

**MARIA DA CONCEIÇÃO TRINDADE BEZERRA E OLIVEIRA**

**OBTENÇÃO DE BANANA PASSA POR MEIO DE SECAGEM VIA  
GASEIFICAÇÃO DE CARVÃO VEGETAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

**VIÇOSA**  
**MINAS GERAIS – BRASIL**  
**2011**

**MARIA DA CONCEIÇÃO TRINDADE BEZERRA E OLIVEIRA**

**OBTENÇÃO DE BANANA PASSA POR MEIO DE SECAGEM VIA  
GASEIFICAÇÃO DE CARVÃO VEGETAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Dissertação aprovada em 04 de março de 2011.

---

Prof. Adílio Flauzino de Lacerda Filho

---

Prof. Evandro de Castro Melo

---

Prof. Paulo Marcos de Barros Monteiro

---

Prof<sup>ª</sup>. Valéria Paula Rodrigues Minim  
(Co-orientadora)

---

Prof. Jadir Nogueira da Silva  
(Orientador)

*“Quando uma criatura humana desperta para um grande sonho  
e sobre ele lança toda a força de sua alma,  
todo o universo conspira a seu favor”.*  
*(Goethe)*

*Ao meu querido esposo Jofran Luiz e minha adorada filha Laura.*

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

À Deus Todo Poderoso, por ter concedido tantas bênçãos em minha vida, dando-me sempre forças para lutar e seguir em frente em todos os momentos.

A meus queridos e amados pais, **Antônio Luiz e Edeleuza**, razões de minha vida, que incansavelmente estiveram ao meu lado, dando-me sempre o apoio necessário para todas as minhas realizações, por tanto amor e carinho que me foram ofertados durante toda minha existência.

Ao meu amado esposo, **Jofran Luiz**, por ser minha fortaleza sempre que eu quero fraquejar, por sempre acreditar que eu posso e vou conseguir, por ser meu companheiro de todas as horas, estando sempre ao meu lado com tanta paciência, amor e dedicação durante todos esses anos,

A minha amada filha, **Laura**, por ser a minha motivação, a minha força, a minha vida, o meu tudo.

A meus irmãos: **Luciano, Lélis, Lesliane e Izabelle**, por estarem sempre ao meu lado, com gestos e palavras de amor e amizade, os quais sempre foram fundamentais em minha vida.

A minha querida sobrinha **Maria Eduarda** por um presente de Deus.

A meus sogros **D. Francisca e Sr. Luiz**, por serem como meus segundos pais, me apoiado e auxiliado sempre que precisei.

A todos os meus familiares, tios, primos e avós, por serem muito especiais.

Ao meu orientador **Jadir Nogueira da Silva**, por ter sido como um pai ensinando-me sempre a enfrentar os obstáculos, por ter acreditado e confiado em mim, pela atenção e paciência que me foi dedicada, e por seus valiosos conselhos e orientações.

Aos meus Co-Orientadores: **Paulo César Corrêa** por ter adicionado muito em minha vida profissional; e **Valéria Minim** por ter sido indispensável para o enriquecimento do trabalho.

A professora **Rossana Figueirêdo** pelos preciosos ensinamentos repassados e pela amizade, sempre estando disposta a me ajudar, auxiliando-me sempre quando as dívidas surgiam. E a todos do Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA), do Departamento de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

A Professora **Ilda Tinôco**, pelo apoio e por seus conselhos que me ajudaram a enfrentar os problemas surgidos.

Ao professor **Marcio Arêdes** por mesmo sem me conhecer lutou pelos meus direitos.

A todos os professores da Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, por terem me ajudado a alcançar meu objetivo.

Aos meus queridos amigos: **Akemi, Neiton, Jairo, Olga, Zanatta, Samuel, Luciano Mendes, Flávio, Débora, Maria Clara, Irene, Fátima, Roque, Keller, Damiana, Giovanna, Otaviana, Emanuele, Gabriel, Rafael, Diana, Marta, Ivanildo, Oscar, Guilherme, Daniel, Ana Paula e Juliana** por terem me proporcionado momentos de muita alegria e descontração, fazendo com que se tornassem inesquecíveis.

A meus queridos amigos e companheiros de todas as horas: **Cássio, Svetlana, Julianne e Helton** por terem sido incansáveis sempre que precisei.

A minhas amigas **Karla, Tâmila Kassimura, Denise, Clarice e Pollyana**, por mesmo distantes estarem sempre ao meu lado, dando-me suporte em tudo que precisei.

A todos que de alguma forma colaboraram para o desenvolvimento e finalização do nosso trabalho, em especial **Edson, Sr. Catitu, Sr. Galinário, Sr. José Eustáquio, Hamilton, Sr. Carlos, e Sr. Geraldo**.

À Universidade Federal de Viçosa pela oportunidade que me foi concedida.

Ao CNPq pelo auxílio financeiro, indispensável para a realização deste trabalho.

*A todos o meu Muito Obrigado!!!*

## **BIOGRAFIA**

Maria da Conceição Trindade Bezerra e Oliveira, filha de Antônio Luiz Bezerra e Edeleuza Trindade de Souto Bezerra, nasceu em 08 de dezembro de 1985, na cidade de Patos, no Estado da Paraíba.

Graduou-se em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande em Abril de 2008. Em março de 2009 iniciou o Mestrado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa, na área de concentração em Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas, concluindo o curso em março de 2011.

## SUMÁRIO

LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS .....	viii
LISTA DE FIGURAS .....	ix
LISTA DE QUADROS .....	xi
LISTA DE TABELAS .....	xii
RESUMO .....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>1.1. OBJETIVOS .....</b>	<b>19</b>
<i>1.1.1. Objetivo geral .....</i>	<i>19</i>
<i>1.1.2. Objetivos específicos .....</i>	<i>19</i>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>20</b>
<b>2.1. Banana .....</b>	<b>20</b>
<b>2.2. Gaseificação.....</b>	<b>26</b>
<b>2.3. Secagem .....</b>	<b>31</b>
<b>2.4. Cinética de Secagem .....</b>	<b>36</b>
<b>2.5. Encolhimento .....</b>	<b>40</b>
<b>2.6. Características físico-químicas.....</b>	<b>42</b>
<b>2.7. Análise Sensorial.....</b>	<b>43</b>
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>45</b>
<b>3.1. Tratamentos .....</b>	<b>45</b>
<b>3.2. Matéria-prima.....</b>	<b>45</b>
<b>3.3. Preparo da amostra.....</b>	<b>46</b>
<b>3.4. Caracterização física da matéria-prima .....</b>	<b>46</b>
<i>3.4.1. Teor de água e sólidos totais.....</i>	<i>46</i>
<i>3.4.2. Cinzas .....</i>	<i>47</i>
<i>3.4.3. Massa.....</i>	<i>47</i>
<i>3.4.4. Comprimento e diâmetro do fruto .....</i>	<i>47</i>
<b>3.5. Secagem da banana .....</b>	<b>48</b>
<b>3.6. Caracterização físico-química da banana desidratada .....</b>	<b>51</b>
<i>3.6.1. pH .....</i>	<i>51</i>
<i>3.6.2. Acidez total titulável.....</i>	<i>51</i>
<i>3.6.3. Açúcares redutores .....</i>	<i>51</i>
<i>3.6.4. Ácido ascórbico .....</i>	<i>52</i>

3.6.5. <i>Massa específica</i> .....	52
3.7.    Encolhimento .....	52
3.8.    Análise sensorial .....	53
3.8.1. <i>Análise dos resultados</i> .....	55
3.9.    Cinética de secagem.....	56
3.10.    Consumo de combustíveis .....	58
4. <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	59
4.1.    Caracterização física da banana “ <i>in natura</i> ” .....	59
4.2.    Caracterização físico-química da banana desidratada .....	60
4.3.    Curvas de secagem .....	61
4.4.    Cinética de secagem: Modelos matemáticos.....	65
4.5.    Encolhimento .....	68
4.6.    Aceitabilidade Sensorial.....	72
4.7.    Consumo de combustíveis.....	73
5. <b>CONCLUSÕES</b> .....	75
6. <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	77

## LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

C	Celsius
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
DQM	Desvio Quadrático Médio
FAO	Food and Agriculture Organization
g	Gramma
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
h	Hora
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
kg	Kilograma ( $g\ 10^3$ )
kga	Kilograma de água
kgms	Kilograma de matéria seca
kmol	Kilomol ( $mol\ 10^3$ )
L	Litro
min	Minuto
mg	Miligramma
mm	Milímetro
m	Metro
$m^2$	Metro quadrado
$m^3$	Metro cúbico
mJ	Megajoule ( $J\ 10^6$ )
mW	Megawatt ( $W\ 10^6$ )
$R^2$	Coefficientes de determinação
s	Segundo
$S_b$	Coefficiente de encolhimento
T	Tempo
W	Watt

