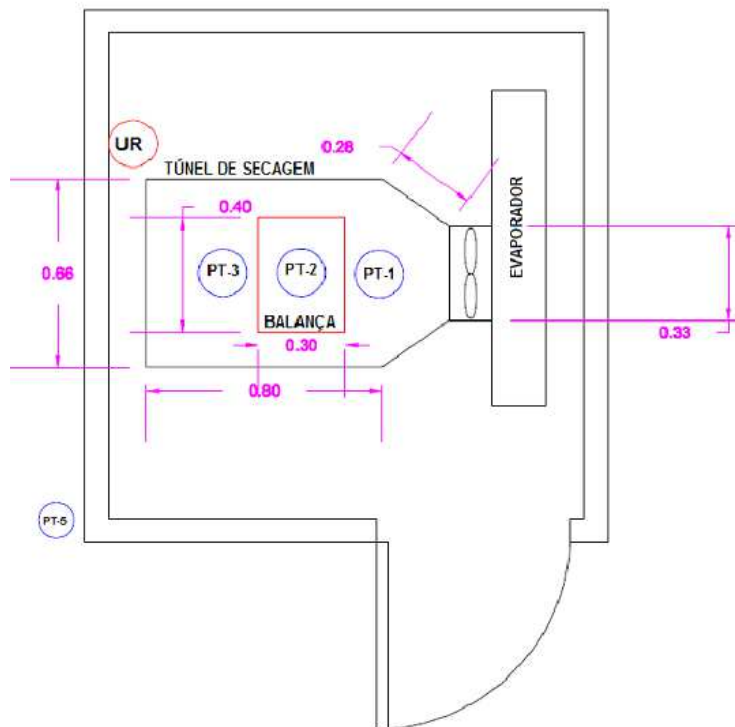




Figura 13. Câmara de secagem com túnel de ar forçado.

Para possibilitar a redução da umidade do ar de secagem, assim como permitir a obtenção das temperaturas utilizadas nos ensaios foi instalado um conjunto de termorresistências no interior da câmara frigorífica. O conjunto é composto por quatro termorresistências aletadas com voltagem nominal de 220 V e 600 W de potência cada, formando um banco com potência nominal de 2400 W. O banco de termorresistências foi instalado a frente dos motoventiladores do exaustor, de modo que o ar emitido pelos motoventiladores do exaustor circule aquecido e desumidificado.

A potência dissipada pelas termorresistências durante o funcionamento é inserida no sistema supervisório através da determinação da percentagem de carga térmica desejada, a qual irá regular a transferência de energia para as termorresistências através de uma ação de modulação por largura de pulso (PWM).

Por ser um sistema térmico fechado e projetado apenas para resfriamento e armazenamento de produto sob baixa temperatura, a câmara fria utilizada teve de ser adaptada para que a secagem, principalmente a alta temperatura, fosse possível de ser desenvolvida em seu interior. Podendo ser considerado como um fator de inovação metodológica, a adaptação com as termorresistências visou promover o aquecimento do ar de secagem, trazendo como principal consequência a condensação do vapor d'água nas superfícies mais frias.

A Figura 14 apresenta o esquema de posicionamento das termorresistências a frente dos motoventiladores do evaporador. Esta estratégia visa fazer com que o vapor

d'água se condense nas aletas do evaporador e através do tubo de drenagem a água seja removida do sistema de secagem.



Figura 14. Esquema de posicionamento das resistências e o dreno de água para o Sistema de secagem a quente.

3.2.1 Instrumentação do sistema

Em razão do interesse em conhecer o comportamento da perda de massa em tempo real, viabilidade energética, assim como o efeito dos parâmetros que regem o processo de transferência de calor e massa, a instrumentação do sistema é composta por equipamentos e sensores capazes de obter com elevada precisão informações referentes a temperatura, umidade relativa, perda de massa e consumo de energia.

Para pesagem dinâmica foi desenvolvida uma plataforma de pesagem acoplada à parte inferior do túnel de ar forçado. Este sistema de pesagem foi composto por duas partes relativamente independentes, a plataforma de pesagem e o módulo de interface homem máquina, no qual as informações referentes à perda de massa podem ser monitoradas e utilizadas para a obtenção de informações do processo em tempo real. A plataforma de pesagem é formada por duas chapas metálicas, uma sobre a célula de carga onde é colocado o material o qual será feita a pesagem e outra abaixo da célula de carga, sustentando o conjunto (Figura 15). A espessura das chapas foi definida considerando sua capacidade de sentir e transmitir à célula de carga a menor variação de massa possível, conferindo ao sistema de pesagem uma alta sensibilidade para operar tanto na atuação de carga nominal mínima e máxima da célula.

A célula de carga modelo PW12C3 marca HBM (Figura 15a) é o equipamento responsável pelo sistema de pesagem e está alocada no interior da plataforma de pesagem, suas principais especificações técnicas são descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Especificações técnicas da célula de carga.

PARÂMETROS	
Capacidade Nominal (kg)	75
Sensibilidade (mV/V^{-1})	2,0 +/- 0,1%
Máxima Sobrecarga sem alterações (%)	150
Grau de proteção	IP 67

Os sinais analógicos gerados pelos extensômetros da célula de carga são conduzidos por cabeamento até o indicador/transmissor, onde os sinais de tensão são amplificados, filtrados e convertidos em sinais digitais, o equipamento modelo WT-21 fabricado pela Weightech tem como principais características faixa de aplicação -0,1 ~ 4,0 mV/V; tensão de excitação da célula de $5V_{cc} \pm 5\%$, 120 mA; grau de proteção IP 65; opções de saída analógica de 4 a 20 mA ou porta serial RS485. O indicador fornece o valor da massa em tempo real, podendo a leitura do valor atual de massa ser feita pelo display digital e da dinâmica da perda de massa no sistema monitoramento através da transmissão dos dados via protocolo ModBus.

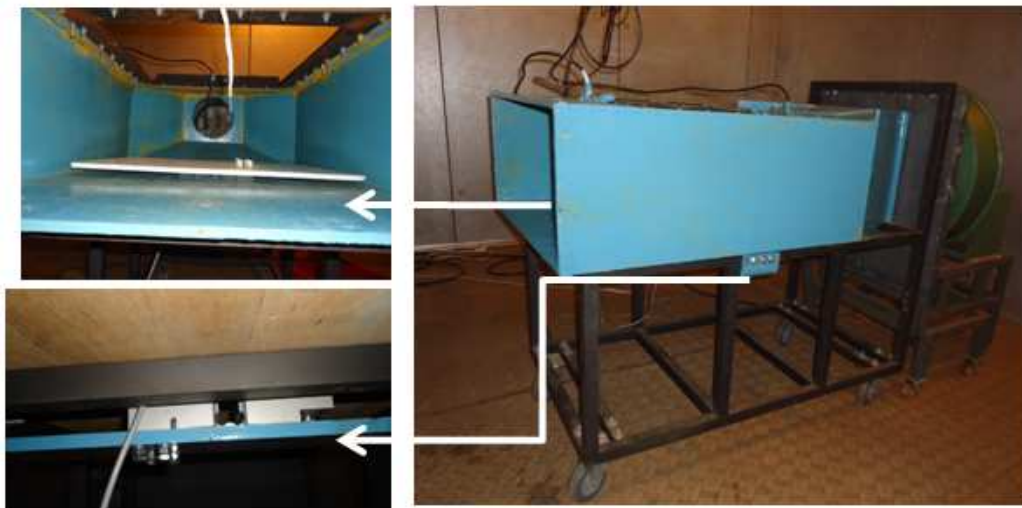


Figura 15. Esquema da plataforma de pesagem e célula de carga acoplada ao túnel de ar forçado.

Como a calibração do sistema é importante para que ele possa ter um ótimo funcionamento, é importante ajustá-lo através de técnicas de calibração. Deste modo, foi considerada a metodologia de calibração apresentada em Santos et al. (2006) e Reis et al. (2005).

As curvas de calibração foram obtidas através da adição e remoção coordenada de massas padronizadas em vários ciclos de carregamento e descarregamento, observando a faixa de utilização da célula de carga, tendo os intervalos definidos como acréscimos de carga para construção da curva de carregamento e decréscimos de carga para construção da curva de descarregamento. A calibração considerou dois momentos: o primeiro numa fase estática, no qual o sistema de secagem esteve desligado e o segundo numa fase dinâmica, no qual com o sistema em funcionamento a condição ambiental era modificada com o tempo.

A resposta da célula de carga obtida em unidade de kg foi utilizada para construir uma equação de calibração da balança de acordo com as normas (normas NBR 8197 (2002) – Instrumentos de medição de Força de uso geral – Aferição, NBR 10583 (1989) – Células de carga (Transdutores de Força) – Terminologia e NBR 10584 (1989) – Células de Carga (Transdutores de Força) – Determinação das características de Desempenho – Método de ensaio.) considerando a ocorrência de histerese, não linearidade, repetitividade e o erro total.

Para efeito de monitoramento da temperatura do ar de secagem foram utilizados 4 transdutores de temperatura já instalados na câmara. Os transdutores de temperatura são termorresistências do tipo Pt 100 com a conexão em três fios com 2 mm de diâmetro por 30 mm de comprimento (com cabo PVC).

As termorresistências estão ligadas a transmissores de temperatura, que tem a função de converter o sinal do Pt 100 em sinais de corrente de 4 a 20 mA. As especificações definidas pelo fabricante Sensym garantem precisão total: 0,2% da faixa máxima para termorresistência, temperatura de operação: -40 a 85 °C, tipo microprocessado, modelo TT 100 com resolução de saída 0,005 mA (15 bits) e tipo de sensor e faixa de temperatura programável via interface RS232.

O posicionamento destes sensores de temperatura foi definido anteriormente a fim de obterem as informações referentes à temperatura do ar antes, após a secagem e na superfície produto, conforme esquema apresentado na Figura 16. Além destes, há um sensor de temperatura medindo a temperatura do ambiente externo a câmara.

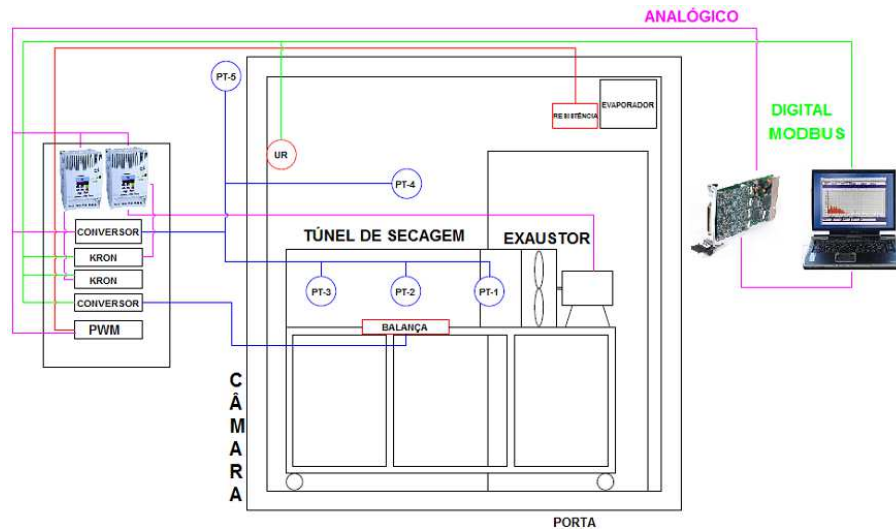


Figura 16. Esquema de posicionamento da instrumentação e aquisição de dados do sistema.

A umidade relativa do ar no interior da unidade de secagem foi mensurada através dos dados fornecidos por um transdutor de umidade relativa e temperatura instalada na parede interna da câmara de secagem. O posicionamento deste instrumento visa avaliar principalmente a umidade relativa do ar de entrada na secagem. O transdutor (modelo RHT-WM fabricado pela Novus) tem como principais características saída em corrente de 4 a 20 mA, o canal de umidade relativa tem precisão de $\pm 1,5$ % RH a 25 °C, entre 20 e 80 % RH, repetibilidade de ± 1 % RH, histerese de ± 1 % RH e faixa configurável entre 0 e 100 % RH ou -40 e 100 °C em ponto de orvalho. O canal de temperatura inserido no mesmo transdutor tem como característica de precisão $\pm 0,5$ °C a 25 °C, repetibilidade de $\pm 0,1$ °C e faixa configurável entre -40 e 120 °C.

Para obtenção das velocidades do ar determinadas no planejamento experimental, foi utilizado um inversor de frequência (WEG, modelo CFW090006T2223ESZ) com tensão de alimentação de 220 - 230 V trifásico, entrada isolada com resolução de 8 bits, e linearidade com erro menor que 0,25%. Este equipamento é capaz de causar uma variação na tensão do motor elétrico do exaustor, trazendo como consequência a alteração de sua rotação. Sua parametrização foi definida nas seguintes configurações: carga de torque variável, potência de 6,1 kVA, corrente nominal de saída de 16 A, corrente máxima de saída de 24 A, corrente nominal de entrada de 19,2 A, frequência de chaveamento de 5 kHz, motor máximo de 5 cv / 3,7 kW e potência dissipada nominal de 183 W. A aferição da velocidade do ar no interior da câmara foi realizada através de um anemômetro de fio quente.

O consumo de energia do sistema foi determinado através do uso de dois transdutores de grandezas elétricas (Mult K-05 fabricado pela Kron). O equipamento tem precisão de 0,2% e tensão de alimentação de 220 V. Estes instrumentos retornam ao sistema supervisão dados elétricos sobre os motores do exaustor e compressor e da termorresistência de aquecimento do ar, tais como: tensão, corrente, potência ativa, potência reativa, potência aparente, fator de potência e consumo de energia, sendo considerado como variável de estudo neste trabalho apenas o consumo de energia. Deve-se ressaltar que o consumo de energia elétrica é diretamente proporcional à potência ativa trifásica consumida pelo motor elétrico. Este transdutor possui uma interface de comunicação do tipo RS485 (a 2 fios) de velocidade 9600, 19200, 38400 ou 57600bps (configurável); formato de dados 8N1, 8N2, 8E1,801 (configurável); endereço 1 a 247 (configurável); protocolo Modbus-RTU e codificação das informações com ponto flutuante, padrão IEEE-754.

3.3 Aquisição de dados

As informações referentes aos instrumentos sensores estão integradas a uma unidade central de processamento e aquisição de dados de acordo com o esquema apresentado na Figura 17.

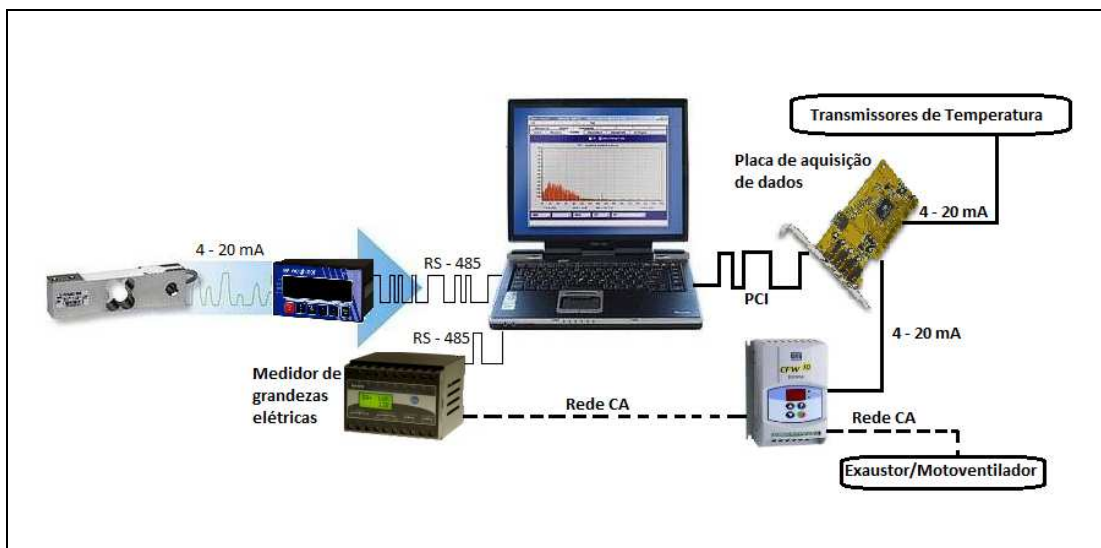


Figura 17. Esquema da aquisição de dados do processo.

A aquisição dos dados de temperatura e umidade relativa foram feitas através da placa de aquisição de dados (modelo NIDAQ PCI-6229) acoplado ao bloco conector (CB-68LP) ambos da *National Instruments*. Essa placa tem como entradas os valores analógicos de temperatura e umidade relativa expressos entre 4 a 20 mA e como saída

uma tensão que atua sobre os inversores de frequência do compressor e do exaustor, podendo variar entre 0 e 10 V conforme a potência frigorífica e velocidade de ar desejada. Os dados digitais dos medidores de grandezas elétricas e do sistema de pesagem são transmitidos para o microcomputador dos sistemas via protocolo ModBus através da porta serial RS485, possibilitando que os dados sejam lidos e armazenados.

Todos os sinais obtidos com a instrumentação do sistema, após processados pelo computador são exibidos em tempo real no software de supervisão e disponibilizados como fonte de informação e auxílio à tomada de decisão referente a mudanças nos parâmetros que regem a cinética do processo, como temperatura e velocidade do ar de secagem. Os dados foram estruturados a partir de médias amostrais a cada minuto e gravados em planilhas eletrônicas para análise posterior.