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 01.</b> Escala de Maturação de Von Loesecke.....	22
<b>Figura 02.</b> Curvas típicas de secagem de um produto úmido.....	33
<b>Figura 03.</b> Vista com a caracterização das bananas utilizadas no experimento.....	45
<b>Figura 04.</b> Cortador de aço inox de tripla lâmina.....	46
<b>Figura 05.</b> Determinação do diâmetro e comprimento da banana.....	47
<b>Figura 06.</b> Determinação do comprimento e dos diâmetros com casca e sem casca da banana.....	48
<b>Figura 07.</b> Secador de bandejas aberto.....	48
<b>Figura 08.</b> Secador de bandejas fechado.....	49
<b>Figura 09.</b> Esquema do processo de secagem de banana via GLP.....	49
<b>Figura 10.</b> Processo de secagem de banana via gaseificação de carvão vegetal.....	50
<b>Figura 11.</b> Esquema do processo de secagem de banana por meio da gaseificação de carvão vegetal.....	50
<b>Figura 12.</b> Modelo de ficha de avaliação para o teste de aceitação utilizando a escala hedônica de nove pontos.....	55
<b>Figura 13.</b> Vista parcial da disposição das bandejas com amostras dentro do secador.....	62
<b>Figura 14.</b> Taxa de secagem da banana utilizando o gás liquefeito de petróleo para aquecimento do ar do sistema de secagem, referente a cada bandeja.....	63
<b>Figura 15.</b> Taxa de secagem da banana utilizando a gaseificação de carvão vegetal para aquecimento do ar do sistema de secagem, referente a cada bandeja.....	63
<b>Figura 16.</b> Curvas de secagem da banana utilizando o gás liquefeito de petróleo e a gaseificação de carvão vegetal para aquecimento do ar de secagem.....	64
<b>Figura 17.</b> Ajuste das curvas de secagem da banana utilizando o gás liquefeito de petróleo e a gaseificação de carvão vegetal para aquecimento do ar de secagem.....	65
<b>Figura 18.</b> Variação do coeficiente de encolhimento com a razão de umidade para a secagem de banana utilizando o gás liquefeito de petróleo para o aquecimento do ar de secagem.....	69

<b>Figura 19.</b> Variação do coeficiente de encolhimento com a razão de umidade para a secagem de banana utilizando a gaseificação de carvão vegetal para o aquecimento do ar de secagem.....	<b>70</b>
<b>Figura 20.</b> Variação do coeficiente de encolhimento com o tempo para a secagem de banana utilizando a gaseificação de carvão vegetal para o aquecimento do ar de secagem.....	<b>71</b>
<b>Figura 21.</b> Variação do coeficiente de encolhimento com o tempo para a secagem de banana utilizando a gaseificação de carvão vegetal para o aquecimento do ar de secagem.....	<b>71</b>
<b>Figura 22.</b> Histograma de aceitação sensorial das bananas desidratadas em sistema de aquecimento do ar de secagem via gaseificação de carvão vegetal e método convencional de secagem utilizando gás liquefeito de petróleo (GLP).....	<b>73</b>
<b>Figura 23.</b> Taxa do consumo de combustível durante o processo de secagem utilizando o sistema de aquecimento do ar de secagem via gaseificação de carvão vegetal e método convencional de secagem utilizando gás liquefeito de petróleo (GLP) para obtenção das bananas desidratadas.....	<b>74</b>

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 01.</b> Modelos matemáticos utilizados para prever o fenômeno de secagem.....	<b>57</b>
---	-----------

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 01.</b> Características físicas da banana “ <i>in natura</i> ”, a serem utilizadas para a secagem.....	<b>59</b>
<b>Tabela 02.</b> Valores médios da umidade, sólidos totais e cinzas da polpa da banana “ <i>in natura</i> ”.....	<b>60</b>
<b>Tabela 03.</b> Caracterização físico-química da banana desidratada.....	<b>60</b>
<b>Tabela 04.</b> Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e o desvio quadrático médio (DQM) dos modelos empregados para a representação de secagem de banana para os dois métodos de secagem.....	<b>66</b>
<b>Tabela 05.</b> Valores médios relacionados ao encolhimento longitudinal, encolhimento radial e coeficiente de encolhimento.....	<b>68</b>
<b>Tabela 06.</b> Notas médias globais do teste de aceitação sensorial das bananas desidratadas em sistema de aquecimento do ar de secagem via gaseificação de carvão vegetal e método convencional de secagem utilizando gás liquefeito de petróleo (GLP).....	<b>72</b>

## RESUMO

OLIVEIRA, Maria da Conceição Trindade Bezerra, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, Março de 2011. **Obtenção de banana passa por meio de secagem via gaseificação de carvão vegetal.** Orientador: Jadir Nogueira da Silva. Co-orientadores: Paulo César Corrêa e Valéria Paula Rodrigues Minim.

Realizou-se este trabalho com o objetivo de desidratar a banana da variedade prata (*Musa sp.*) utilizando a energia de biomassa, via gaseificação, e comparar esse processo alternativo com o processo convencional de secagem utilizando o gás liquefeito de petróleo (GLP), como fonte de calor para o aquecimento do ar de secagem a 70°C. Foram feitas a caracterização física da banana “*in natura*”, a caracterização física e química das bananas desidratadas pelos dois processos, determinou-se o coeficiente de encolhimento para as duas amostras, e analisaram-se sensorialmente as bananas desidratadas pelos diferentes processos. Com os dados obtidos durante o processo de secagem foram traçadas as curvas de secagem e ajustados alguns modelos matemáticos, sendo que observou-se melhor desempenho para os modelos de Page e Wang Singh para representar os dois tratamentos estudados. Obteve-se o menor grau de encolhimento das amostras desidratadas por meio da secagem via gás liquefeito de petróleo. A análise sensorial foi avaliada utilizando escala hedônica em relação ao aspecto global da amostra e observou-se que 63% das respostas dos provadores, ao analisar a amostra de banana desidratada em sistema de aquecimento do ar de secagem via gaseificação de carvão vegetal, recaiu sobre o segundo, o terceiro e o quarto níveis da escala hedônica, caracterizados, respectivamente, por “gostei muito”, “gostei moderadamente” e “gostei ligeiramente”.

## ABSTRACT

OLIVEIRA, Maria da Conceição Bezerra Trindade, M. Sc., Federal University of Viçosa, March 2011. **Obtaining dehydrated banana through drying via charcoal gasification.** Advisor: Jadir Nogueira da Silva. Co-advisors: Paulo César Corrêa and Valéria Paula Rodrigues Minim.

This work presents data and studies related to the production of syngas from gasification of residues from coffee and wood production processes. Chemical composition data from residues were gathered and all showed great potential for energy production in Brazil, with energetic potential value superior to 15.5 PJ per year. Residues from wood process (in the form of chips) and residues of coffee production (in the form of husk and wood) were submitted to gasification process, in a downdraft commercial gasifier, being air as gasification agent. The syngas composition was monitored in a syngas analyser as the concentration v.b.(%) of CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and H<sub>2</sub>, and heating value (MJ/m<sup>3</sup>). It was also analyzed the data regarding gasification agent properties, temperature of reduction and combustion zones, gasifier pressure and fuel consumption rate, for each residue gasified. It was observed that each residue produced a syngas with different compositions, being the syngas from coffee husk with the highest heating value (7.76 MJ/m<sup>3</sup>) with predominance of methane (14.77%), and the syngas from coffee wood with the lowest heating value (5.45 MJ/m<sup>3</sup>) with predominance of carbon monoxide(14.03%). The gasification of eucaliptus chips showed an average heating value of (6.60 MJ/m<sup>3</sup>), with predominance of carbon monoxide (19.02%), regular chemical composition during test period and best operational performance among residues. The efficiency of mass and energy conversion was in accordance with others studies, suggesting all residues studied as viable energy sources for gasification processes.

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país privilegiado por sua diversidade de clima e solo, garantindo uma produção de frutas bastante diversificada, sendo um dos principais produtores e exportadores de várias espécies frutíferas nativas e exóticas ainda não aproveitadas em todo o seu potencial (CÁCERES, 2003). O consumo de frutas tropicais tem se incrementado consideravelmente principalmente por estas apresentarem atributos sensoriais bastante apreciados pelos consumidores, agregando valor econômico importante (PINO, 1997; DELLA MODESTA et al., 2005). Além dos atributos sensoriais, há também a questão de seu valor nutricional e funcional.

Segundo dados do IBGE (2006) a produção de banana nos estabelecimentos agropecuários foi de 3.780.321 toneladas e o valor total da produção foi de 5.067.711 reais, sendo que a área total colhida foi equivalente a 259.776 ha. O rendimento médio no ano de 2008 foi de 13.639 kg/ha de banana.

A banana é uma fruta altamente perecível, por isso sofre um rápido amadurecimento após a colheita e conseqüentemente uma rápida deterioração, tornando-se imprescindível a busca de alternativas econômicas para o aproveitamento do excedente de produção.

De acordo com Stringheta et al. (2003) as perdas pós-colheita chegam até 40% da produção e as principais causas destas perdas são atribuídas à falta de mão de obra qualificada, técnicas inadequadas de manuseio, falta ou ausência de tratamento contra pragas e moléstias durante as fases pré e pós-colheita, desconhecimento do ponto ideal de colheita para alguns frutos e uso inadequado de tecnologia de colheita, armazenamento, embalagem e transporte. Além desses fatores, tem ocorrido superprodução que nem sempre é absorvida pelo mercado de produtos “*in natura*”.

Conforme Soares et al. (2001) a desidratação de polpas de frutas com o objetivo de diminuir sua atividade de água, com conseqüente prolongamento da vida de prateleira e do tempo de armazenagem, é um dos métodos de conservação disponíveis, impedindo a deterioração e perda do valor comercial. Além disso, introduz um novo produto no mercado, com características próprias e cujas propriedades se mantêm por um tempo mais prolongado, viabilizando a regularização da oferta e melhorando o perfil do investimento na produção e no beneficiamento do material “*in natura*”, face aos benefícios que derivam da transformação do produto.

O processo de secagem é responsável por boa parte do gasto com energia da etapa de pós-colheita, sendo que as fontes de energia mais utilizadas para o processo de secagem são a lenha e a energia elétrica. Portanto, alternativas vem sendo empregadas como combustível (radiação solar, gás liquefeito de petróleo, gás natural, resíduos orgânicos) a serem utilizados durante esse processo.

Recentemente, o aumento mundial da demanda de energia, acarretou o aumento da dependência dos combustíveis fósseis, ocasionando uma urgente busca por uma solução sustentável. Nesse contexto, a biomassa tem sido uma alternativa eficiente e muito vislumbrada, pois podem ser utilizados como substitutos dos combustíveis fósseis para gerar calor, energia elétrica e produtos químicos trazendo benefícios impulsionadores da sustentabilidade (DERMIBAS e DERMIBAS, 2007). O uso da biomassa proporciona menor emissão dos gases de efeito estufa quando comparado aos combustíveis fósseis, vantagem esta que legitimiza o interesse na disseminação dessa fonte energética, uma vez que a preocupação ambiental é um dos pilares da sustentabilidade tão almejada a nível mundial (OLIVEIRA, 2010).

A gaseificação trata-se de um processo de conversão termoquímica da biomassa, ou de qualquer combustível sólido em um gás combustível, por meio da oxidação parcial em temperaturas elevadas, utilizando-se valores entre 20 e 40% da quantidade teórica de ar, de tal modo que ocorram, além de reações de oxidação, principalmente reações de redução, promovendo a formação de um gás rico em CO e H<sub>2</sub> (MARTIN, 2006).

De acordo com Silva et al. (2004) o uso da gaseificação da biomassa no Brasil é uma prática ainda não difundida ou utilizada pelos produtores na secagem de produtos agrícolas, principalmente pela demanda de um nível tecnológico mais elevado, e especialmente pela falta de divulgação dessa prática.

De acordo com Oliveira (2010) pode-se afirmar que a gaseificação da biomassa desempenha um papel de extrema importância para o desenvolvimento energético de forma sustentável. A tecnologia da gaseificação de biomassas traz benefícios como redução no balanço de emissão de gases do efeito estufa, desenvolvimento econômico regional, desenvolvimento social e agrícola e fornecimento regular de energia.

## **1.1. OBJETIVOS**

### **1.1.1. Objetivo geral**

Este trabalho foi realizado com o objetivo principal de se estudar a desidratação de bananas da variedade prata (*Musa sp.*), utilizando a energia de biomassa, via gaseificação, comparando esse processo alternativo com o processo convencional de secagem utilizando o gás liquefeito de petróleo (GLP), como fonte de calor para o aquecimento do ar de secagem.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

- Estabelecer as características físicas da banana “*in natura*”;
- Desidratar as bananas, em sistema de aquecimento do ar de secagem via gaseificação de carvão vegetal, e pelo método convencional de secagem utilizando gás liquefeito de petróleo;
- Estabelecer as características físicas e químicas da banana desidratada, em sistema de aquecimento do ar de secagem via gaseificação de carvão vegetal e método convencional de secagem utilizando gás liquefeito de petróleo;
- Determinar o coeficiente de encolhimento da banana desidratada em sistema de aquecimento do ar de secagem via gaseificação de carvão vegetal e método convencional de secagem utilizando gás liquefeito de petróleo;
- Avaliar a aceitabilidade sensorial da banana desidratada, em sistema de aquecimento do ar de secagem via gaseificação de carvão vegetal e método convencional de secagem utilizando gás liquefeito de petróleo.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Banana

De acordo com Moreira (1987), não se pode afirmar com exatidão a origem da bananeira, pois ela se perde na mitologia grega e indiana. Atualmente admite-se que ela seja originária do Oriente, sul da China ou Indochina.

A bananeira desenvolve-se e produz fartamente em regiões que possuem o clima quente e úmido. Essas condições favoráveis são registradas na faixa compreendida entre os paralelos 30° de Latitude Norte e Sul, nas regiões onde as temperaturas se situam entre os limites de 10 e 40°C. Existe a possibilidade de seu cultivo em latitudes acima de 30° (até 45°), desde que a temperatura seja adequada. Devido a sua ampla adaptação, é cultivada em quase todos os países tropicais (GUERRA, 2004).

A bananicultura tem evoluído consideravelmente nas décadas de 70, 80 e 90, por ser um dos cultivos perenes de mais rápido retorno do capital investido. Além disso, ela apresenta um fluxo contínuo de produção a partir do primeiro ano, o que a torna muito atraente para os agricultores. As bananeiras produtoras de frutos comestíveis são da classe das Monocotiledôneas (ALVES, 1999).

As bananas, que constituem as frutas mais populares do mundo, são membros do gênero *Musa* (parte da família Musaceae) e considera-se que elas são derivadas das espécies selvagens *Musa acuminata* (AA) e *Musa balbisiana* (BB). Acredita-se que há quase 1000 variedades de banana espalhadas pelo planeta, as quais estão subdivididas em 50 subgrupos (UNCTAD, 2007).

Embora exista um número expressivo de variedades de banana no Brasil, quando se consideram aspectos como preferência dos consumidores, produtividade, tolerância a pragas e doenças, resistência à seca, porte e resistência ao frio, restam poucos cultivares com potencial agrônomo para serem usados comercialmente. Os cultivares mais difundidos no Brasil são: Prata, Pacovan, Prata Anã, Maçã, Mysore, Terra e D'Ângola, Nanica, Nanicão e Grande Naine, sendo que a Prata e a Pacovan são responsáveis por aproximadamente 60% da área cultivada com banana no território brasileiro (ALVES, 1999).

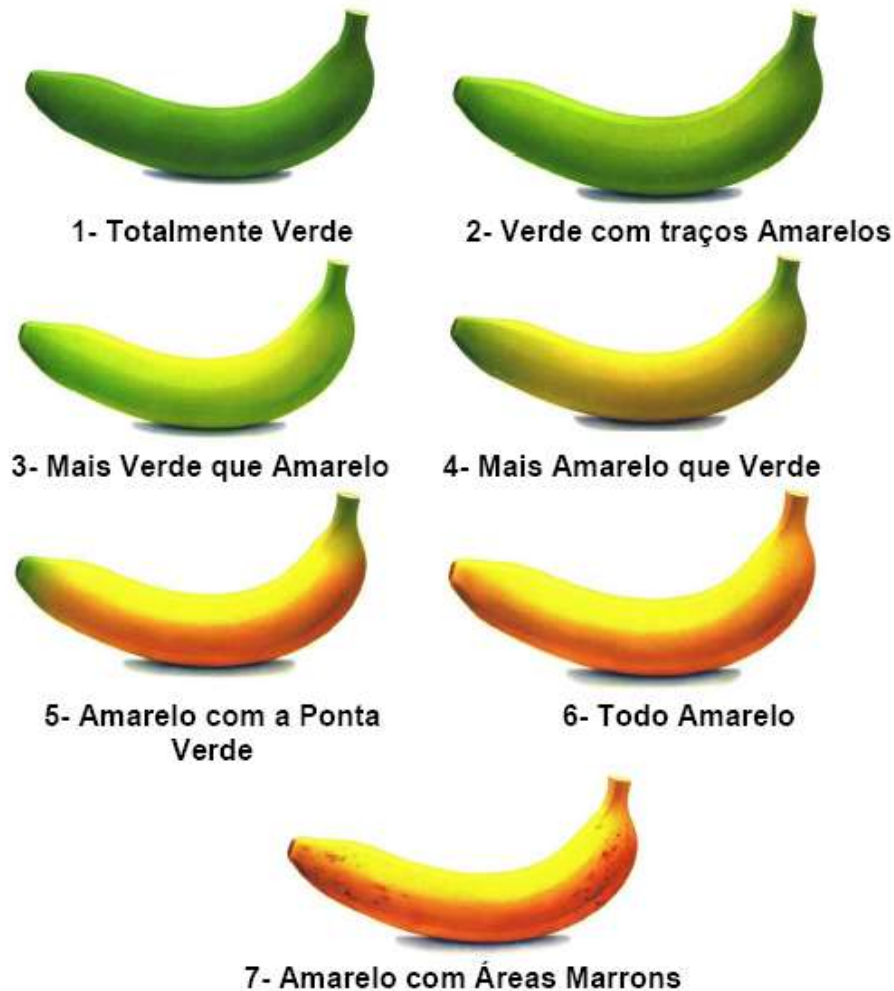
De acordo com a FAO (2009), com uma produção anual de 7,1 milhões de toneladas em 2007, o Brasil é o 4º maior produtor de bananas, atrás da Índia (21,8 milhões de toneladas), China (8,0 milhões de toneladas) e Filipinas (7,5 milhões de

toneladas). A bananicultura é a 9ª cultura mais importante do país, ocupando o segundo lugar em volume de frutas produzidas e perdendo apenas para as laranjas (18,7 milhões de toneladas).

A banana brasileira, devido ao clima e natureza favoráveis, é cultivada em grande parte do país e pode ser encontrada e adquirida o ano todo. A produção brasileira está distribuída por todo o território nacional, sendo a Região Nordeste a maior produtora (34%), seguida das Regiões Norte (26%), Sudeste (24%), Sul (10%) e Centro-Oeste (6%) (ALMEIDA et al., 2001; FANCELLI, 2003).

A produção brasileira de banana está distribuída pelas 27 unidades da Federação, incluindo o Distrito Federal. Os Estados de São Paulo, Santa Catarina, Bahia, Ceará e Pernambuco são os mais representativos, tanto em área colhida quanto em quantidade produzida, sendo que mais de 95% da produção é destinada ao mercado interno (EMBRAPA, 2008). Segundo a FAO (2009), no ano de 2006, apenas 185 mil toneladas de bananas foram exportadas, o que corresponde a menos de 3% do total produzido naquele ano. Apesar da expansão dos grandes cultivos comerciais, a bananeira é produzida principalmente por pequenos e médios produtores, com uso intensivo da mão de obra familiar (EMBRAPA, 2008).

A cor da casca é um bom indicativo do grau de amadurecimento da banana (MEDINA e PEREIRA, 2004). Na Figura 01, é mostrada a Escala de Maturação de Von Loesecke (1950), utilizada para a classificação das bananas pela cor.