3.4 Sistema de supervisão

A segunda parte que compõem o sistema de pesagem e a instrumentação do processo de secagem é o módulo de interface com o usuário, este módulo consiste no agrupamento das informações referentes às variáveis do processo de secagem e da balança num único local. Os valores das variações de massa, desidratação de referência, temperatura de referência, temperatura do produto, umidade relativa do sistema de secagem, temperatura e fluxo do ar de secagem são transmitidos ao sistema através da plataforma de aquisição de dados integrada ao sistema supervisor e ao aplicativo com as funções de monitoramento.

O supervisor do sistema de secagem feito em LabVIEW® (*National Instruments*) foi desenvolvido em trabalhos anteriores. Coube a essa pesquisa sua implementação inserindo as informações da perda de massa (sistema de pesagem) em sua estrutura. O Labview tem seu funcionamento baseado em duas interfaces. Uma destinada ao contato gráfico com o usuário, permitindo a supervisão do processo em tempo real, assim como, o controle de características de interesse, alterando o ambiente de processo. A segunda interface permite a realização de interações do hardware e processamento de sinais. A principal característica do Labview é a possibilidade de desenvolvimento e implementação de aplicativos de controle em formato gráfico amigável. Com os parâmetros ajustados, os sinais de resposta da secagem são analisados e processados, gerando novas informações ao operador.

Para evitar que a perda de massa não ultrapasse a recomendação de Araújo et al. (2004) e a definição do Código Internacional de Práticas Enológicas (2006), foi

projetada uma lógica no sistema supervisor de forma que ao atingir a perda de massa de referência, ou seja, 12% do valor da massa inicial do produto, o sistema desliga-se automaticamente.

Para a aquisição dos dados do processo de secagem e dos instrumentos inseridos no sistema físico experimental, tanto a placa de aquisição de dados quanto as ligações e o sistema supervisor pré-existente tiveram de ser implementados.

Após a implementação do sistema supervisor pré-existente, desenvolveu-se o aplicativo denominado SECAGEM DE UVAS, para aquisição automática de dados com a finalidade de coletar, processar e armazenar dados provenientes dos sensores instalados na câmara de secagem.

O aplicativo SECAGEM DE UVAS disponibiliza ao usuário na forma gráfica e numérica através da tela do computador os dados em tempo real. Ele também permite ao usuário controlar e determinar níveis de funcionamento de determinados equipamentos do sistema físico experimental. A Figura 18 exhibe parte da interface homem máquina (IHM), onde podem ser vistos os ícones de controle e indicadores dos equipamentos do sistema como os motores do compressor e exaustor, controle do armazenamento dos dados e indicadores numéricos e em led do funcionamento e nível de operação destes equipamentos.



Figura 18. Interface com o usuário parte 1.

A IHM contempla também o monitoramento das condições internas da câmara de secagem, onde através de indicadores numéricos e gráficos os parâmetros temperatura, umidade relativa do ar são expostos e supervisionados em tempo real pelo operador (Figura 19). Nesta mesma janela estão presentes o indicador numérico da massa amostrada pelo sensor de massa, o indicador gráfico da perda de massa no transcorrer do tempo de secagem e o ícone de controle do término do processo, ou seja, setpoint de perda de massa.

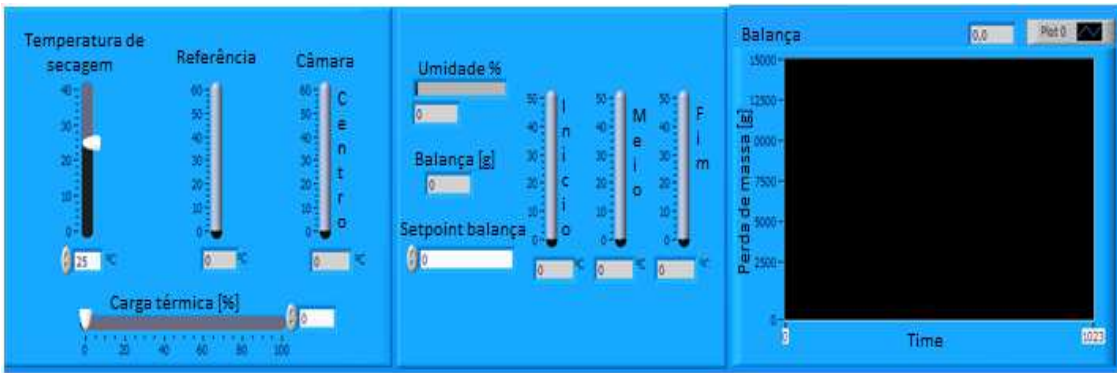


Figura 19. Interface com o usuário parte 2.

A Figura 20 apresenta o quadro de IHM onde os sinais dos transdutores de grandezas elétricas do processo são apresentados através de indicadores numéricos.

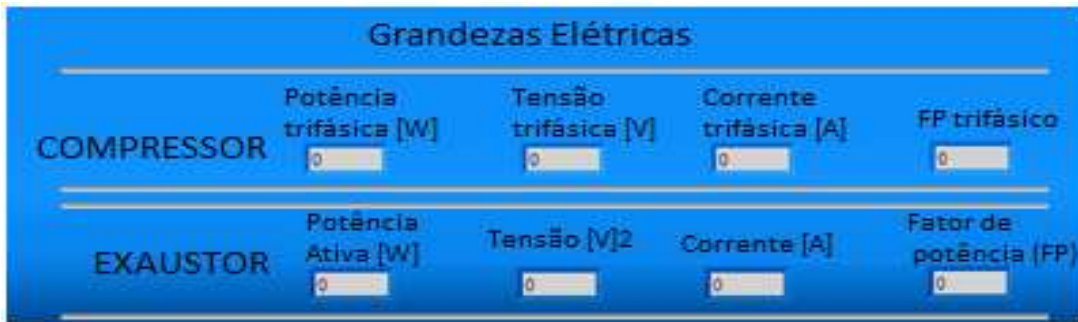


Figura 20. Interface com o usuário parte 3.

A IHM geral do sistema supervisório é apresentada na Figura 21. Conforme descrito acima, este sistema está programado para ler os sinais dos sensores de temperatura, umidade relativa do ar, pesagem e consumo de energia, além de atuar sobre o funcionamento dos motores do compressor e exaustor, a frequência de operação do exaustor e nível de carga térmica dissipada pelas resistências. O aplicativo coleta os sinais da célula de carga numa taxa de aproximadamente 120 amostras por segundo, formando um resultado médio a cada 1 minuto, para os demais sensores a taxa é de 100 amostras por segundo, também formando um resultado médio a cada 1 minuto.

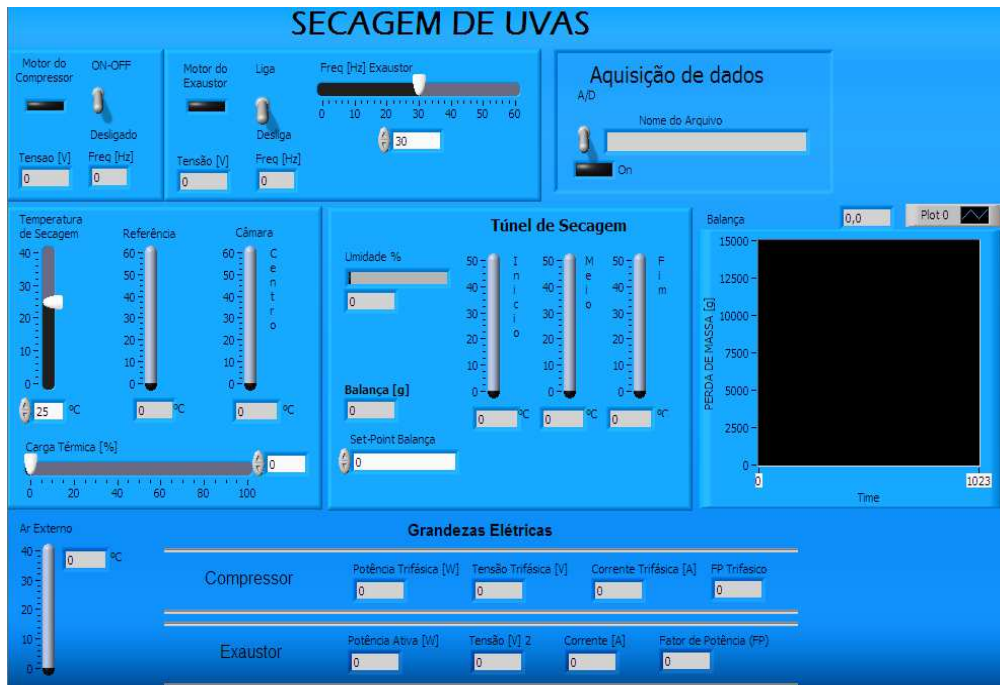


Figura 21. Tela de apresentação do sistema supervisório implementado.

Após iniciado, o aplicativo executa sua rotina de transmissão e recepção de sinais enquanto não ocorrer erro interno do sistema, alcance do *setpoint* de perda de massa ou interrupção proposital feita pelo operador.

Parte da programação do aplicativo SECAGEM DE UVAS desenvolvida em linguagem de programação gráfica pode ser vista na Figura 22. Esse tipo de programação emprega ícones ao invés de textos para criar as aplicações e comandos. Os objetos adicionados no painel de interface com o usuário são automaticamente adicionados no diagrama de blocos através de representações gráficas de funções ou dos próprios objetos como os indicadores de temperatura e umidade relativa do ar.

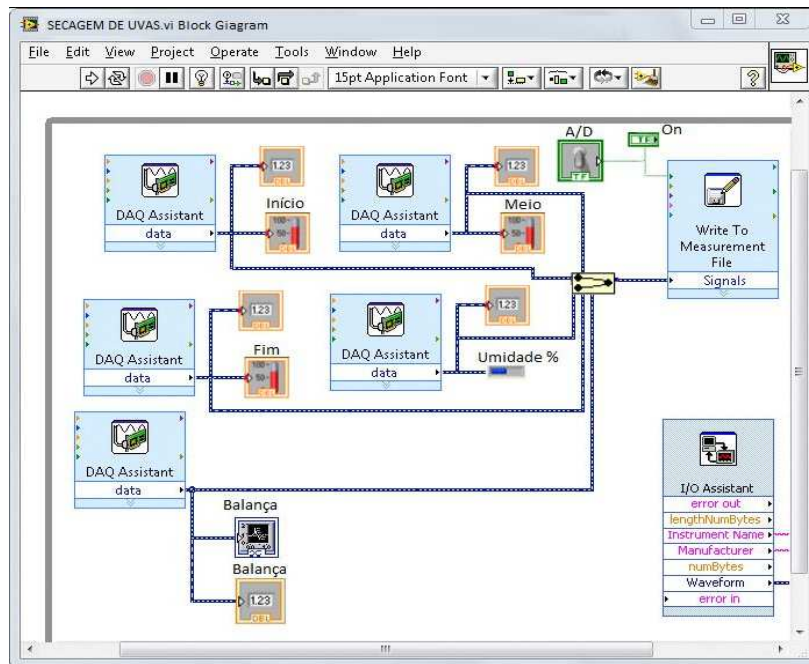


Figura 22. Diagrama de blocos do aplicativo desenvolvido.

Os sinais digitais e analógicos dos instrumentos são incorporados na programação através do ícone de aquisição de dados (DAQ Assistant), depois de configurado o canal de entrada, tipo de sinal e taxa de aquisição, os dados podem ser visualizados em tempo real na interface com o usuário e ainda armazenados caso o usuário acione o ícone booleano que liga ou desliga o armazenamento dos dados. É importante destacar que no painel frontal (Interface com usuário) existem apenas ícones indicadores e de controle, onde os indicadores representam a saída de informação do diagrama de blocos e os controles representam a entrada de informação. No diagrama de blocos, os objetos do painel frontal aparecem como terminais.

3.5 Secagem

Em razão das características da câmara frigorífica e do túnel de ar forçado, o processo de secagem foi realizado considerando um leito fixo com fluxo perpendicular de ar, pois este passa perpendicular a embalagem contendo as uvas (Figura 23).

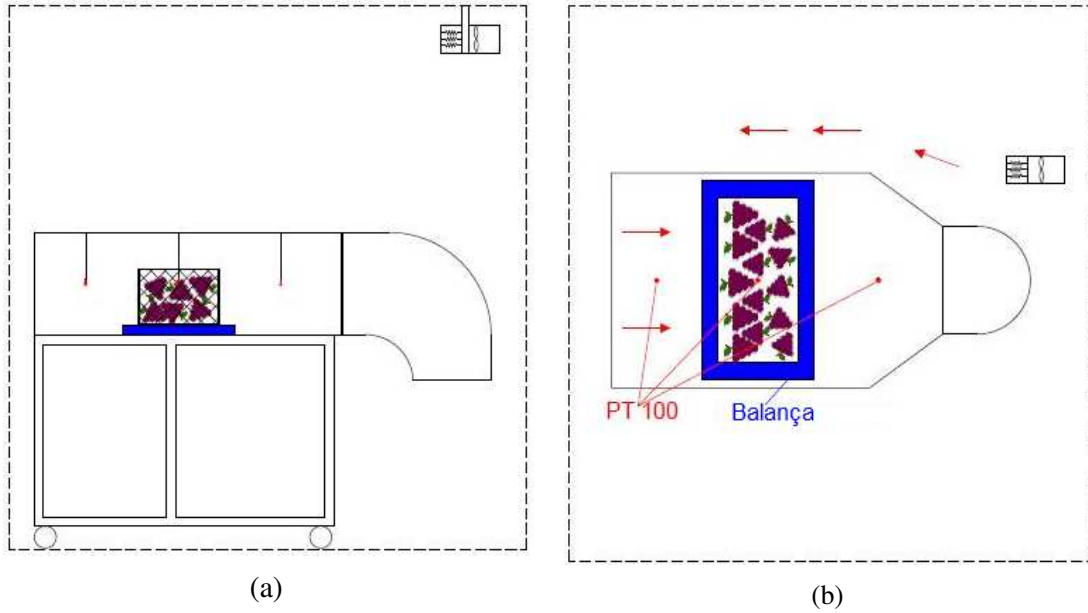


Figura 23. (a) Esquema da estrutura de secagem. (b) Esquema da disposição do produto.

Com os dados de perda de massa, as curvas de secagem foram obtidas experimentalmente através da evolução da perda de água (massa de água)/(massa seca) em função do tempo. As taxas de secagem para cada ensaio, ou seja, a variação do teor de água do produto por tempo, dX/dt em relação a evolução do tempo. As taxas foram obtidas através do cálculo matemático de diferenciação da curva de perda de água.

4 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Os ensaios de secagem foram realizados durante os meses de Junho a Agosto de 2011, período coincidente com a fase final do ciclo produtivo de Niágara na região de Louveira e inicial na região de Jales. Os níveis dos parâmetros controlados e utilizados nos ensaios foram determinados a partir de um planejamento experimental baseado na metodologia de superfície de resposta, sendo dois níveis para cada variável independente (temperatura e vazão do ar de secagem), totalizando $2^2 = 4$ experimentos. Esses pontos fatoriais permitem avaliar os efeitos das variáveis e suas interações. Através da realização de ensaios extrapolação da faixa de análise podem ser obtidas informações que permitem encontrar o ponto ótimo do processo. Nesse tipo de planejamento experimental é importante avaliar o erro puro através da repetição de ensaios dos pontos centrais. Neste caso optou-se por 3 repetições. Assim, o número total de ensaios foi de: $4 + 4 + 3 = 11$, considerando as repetições. A Tabela 2 mostra a matriz experimental e seus respectivos códigos.

Tabela 2. Níveis das variáveis codificada e real para o planejamento experimental.

Ensaio	Variável Codificada		Variável Real	
	X ₁	X ₂	T _{sec} (°C)	V (m ³ .s ⁻¹)
Pontos Fatoriais	1	-1	22,9	0,38
	2	+1	37,1	0,38
	3	-1	22,9	0,68
	4	+1	37,1	0,68
Pontos Centrais	5	0	30	0,53
	6	0	30	0,53
	7	0	30	0,53
Pontos Axiais	8	-1,41	0	0,53
	9	+1,41	0	0,53
	10	0	-1,41	0,32
	11	0	+1,41	0,74

Os valores para a variação dos parâmetros da secagem foram definidos com base nos resultados encontrados na literatura. Procurando confirmar os efeitos da velocidade do ar na secagem e avaliar novas faixas de temperatura, Feldberg et al. (2008) conseguiram obter as curvas de secagem de uvas das cultivares Sultanina, Catalunha, Superior Seedless e Crimson Seedless para elaboração de passas após 48 horas de secagem em estufa a 70 °C com ventilação forçada, a umidade inicial das bagas era de cerca de 81% em média.

Doymaz e Pala (2002), avaliando a secagem da cultivar Sultanina sem tratamento das bagas, obtiveram a curva de secagem após 18 horas de processo quando trabalharam com temperatura de 70 °C e velocidade do ar de 1,2 ms⁻¹ e após 48 horas quando alterou a temperatura para 60 °C a mesma velocidade de ar.

Secagem de uvas em estufa realizada por Di Matteo et al. (2000) no intuito de avaliar o efeito de um pré tratamento físico na cinética de secagem e qualidade de uvas da cultivar Nevado, apresentou necessidade de 35 horas para redução da umidade das bagas de 84 para 20%, utilizando temperatura de 50 °C e circulação forçada de ar de 0,5 ms⁻¹.

A amostragem das parcelas foi baseada na metodologia encontrada por Araújo et al. (2009) quando estudaram de diferentes métodos de amostragem e tamanho de amostra para avaliar o estado de maturação da uva niágara rosada. Os autores constataram que para obter uma amostragem homogênea de um vinhedo, cerca de quarenta bagas retiradas aleatoriamente das três posições dos cachos (ápice, meio e base) estratificados é suficiente assegurar a representatividade da parcela.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Testes preliminares

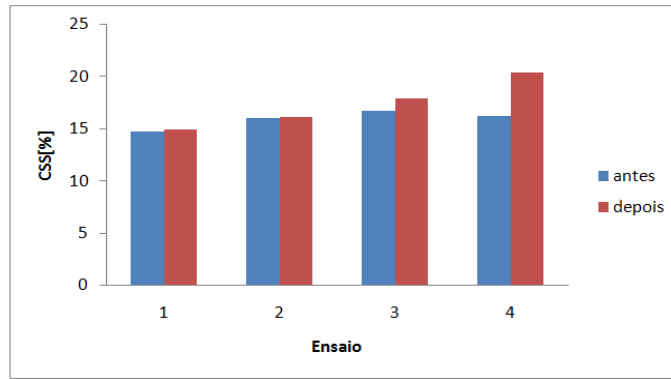
Os testes preliminares foram realizados com as amostras de uvas provenientes do final da safra de Louveira e foram executados entre os dias 20 de Maio e 20 de Junho. A fim de certificar que o sistema desenvolvido estivesse funcionando plenamente, ou seja, capaz de funcionar em todas as condições ambientais planejadas, os ensaios preliminares utilizaram uma temperatura considerada como frio (abaixo da temperatura ambiente) e uma como quente (acima da temperatura ambiente). Deste modo, foram efetuados testes com dois tratamentos e duas repetições distribuídos em temperaturas de 35 e 5 °C e vazão de $0,53 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, totalizando quatro ensaios realizados aleatoriamente.

Foram realizadas análises de concentração de sólidos solúveis, pH e acidez total titulável. Os resultados das análises de umidade das bagas foram desconsiderados devido a necessidade de validação da metodologia utilizada, o que causou perda das amostras, como pode ser vista na Figura 24. A análise de compostos fenólicos não fora realizada nessa etapa devido ao processo de aquisição do equipamento não ter sido concluído a tempo.

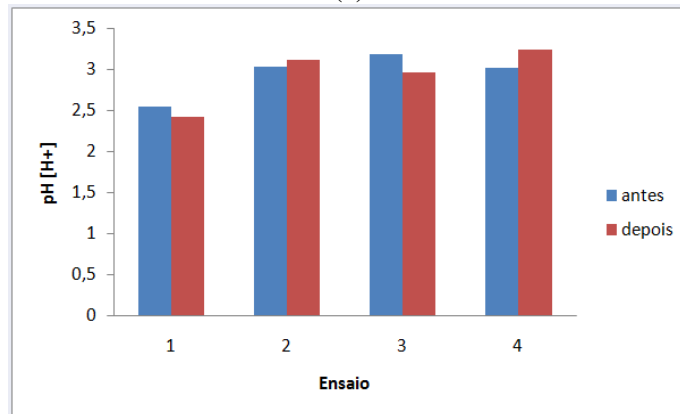


Figura 24. Amostra de uvas após análise de umidade em estufa (a) 60°C; (b) 85°C.

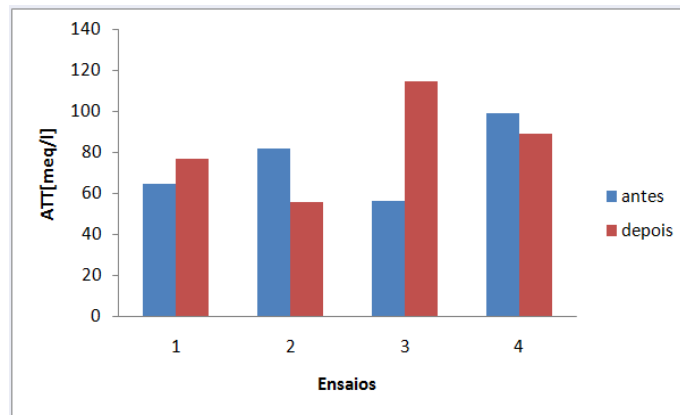
A Figura 25 apresenta os resultados das análises físico-químicas dos testes preliminares. Os ensaios 1 e 2 representam as duas repetições para os parâmetros de secagem de 5 °C, enquanto os ensaios 3 e 4 representam as duas repetições para os parâmetros de secagem de 35 °C.



(a)



(b)



(c)

Figura 25. Resultados físico-químicos antes e após os tratamentos (a) CSS; (b) pH; (c) ATT.

O ensaio 1, secagem a baixa temperatura não apresentou resultado satisfatório ou de interesse aplicável, pois em mais de duas horas de processo apenas 1,38% de massa foi perdida, tendo mudança significativa apenas para as variáveis nas acidez total titulável e pH.

De forma a evitar que os resultados obtidos no ensaio 1 (baixa temperatura) tenham ocorrido em função de erros no processo, o ensaio 2 teve um período de duração maior, cerca de 33 horas. No entanto, a perda de massa também apresentou resultado baixo em relação ao esperado. Pelo formato apresentado pelas frutas o tratamento com baixa temperatura provocou efeito oposto ao de indução a maturação. É comum o uso de baixas temperaturas associadas a grandes vazões de ar para conservação de propriedades e aumento da vida útil de produtos vegetais. Neste ensaio apenas a ATT apresentou diferença estatística. É importante destacar que a acidez titulável está diretamente relacionada com a sanidade do produto e presença de organismos patogênicos. Isto justifica a resposta obtida através do tratamento a quente, porém desperta dúvidas sobre a inatividade e morte destes organismos em baixa temperatura.

O aumento no tempo de processo para a secagem a 35 °C revelou maior proximidade entre os resultados obtidos e os esperados como aumento significativo no CSS. Houve efeito significativo também para a acidez titulável e pH. A redução de 12,91% de umidade resultou no aumento 1,23 pontos na média do CSS. Este resultado é sugestivo no direcionamento de experimentos futuros onde poderá buscar qual a proporção exata entre os níveis de redução de massa e valores de aumento no CSS.

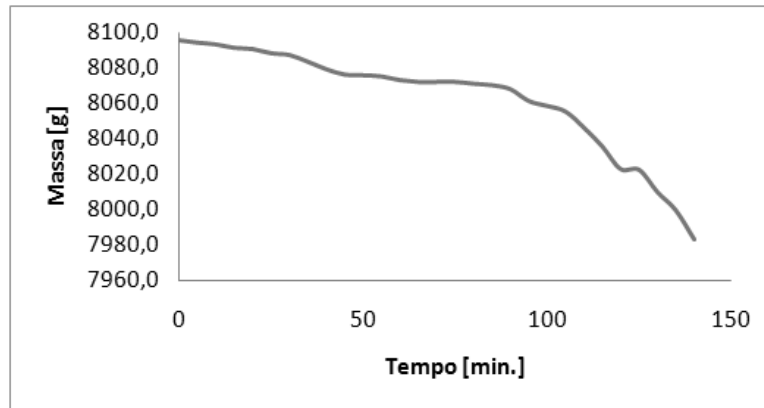
Como a taxa de aquisição de dados utilizada foi bastante alta (um ponto por segundo) os dados apresentaram muitos ruídos, o uso de um filtro computacional permitiu melhorar a obtenção gráfica e também dos dados armazenados. Ressalta-se que com o aumento no tempo de processo também favorece a aquisição de dados para análise da dinâmica do processo, pois como a perda de massa é lenta o tempo necessário para que o sistema entre em regime deve ser longo.

Embora, no ensaio 4, o processo também não tenha alcançado o regime e a perda de massa dos produtos durante a secagem tenha sido cerca de 25%, os efeitos na resposta físico-química são visíveis. Os valores de CSS e pH aumentaram após a secagem enquanto o de ATT baixou, sendo que todos os resultados são estatisticamente significativos.

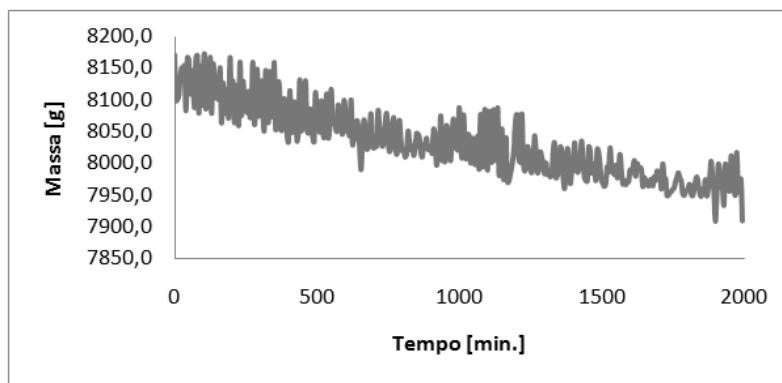
A dinâmica do processo em cerca de 50 horas de funcionamento resultou numa reta, caracterizando esse ensaio como totalmente linear (Figura 26) e comprovando que a secagem ocorreu a taxa constante.

Mesmo com o sistema tendo alcançado a faixa de interesse que para os teste preliminares fora definida como 20% de perda de massa máxima dos cachos, o gráfico sugere que o produto continuaria a perder massa até alcançar a estabilidade, ou seja, até

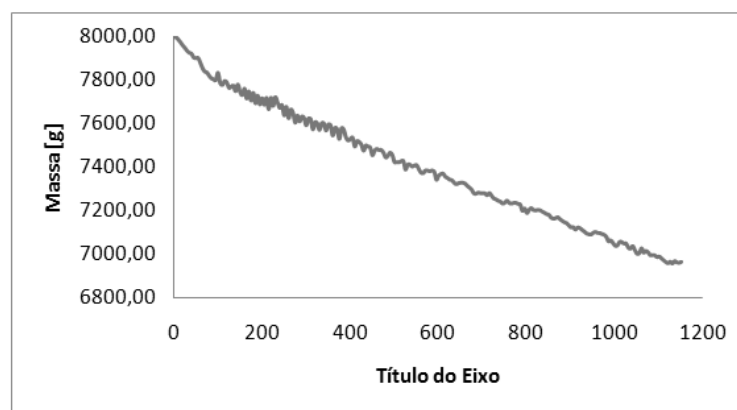
perder todo o seu conteúdo de água. Porém, é preciso uma análise criteriosa sobre o prolongamento do tempo de processo até ou próximo a estabilidade, visto que este pode comprometer a integridade do produto tornando-o impróprio para as análises físico-químicas e para seu beneficiamento.



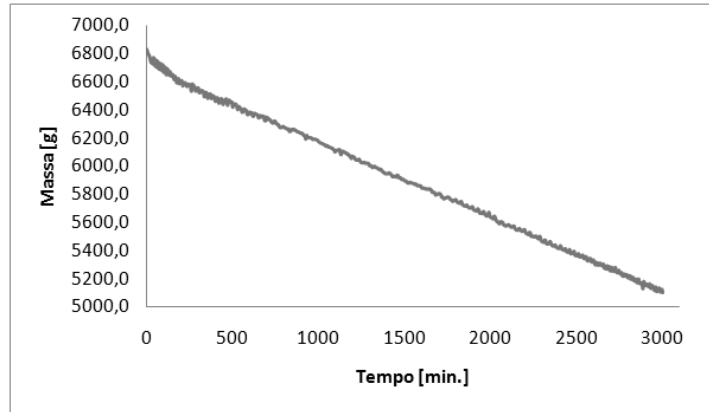
(a)



(b)



(c)

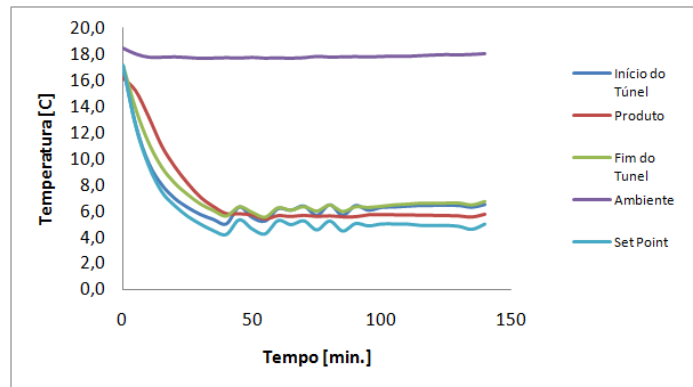


(d)

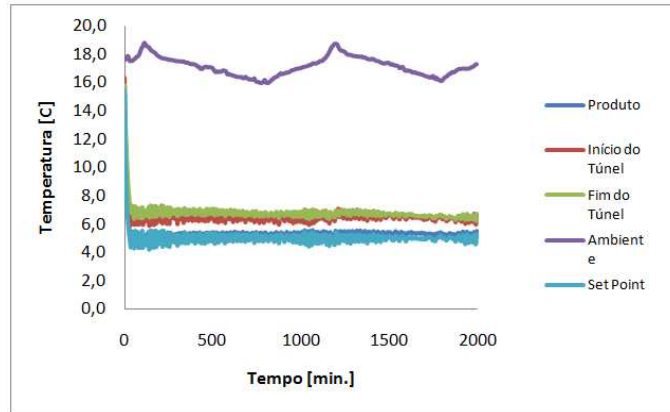
Figura 26. Gráficos de perda de massa do processo (a) ensaio 1; (b) ensaio 2; (c) ensaio 3; (d) ensaio 4.

Os testes preliminares foram essenciais para conhecimento da dinâmica da taxa de transferência de calor e massa, da identificação dos níveis de temperatura que poderiam causar efeito no produto, adaptações na metodologia das análises, assim como do funcionamento correto e capacidade operacional do sistema.

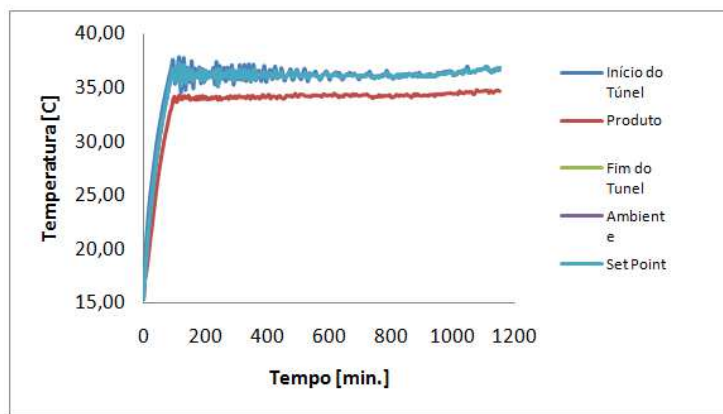
Em razão de o sistema físico experimental ser uma adaptação para o processo de secagem, os resultados dos testes preliminares permitiram a validação do sistema para determinada faixa operacional, conforme mostra a Figura 27.



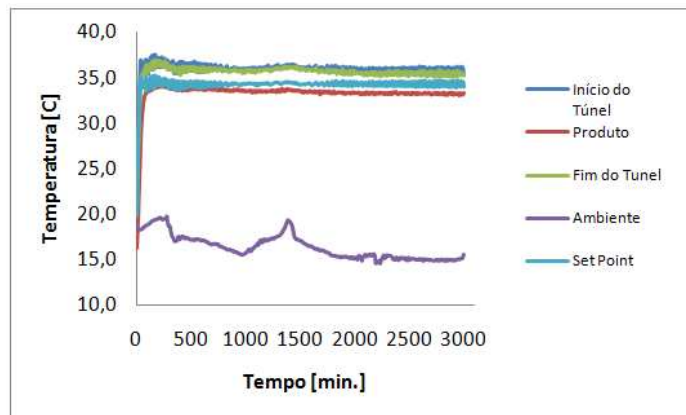
(a)



(b)



(c)

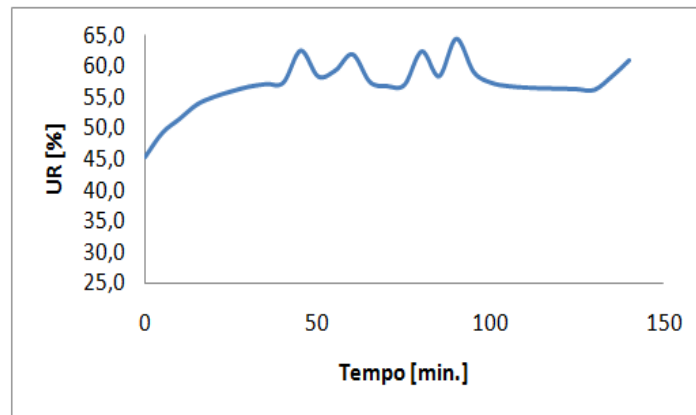


(d)

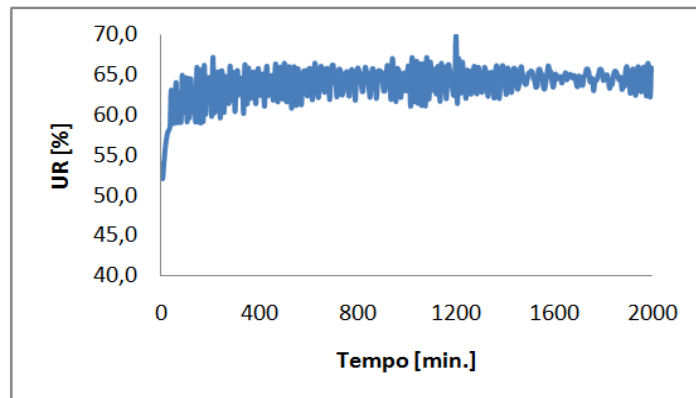
Figura 27. Validação dos parâmetros operacionais controlados durante o processo, (a) ensaio 1; (b) ensaio 2; (c) ensaio 3; (d) ensaio 4.