**Figura 01.** Escala de Maturação de Von Loesecke. (FONTE: Adaptado de PBMH & PIF, 2006).

Segundo Bleinroth (1995), praticamente toda transformação na aparência, textura e composição química da banana durante o amadurecimento se deve, direta ou indiretamente, à ação de determinadas enzimas.

As principais características das bananas que sofrem transformações durante o amadurecimento são:

(i) **Relação polpa/casca** – Durante a maturação da banana, o peso da polpa aumenta continuamente devido à absorção da água da casca e até mesmo do engaço (suporte que sustenta o cacho de bananas). Com isso, a casca perde peso. A relação polpa/casca pode ser considerada como índice de maturação da banana, também conhecido como coeficiente de maturação. A alteração deste índice é bastante rápida: enquanto na banana verde é de 1,3 a 1,4, na madura pode chegar a 2,0 (BLEINROTH, 1995).

**(ii) Coloração** – A casca da banana apresenta coloração que vai do verde ao amarelo na fase de maturação devido à presença de clorofila, xantofila e caroteno. Dois outros pigmentos são encontrados no protoplasma da célula: os flavonóides e as antocianinas. A quantidade de clorofila encontrada na fruta verde é de 52 a 103 mg/kg de casca. O teor de xantofila tem demonstrado ser maior que o de caroteno, estando entre 5 a 7 mg/kg de casca, enquanto que o caroteno é encontrado na proporção de 1,5 a 3,5 mg/kg. No decorrer da maturação, a clorofila é gradualmente destruída pela ação enzimática e o caroteno e a xantofila tornam-se cada vez mais evidentes (BLEINROTH, 1995).

**(iii) Textura** – A polpa de banana é composta por um grande número de pequenas células. Na banana verde, cada uma dessas células possui uma rígida membrana composta principalmente de substâncias insolúveis, conhecidas como protopectina, em cujo interior encontram-se numerosos grânulos sólidos de amido. O amaciamento verificado ao longo do amadurecimento da fruta é um reflexo da degradação coordenada de amido e compostos da parede celular, notadamente substâncias pécticas e hemiceluloses e do aumento de umidade da polpa em razão de trocas osmóticas com a casca (VILAS BOAS et al., 2001).

**(iv) Teor de água** – Durante a maturação, o teor de água da polpa aumenta ligeiramente, devido às transformações que os carboidratos sofrem, e é utilizada na hidrólise do amido. Em geral, a polpa da banana verde apresenta um teor de água de 70%, em média. Esse valor é elevado para 75% quando a fruta está completamente madura (BLEINROTH, 1995).

**(v) Sólidos totais e solúveis** – Os sólidos totais da banana apresentam uma pequena redução à medida que a fruta amadurece, o que é atribuído à absorção de água pela polpa. No entanto, os sólidos solúveis aumentam rapidamente com a maturação da fruta, em decorrência da degradação do amido (BLEINROTH, 1995).

**(vi) Carboidratos** – A alteração mais perceptível em relação à maturação da banana, que ocorre na polpa, é a transformação do amido em açúcares. A banana verde contém um alto teor de amido, em torno de 20%, que, durante a maturação, é convertido pelas enzimas amilolíticas em açúcares. Há predominância de glicose e frutose (de 8 a 10% da polpa) e da sacarose (de 10 a 12%), além de outros açúcares presentes em menores quantidades (BLEINROTH, 1995).

**(vii) Acidez** – A banana caracteriza-se por apresentar uma baixa acidez quando verde que aumenta com o amadurecimento até atingir um máximo, quando a casca está totalmente amarela, para em seguida decrescer. Considera-se que na banana verde o

ácido oxálico predomina sobre os ácidos málico e cítrico, porém, este ácido diminui com o amadurecimento, dando lugar ao ácido málico, como o mais importante (BLEINROTH, 1995). Para esses autores, o pH da fruta verde varia de 5,0 a 5,6 e na banana madura de 4,2 a 4,7. Dentro desses limites podem ocorrer variações nas diferentes variedades de banana.

**(viii) Sais minerais** – A banana é rica em sais minerais, destacando-se o potássio, o fósforo, o cálcio, o sódio e o magnésio. Em menores quantidades, encontram-se o ferro, o manganês, o iodo, o cobre, o alumínio e o zinco. Os sais minerais apresentam pequena variação com o amadurecimento da fruta, sendo sempre um pouco maior nas bananas verdes que nas maduras (BLEINROTH, 1995).

**(ix) Vitaminas** – A vitamina C atinge seu máximo teor (0,15 a 0,20 mg/100g de matéria seca) na primeira fase de maturação, isto é, na coloração verde-amarelada, decrescendo rapidamente à medida que vai surgindo a cor amarelada (0,10 a 0,11 mg) e atinge a proporção mais baixa quando a fruta apresenta manchas marrons na casca. Com a vitamina A ocorre o inverso, ou seja, há o aumento do seu teor durante a maturação de 160 – 200 U.I. para 450 – 500 U.I. em 100 g de matéria seca (BLEINROTH, 1995). Borges (2003) encontrou a mesma tendência de diminuição da vitamina C e aumento do b-caroteno (pró-vitamina A). Esse autor verificou também o aumento da vitamina B1 e a diminuição da vitamina B6 durante o amadurecimento da banana.

**(x) Adstringência** – A polpa da fruta verde é rica em compostos fenólicos solúveis, principalmente taninos, que, por meio de ligações cruzadas com as proteínas do interior da boca, causam a sensação de adstringência. À medida que a fruta amadurece, ocorre a polimerização desses compostos fenólicos, com a conseqüente diminuição na sensação de adstringência, ao mesmo tempo em que ocorre o aumento na doçura e na acidez (MENEZES e DRAETTA, 1980; VILAS BOAS et al., 2001). Bleinroth (1995) relata que, em algumas cultivares, tais como a Prata, os compostos fenólicos chegam a quase desaparecer quando a fruta está muito madura.

Fernandes et al. (1979), analisaram a banana prata (*Musa paradisiaca*) durante a maturação natural sob temperatura ambiente. Os resultados mostraram que as transformações químicas mais importantes que ocorrem são a hidrólise do amido e a acumulação de açúcares. Aproximadamente 23% da fruta “*in natura*” era amido, o qual foi quase que completamente hidrolisado no fim do processo após uma semana, reduzindo-se a apenas 0,6% na banana totalmente madura. O teor de sólidos solúveis, utilizado como índice de maturação para as análises físicas, elevou-se de 3,5% no

estádio inteiramente verde para 26%. Já os açúcares redutores e não-redutores aumentaram de traços a 16,3% e 6,5%, respectivamente. O peso médio da fruta e da casca reduziu-se significativamente, porém, observou-se um aumento no peso da polpa. Finalmente, para um intervalo de teor de sólidos solúveis variando entre 5-20%, o diâmetro médio da polpa permaneceu praticamente constante, ao contrário do intervalo entre 20-30%, no qual esse parâmetro elevou-se em 20%; e a espessura da casca apresentou um decréscimo linear durante a maturação.

Adão e Glória (2005) investigaram as mudanças durante o amadurecimento de banana prata, alcançando a cor considerada ideal pelos consumidores em vinte e um dias. Nos primeiros sete dias de estocagem, a sacarose foi o açúcar predominante. No entanto, após quatorze dias, a frutose e glicose foram os açúcares solúveis que prevaleceram. Até vinte e um dias, os níveis de frutose e glicose aumentaram, permanecendo inalterados daí por diante.

Segundo Salvador et. al. (2007), a cor da casca da banana é usada para prever o tempo-de-prateleira na distribuição do varejo e a textura é uma parte importante para a qualidade no consumo. Com a intensificação da coloração amarela da casca, a cor da polpa se altera de um branco opaco, típico de um produto com alto teor de amido, para um amarelo bem leve. Em bananas *Musa cavendish*, a hidrólise do amido e a síntese de açúcar já estão normalmente completadas no estágio final de maturação, enquanto que em outros tipos de *Musa*, os processos são mais vagarosos e continuam na fruta muito madura e senescente. Estes autores estudaram dois aspectos da qualidade de duas variedades diferentes de banana, uma mais consumida na Europa (do grupo *Musa cavendish* AAA) e a Prata (do grupo *Musa paradisiaca* AAB), bastante conhecida na América Latina. Os resultados mostraram que o processo de maturação difere entre os dois grupos. No primeiro, as mudanças em cor e textura ocorrem gradualmente durante o tempo de armazenamento, ao contrário da segunda, na qual este processo é mais irregular, pois as maiores transformações em tais atributos aconteceram próximo do fim do período de estocagem.

A banana pode ter o processo de maturação iniciado e completado naturalmente na planta ou em ambiente fechado, sob refrigeração, pelo período de uma a três semanas, as quais devem ser removidas para câmaras de maturação, cuja temperatura mínima de armazenagem dependerá da sensibilidade da fruta a danos pelo frio. No Brasil, em geral, a maturação é feita a uma temperatura que varia de 15°C a 18°C. O gás ativador das câmaras pode ser o acetileno ou o etileno e tem a finalidade de desencadear

ou finalizar o processo de maturação, caracterizado quando o amido é convertido em açúcares e a casca perde a cor esverdeada. Quando as bananas são retiradas das câmaras de maturação, devem ainda estar com as extremidades verdes (“ponta verde”), porém a parte mediana já amarelado. Se a temperatura ambiente for elevada (mais de 32°C), a temperatura da câmara é elevada progressivamente para 25°C antes da retirada das frutas, de maneira a evitar choques climáticos que podem ocasionar a morte imediata das células da casca, impedindo seu completo desenvolvimento (MOREIRA, 1987; ALVES, 1999).