De acordo com os resultados físico-químicos e com o comportamento das variáveis independentes, nesse caso principalmente a umidade relativa do ar, definiu-se

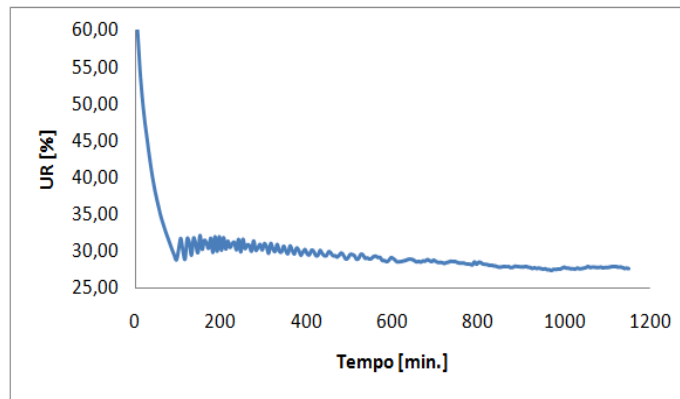
que a secagem com temperaturas muito baixas não causariam efeito significativo na perda de massa e qualidade físico-química das uvas, pois os equipamentos não possuem capacidade operacional suficiente para atingir a temperatura de ponto de orvalho e assim condensar o vapor d'água do ar no interior da câmara nas estruturas com temperaturas mais baixas (Figura 28).



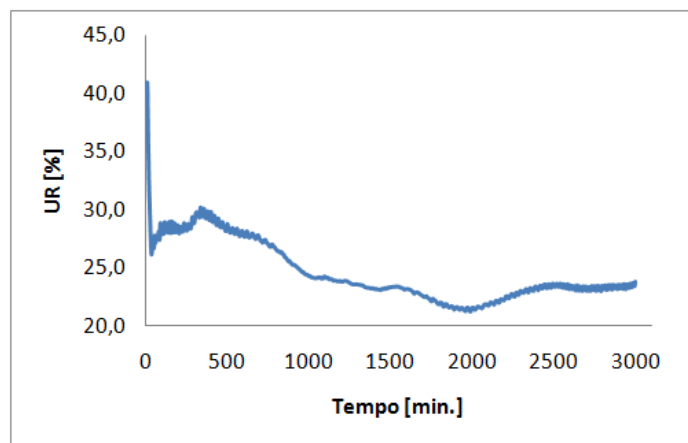
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 28. Comportamento da umidade relativa do ar (a) ensaio 1; (b) ensaio 2; (c) ensaio 3; (d) ensaio 4.

Tendo em vista que a secagem só ocorre quando há um déficit de pressão de vapor na superfície do produto, e para que isso ocorra é necessário que a umidade relativa do ar esteja abaixo do teor de água existente no produto. Verificou-se pelos gráficos de umidade relativa dos ensaios 1 e 2 que em condições de baixa temperatura o sistema não foi capaz de baixar a umidade relativa do ar a níveis que favorecessem a secagem das uvas. No entanto, os ensaios 3 e 4 demonstram que em temperaturas mais altas o sistema foi plenamente capaz de manter a umidade relativa do ar razoavelmente estável como mostra a Figura 28c.

5.2 Sistema de pesagem

O sistema de pesagem desenvolvido e conectado no aplicativo de supervisão e controle foi calibrado em condição estática e dinâmica. Nos ensaios de calibração estática, obtiveram-se os resultados descritos na Tabela 3. Estes resultados permitem averiguar a ocorrência de baixa histerese e não linearidade, alta precisão em razão do baixo valor da repetibilidade e do erro combinado. A curva de calibração apresentou alta correlação com as curvas obtidas para carga e descarga ($R^2 = 1,0$), sendo a diferença ou erro encontrado entre a massa real e a massa calculada de 1,255g, o que para um sistema aplicado durante a secagem representa exatidão de 99,9%, visto que valores de erro tão baixos como este não interferem na qualidade da medição e no reflexo do tratamento sobre o produto.

Tabela 3. Resultado da calibração estática do sistema

Parâmetros do sistema				Equação de Calibração	
Reta Ref. (75%)	Tração	0,998	[g/g]	Coefficiente angular	1,0
		3			
Histerese		0,02	[%]	Interceptação	1,255
Não Linearidade		0,02	[%]	Correlação	1,0
Repetibilidade		0,04	[%]	Massa [g] = 1,0 * leitura [g] + 1,255	
Máx. erro combinado		0,07	[%]		

Os testes de calibração realizados nas condições de operação do processo de secagem de produtos hortícolas (temperatura de 35 °C e vazão do ar de 1960,2 m³.h⁻¹) são apresentados na Tabela 4. Foi verificada no início dos ensaios de calibração dinâmica a presença de ruídos no sinal gerado pela célula de carga, o qual oscilava quando o sistema acionava o inversor de frequência responsável pela modulação da rotação do exaustor de sucção do ar quente. Para correção do ruído o indicador/transmissor de pesagem foi isolado com papel alumínio, de forma a reduzir a interferência do sinal do inversor de frequência.

Tabela 4. Resultado da calibração dinâmica do sistema

Parâmetros do sistema				Equação de Calibração	
Reta Ref. (75%)	Tração	0,998	[g/g]	Coefficiente angular	1,001
		3			
Histerese		0,02	[%]	Interceptação	11,548
Não Linearidade		0,14	[%]	Correlação	1,0
Repetibilidade		0,05	[%]	Massa [g] = 1,001 * leitura [g] + 11,548	
Máx. erro combinado		0,19	[%]		

Os resultados encontrados nesta condição foram ligeiramente inferiores aos da condição estática, fato já esperado em razão da influência dos distúrbios na condição

ambiente, pois de acordo com GONZÁLEZ e HERRADOR (2007) o uso de instrumentos de medição e sua submissão a trabalho em temperaturas acima ou abaixo da ambiente podem causar erros nos sinais adquiridos. Os autores averiguaram que sinais gerados em baixas temperaturas são factíveis à presença de erro devido à alteração das propriedades térmicas e elétricas de alguns instrumentos.

Embora o aumento do erro combinado e da não linearidade possa estar associado à influência de elementos ambientais ou ao fato dos instrumentos de medição não serem dispositivos ideais e de sua resposta variar frente à dinâmica dos processos aos quais estão envolvidos (GREGORY et al., 2010; KYOWA, 2010), neste caso eles ainda podem estar associados ao ruído causado pelo inversor de frequência, pois no período dinâmico da secagem o inversor de frequência do compressor é responsável pelo controle da temperatura através do funcionamento no sistema liga/desliga numa histerese de ± 2 °C, ou seja, se a temperatura do sistema subir 2 °C acima da temperatura de referência, o inversor de frequência aciona o compressor que permanece funcionando até que a temperatura do sistema fique 2 °C abaixo da temperatura de referência. Porém, assim como na calibração estática, o erro encontrado pela diferença entre o sinal lido e o obtido com a equação de calibração para a condição dinâmica não é representativo a ponto de influenciar na qualidade das medições e no funcionamento do sistema, além de que estes erros podem ser compensados via programação no sistema de monitoramento através das respectivas equações de calibração.

5.3 Efeito de variações de temperatura e vazão de ar de secagem na qualidade físico-química de uvas Niágara rosada

Os resultados das análises físico químicas de caracterização das uvas antes dos tratamentos para os parâmetros sólidos solúveis expressos em percentagem de graus Brix, teor de polifenóis em mg de ácido gálico.100 g⁻¹ de suco, potencial hidrogeniônico (pH), acidez titulável e umidade em base úmida são apresentados na Tabela 5. Foram realizados 11 ensaios experimentais, no entanto por problemas operacionais os resultados para o ensaio 7 na condição operacional de 30 °C e 0,53 m³s⁻¹ foram desconsiderados. Ressalta-se que este era uma das três repetições do ponto central. As respostas aos tratamentos foram avaliadas aos pares (antes versus depois) por teste de comparação de médias e a influência das condições de secagem nas mudanças dos parâmetros qualitativos foi avaliada pela construção de uma superfície de resposta usando o módulo “*Experimental Design*” do programa *Statistica 6.0*. Optou-se por

construir o modelo apenas dos parâmetros os quais os fatores de secagem tiveram influência significativa sobre os resultados.

Tabela 5. Caracterização físico-química das uvas.

Ensaio ($^{\circ}\text{C}/\text{m}^3\text{s}^{-1}$)	CSS (%)	ATT	Polifenol(mg de ác. gálico.100g⁻¹ de mosto)	Ubu(%)	pH
1 (22,9/0,38)	17,57	86,75	927,33	77,97	3,15
2 (37,1/0,38)	17,23	103,50	772,00	78,93	3,46
3 (22,9/0,68)	18,13	83,60	1114,67	78,64	2,97
4 (37,1/0,68)	16,10	104,78	1014,67	79,57	3,16
5 (30/0,53)	18,20	77,27	930,00	77,80	3,20
6 (30/0,53)	18,80	79,40	1018,00	76,19	3,14
8 (20/0,53)	14,40	148,33	720,00	80,93	2,80
9 (40/0,53)	17,17	109,60	672,00	78,73	3,47
10 (30/0,32)	14,87	122,13	966,00	80,67	2,88
11 (30/0,74)	18,67	97,14	647,00	77,16	3,27
Média	17,02	101,57	890,58	78,74	3,15
DP	1,49	20,84	160,03	1,43	0,21

A concentração de sólidos solúveis além de atuar como importante indicador da maturação e influenciar as modificações químicas e enzimáticas que ocorrem nos demais componentes da baga de uva servem como base de cálculo para a obtenção do potencial alcoólico do mosto, visto que a frutose presente nos sólidos solúveis é a responsável pela maior parte da fermentação (BEVILAQUA, 1995). Por se tratar de uma variedade americana, é justificável o valor de CSS encontrado nas uvas analisadas ter sido inferior aos valores das uvas viníferas, tendo em vista que as variedades viníferas possuem maior potencial para produção de açúcares (BARNABÉ, 2006). Porém, o valor encontrado para a concentração de sólidos solúveis foi semelhante aos observados na literatura para a mesma cultivar, enquanto o teor de polifenóis apresenta diferenças elevadas em relação a pesquisas avaliando este parâmetro (PEDRO JÚNIOR et al., 1997; SCHIEDECK et al., 1999; SOARES et al., 2008; VEDANA et al., 2008).

Embora os valores de pH, umidade e acidez estejam inseridos numa faixa caracterizada como adequada para a vinificação, o CSS encontrado indica a necessidade de adequação do mosto para a obtenção de vinhos de elevada qualidade, pois não possui nível de açúcar suficiente para atingir o mínimo da graduação alcoólica de vinhos exigida pela legislação brasileira (DOU, 2004).

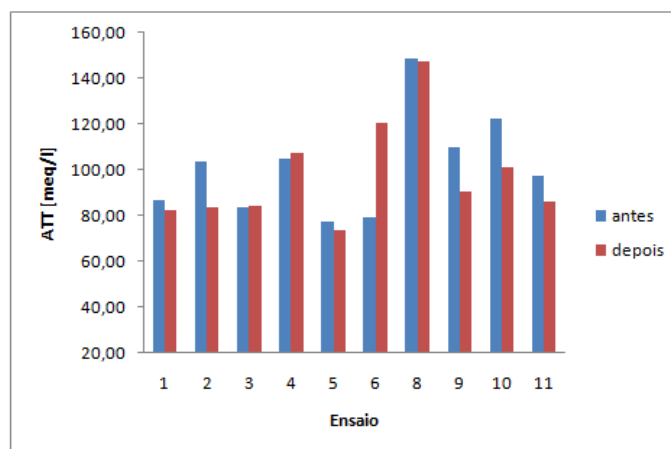
Com relação aos ensaios, observou-se que muitos dos tratamentos apresentaram resultados significativos para todos os parâmetros físico-químicos analisados ao nível

de 5% de probabilidade. A Tabela 6 e Figura 29 expõe os resultados observados na análise dos efeitos dos tratamentos sobre a acidez total titulável e o pH.

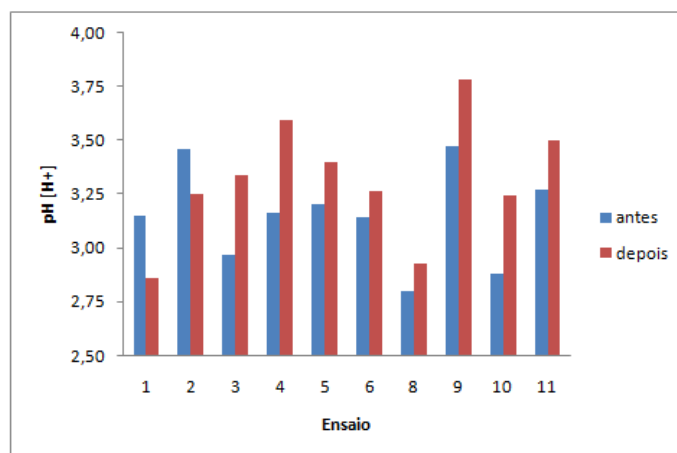
Tabela 6. Análise de variância para os parâmetros indicativos de acidez.

Ensaio ($^{\circ}\text{C}/\text{m}^3\text{s}^{-1}$)	ATT*	pH*
1 (22,9/0,38)	82,52*	2,86*
2 (37,1/0,38)	83,60*	3,25*
3 (22,9/0,68)	83,98	3,34*
4 (37,1/0,68)	107,48	3,59*
5 (30/0,53)	73,67*	3,40*
6 (30/0,53)	120,43*	3,26
8 (20/0,53)	147,57	2,93*
9 (40/0,53)	90,27*	3,78*
10 (30/0,32)	101,13*	3,24*
11 (30/0,74)	85,69*	3,50*
Média	99,1	3,32
DP	21,77	0,27

*Parâmetros com mudança significativa ao nível de 95% de confiança em relação ao valor inicial.



(a)



(b)

Figura 29. Comparação de médias para os parâmetros (a) Acidez Total Titulável e (b) pH.

A acidez em alimentos é resultado dos ácidos orgânicos presentes em sua composição e daqueles ocorrentes após alterações físico-químicas em sua composição. No caso de uvas, a acidez é afetada também pelo efeito fermentativo de certas leveduras que podem produzir ácidos orgânicos, além da dissolução de minerais e ácidos liberados de sua película e polpa (RIZZON e MIELE, 2002). Os valores encontrados foram semelhantes ao observado na literatura para cultivares utilizadas em vinificação no Brasil (RIZZON e MIELE, 2002; MANFROI et al., 2004; FOGAÇA et al., 2007).

Verificou-se que não houve efeito significativo decorrente dos tratamentos sob o parâmetro ATT apenas para os ensaios 4 e 8 e pH apenas para o ensaio 6, ou seja, as respostas destes ensaios são estatisticamente iguais a seus valores iniciais, fator que não impede a utilização destas uvas na vinificação, pois estes valores se encontram numa faixa aceitável para vinificação. Os resultados para ATT variaram de 73,67 a 147,57 Meq, enquanto os de pH variaram de 2,86 a 3,78. Meneguzzo et al. (2006) afirma que entre as possíveis causas do aumento da acidez total de uvas durante a vinificação figuram a formação dos ácidos glicônico e acético, além de que o aumento da acidez volátil está relacionado com a qualidade das uvas utilizadas. Segundo Rizzon et al. (1998) é interessante que o valor de pH seja baixo, pois assim o mosto torna-se protegido da ação de enzimas oxidativas durante a fase de pré-fermentação. A acidez é uma das características gustativas que mais afetam sabor, aroma, estabilidade e coloração dos vinhos. Conforme relatado por Rizzon e Miele (2002) os parâmetros que

indicam o nível de acidez dos vinhos, neste caso pH e acidez total titulável podem ser alterados durante a vinificação de acordo com o teor de potássio da uva.

De acordo com Rizzon e Sganzerla (2007), os ácidos tartárico e málico são os componentes de maior influência na acidez do mosto de uvas. Apesar da dissolução destes ácidos promoverem uma diminuição do pH, a conversão do ácido málico em ácido láctico provoca aumento neste parâmetro (RIZZON e MIELE, 2002). Em Fogaça et al. (2007), resultados da análise de correlação entre teor de potássio e pH de uvas viníferas sugerem que a absorção de potássio e as mudanças no pH estão relacionadas principalmente a altos valores de temperatura do período de maturação, o que justifica o maior valor de pH observado nos ensaios com maior temperatura, como os ensaios 9 e 4 que utilizaram temperaturas de 40 e 37,1 °C respectivamente. Esse fato é um indicativo de ocorrência de sobrematuração nos produtos, pois o aumento na temperatura causa aceleração da taxa respiratória fazendo com que ocorra conversão do ácido málico em láctico e precipitação do ácido tartárico, aumentando o pH.

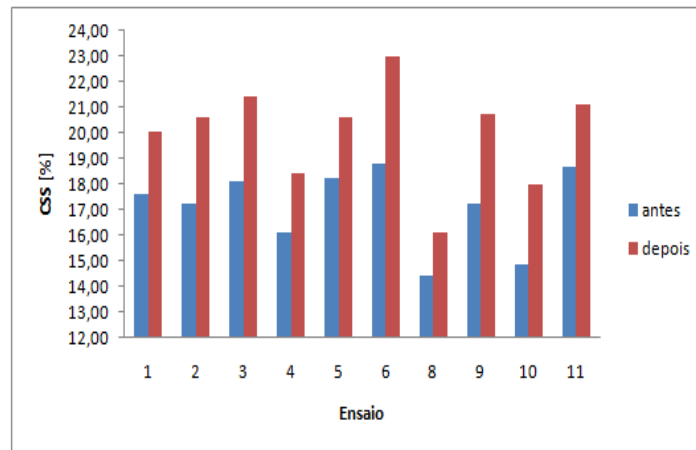
Causada naturalmente em razão de anomalias climáticas a sobrematuração - durante a fase de maturação da fruta ocorre uma alteração térmica capaz de acelerar o metabolismo do fruto, provocando senescência e mudanças rápidas em suas características físico-químicas – no caso de uvas, também pode ser vista como uma técnica de manejo utilizada quando o produto ainda está em campo. Conforme relatado por Guerra e Zanús (2003), a sobrematuração consiste na permanência controlada dos cachos no campo ainda ligados a planta, de forma que o déficit de pressão de vapor na superfície das bagas em relação ao ar ambiente somado ao efeito da temperatura cause murcha das bagas, aumento da CSS e do teor de polifenóis da casca. Na Tabela 7 e Figura 30 podem ser vistas as respostas dos tratamentos em relação à concentração de sólidos solúveis, teor de compostos fenólicos e umidade em base úmida.

Tabela 7. Análise de variância para a concentração de sólidos solúveis e teor de polifenóis.

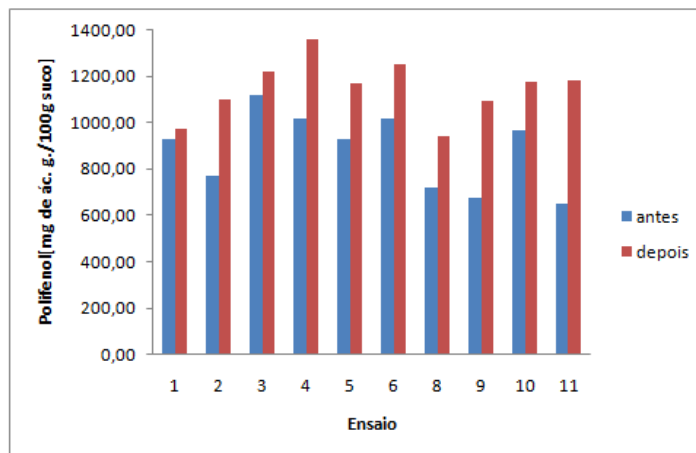
Ensaio (°C/m ³ s ⁻¹)	CSS(%)	Polifenol(mg de ác.	
		Gálico.100g ⁻¹ de mosto)	Ubu(%)
1 (22,9/0,38)	20,07*	974,00*	75,24*
2 (37,1/0,38)	20,60*	1096,00*	72,70*
3 (22,9/0,68)	21,40*	1221,33	75,85*
4 (37,1/0,68)	18,43*	1359,33*	76,85*
5 (30/0,53)	20,60*	1167,33*	74,20*
6 (30/0,53)	23,00*	1249,00*	72,14*

8 (20/0,53)	16,10*	940,00*	60,16*
9 (40/0,53)	20,37*	1092,00*	74,57*
10 (30/0,32)	18,00*	1174,00*	77,23*
11 (30/0,74)	21,10*	1179,30*	73,95*
Média	19,86	1155,84	73,55
DP	1,90	124,08	4,72

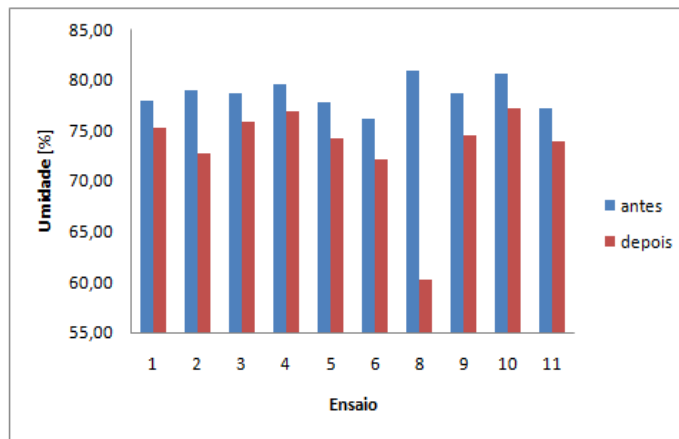
*Parâmetros com mudança significativa ao nível de 95% de confiança em relação ao valor inicial.



(a)



(b)



(c)

Figura 30. Comparação de médias para sólidos solúveis (a), polifenóis (b) e umidade (c).

A umidade média final das amostras após os tratamentos foi de $73,55 \pm 4,72$ %. Os resultados para CSS variaram de 16,10 a 23,00%, enquanto os de teor de compostos fenólicos variaram de 940,00 a 1359,33 mg de ácido gálico.100 g⁻¹ de mosto de uva. Apenas os tratamentos 3 e 7 não apresentaram resposta significativa para o teor de polifenóis, o efeito significativo para os demais tratamentos possivelmente esteja associado ao fato da temperatura desestruturar ou romper as moléculas de pectina da casca, permitindo que os compostos fenólicos ali presentes fossem liberados (VEDANA et al., 2008). No entanto, de acordo com Falcão et al. (2007), as antocianinas da casca de uvas que também são compostos fenólicos tem a temperatura como elemento principal para provocar sua degradação. Os autores sugerem que se no processamento de uva a condição de temperatura se manter padronizada e em torno de 45 °C é possível manter a estabilidade das antocianinas sem causar redução do teor de compostos fenólicos.

Silva et al. (2008), avaliando a evolução do teor de compostos fenólicos de uvas da cultivar *Malbec* de acordo com o nível de raleio de cachos durante a fase de maturação, constataram que a prática de raleio do cacho influencia positivamente o aumento da composição fenólica das bagas. Essa informação sugere que cachos com menor densidade e maior porosidade estão susceptíveis a maior teor de polifenóis na baga, o que poderia estar associado com o comportamento obtido por alguns tratamentos, pois com a redução do teor de água a baga murchou causando aumento na porosidade do cacho o que somado ao efeito de sobrematuração decorrente do efeito da temperatura pode ter influenciado o aumento da concentração de polifenóis visto.

A principal técnica utilizada nas vinícolas brasileiras para adequação do mosto em relação ao baixo valor de CSS encontrado em uvas americanas tem sido a chaptalização (RIZZON e MIELE, 2005), a adição de açúcar possibilita a obtenção de vinhos com graduação alcoólica exigida pela legislação brasileira. No entanto há os riscos de incorporação de componentes estranhos, de mudanças na relação álcool em peso/extrato seco reduzido além do aumento nos custos de produção e perda de qualidade do produto, pois resulta em vinhos menos encorpados (MENEGUZZO et al., 2006).

A redução do teor de água das uvas em torno de 4% demonstra que o mosto de uvas pode ser adequado sem necessariamente realizar a chaptalização. Embora o uso de temperaturas mais elevadas proporcione maior taxa de transferência de calor e massa, ou seja, menor tempo para que o produto perca a quantidade de água desejada, os resultados obtidos revelam que a secagem realizada em condições sanitárias controladas pode ser realizada em temperatura ambiente, obtendo os mesmos resultados de mudança físico-química para teor de polifenóis e CSS, quando a secagem é feita em alta temperatura.

Os efeitos verificados neste trabalho são semelhantes aos observados na literatura onde pesquisas realizadas com frutas destinadas a processamento industrial mostram que após redução da umidade do produto, estes conseguem obter maior valor de sólidos solúveis, maior concentração de componentes químicos e maior estabilidade microbiológica (GABAS et al., 1998; AZEREDO e JARDINE, 2006).

Apesar do teste de comparação de médias entre o antes e o depois dos tratamentos revelarem efeito estatisticamente significativo sobre os parâmetros físicos e químicos avaliados, comprovando que a proposta de secagem de uvas a fim de adequar o produto para vinificação sem comprometimento da qualidade do produto final é eficiente, os resultados esperados não foram obtidos, pois o grau das respostas para os diferentes níveis de tratamento não interferiram nas mudanças ocorridas, ou seja, não se pode avaliar a influências dos fatores de secagem sobre as respostas, pois seus efeitos não foram estatisticamente significativos, com exceção apenas da variável teor de composto fenólico, ou seja, o nível de temperatura ou vazão de ar a ser utilizado para secar uvas com intuito de aumento na concentração de polifenóis deve considerar a influência linear e quadrática da temperatura e fluxo de ar.

Esperava-se encontrar um modelo capaz de prever a mudança na concentração de compostos fenólicos como resposta às variações causadas nos fatores. O modelo

polinomial de segunda ordem que melhor representou a mudança na concentração de polifenóis é dado pela Equação 9 e é exposto na Figura 31.

Equação 9 $Pol. = 234,17 + 127,09T - 33,96T^2 + 102,68V + 80,37V^2 - 0,46 TV$

Onde:

T= temperatura (°C);

V=vazão de ar (m³s⁻¹)

Os dados da literatura científica revelam que temperaturas acima de 45 °C estão associadas à degradação da coloração de compostos fenólicos, devido ao aumento que ocorre no pH (VEDANA et al., 2008; FALCÃO et al., 2007). No entanto, os mesmos autores afirmam que a exposição de bagas de uva a temperaturas acima da ambiente provoca sobrematuração favorecendo a liberação dos compostos fenólicos que estão fortemente presos a casca. Este comportamento típico dos compostos fenólicos presentes na casca de uvas comprova a tendência positiva constatada no modelo, no qual verifica-se que ocorre aumento da concentração de polifenóis conforme há incremento na temperatura de secagem.

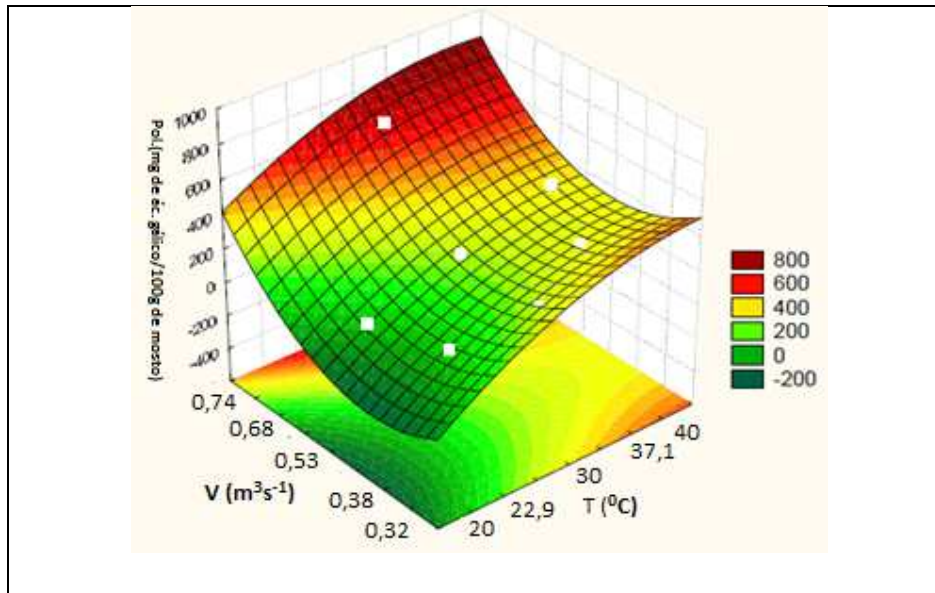


Figura 31. Superfície de resposta para mudança na concentração de compostos fenólicos.

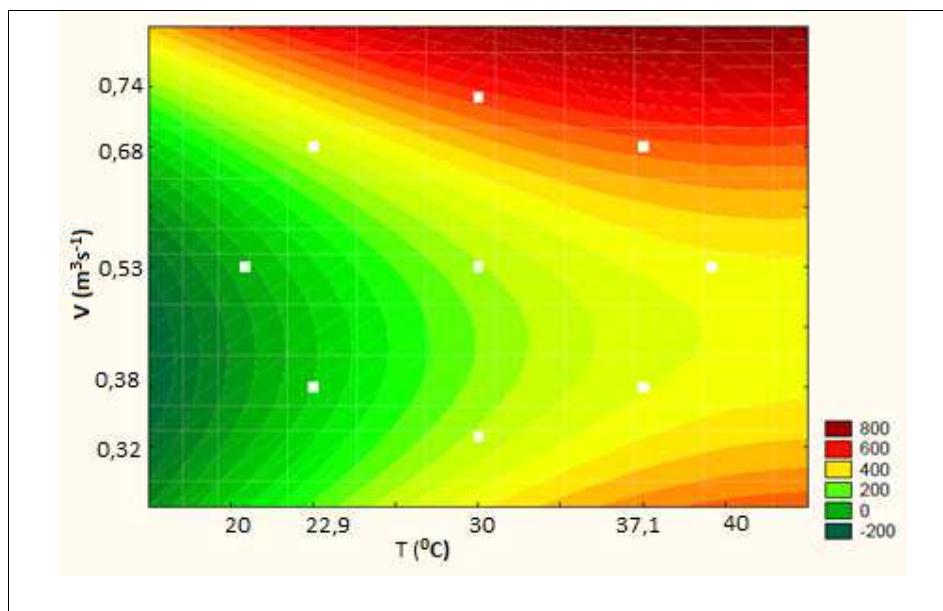


Figura 32. Faixa de melhores valores e pontos experimentais indicados.

Através das informações obtidas com a superfície de resposta e seu respectivo gráfico, tornou-se possível determinar a faixa de valores (Figura 32) para a temperatura e vazão de ar que possibilita maior aumento na concentração de compostos fenólicos. O resultado da análise do modelo feita através de análise de variância (ANOVA) é apresentado na Tabela 8.

Tabela 8. Análise de variância dos fatores operacionais da secagem de uva Niágara para concentração de compostos fenólicos.

Fontes de variação	Soma quadrática	Graus de liberdade	Média quadrática	P-valor	R ²
T (Linear)	129213,9	1	129213,9	0,008	0,48
T (Quadrático)	5270,8	1	5270,8	0,039	
V (Linear)	84350,0	1	84350,0	0,010	0,17
V (Quadrático)	29527,9	1	29527,9	0,017	
Falta de Ajuste	100410,5	4	25102,6	0,021	
Erro Puro	20,0	1	20,0		
Total	369722,1	9			

Embora o efeito dos fatores tenham sido significativos como mostra a Tabela 8, o modelo não foi preditivo e nem significativo. O coeficiente de determinação alcançado foi de 0,48, indicando que o modelo é capaz de explicar menos de 50% das variações nos resultados obtidos. Na estimativa da qualidade de ajuste do modelo aos resultados

experimentais, utilizou-se o módulo do desvio relativo médio como critério, o qual atingiu um valor de aproximadamente 24,8%.

5.4 Análise do processo de secagem

Apesar da perda de massa máxima determinada no sistema de monitoramento ser de 12% em relação à massa inicial, todos os ensaios ultrapassaram este valor devido à falta de controle do sistema, que mesmo sendo desligado automaticamente ao atingir o *setpoint* não causava redução da carga térmica no interior da câmara de secagem, pois em razão deste ser um sistema fechado e depender do funcionamento do compressor para que a temperatura do ar seja reduzida acabava por dar continuidade à secagem até que o operador dispersasse a carga térmica do sistema através de abertura da porta da câmara.

Os resultados dos ensaios de secagem podem ser vistos na Tabela 9, enquanto a cinética de secagem da uva é apresentada na forma da evolução da perda de água, (massa de água)/(massa seca) em função do tempo na Figura 33.