A falta de cuidados na fase de comercialização é responsável por aproximadamente 40% de perdas do total de banana produzida no Brasil, sendo maiores nas regiões Norte e Nordeste, onde a atividade é menos organizada. As perdas estão assim distribuídas: na lavoura (mais de 5%), no processo de embalagem (mais de 2%), no atacado (6% a 10%), no varejo (10% a 15%), e no consumidor (5% a 8%) (FANCELLI, 2003).

A desidratação, que consiste na remoção completa ou parcial de água, é uma das técnicas mais empregadas para a preservação de produtos perecíveis, como as frutas. A produção de banana passa (ou banana seca) ocorre no Brasil ainda de forma precária, em geral em pequenas indústrias caseiras, e caracteriza-se pela utilização de técnicas rudimentares. Alguns trabalhos encontrados na literatura indicam a viabilidade econômica da produção e comercialização principalmente de banana passa em face de outros produtos dessa fruta (BITTENCOURT, 2001; BITTENCOURT et al., 2004). Em vários trabalhos científicos cujo tema é a secagem para obtenção de banana passa (ou banana seca) tenta-se esclarecer e fornecer dados tanto sobre condições mais adequadas de processo e sobre as alterações nas características do produto. Dentre os métodos de secagem estudados, citam-se a secagem por convecção com ar quente, convecção combinada com microondas, vácuo combinado com microondas, além da combinação desses métodos com um pré-tratamento osmótico.

## **2.2. Gaseificação**

Por meio da conversão termoquímica de energia, a biomassa pode ser utilizada via três diferentes processos: gaseificação, pirólise e combustão direta, sendo a gaseificação um dos processos mais eficientes (PUROHIT, 2009).

A gaseificação é a conversão de qualquer combustível sólido, em um gás energético, por meio da oxidação parcial a temperaturas elevadas. Esse gás, chamado de gás de síntese, é constituído por uma mistura de monóxido de carbono (CO), hidrogênio (H<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), pequenas quantidades de outros hidrocarbonetos leves, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e vapor d'água (H<sub>2</sub>O), além do nitrogênio (N<sub>2</sub>) presente no ar e fornecido para a reação. Em função do processo obtém-se também quantidades variáveis de carvão, ácidos pirolenhosos (formado por ácido acético, ácido fórmico, alcatrão solúvel, metanol e água) e alcatrão insolúvel (CEMIG, 1986).

A formação de alcatrão é um dos maiores problemas a ser enfrentado durante a gaseificação de biomassa. Alcatrão condensa sob temperaturas reduzidas, polimerizando-se em equipamentos tais como motores e turbinas, prejudicando assim o funcionamento dos mesmos (DEVI et al., 2003).

A eficiência da conversão termoquímica da biomassa depende do material utilizado, tamanho e forma das partículas, vazão do gás, tipos de reatores, entre outros fatores. Em linhas gerais, os gaseificadores podem ser classificados com base na direção do fluxo dos gases: concorrente, contra-corrente, fluxo cruzado, e leito fluidizado. Para a utilização do gás produzido em motores e turbinas, a configuração concorrente é o mais adequado devido a relativa menor produção de alcatrão (SHARMA, 2009).

A gaseificação vem atraindo a atenção mundial em virtude das variadas utilidades e benefícios. Os resíduos, que atualmente são um problema mundial, principalmente em países industrializados, podem ser aproveitados de forma sustentável através da gaseificação. Em uma perspectiva econômica e ambiental, a produção de hidrogênio e etanol a partir de resíduos plásticos é uma tecnologia promissora que vem obtendo bons resultados (CZERNIK e FRENCH, 2006).

O processo de gaseificação acontece na faixa de temperatura entre 800 e 1800°C, sendo esta temperatura influenciada pelas características do combustível utilizado. As principais reações químicas decorrentes do processo de gaseificação são as que envolvem carbono, monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrogênio, metano e água (HIGMAN e VAN DER BURGT, 2008).

### *Combustão*

A combustão é uma reação química exotérmica, ou seja, libera calor para o ambiente, e ocorre na presença de oxigênio. A liberação de calor é crucial para que as reações subsequentes sejam realizadas com êxito.



#### *Reação de Boudouard*

A reação de Boudouard é possivelmente a reação mais importante no processo de gaseificação de biomassa. É uma reação heterogênea de redução-oxidação (redox) de uma mistura de monóxido de carbono e dióxido de carbono a uma determinada temperatura. Nesta, ocorre a desproporcionalização do monóxido de carbono em dióxido de carbono e carbono, e vice-versa.

A reação de Boudouard implica que, sob baixas temperaturas, o equilíbrio é deslocado para a reação exotérmica de formação de dióxido de carbono, e sob altas temperaturas, a formação endotérmica de monóxido de carbono é o produto dominante.



#### *Reação de gás de água ou carbono-vapor*

É uma reação química endotérmica e heterogênea, na qual o carbono reage com o vapor de água para formar monóxido de carbono e hidrogênio.



#### *Reação de formação de metano*

É uma reação química exotérmica e heterogênea, onde o carbono reage com o hidrogênio para a formação do metano.



#### *Reações Homogêneas de Conversão água/gás*

Em geral, esta se preocupa com situações onde a conversão do carbono é praticamente completa. Desta forma pode-se reduzir as reações heterogêneas 04, 05 e 06:



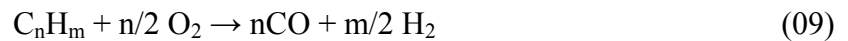
Esta é uma reação exotérmica, onde o monóxido de carbono reage com o vapor de água para formar dióxido de carbono e hidrogênio.



O metano reage com o vapor de água para formação de monóxido de carbono e hidrogênio, sendo esta uma reação endotérmica.

#### *Reações em materiais diversos*

Para combustíveis reais, os quais também contêm hidrogênio, a reação completa pode ser descrita pela equação 09.



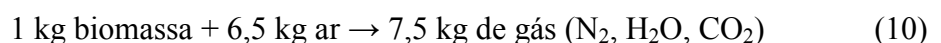
#### *Razão estequiométrica e razão de equivalência*

Para a combustão completa de 1 kg de biomassa ( $CH_{1,4}O_{0,6}$ ) é necessário 6,5 kg de ar ( $N_2$ -78%,  $O_2$ -21%,  $CO_2$ -0,03%). Esta é chamada razão estequiométrica. Na prática, processos que envolvem combustão asseguram excesso de ar, com o objetivo de forçar a combustão completa mesmo em casos de deficiência na mistura, e manter o baixo nível de emissão de CO.

Para reações de gaseificação utiliza-se a razão de equivalência, ou seja, uma fração da quantidade estequiométrica de ar aplicado. Melhores resultados são obtidos com razões de equivalência de aproximadamente 0,25. Razões inferiores são indicativos de predominância de pirólise, com produção de um gás mais rico, porém com mais alcatrão. Razões superiores a 0,25 são indicativos de combustão excessiva, com produção de um gás mais fraco (REED e DAS, 1988).

O processo de gaseificação basicamente divide o processo de combustão em duas partes.

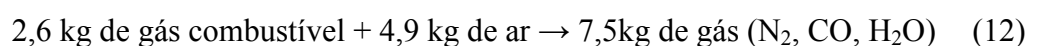
A combustão da biomassa:



Adotando um processo de gaseificação com razão de equivalência igual a 0,25 tem-se:



Para realizar a combustão deste gás é necessário:



Pode-se observar que o valor final do produto da combustão do gás combustível é idêntico ao valor final do produto da combustão da biomassa.

Considerando que uma biomassa apresenta em média 80% de voláteis e 20% de carbono fixo, em 1 kg de biomassa tem-se 0,8 kg de material volátil, o qual originará os vapores condensáveis, comumente conhecidos como alcatrão. Carbono puro apresenta uma razão estequiométrica de 12,7, o que significa que são necessários 2,5 kg de ar para combustão. Portanto, para a combustão do material volátil será necessário uma quantidade de 4 kg de ar (6,5 kg de ar para combustão da biomassa – 2,5 kg de ar para combustão do carbono fixo), ou seja, aproximadamente 60% do ar disponível.

Para geração de calor Silva et al. (2004) estudaram a viabilidade de um gaseificador/combustor utilizando eucalipto em pedaços, resíduos de serraria, cavacos de lenha e sabugo de milho como combustíveis na secagem de produtos agrícolas. Concluiu-se que todas as biomassas testadas são viáveis como combustível para o gaseificador, e as eficiências energéticas foram de 75,6% para tocos de eucalipto; 74,9% usando-se cavacos de lenha; 60,1% para restos de serraria e 52,8% para sabugos de milho, sendo estes bastante superiores às das fornalhas de fogo indireto.

A utilização de reatores para gaseificação de biomassa, acoplados a combustores do gás é também uma alternativa energeticamente eficiente e funcional para aquecimento de galpões avícolas. A utilização do sistema de gaseificação se baseia na hipótese desta tecnologia poder apresentar ao avicultor redução no custo de produção, comparativamente aos sistemas tradicionais de aquecimento de galpões avícolas (ZANATTA et al., 2008).

No contexto da utilização da gaseificação para geração de energia elétrica, um dos mais bem sucedidos conceitos de gaseificação da biomassa foi aplicado na Áustria, na aldeia de Gussing, por meio de um gaseificador de leito fluidizado circulante com capacidade de produção de aproximadamente 2 MW de energia elétrica e 4,5 MW de energia térmica. Depois de limpo, o gás foi utilizado em um motor associado a uma caldeira, para produção combinada de calor e potência, associação esta também conhecida por cogeração (CHP - Combined Heat and Power). A biomassa foi gaseificada e a energia elétrica foi produzida no gerador acoplado ao motor de combustão interna. Antes da combustão, o gás passou por um sistema de tratamento constituído por ciclone, filtro e resfriamento (RENTIZELAS et al., 2009).

Para a produção de etanol, Cotter et al. (2009) utilizaram um reator para fermentação do gás de síntese e concluíram que as bactérias autótrofas *C. ljungdahlii* e *C. autoethanogenum* são capazes de produzir quantidades mensuráveis de etanol e significantes quantidades de acetato através desse processo.

Em estudos para produção de hidrogênio Soni et al. (2009) avaliaram a gaseificação de restos de carne e ossos para a produção de hidrogênio. Este processo seguido de craqueamento térmico de alcatrão foi realizado sob pressão atmosférica em duas etapas em um reator de leito fixo. Os resultados obtidos mostraram que esses resíduos podem ser eficazmente utilizados como uma fonte alternativa de combustíveis gasosos, bem como para a produção de hidrogênio e gás de síntese. Temperaturas mais altas que 850°C foram encontradas, o que favorece a produção de hidrogênio no gás de síntese.

Oliveira (2010) realizou estudos com o objetivo de caracterizar (qualitativa e quantitativamente) o gás gerado a partir da gaseificação de resíduos da produção de eucalipto e café, em gaseificador comercial de pequena escala de fluxo concorrente, assim como realizar os balanços de massa e energia do processo. Observou que as biomassas diferentes resultaram em gás de síntese com composições diferentes: a palha de café apresentou o gás de síntese com o maior poder calorífico (7,76 MJ m<sup>-3</sup>) com predominância de metano (14,77%); a lenha de cafeeiro, menor poder calorífico do gás gerado (5,45 MJ m<sup>-3</sup>), com predominância de monóxido de carbono (14,03%); e dos cavacos de eucalipto apresentou um poder calorífico médio de (6,60 MJ m<sup>-3</sup>), com predominância de monóxido de carbono (19,02%).

### **2.3. Secagem**

De acordo com Rodrigues et al. (2005), a comercialização de frutas está restrita à sua época de safra e geralmente a perecibilidade é alta, necessitando-se de unidades de processamento que possam abastecer o mercado consumidor na entressafra. Uma das técnicas que podem ser utilizadas é a secagem. Neste caso, tem-se um armazenamento prolongado como maior estabilidade e longevidade do produto, podendo o consumidor ter acesso ao mesmo durante o ano todo.

A secagem a ar quente é o método mais antigo empregado industrialmente para produtos alimentícios, tendo surgido nos Estados Unidos, em 1780, a primeira patente para a secagem de hortaliças. Mas foi somente no século seguinte que os alimentos desidratados passaram a ser largamente produzidos, quando surgiu a necessidade de se mandar alimentos para as tropas britânicas durante a Guerra da Criméia (1854 - 1856) e para o exército da União durante a Guerra Civil Norte-Americana (1861 - 1865) (BRENNAN, 1994). A principal vantagem da secagem a ar quente é que ela fornece

produtos desidratados que podem ter uma vida de prateleira relativamente longa. Porém, um dos problemas de se usar apenas a secagem a ar quente na desidratação de alimentos, é que o produto final normalmente não se encontra adequado ao gosto do consumidor, pois a qualidade do alimento seco pode ter reduzidas as características de cor, aroma, grau de reidratação e textura, e ainda apresentar um aspecto escurecido, devido ao longo tempo de secagem em temperaturas médias ou elevadas (KIM e TOLEDO, 1987; RATTI, 2001).

A secagem além de ser utilizada como método de conservação impedindo a deterioração e perdas do valor comercial, resulta ainda em uma transformação do produto, agregando valor e dando origem a uma nova opção no mercado. Este método permite que o produto obtido tenha maior vida de prateleira devido à redução da atividade de água, o que é associado à redução no custo do transporte e armazenamento em razão da leveza e compactação, combinadas com os efeitos benéficos da estabilidade microbiológica e química dos alimentos (FELLOWS, 2006).

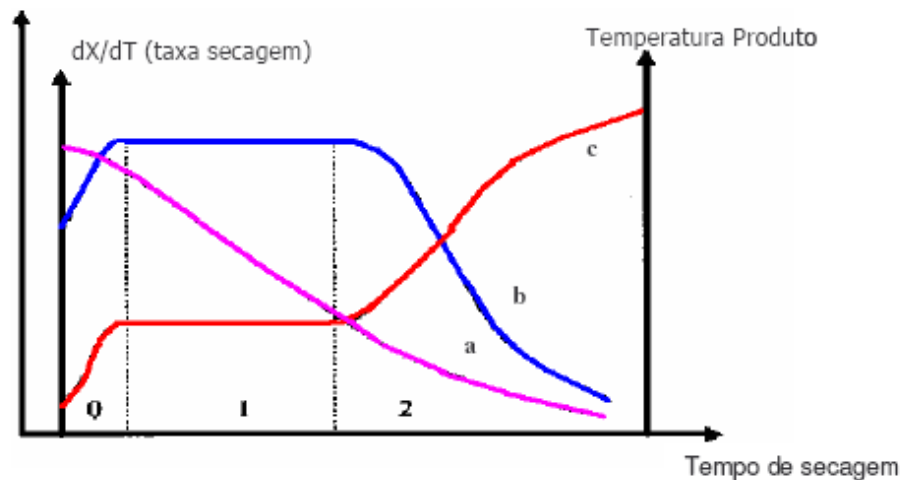
Os processos envolvidos no complexo fenômeno da desidratação se referem à transferência de calor e massa. Os mecanismos deste fenômeno podem ser classificados em três categorias: evaporação de uma superfície livre, fluxo líquido em capilares e difusão de líquido ou vapor no interior do sólido. Tais mecanismos controladores do processo de secagem de um produto sólido dependem da sua estrutura, teor de água e dimensões e dos parâmetros de secagem como a temperatura média de aquecimento, as taxas de transferência de superfície e o teor de água de equilíbrio. A secagem pode envolver os distintos modos de transferência de calor: convecção, condução ou radiação (SHARMA et al., 2000).

A taxa de secagem ( $\text{kg de água/h.m}^2$ ) de um material depende das propriedades do mesmo, como por exemplo, densidade e tamanho do produto a ser seco, teor de água inicial e seu teor de água de equilíbrio sob as condições de secagem (SHARMA et al., 2000). Outro fator importante que afeta a taxa e, conseqüentemente, o tempo de secagem, é a textura do produto, incluindo-se a aspereza da superfície e a porosidade do mesmo (LUSAS e ROONEY, 2001).

Deve-se evitar a taxa máxima de secagem se esta resulta em encolhimento, endurecimento e ruptura da superfície ou outros efeitos indesejáveis (SHARMA et al., 2000). Segundo Aguilera et al. (2003), elevar a taxa de secagem e obter as características desejadas no produto final, tem sido o maior desafio para engenheiros de alimentos.

Na secagem a ar quente, ocorre uma transferência de calor do ar para o produto sob efeito da diferença de temperatura existente entre eles. Simultaneamente, a diferença de pressão parcial de vapor d'água existente entre o ar e a superfície do produto determina uma transferência de matéria (massa) para o ar em forma de vapor de água. Assim a umidade do produto ( $X$ ), sua temperatura, e a taxa de secagem ( $dX/dt$ ) podem ser representados em função do tempo de secagem e geralmente caracterizam três períodos de secagem, como mostra a Figura 02 (PARK et al., 1999).

$X$  (umidade produto)



**Figura 02.** Curvas típicas de secagem de um produto úmido. (FONTE: PARK et al., 1999).

A curva (a) representa a diminuição do teor de água do produto durante a secagem. A curva (b) representa a taxa de secagem do produto e a curva (c) representa a variação da temperatura do produto durante a secagem. Período 0 - Indução ou entrada no regime operacional. Geralmente no início, o produto é mais frio que o ar, e a pressão parcial de vapor da água na superfície do produto é baixa por isso ocorre uma baixa transferência de massa e velocidade de secagem. Esse período não é muito representativo no tempo total de secagem. Período 1 - Velocidade constante de secagem. Neste período o produto apresenta uma grande quantidade de água disponível e esta se evapora facilmente como água livre. Esse período continua, enquanto a migração de água do interior até a superfície do produto seja suficiente para acompanhar a perda por evaporação de água na superfície. Período 2 - Velocidade decrescente de secagem. A partir do momento que a água na superfície do produto começa a ficar escassa, a velocidade de secagem diminui. Durante esse período, a troca

de calor não é mais compensada, a temperatura do produto aumenta e tende a atingir a temperatura do ar, nesse período o fator limitante é a migração interna de água. No final desse período, o produto estará em equilíbrio com o ar e a velocidade de secagem é praticamente nula (PARK et al., 1999).

As vantagens de se utilizar o processo de secagem são várias, dentre as quais se tem: facilidade na conservação do produto; estabilidade dos componentes aromáticos à temperatura ambiente durante longos períodos de tempo; proteção contra degradação enzimática e oxidativa; redução do peso; economia de energia por não necessitar de refrigeração e a disponibilidade do produto durante qualquer época do ano (PARK et al., 2001). Além de ajudar a prolongar a vida-de-prateleira, diminui o peso do produto para o transporte e o espaço necessário para o armazenamento (AGUIRRE e GASPARINO FILHO, 2002).

Chua et al. (2000) desidrataram fatias de banana em um secador de dois estágios capaz de controlar passo a passo tanto a temperatura quanto a umidade absoluta do ar de secagem. Foram testados dois perfis de temperatura com aumento gradual, e o incremento em cada passo sobre a temperatura média (30°C) foi de 5°C. Os autores observaram que, empregando-se essa técnica de secagem com a temperatura inicial e o tempo de ciclo apropriado, foi possível reduzir significativamente o tempo total de secagem necessário para alcançar a umidade do produto desejável e, ainda, melhorar a sua cor.