Tabela 9. Resultados dos ensaios de secagem de uvas Niágara em leito fixo

Ensaio ($^{\circ}\text{C}/\text{m}^3\text{s}^{-1}$)	Perda de massa (%)	Tempo 12% (h)	Energia (kW/h)	UR (%)
1 (22,9/0,38)	12,9	59,5	179,75	39,3
2 (37,1/0,38)	17,8	19,2	93,13	24,5
3 (22,9/0,68)	16,8	50,7	223,18	32,5
4 (37,1/0,68)	15,3	11,2	52,46	21,9
5 (30/0,53)	12,9	28,7	95,25	33,7
6 (30/0,53)	19,8	14,3	101,14	20,8
8 (20/0,53)	14,2	49,3	185,44	45,7
9 (40/0,53)	19,6	13,2	90,87	24,3
10 (30/0,32)	19,6	42,5	156,22	23,8
11 (30/0,74)	15,3	34,3	145,05	25,9

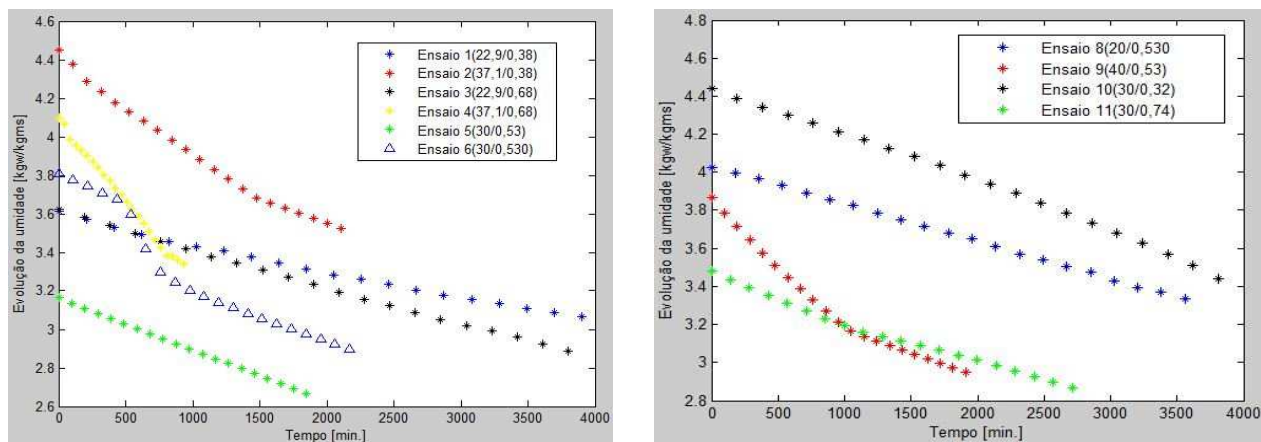


Figura 33. Cinética de secagem da uva para os níveis de temperatura e vazão.

Devido ao extenso tempo necessário para que os produtos atingissem a perda de massa desejada, era inviável que um mesmo lote de uvas fosse utilizado para todos os ensaios. Apesar de cultivados numa mesma área, os produtos vegetais tem como importante característica grande heterogeneidade em sua constituição físico-química. O fato de terem sido utilizados lotes distintos com características distintas, ocasionou em condições de umidade inicial diferentes, tendo como consequência direta a obtenção de taxas de secagem específicas para cada ensaio. No entanto, compete ressaltar que essa diferença no teor inicial de umidade não compromete os resultados encontrados, pois embora diferente todas as condições iniciais apresentavam alto teor de água.

Através das curvas de secagem, pode-se observar a influência dos fatores no processo. O tempo de secagem para atingir os 12% de perda de massa proposta variou de 11,2 a 59,5 horas. Os resultados vistos nos ensaios 2, 4 e 9 para o tempo indicam que quanto maior a temperatura, menor o tempo de secagem e de consumo de energia. Resultado semelhante foi obtido por Gouveia et al. (2003) na determinação de curvas de secagem de frutos de cajá e em outros estudos com produtos agrícolas, destacando-se os trabalhos de Alexandre et al. (2009), Dionello et al. (2009) e Corrêa et al. (2001), secando abacaxi em fatias e milho pipoca.

Os menores valores para umidade relativa do ar durante os tratamentos também foram vistos nos ensaios com maior temperatura, a exceção do ensaio 6 que na temperatura de 30 °C a umidade do ar permaneceu em média 20,8%. Kajiyama e Park (2008) comprovaram de testes em laboratório e análise de modelos matemáticos que o tempo de secagem no período de taxa constante aumenta com o aumento do teor de

umidade relativa na alimentação do processo de secagem realizado em secador atomizador, sendo o contrário também verdade.

O consumo de energia variou entre 52,46 e 223,18 kW/h. Considerando o custo da energia rural cobrado pela concessionária local (CPFL), a estimativa do custo de energia elétrica para os tratamentos com maior e menor consumo é R\$ 73,39 e R\$ 17,25. É importante destacar que além do ensaio 4 obter menor custo de processo, ele obteve o terceiro maior aumento na concentração de compostos fenólicos e aumento na CSS, deste modo, torna-se interessante avaliar esse tratamento em escala industrial para verificar se os efeitos na melhoria da qualidade das uvas respondem proporcionalmente.

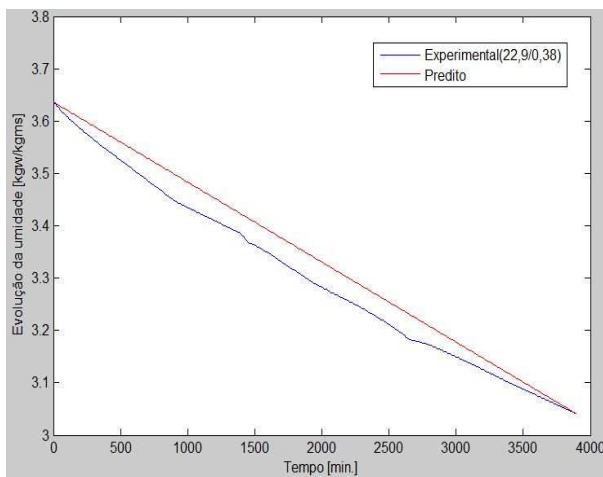
A dinâmica do consumo de energia acompanhou o efeito do tempo de processo, ou seja, os maiores consumos de energia estiveram associados aos ensaios com menor temperatura e máxima vazão de ar e os menores consumos estiveram associados às altas temperaturas.

Devido à secagem das uvas ter sido determinada até certo grau (12% de perda de massa), a transferência de calor e massa permaneceu compensando-se, ou seja, a quantidade de água livre na superfície do produto acompanhava a quantidade evaporada. Deste modo, a taxa de decaimento permaneceu constante. Conforme consta na literatura científica, essa taxa é influenciada pelas características do produto e dos fatores de secagem que quando conhecidos podem ser utilizados na construção de um modelo empírico que descreve o processo de perda de massa do produto num mesmo sistema físico, mesmo que alteradas as condições operacionais, desde que esta alteração seja conhecida (CORRÊA et al., 2007; RESENDE et al., 2010; CARLESSO et al., 2007; RESENDE et al., 2008). Os modelos de primeira ordem obtidos para cada ensaio estão descritos na Tabela 10.

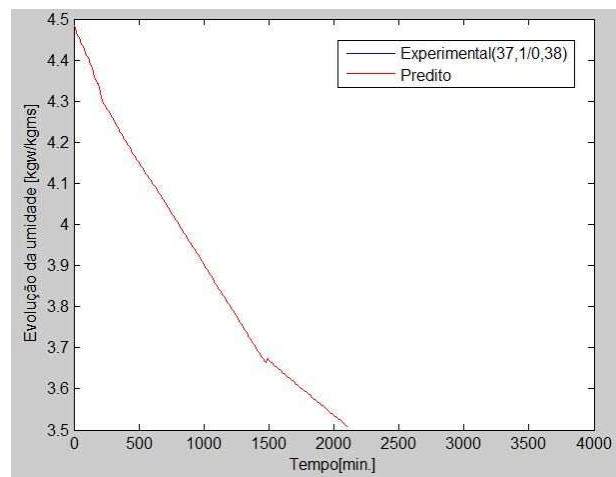
Tabela 10. Análise do modelo matemático da cinética de secagem.

Ensaio ($^{\circ}\text{C}/\text{m}^3\text{s}^{-1}$)	Modelo	DMR	R ²
1 (22,9/0,38)	Y = 3,64 -(0,0092 *tempo)	1,1E-02	0,99
2 (37,1/0,38)	Y = 4,49 -(0,0278 *tempo)	0,0E+00	1,00
3 (22,9/0,68)	Y = 3,64 -(0,0123 *tempo)	4,5E-03	0,99
4 (37,1/0,68)	Y = 4,11 -(0,0505 *tempo)	1,1E-01	0,99
5 (30/0,53)	Y = 3,18 -(0,0175 *tempo)	9,0E-04	0,99
6 (30/0,53)	Y = 3,82 -(0,0263 *tempo)	3,0E-02	0,93
8 (20/0,53)	Y = 1,94 -(0,0121 *tempo)	0,0E+00	0,99
9 (40/0,53)	Y = 3,89 -(0,0302 *tempo)	3,8E-02	0,95
10 (30/0,32)	Y = 4,47 -(0,0168 *tempo)	8,0E-03	0,99
11 (30/0,74)	Y = 3,51 -(0,0152 *tempo)	1,3E-02	0,98

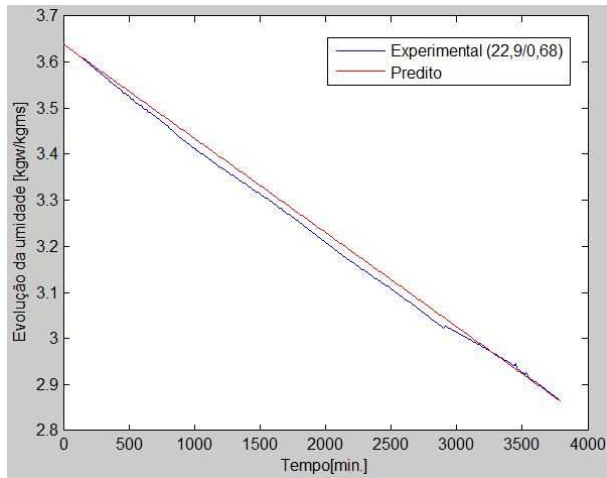
Os modelos obtidos no ensaio 2 e 8 apresentaram valor nulo para o módulo do desvio relativo médio, ou seja, os resultados preditos por eles não revelaram diferença entre os resultados experimentais. Os coeficientes de determinação alcançados por estes ensaios foram de 1,00 e 0,99 respectivamente, o que significa 100 e 99% das variações nos resultados obtidos podem ser explicadas por estes modelos empíricos. Os demais ensaios apresentaram variações no módulo do desvio relativo médio da ordem de 2,7% (min. 0,09 e máx. 11%) e nos valores alcançados pelos respectivos coeficientes de determinação da ordem de 0,98 (mín. 0,93 e máx. 1,00). Acredita-se que as variações sejam decorrentes de problemas na aquisição de dados do processo, entretanto as mesmas não comprometeram o ajuste dos modelos que podem ser vistos na Figura 34. Resultado semelhante foi obtido por Lima et al. (2002) na análise do modelo de secagem de papel artesanal com convecção forçada a taxa de secagem constante, o modelo encontrado pelos autores foi considerado adequado com coeficiente de determinação de 0,9860 e desvio relativo médio máximo de 7%.



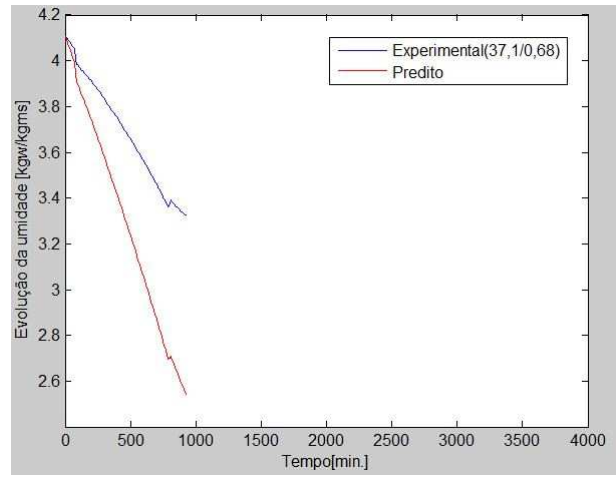
(1)



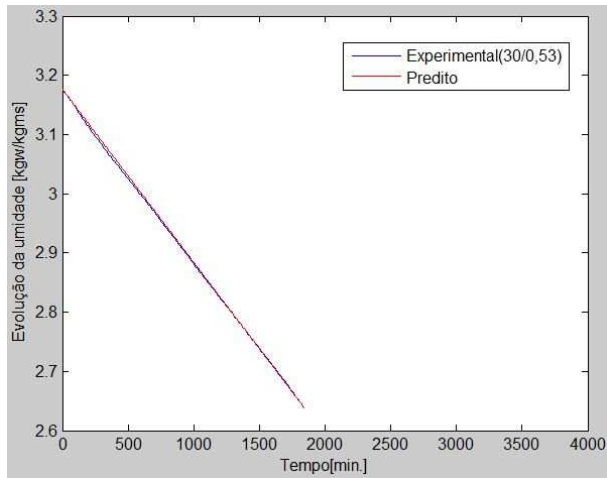
(2)



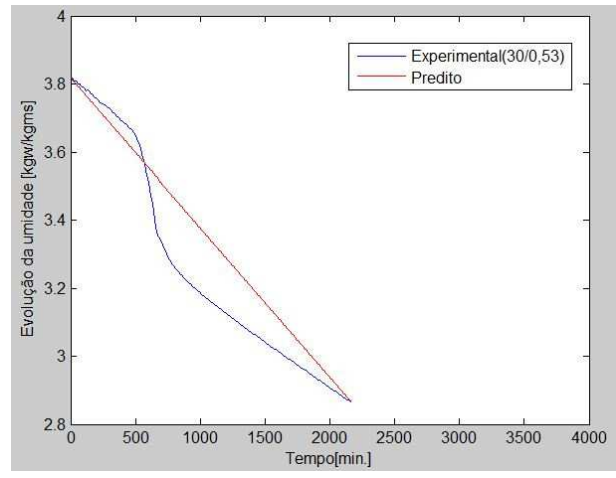
(3)



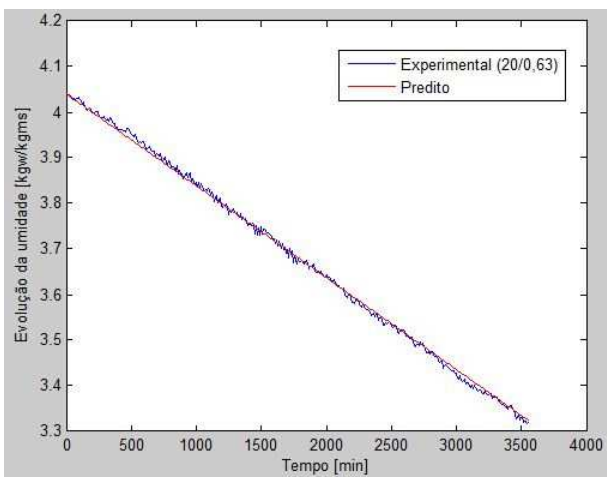
(4)



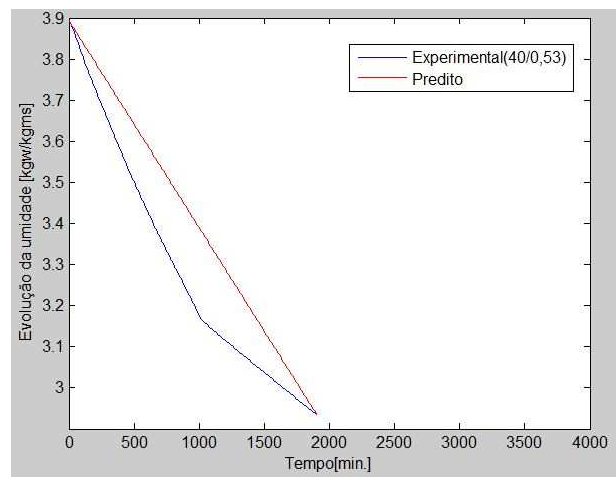
(5)



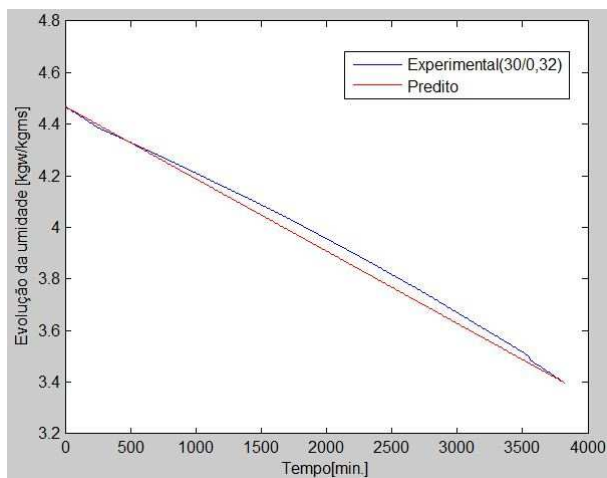
(6)



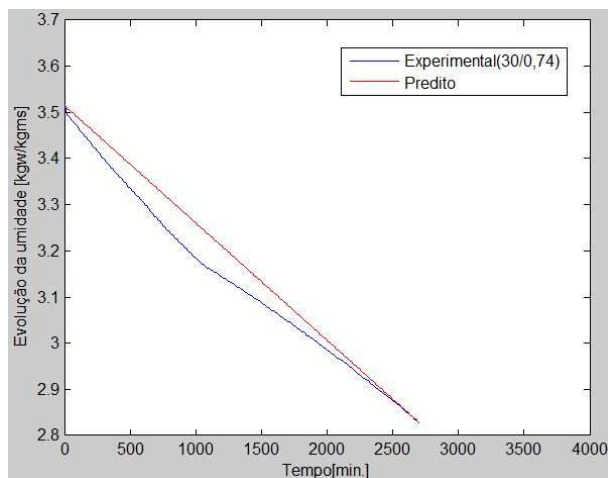
(8)



(9)



(10)



(11)

*Números entre parêntesis identificam o ensaio;**Unidade dos parâmetros da legenda $^{\circ}\text{C}/\text{m}^3.\text{s}^{-1}$

Figura 34. Gráficos de comparação entre o predito e experimental.