As mudanças nos componentes aromáticos da banana durante a sua maturação e a secagem convencional a ar quente foram analisadas por Boudhrioua et al. (2002), que identificaram doze compostos aromáticos, através de cromatografia gasosa, na fruta “*in natura*”. Destes, sete substâncias foram analisadas durante a secagem convectiva a 40, 60 e 80°C. Os autores sugeriram que nessa última temperatura, alguns produtos da reação de Maillard foram desenvolvidos. Por outro lado, compostos como alguns álcoois reduziram-se drasticamente. Os autores concluíram que tais mudanças nos componentes aromáticos dependem do conteúdo de umidade da polpa e da temperatura de secagem.

Nguyen e Price (2007) também investigaram a influência da temperatura, umidade relativa e espessura da fatia de banana durante a secagem. A diferença nas taxas entre bananas de espessuras diferentes mostrou que a secagem desta fruta é função, principalmente, da transferência interna de umidade no período de taxa decrescente, no qual a difusividade da água dependeu da temperatura. A umidade inicial

variava entre bananas de diferentes épocas de colheita. Uma diferença muito grande entre o teor de água inicial (acima de 5%) afetou fortemente as taxas de secagem, efeito que foi observado apenas à baixa temperatura (40°C).

Leite et al. (2007) estudaram o efeito da temperatura de secagem sobre a composição química, análise sensorial e qualidade microbiológica de bananas secas em uma câmara de ar forçado sob velocidade do ar constante. Os resultados mostraram que a secagem não afeta a composição química e os produtos obtidos apresentam boas condições sanitárias. A avaliação sensorial mostrou que baixas temperaturas de secagem produzem produtos de melhor aceitação e, nessas condições, a banana d'água apresentou uma textura superior à prata.

Tribess et al. (2009) avaliaram as propriedades térmicas e o teor de amido resistente de farinha de banana verde da variedade Nanicão (*Musa cavendish*) produzida em diferentes condições de secagem em bandejas por aproximadamente 6 horas: 55°C e 1,4 m/s (velocidade do ar); 55°C e 1,0 m/s; 55°C e 0,6 m/s; 58°C e 0,6 m/s; 52°C e 0,6 m/s. A amostra com maior teor de amido resistente (58,5% bs) foi a processada nas condições de 55°C, 1,4 m/s e 5,7 horas, com teor de água de 4,0% e a de menor teor de amido resistente (40,9%) foi processada a 52°C, 0,6 m/s e 6,7 horas, tendo apresentado 1,6% de umidade. A gelatinização do amido das farinhas obtidas foi acompanhada por calorimetria diferencial de varredura (DSC), em que, pelos termogramas, podem-se obter os valores de  $T_o$  (temperatura de início de gelatinização),  $T_c$  (temperatura final de gelatinização) e  $T_p$  (temperatura de pico). A  $T_p$  variou de 67,9°C a 68,6°C, dependendo das condições de secagem.

Em estudos realizados por Ormenese (2010) as bananas verdes utilizadas para obtenção de farinha, passaram por um tratamento térmico (135°C/30 segundos) em autoclave estática vertical para a retirada das cascas, em seguida foram pesadas e cortadas em rodela de 4 mm de espessura, de acordo com Tribess et al. (2009), tratadas com agentes antioxidantes e dispostas em bandejas perfuradas de aço inoxidável e mantidas em secador de bandejas à temperatura de 55°C e velocidade do ar de 1,4 m/s. O tempo de secagem obtido foi de 4 a 4,5 horas (até massa constante), e em seguida as amostras foram moídas para obtenção da farinha.

## 2.4. Cinética de Secagem

A curva típica de secagem, também denominada cinética de secagem, representa a diminuição do teor de água do produto durante a secagem. Esta curva é obtida pesando-se o produto durante a secagem em determinada condição. O conteúdo de umidade do produto é expresso em base seca em relação a evolução do tempo de secagem (PARK et al., 2001).

Os métodos de cálculo da cinética de secagem são aplicados de diferentes modos dependendo do período de secagem considerado. No período de secagem a taxa constante, as transferências de calor e de massa na interface ar-produto governam a secagem e fixam sua velocidade, enquanto no período taxa decrescente, as transferências internas é que são limitantes. O período de taxa decrescente de secagem é quase sempre o único observado para a secagem de produtos agrícolas e alimentícios. A quantidade de água presente na superfície do produto é menor reduzindo-se, portanto, a transferência de massa. A transferência de calor não é compensada pela transferência de massa; o fator limitante nesta fase é a redução da migração de umidade do interior para a superfície do produto. A temperatura do produto aumenta atingindo a temperatura do ar de secagem. Quando o produto atinge o ponto de umidade de equilíbrio em relação ao ar de secagem, o processo é encerrado (PARK et al., 2004).

Diversos modelos teóricos, semi-teóricos e empíricos, têm sido empregados para explicar o fenômeno de secagem. Estes são utilizados para se estimar o tempo de secagem de diferentes produtos e gerar as curvas de secagem (MIDILLI et al., 2002). Entre os modelos semi-teóricos e empíricos, Aproximação da Difusão, Dois Termos, Midilli e Kucuk, tem sido frequentemente utilizados para a modelagem matemática da cinética de secagem de produtos agrícolas (CORRÊA et al., 2007; DOYMAZ, 2007b; MIDILLI et al., 2002; PANCHARIYA et al., 2002; OZDEMIR e DEVRES, 1999).

Existem na literatura outros modelos matemáticos muito utilizados para estimar as curvas de cinética de secagem de produtos alimentícios, dentre os quais tem: Cavalcanti Mata, Henderson & Pabis e Page.

O modelo de difusão líquida, segundo a lei de Fick (Equação 13), tem apresentado bons resultados em aplicações de secagem de grãos, frutas e cereais, provavelmente, devido ao fato destes produtos não apresentarem um período de taxa constante nas curvas características de secagem, o que permite concluir que o processo é totalmente governado pelas condições internas do material (ARAUJO, 2000).

$$\frac{X-X_e}{X_i-X_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2i+1)^2} \exp \left[ -(2i+1)^2 \pi^2 D_{ef} \frac{t}{4L^2} \right] \quad (13)$$

onde:

X – umidade média no tempo (t);

X<sub>e</sub> – umidade de equilíbrio;

X<sub>i</sub> – umidade inicial;

D<sub>ef</sub> – difusividade efetiva

t – tempo;

L – meia espessura da placa.

Crank (1975) apresentou diversas soluções analíticas para a equação da difusão, considerando diferentes condições iniciais e de contorno. Tratou também de casos onde a difusividade varia linearmente com a concentração de água. No entanto, esta solução somente se aplica a sólidos com formas geométricas simples e regulares. A Equação (13) pode ser truncada no primeiro termo da série quando o valor do número de Fourier for maior ou igual a 0,2 obtendo-se assim a equação simplificada. Para a geometria de placa plana tem-se que (Equação 14):

$$\left[ \frac{(X-X_e)}{(X_i-X_e)} \right] = \left( \frac{8}{\pi^2} \right) e^{\left( \frac{\pi^2 D_{ef} t}{4L^2} \right)} \quad (14)$$

Outros modelos, também tem sido empregados para ajustar os dados experimentais de secagem entre eles estão duas modificações da lei exponencial, na forma integrada, Equação (15) e (16). A Equação (15) é similar à solução do modelo de Fick para tempo de secagem longos quando apenas o primeiro termo da série for significativo. Segundo Pinto (1996) esta Equação tem sido bastante utilizada para determinação do parâmetro de difusividade efetiva a partir da constante de secagem.

$$\left[ \frac{X-X_e}{X_0-X_e} \right] = a \exp(-Kt) \quad (15)$$

onde:

a – parâmetro do modelo

K – constante de secagem

t – tempo

Um outro modelo bastante utilizado para a descrição da cinética de secagem é o modelo exponencial proposto por LEWIS (1921). Esse modelo prevê qual a taxa de perda de água é proporcional ao teor de água livre do material da seguinte forma

$$\frac{dX}{dt} = -k_L(X - X_e) \quad (16)$$

onde:

X = umidade média do material no tempo t;

X<sub>e</sub> = umidade de equilíbrio do material;

kL = constante de secagem do modelo exponencial

A forma integrada dessa equação é a que se apresenta com mais frequência na literatura:

$$\frac{X-X_e}{X_0-X_e} = \exp(-k_L t) \quad (17)$$

A Equação (18) é conhecida como modelo de Page, esta equação foi proposta para descrever a secagem de milho. Posteriormente, outros pesquisadores aplicaram o modelo para estudar a cinética de secagem de outros produtos alimentícios.

$$\left[ \frac{X-X_e}{X_0-X_e} \right] = \exp(-K t^b) \quad (18)$$

onde:

K – constante de secagem

b – parâmetro do modelo de Page

t – tempo

De acordo com Haendler (1966), algumas recomendações para o processo de secagem de banana, a saber: temperatura de 70°C e velocidade do ar de 3 m/s. Segundo o autor esses parâmetros fornecem um produto com uma melhor qualidade sensorial.

Andrade et al. (1980) estudaram a influência de diversas fases de amadurecimento sobre a cinética de desidratação ambiental de banana prata, analisada através de regressões polinomiais. Apresentaram também a composição química do produto final, assim como esquemas representando a deformação sofrida pela fruta desidratada e diagrama de escurecimento, todos em função do índice de amadurecimento. O teor de água final foi de 30% para bananas verdes e 26% para as maduras.

Mowlah et al. (1983) utilizaram a lei de difusão de Fick para estudar o fenômeno de transporte de umidade e determinar o tempo de secagem em experimento durante a secagem com a finalidade de investigar uma técnica adequada para produzir

desidratados de boa qualidade. Concluíram que a transferência de umidade durante a desidratação da banana, sob as condições experimentais impostas (temperatura de bulbo seco de 60°C, temperatura de bulbo úmido de 30°C e velocidade do ar de 1,5 m/s) segue o mecanismo difusional. Quanto ao escurecimento proporcional ao tempo de secagem.