Os modelos obtidos consideram a massa seca das uvas e a taxa de secagem verificada para as condições ambientais e operacionais do ensaio, ou seja, cada modelo é válido apenas para aquelas condições de temperatura, vazão e umidade relativa do ar de secagem, além de que os resultados da secagem são representativos apenas para o equipamento utilizado, devendo os mesmos parâmetros serem avaliados novamente quando a secagem for realizada em outros equipamentos. A Tabela 11 e a Figura 35 apresentam os valores da taxa de secagem.

Tabela 11. Taxa de secagem

Ensaio ($^{\circ}\text{C}/\text{m}^3.\text{s}^{-1}$)	Taxa ($\text{g}.\text{h}^{-1}$)
1 (22,9/0,38)	0,0092
2 (37,1/0,38)	0,0278
3 (22,9/0,68)	0,0123
4 (37,1/0,68)	0,0505
5 (30/0,53)	0,0175
6 (30/0,53)	0,0263
8 (20/0,53)	0,0121
9 (40/0,53)	0,0302
10 (30/0,32)	0,0168
11 (30/0,74)	0,0152

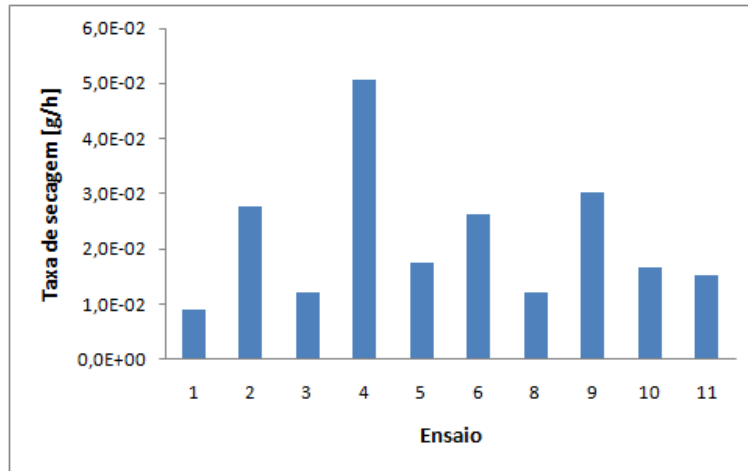


Figura 35. Gráfico de taxa de secagem.

Os resultados vistos nos ensaios 2, 4 e 9 concordam com o encontrado por Rodriguez et al. (2002) que ao avaliar os efeitos de temperatura e velocidade de ar na secagem de goiabas constatou que quanto maior a temperatura do ar, maior a taxa de secagem e conseqüentemente menor o tempo de secagem e de consumo de energia.

6 CONCLUSÕES

O aplicativo computacional e o sistema de pesagem desenvolvidos mostraram-se adequados para medição da perda de massa, temperatura, umidade relativa do ar e consumo de energia em tempo real durante o processo de secagem em alta e baixa temperatura, sendo uma ferramenta de grande utilidade para a obtenção dos parâmetros necessários para a construção de modelos matemáticos de processos de secagem, além de fornecer subsídios durante análise do processo facilitando a tomada de decisão.

Em todos os parâmetros físico-químicos avaliados observou-se mudanças estatisticamente significativas pela análise de comparação de médias entre o antes e o depois, sendo vistas maiores mudanças em CSS (4,2) e ATT (41,03) no ensaio 6, concentração de polifenóis (532,3) no ensaio 11 e pH (0,43) no ensaio 4.

O grau das respostas para os diferentes níveis de tratamento não interferiram nas mudanças ocorridas, ou seja, não puderam ser avaliadas as influências dos fatores de secagem sobre as respostas, pois seus efeitos não foram estatisticamente significativos, com exceção apenas da variável teor de composto fenólico.

A secagem até o nível de 12% ocorre à taxa constante, caracterizando essa secagem como um processo sem dinâmica de segunda ordem como ocorre no período a taxa decrescente, esse efeito resultou em modelos matemáticos de primeira ordem capazes de representar as variações que ocorrem no processo real.

As informações obtidas com a superfície de resposta forneceram a faixa de operação essencial (temperatura, vazão de ar associado ao nível de resposta) para que uma estratégia de controle da secagem com intuito de aumento na concentração de compostos fenólicos seja desenvolvida. Foi verificada a necessidade de uma estratégia de controle para resfriamento (ar frio e úmido) do produto ao final do processo, de forma que a perda de água seja interrompida, pois no sistema utilizado ocorre apenas a interrupção do fornecimento de energia e como a câmara é um sistema fechado o ar quente continuará seco até que sua umidade relativa entre em equilíbrio com a do produto, ou seja, o produto tende a continuar perdendo água e tendo sua qualidade e destino final comprometidos.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Desenvolver pesquisas analisando as isotermas de dessecamento das uvas Niágara para obter a umidade de equilíbrio para faixas diferentes de temperatura e umidade relativa do ar.
- Avaliar a aceitabilidade das uvas submetidas aos níveis de temperatura e vazão de ar que foram significativos para consumo *in natura*.
- Estudar o comportamento da secagem associado à eficiência energética num ambiente com umidade relativa do ar controlada e em escala industrial.
- Avaliar a resposta ao tratamento para cultivares utilizadas tradicionalmente apenas para vinificação (syrah, moscatel..).
- Implementar o sistema de secagem com técnicas que permitam controlar todos os parâmetros de secagem, assim como desenvolver uma estratégia de controle de resfriamento rápido das uvas ao término do processo.

8 REFERÊNCIAS

ABRAHÃO, C. et al. Aplicação do método QDF na avaliação do perfil do consumidor de melão amarelo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.29, n.4, p.716-720, Dez. 2009.

ADAMCHUK, V. I. et al. On-the-go soil sensors for precision agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 44, p. 71-91, 2004.

AGUIRRE, L. A. et al. Não linearidades estáticas de modelos NARX polinomiais e racionais. **Ciência & Engenharia**, Uberlândia, v. 8, n. 2, p. 39-47, 1999.

ALEXANDRE, H. V. et al. Cinética de secagem de abacaxi cv pérola em fatias. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.11, n.2, p.123-128, 2009.

AMENDOLA, M.; SARRIA, A.D.; RABELLO, A. A. Determinação do coeficiente convectivo de transferência de calor de figos submetidos ao resfriamento rápido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n. 2, p.176-182, Mar./Apr. 2009.

ANTUNES, A. E. B.; ANTUNES, L. M. D. Comportamento plástico do aço inoxidável austenítico em baixa temperatura. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v.60, n. 1, p.141-147, Jan./Mar. 2007.

ANURAG, D.; ROY, S.; BANDYOPADHYAY, S. **Agro-sense: Precision agriculture using sensor-based wireless mesh networks**. Calcutá, 2008. Disponível em: http://www.iimcal.ac.in/research/download/cameraReady_Agrosense.pdf Acesso em: 22 jun. 2010.

ARAÚJO, C.; ZÁRATE, N. A. H.; VIEIRA, M. C. Produção e perda de massa pós-colheita de cenoura 'Brasília', considerando doses de fósforo e de cama de frango semi decomposta. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 2, p. 131-138, 2004.

ARAÚJO, E. G. et al. Métodos de amostragem e tamanho de amostra para avaliar o estado de maturação da uva Niágara rosada. **Rev. Bras. Biom.**, São Paulo, v.27, n.4, p. 501-518, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8197** – Instrumentos de Medição de Força de uso geral – Aferição, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10583** – Células de carga (Transdutores de Força) – Terminologia, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10584** – Células de Carga (Transdutores de Força) – Determinação das características de Desempenho – Método de ensaio, 1989.

AZEREDO, H. M. C. **Fundamentos de estabilidade de alimentos**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2004. 195p.

AZEREDO, H. M. C.; JARDINE, J. G. Desidratação osmótica de abacaxi aplicada à tecnologia de métodos combinados. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.8, n.2, p.153-162, 2006.

BARBANTI, D. et al. Effect of various thermo-hygrometric conditions on the withering kinetics of grapes used for the production of “Amarone” and “Recioto” wines. **Journal of Food Engineering**, v.85, n.3, p.350-358, 2008.

BARNABÉ, D. **Produção de vinho de uvas dos cultivares Niágara rosada e bordô: Análises físico químicas, sensorial e recuperação de etanol a partir do bagaço**. Tese de Doutorado, Unesp, 2006, 93p.

BELLINCONTRO, A. et al. Different postharvest dehydration rates affect quality characteristics and volatile compounds of Malvasia, Trebbiano and Sangiovese grapes for wine production. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.84, p.1791–1800, 2004.

BERGEIJK, A.V. et al. Dynamic Weighing for Accurate Fertilizer Application and Monitoring. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 80, p. 25-35, set. 2001.

BERTI, M.; AHRENS, D. C.; BEUSSO, D. R. Secagem estacionária de sementes de trigo com utilização de gás liquefeito de petróleo. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v.27, n.2, p.81-86, Dez. 2005.

BRACKMANN, A. et al. Temperatura e umidade relativa na qualidade da tangerina “Montenegrina” armazenada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.2, p.340-344, Mar./Abr. 2008.

BRACKMANN, A.; LUNARDI, R.; DONAZZOLO, J. Frigoconservação e controle de podridões em laranja 'valência'. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.29, n.2, p. 247-251, 1999.

CAIXETA, R. et al. Propriedades e classificação da madeira aplicadas à seleção de genótipos de Eucalyptus. **Revista Árvore**, Viçosa, v.27, n. 1, p.43-51, Jan./Fev. 2003.

CARLESSO, V. O. et al. Avaliação de modelos de secagem em camada fina de sementes de maracujá amarelo. **Revista Brasileira Sementes**, v.29, n.2, p.28-37, Ago. 2007.

CARVALHO, E. A. N. et al. Medição de velocidade angular com alta resolução usando enconders de baixa resolução e PLL. **Sba Controle & Automação**, v.21, n.6, p.616-625, Nov./Dez. 2010.

CAVARIANI, C. et al. Secagem estacionária de sementes de milho com distribuição radial do fluxo de ar. ii. andamento físico. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v. 21, n 1, p.7-17 – 1999.

CÓDIGO INTERNACIONAL DE PRÁTICAS ENÓLOGAS. **O.I.V. Rue D'Ágousseau**, Páris, 2006.

Disponível em:

<http://news.reseauconcept.net/images/oiv_it/Client/Code_Ed_2006_FR.pdf>

Acesso em: 09 de Fevereiro de 2011.

COLTRO, L.; GASPARINO, B. F.; QUEIROZ, G. C. Reciclagem de materiais plásticos: a importância da identificação correta. **Polímeros**, São Carlos, v.18, n. 2, p.119-125, Abr./Jun 2008.

CONSTANTINI, V. et al. Metabolic changes of Malvasia grapes for wine production during postharvest drying. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**.v.54, p.3334–3340, 2006.

CORREA, C. A.; YAMAKAWA, R. S.; HAGE JUNIOR, E. Determinação de Temperatura de Transição Dúctil-frágil de Plásticos Através de Testes de Impacto Instrumentado. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, p.76-84, Jan/Mar, 1999.

CORRÊA, P. C.; MACHADO, P. F.; DE ANDRADE, E. T. Cinética de secagem e qualidade de grãos de milho-pipoca. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v.25, n.1, p. 134-142, jan./fev. 2001.

CORRÊA, P. C. et al. Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (*Phaseolus vulgaris L.*) em camadas delgadas. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.27, n.2, p.501-510, maio/ago. 2007.

CURVELO-GARCIA, A. S. Práticas enológicas internacionalmente reconhecidas. **Ciência Técnica Vitivinícola**. V. 20, p.105-130, 2005.

DEGAN, P. et al. Influência de métodos de secagem na conservação de sementes de Ipê-branco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.3, p.492-496, 2001.

DELGADO-ROJAS, J. S. et al. Desempenho da sonda de dissipação térmica na medida da transpiração de plantas jovens de Lima Ácida. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.2, p.404-413, Mai/Ago. 2007.

DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO. **Lei nº10.970, de 12 de novembro de 2004**. Disponível em: <http://www.receita.fazenda.gov.br/legislacao/Leis/2004/lei10970.htm>
Acesso em: 24 de Outubro de 2011.

DI MATEO, M. et al. Effect of a novel physical pretreatment process on the drying kinetics of seedless grapes. **Journal of Food Engineering**, n.46, p.83-89, 2000.

DIONELLO, R. G. et al. Secagem de fatias de abacaxi in natura e pré-desidratadas por imersão-impregnação: cinética e avaliação de modelos. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, 29(1): 232-240, jan.-mar. 2009.

DIONELLO, R. G. et al. Desidratação osmótica de frutos de duas cultivares de abacaxi em xarope de açúcar invertido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.5, p.596-605, 2009.

DOYMAZ, I.; PALA, M. The effects of dipping pretreatments on air-drying rates of the seedless grapes. **Journal of Food Engineering**, n.52, p.413-417, 2002.

EL-AOUAR, Â. A.; MURR, F. E. X. Estudo de modelagem da cinética de desidratação osmótica do mamão formosa (*Caricapapaya L.*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.23, n.1, p.69-75, Jan./Abr. 2003.

FALCÃO, A. P. et al. Índice de polifenóis, antocianinas totais e atividade antioxidante de um sistema modelo de geléia de uvas. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, 27(3): 637-642, jul.-set. 2007.

FELDBERG, N. P. et al. viabilidade da utilização de descartes de produção de uvas sem sementes para elaboração de passas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.30, n.3, p.846-849, Setembro 2008.

FERREIRA, P.; RINO, J. P. Análise de um estilingue e espirais de caderno: um estudo de caso. **Revista Brasileira Ensino de Física**, São Paulo, v.28, n. 2, p.195-199, Abr./Jun. 2006.

FIORENTIN, L. D. et al. Determinação da cinética e das isotermas de secagem do bagaço da Laranja. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 32, n. 2 p. 147-152, 2010.

FOGAÇA, A. L.; DAUDT, C. E.; DORNELES, F. Potássio em uvas II – Análise peciolar e sua correlação com o teor de potássio em uvas viníferas. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, 27(3): 597-601, jul.-set. 2007.

FREITAS, A. A. C.; SILVA, I. N.; SOUZA, A. N. Aplicação de redes neurais na estimação da temperatura interna de transformadores de distribuição imersos em óleo. **Sba Controle & Automação**, Campinas, v.13, n.3, p.266-274, 2002.

GABAS, A. L. ; ROMERO, J. T.; MENEGALLI, F. C. Permeabilidade da Casca de Uva Itália. **Brazilian Journal of Food Technology (ITAL)**, Campinas, v. 1, n. 1,2, p. 90-96, 1998.

GABAS, A. L.; TELIS-ROMERO, J.; MENEGALLI, F. C. Cinética de degradação do ácido ascórbico em ameixas liofilizadas. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, Campinas, v. 23, p.66-70, Dez. 2003.

GALVÃO, R. K. H. et al. Estudo comparativo sobre filtragem de sinais instrumentais usando transformadas de Fourier e Wavelet. **Química Nova**, v. 24, n.6, p.874-884, 2001.

GARCIA, D. C. et al. A secagem de sementes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.2, p.603-608, Mar./Abr. 2004.

GARCIA, R. F. et al. Programa computacional para aquisição de dados para avaliação de máquinas agrícolas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campinas Grande, v.7, n.2, p.375-381, 2003.

GOMES, P. T. V.; MANSUR, T. R.; ORTIGAO, J. A. R. Aplicação de extensômetros sobre tecidos geossintéticos. **Ciência e Engenharia**, v.11, p. 37-42, 2002.

GONZÁLEZ, A.G.; HERRADOR, M. A. The assessment of electronic balances for accuracy of mass measurements in the analytical laboratory. **Accreditaion and Quality Assurance**, v.12, p. 21–29, 2007.

GOUVEIA, J. P. G. et al. Avaliação da cinética de secagem de caju mediante um planejamento experimental. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.3, p.471-474, Set./Dez. 2002.

GOUVEIA, J. P. G. et al. Determinação das curvas de secagem em frutos de cajá. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, Especial, n.1, p.65-68, 2003.

GREGORY, O. J.; CHEN, X.; CRISMAN, E. E. Strain and temperature effects in indium – tin – oxide sensors. **Thin Solid Films**, v. 518, p. 5622–5625, Jul. 2010.

GROVER, D.; DELLER, J. **Digital signal processing and microcontroller**. 1ed. Prentice Hall PTR. 525 p. 1998.

GUERRA, C. C.; ZANUS, M. C. **Uvas viníferas para processamento em regiões de clima temperado**. EMBRAPA - Sistema de Produção, 2003. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Uva/UvasViniferasRegioesClimaTemperado/colheita.htm>
Acesso em: 20 de Setembro de 2011

IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Sistema de Recuperação Automática de Dados, 2011.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos químicos e físicos para análises de alimentos**. v. 1, 4 ed. Brasília, 2005. 1018p

JASPER, S. P.; BIAGGIONI, M. A. M.; RIBEIRO, J. P. Avaliação do desempenho de um sistema projetado para os pequenos produtores rurais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.32, n.4, p.1055-1061, jul./ago. 2008.

KAJIYAMA, T.; PARK, K. J. Influência da umidade inicial da alimentação no tempo de secagem em secador atomizador. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.10, n.1, p.1-8, 2008.

KARIM, M. A.; HAWLADER, M. N. A. Mathematical modelling and experimental investigation of tropical fruits drying. **International Journal of Heat and Mass Transfer**. v.48, p.4914-4925, 2005.

KYOWA ELETRONIC INSTRUMENTS CO. LTDA. **What's a strain gage? Introduction to strain gage**. Tokyo. Disponível em: www.kyowa-ei.com. Acesso: 25 jun. 2010.

KUROZAWA, L. E.; EL-AQUAR, Â. A.; MURR, F. E. X. Obtenção de isothermas de dessecção de cogumelo in natura e desidratado osmoticamente. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.25, n.4, p. 828-834, Out./Dez. 2005.

LARRAURI, J. A.; RUPÉREZ, P.; SAURA-CALIXTO, F. Effect of drying temperature on the stability of polyphenols and antioxidant activity of red grape pomace peels. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**.v.45, P.1390-1393, 1997.

LIMA JÚNIOR, H. C. et al. Análise mecânica de pilares mistos bambu-concreto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14 n. 5, p.545-553, Mai. 2010.

LIMA JÚNIOR, H. C.; WILRICH, F. L.; FABRO, G. Vigas de concreto reforçadas com bambu *Dendro calamus giganteus*. II: modelagem e critérios de dimensionamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n. 4, p.642-651, Out./Dez. 2005.

LIMA, O. C. M.; PEREIRA, N. C.; MENDES, E. S. Análise da cinética de secagem de papel artesanal com ar ambiente em convecção forçada. **Acta Scientiarum**. Maringá, v.24, n.6, p.1665-1671, 2002.

LEÃO, R. A. et al. Desenvolvimento de um dispositivo eletrônico para calibração de sensores de umidade do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.1, p.294-303, jan./abr. 2007.

LOPES, E. S.; CRISTO, J. F. C.; PIEPER, M. Avaliação técnica de um sistema de pesagem no carregamento florestal. **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, n.4, p.575-581, 2006.

MAGNAGO, R.; FISCH, G.; MORAES, O. Análise espectral do vento no Centro de Lançamento de Alcântara (CLA). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.2, p. 260-269, 2010.

MANFROI, L. et al. Evolução da maturação da uva Cabernet Franc conduzida no sistema lira aberta. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 28, n. 2, p. 306-313, mar./abr., 2004.

MARINI, L. J.; GUTKOSKI, L. C.; ELIAS, M. C. Efeito da temperatura de secagem e relação de intermitência na inativação enzimática e viscosidade de pasta de aveia. **Revista Brasileira Agrocência**, Pelotas, v.13, n.1, p.55-60, jan./mar. 2007.

MARTINS, M. C. P. et AL. Efeito das condições da desidratação osmótica na qualidade de passas de caju-do-cerrado. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v.28, p.158-165, dez. 2008

MASETO, T. E. et al. Desiccation tolerance and dna integrity in *Eugenia pleurantha* O. Berg.(Myrtaceae) seeds. **Revista Brasileira de Sementes**, v.30, n. 2, p.51-56, 2008.

MEDEIROS, C. D.; CAVALCANTE, J. A.; ALSINA, O. L. S. Estudo da desidratação osmótica da fruta da palma (figo da índia). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.8, n.2, p.153-162, 2006.

MENCARELLI, F. et al. Integration of Nondestructive Techniques with Destructive Analyses to Study Postharvest Water Stress of Winegrapes. **American Society for Enology and Viticulture**.v.60, n.1, p.57-65, 2009.

MENCARELLI, F. et al. Metabolic Changes of Malvasia Grapes for Wine Production during Postharvest Drying. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.54, n.9, p.3334-3340, 2006.

MENEGUZZO, J. et al. Efeito de *Botrytis cinérea* na composição do vinho Gewürztraminer. **Ciênc. Tecnol. Aliment.** V. 26, n.3, Campinas Jul/Set. 2006.

MENEZES, N. L.; CÍCERO, S. M.; VILLELA, F. A. Identificação de fissuras em sementes de arroz após a secagem artificial, por meio de raios-X1. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.5, p.1194-1196, set./out. 2005.

MIRANDA, L. C.; SILVA, W. R.; CAVARIANI, C. Secagem de sementes de soja em silo com distribuição radial do fluxo de ar. I. monitoramento físico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.11, p.2097-2108, nov. 1999.

MOLINA, J. C.; CALIL JÚNIOR, C. Estratégia para modelagem numérica de sistemas mistos considerando diferentes modelos de ruptura para os materiais. **Revista Chilena de Ingeniería**, Arica, v.17, n.2, p.256-266, Ago. 2009.

MORA, L. A. **Processo de incubação artificial de ovos: desenvolvimento de sistemas de medição de temperatura e massa**. 113p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2008.

MORENO, J.B. et al. Effect of postharvest dehydration on the composition of pinot noir grapes (*Vitisvinifera* L.) and wine. **Food Chemistry**, v.109, p755–762, 2008.

MUTZENBERG, L. A.; VEIT, E. A.; SILVEIRA, F. L. Elasticidade, plasticidade, histerese... e ondas. **Revista Brasileira Ensino de Física**, São Paulo, v.26, n.4, p.307-313, Out./Dez. 2004.

NETO, J. M. M.; CIRNE, L. E. M. R.; PEDROZA, J. P. e SILVA, M. G. Componentes químicos da farinha de banana (*musa sp.*) obtida por meio de secagem natural. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.3, p.316-318, 1998.

NEVES, E. et al. Secagem de sementes de milho em espiga, em função da altura da camada e fluxo de ar. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v.27, n.2, p.117-124, Dez. 2005.

NGUYEN, M. H.; PRICE, W. E. Air-Drying of Banana: Influence of Experimental Parameters, Slab Thickness, Banana Maturity and Harvesting Season. **Journal of Food Engineering**. v.79, n.1, p.200-207, 2007.

OBANDA, M.; OWUOR, P. O. Flavanol composition and caffeine content of green leaf as quality potential indicators of Kenyan Black Teas. **Journal of the Science of Food and Agriculture**.v.74, p.209-215.1997.

OLIVEIRA, L. C. et al. Efeito da temperatura de secagem na qualidade de grãos de aveia branca. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.34, n.2, p.313-319, Mar./Abr. 2010.

OLIVER, G. S. Debates científicos e a produção do vinho paulista, 1890-1930. **Rev. Bras. Hist.** vol.27 no.54 São Paulo Dec. 2007

PARK, K. J. et al. **Conceitos de processo e equipamentos de secagem**. Campinas, Março 2007. Disponível em: <http://www.feagri.unicamp.br/ctea/projpesq.html>
Acesso em: 2 de Agosto de 2011.

PARK, K. J.; YADO, M. K. M.; BROD, F. P. R. Estudo de secagem de pêra bartlett (Pyrussp.) em fatias. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.21, n.3, p.288-292, Set./Dez. 2001.

PEDRO JÚNIOR, M. J.; POMMER, C. V.; MARTINS, F. P. Curvas de maturação e estimativa do teor de sólidos solúveis para a videira 'niagara rosada' com base em dados meteorológicos. **Bragantia**.v.56, n.2, Campinas, 1997.

PESSOA, J. D. C. et al. Characterization of açai (*E. oleracea*) fruits and its processing residue. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.53, n.6, p. 1451-1460, 2010.

RAFFUL, L. Z. L. et al. Modelagem e análise de um sistema de controle automático da altura de corte em colhedoras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.3, p.751-758, Jul/Set. 2006.

RECH, C. et al. Impacto de métodos de sincronismo no desempenho de geradores de indução auto-excitados. **Sba Controle & Automação**, v.19, n.4, p 475-485, Out./Nov./Dez. 2008.

REGAZZI, R. D.; PEREIRA, P. S.; SILVA JR, M. F. **Soluções Práticas de instrumentação e automação – Utilizando a programação Gráfica LabVIEW**. Rio de Janeiro: (s.n). 456 p. 2005.

REINERT, D. J.; COLLARES, G.L.; REICHERT, J. M. Penetrômetro de cone com taxa constante de penetração no solo: desenvolvimento e teste de funcionalidade. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.1, p.304-316, Jan./Abr. 2007.

REIS, M. L. C. C. et al. Validação da calibração de uma balança externa de túnel de vento. **Engevista**, v. 7, n. 2, p. 19-28, dez. 2005.

RESENDE, O. et al. Propriedades físicas do feijão durante a secagem: Determinação e modelagem. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.32, n.1, p.225-230, Jan./Fev. 2008.

- RESENDE, O. et al. Modelagem matemática do processo de secagem de duas variedades de feijão (*Phaseolus vulgaris L.*). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.10, n.1, p.17-26, 2008.
- RESENDE, O.; FERREIRA, L. U.; ALMEIDA, D. P. Modelagem matemática para descrição da cinética de secagem do feijão adzuki (*Vigna angularis*). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.12, n.2, p.171-178, 2010.
- RIQUELME, J. A. L. et al. Wireless Sensor Networks for precision horticulture in Southern Spain. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 68 , p. 25-35, 2009.
- RIZZON; L. A.; MIELE, A. Correção do mosto da uva Isabel com diferentes produtos na Serra Gaúcha. **Cienc. Rural**. Santa Maria, v.35, n.2, Mar./Apr. 2005.
- RIZZON, L. A.; MIELE, A. Acidez na vinificação em tinto das uvas Isabel, Cabernet Sauvignon e Cabernet Franc. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.32, n.3, p.511-515, 2002.
- RIZZON, L. A.; SGANZERLA, V. M. A. Ácidos tartárico e málico no mosto de uva em Bento Gonçalves-RS. **Ciência Rural**, v.37, n.3, mai-jun, 2007.
- RIZZON, L. A.; ZANUZ, M. C.; MIELE, A. Evolução da acidez durante a vinificação de uvas tintas de três regiões vitícolas do Rio Grande do Sul. **Ciênc. Tecnol. Aliment.** v.18, n.2, Campinas. Ma./Jul. 1998
- ROBALLO, A. T.; FISCH, G.; GIRARDI, R. M. Escoamento atmosférico no Centro de Lançamento de Alcântara (CLA): parte II - ensaios no túnel de vento. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v.24, n.1, p.87-99,, Mar. 2009.
- RODRIGUEZ, M. E. A. Avaliação da temperatura e velocidade do ar na secagem de goiaba. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.4, n.2, p.141-147, 2002
- SAMPAIO, S. M.; QUEIROZ, M. R. Influência do processo de secagem na qualidade do cogumelo shiitake. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.2, p.570-577, Mai/Ago. 2006.
- SANTO, A. C. E. et al. Desenvolvimento de um dispositivo para medição de esforços em hastes de semeadoras de plantio direto. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.2, p.288-298, Mar./Abr. 2010.

SANTOS, E. T. F.; OLIVEIRA, A. Estimacão indireta de velocidade de um motor de induco trifásico utilizando um Analisador de Espectro Lock-in. **Sba Controle & Automao**, v.16, n.1, p.70-75, Jan./Fev./Marc. 2005 .

SANTOS, R. M. et al. Montagem e acurácia de um sistema experimental de pesagem para calibrao de sensores de umidade do solo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.30, n.6, p.1162-1169, Nov./Dez. 2006.

SARAIVA, A. M.; HIRAKAWA, A. R.; CUGNASCA, C. E. A weighing system for grab loaders for sugar cane yield mapping. **Precision Agriculture**, v.2, n.3, p. 293-309, 2000.

SARAVIA, C. T.; PERES, W. B.; RISSO, J. Manejo da temperatura do ar na secagem intermitente de sementes de arroz irrigado. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v. 29, n. 2, p.23-27, 2007.

SATO, A. J. et al. Fenologia e produo das videiras 'Alicante' e 'Syrah' em safra fora de época. **Cienc. Rural**. Santa Maria, v.41, n.8, Aug. 2011.

SAVY FILHO, A. et al. Conservao de sementes de amendoim em câmara fria e seca. **Bragantia**, Campinas, v.45, n.2, p.371-375, 1986.

SCHIEDECK, G. et AL . Maturao da uva niágara rosada cultivada em estufa de plástico e a céu aberto . **Ciência Rural**; v. 29, n. 4, p.629-633. Dez. 1999.

SERRANO, J. M. et al. Avaliao de um distribuidor centrífugo de adubo na perspectiva de utilizao em agricultura de precisão. **Revista de Ciências Agrárias**, v.30, n.1, p.79-86, 2007.

SERRATOSA, M. P. et al. Compostos fenólicos obtidos de uvas secas em câmara com temperatura controlada da casta Pedro Ximnez. Livro das Actas 30/04/2010, 17:24, pp123-131. **8vo Simpósio de Vitivinicultura do Alentejo.Evento Alentejo das Gastronomias Mediterrânicas – Festival Internacional**. Disponível em http://cvra.mikroelement.pt/media/documents/250510_1274806852.pdf

SILVA, J. C. T. R. **Estudo de um sistema de resfriamento com ar forçado com monitoramento do consumo de energia elétrica**. 99p. Dissertao (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2010.

SILVA, K. C.; GOMES, J. E. L.; FERREIRA, M. B. Utilização de microesferas de aço nos concretos estruturais. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v.55, n.1, p.39-42, Jan./Mar. 2002.

SILVA, L. C. et al. Níveis de produção em vinhedos de altitude da cv. *Malbec* e seus efeitos sobre os compostos fenólicos. **Rev. Bras. Frutic.** V.30, n.3, Jaboticabal Sept. 2008.

SILVA, M.; OLESKOVICZ, M.; COURY, D. V. Uma nova ferramenta baseada na transformada Wavelet para localização digital de faltas. **Sba Controle & Automação**, v.16, n.3, p.345-358, Jul./Ago./Set. 2005.

SIMIONI, D. et al. Parâmetros operacionais na secagem intermitente de grãos de aveia branca cultivar UPFA 20 Teixeirainha. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 2, p. 497-502, mar./abr. 2008.

SOARES, R. D. et al. Influência da temperatura e velocidade do ar na secagem de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) com relação aos teores de óleos essenciais e de linalol. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1108-1113, 2007.

SOUZA, L. H. et al. Capacidade de produção e consumo específico de energia em picadoras forrageiras tipo desintegrador/picador/moedor. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.1, p. 88-93, Jan./Fev. 2009.

SOUZA, T., M.; CANTO, M., A. R. Sistema de monitoramento de fontes de energias renováveis. **Encontro de Energia no Meio Rural**, 2004. In 5^o ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 2004, Campinas. **Anais eletrônicos...** Campinas, 2004. Disponível em:
http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022004000200045&script=sci_abstract&tlng=ptAcesso em: 10 de Março de 2011.

STEIL, M. C. et al. Montagem, calibração e testes de um sistema de medidas elétricas em função da temperatura e da pressão parcial de oxigênio. **Cerâmica**, v.48, n.307, p.146-152, Jul./Ago./Set. 2002.

TAVARES, L. M. M.; LIMA, A. S. Célula de carga de impacto na caracterização de materiais para cominuição. Parte 2: Fratura de partículas. **Revista Escolas de Minas**, Ouro Preto, v. 59, n.2, p. 165-172, abr./ jun. 2006.

- TELIS, V. R. N. et al. Taxas de secagem de uva Rubi submetida a pré-tratamentos químicos para a produção de passas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.3, p.503-509, Mar. 2006.
- TERUEL, B. J. Controle automatizado de casas de vegetação: Variáveis climáticas e fertigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.3, p.237-245, Mar. 2010.
- TERUEL, B. J. et al. Estudo teórico do resfriamento com ar forçado de frutas de geometrias diferentes. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.21, n.2, Mai./Ago. 2001.
- TERUEL, B. et al. Interface homem-máquina para controle de processos de resfriamento com ar forçado visando à economia de energia. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.3, p.705-710, 2008.
- TOBIAS, O. J.; SEARA, R. Filtros adaptativos IFIR: modelagem via restrições lineares. **Revista Controle & Automação**, v.4, n.1, p.84-91, Jan./Fev./Mar. 2003.
- USIDA, W. F.; OLESKOVICZ, M.; RODRIGUES, L. C. P.; COURY, D. V. Análise qualitativa no monitoramento automático dos eventos de tensão de curta duração. **Sba Controle & Automação**, v.20, n.3, p.323-334, Jul./Ago./Set. 2009.
- VALERIO, A. F. et al. Ajuste de modelos matemáticos para estimativa de biomassa nos distintos componentes de uva do Japão (*Hoveni dulcis thunb.*). **Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, Guarapuava, v. 3, n. 3, p.325-336, Set./Dez. 2007.
- VARGAS, P. N.; HOELZEL, S. C.; ROSA, C. S. Determinação do teor de polifenóis totais e atividade antioxidante em sucos de uva comerciais. **Alimentos e Nutrição**. Araraquara ISSN 0103-4235. v.19, n.1, p.11-15, jan./mar. 2008.
- VARGAS, R. T. **Sistema de pesagem em correia transportadora**. 2006. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Federal do Espírito Santo.
- VEDANA, M. I. S. et al. Efeito do processamento na atividade antioxidante de uva. **Alim. Nutr.** Araraquara, v.19, n.2. p.159-165, abr./jun. 2008.
- VELLIDIS, G. et al. A real-time wireless smart sensor array for scheduling irrigation. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.61, n. 1, p. 44-50, 2008.

VIEIRA, J. A. G.; CAL-VIDAL, J. Secagem a frio de creme de abacate. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, n.4, p.553-562, Abr. 1995.

VIM. **Vocabulário internacional de termos básicos e genéricos em metrologia**. Inmetro. 1^a. Edição. Brasil. 2008.