Sereno e Medeiros (1990), comentando a relação entre difusividade e concentração de umidade, apresentaram um modelo que considerava constante o produto da densidade aparente do material pela difusividade efetiva e observaram que o primeiro parâmetro aumenta com a diminuição da umidade, enquanto que a difusividade efetiva diminui. Os autores, secando fatias de cenoura e maçã, encontraram uma diferença entre o modelo e os dados experimentais de 1,1% para o conteúdo de umidade e de 2% para a taxa de secagem.

Nogueira (1991), estudou o processo de obtenção de banana-passa (*Musa acuminata Colla* subgrupo *Cavendish*, cultivar nanica) utilizando três temperaturas de secagem (50, 60 e 70°C) e três velocidades do ar de secagem (0,5; 1,0 e 1,5 m/s). Os dados experimentais foram ajustados usando o modelo difusional para a forma cilíndrica apresentado por Crank (1975). A solução analítica da equação de difusão foi utilizada para um estudo do número de termos suficientes a ser considerado na série de Fourier, para se obter resultados precisos. A autora concluiu que a utilização dos cinco primeiros termos da série mostrou ser suficiente e os resultados de difusividade efetiva situaram-se entre  $2,62 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s com as melhores condições de secagem de 60 e 70°C com ar a 1,5 m/s e 70°C com ar a 1,0 m/s.

Em estudos realizados por Babalis et al. (2006) as curvas de cinética de secagem do figo (*Ficus carica*), determinadas nas temperaturas de 55, 65, 75 e 85°C e velocidades do ar de secagem de 0,5, 1 e 2 m/s, também foram ajustadas com o modelo de Henderson & Pabis, tendo-se encontrado coeficientes de determinação acima de 0,99.

Carvalho et al. (2007) ajustaram os modelos de Page, Henderson & Pabis e Cavalcanti Mata às curvas de secagem, determinadas a 70°C, da polpa de umbu-cajá com adição de 15% de amido modificado (Snow-flake®) e espessura da camada de 0,6 cm, encontrando coeficientes de determinação ( $R^2$ ) de 0,99, 0,97 e 0,95, respectivamente.

Pereira (2007) em estudos de secagem com aplicação de microondas de fatias de banana “*in natura*” e pré-desidratadas osmoticamente ao ajustar os dados das curvas de secagem ao modelo exponencial e ao modelo de Page observou que os dados

experimentais apresentaram um bom ajuste aos dois modelos propostos, tendo em vista os valores de  $R^2$  próximos de 1.

## 2.5. Encolhimento

Segundo Misra e Young (1980), o encolhimento de produtos agrícolas durante a secagem é um fenômeno físico que ocorre simultaneamente com a difusão de umidade e pode ter um efeito significativo na difusividade mássica e, portanto, na taxa de remoção de umidade. Porém eles verificaram que considerar o encolhimento nos modelos de secagem é difícil devido a não se ter informações sobre o coeficiente de encolhimento nem da relação funcional entre encolhimento e difusividade mássica e, ainda, verificaram que o encolhimento é função de uma retração livre, relacionada com a perda de água e também elástica, a qual é provocada pelas células adjacentes.

O fenômeno de secagem não pode ser generalizado, por se tratar de materiais biológicos, os quais possuem características intrínsecas que podem ser diferenciadas entre si, com a existência da contribuição do soluto durante a secagem e o encolhimento do produto devido a mudança de pressão entre o líquido e a parede celular (GOUVEIA et al., 1999).

O encolhimento de materiais sólidos durante a secagem é um fenômeno físico observável, que ocorre simultaneamente com a difusão de umidade, principalmente em produtos biológicos com alto teor de água inicial como é o caso de frutas e vegetais. Considerar-se o volume do corpo fixo durante a secagem tem gerado desvios maiores entre os dados experimentais e teóricos, em comparação com os modelos que incorporaram o fenômeno do encolhimento (LIMA, 1999).

A perda de água e o aquecimento causam tensões na estrutura celular, levando a mudanças na forma e diminuindo sua dimensão. O encolhimento em alimentos tem uma consequência negativa na qualidade do produto desidratado. Mudanças na forma, perda do volume e endurecimento causam, na maioria das vezes, uma impressão negativa junto ao consumidor. Por outro lado, existem alguns produtos desidratados que têm, tradicionalmente, um aspecto “encolhido” desejável ao consumo, como as uvas-passas, ameixas secas, tâmaras e damascos (MAYOR e SERENO, 2004).

A base teórica para determinação do encolhimento deveria envolver leis mecânicas, levando em conta a tensão no material e as deformações durante a desidratação (RATTI, 1994). O encolhimento durante a secagem acontece

simultaneamente com a difusão de umidade, podendo, então, afetar a remoção do conteúdo de umidade; assim sendo, este parâmetro tem uma influência na taxa de secagem e na textura de frutas e hortaliças desidratados (HATAMIPOUR; MOWLA, 2002).

O encolhimento de produtos biológicos, tais como os alimentos, depende fortemente das pressões internas do vapor de água resultante da evaporação, que afeta a remoção da água e a difusão da umidade, bem como a densidade aparente. Assim, o conhecimento das características de encolhimento assume um papel importante na compreensão e modelização dos processos de secagem e ainda no controle das características do produto (GUINÉ, 2005).

Vários modelos são propostos na literatura para descrever o encolhimento, que é fortemente dependente do conteúdo de umidade. Dentre esses destacam-se os modelos de Khraisheh (1997) e Raghvan (2001) representados pelas Equações 19 e 20.

$$S_b = \frac{0.8+W}{0.8+W_0} \quad (19)$$

$$S_b = 0.0741 + 0.8121 \frac{W}{W_0} \quad (20)$$

onde:

$S_b$  - coeficiente de encolhimento

$W$  - conteúdo de umidade em base seca.

$W_0$  - conteúdo de umidade inicial em base seca.

O coeficiente de encolhimento (Equação 21) é definido como a razão entre o volume em cada instante de tempo e o volume inicial (Khraisheh, 1997).

$$S_b = \frac{V}{V_0} \quad (21)$$

Vários estudos de modelagem do encolhimento durante a secagem têm sido feitos nos últimos anos por diversos pesquisadores. Suzuki et al. (1976) estudaram o encolhimento de cenoura, batata, batata doce e rabanete, utilizando a equação de Kilpatrick et al. (1955) e mostraram que, durante os primeiros estágios de secagem, o volume de encolhimento de vegetais e batata é igual ao volume de água eliminada por evaporação, mas para os estágios finais o volume de encolhimento é menor que o

volume de água removida. Eles então apresentaram três modelos de secagem cujas fórmulas relacionam as mudanças na área de superfície e o teor de água.

Lozano et al. (1980, 1983), desenvolveram um modelo geral para correlacionar a perda de água de frutas e hortaliças com base nas mudanças de encolhimento. Suarez e Viollaz (1991) observaram o encolhimento em batatas fatiadas com diferentes conteúdos de umidade e diferentes densidades do material. A variação da área superficial com o tempo foi medida, inicialmente, considerando o grau de encolhimento da amostra. Foi encontrado que, para tempos de secagem, relativamente pequenos, o modelo de Fick, com encolhimento, representa bem os dados experimentais com o coeficiente de difusão independente do teor de água. No entanto, em termos do modelo difusional, os dados experimentais predizem uma grande dependência do coeficiente de difusão com o teor de água.

Vagenas e Marinos-Kouris (1991), estudando a secagem de damasco, propuseram encolhimento linear à variação do conteúdo de umidade do fruto. Supondo material isotrópico, consideraram variações nas três dimensões, sendo o mesmo coeficiente de encolhimento linear nas três direções. Um modelo de encolhimento que relaciona a razão de variação de volume em função do conteúdo de umidade foi descrito por Lozano et al. (1983).

Ratti (1994), propôs que as características de encolhimento de batatas, maçãs e cenouras não dependem só do conteúdo de umidade, mas também das condições de operação e da geometria da amostra. Wang e Brennan (1995) relataram um grande grau de encolhimento na secagem de batatas durante temperaturas baixas do ar de secagem.

Prado (1998) estudou o comportamento de secagem de tâmaras da variedade *Zahidi*. O encolhimento desses frutos foi determinado e correlacionado com a perda de umidade através dos modelos propostos por Suzuki et al. (1976).

Katekawa (2006) verificou que fatias de banana encolhem linearmente, mas essa dependência linear não é observada para baixos teores de água, e que tanto o endocarpo quanto o mesocarpo da fruta apresentam diferentes comportamentos em relação à transferência de massa e ao encolhimento; entre tantos outros trabalhos.

## **2.6. Características físico-químicas**

Caneppele et al. (2001) obtiveram banana passa com pH 4,25. Jesus et al. (2005) obtiveram valor de pH da banana passa dos genótipos Prata Graúda igual a 4,43

e da Prata Anã o pH foi igual a 4,54. Pontes et al. (2007) observaram que os valores do pH da banana prata desidratada a 60°C e 70°C foram 5,14 e 4,80, respectivamente.

Alguns autores mencionaram teores de ácido ascórbico de 2,67 mg 100 g<sup>-1</sup> a 3,5 mg 100 g<sup>-1</sup> para banana passa com umidade de 23% (TRAVAGLINI et al., 1997). Em estudos realizados por Araujo (2000) observou-se que os resultados obtidos para o teor de ácido ascórbico para amostra “*in natura*” e secas nas temperaturas de 40 e 60°C, obteve resultados de 9,32; 5,21 e 3,23 (mg/100g ms), respectivamente.

Mota (2005) que obteve valor de açúcares redutores para a banana passa da variedade prata referente a 505,625 (mg/g). Hofsetz (2007) que submeteu banana nanica à secagem nas condições, HTST/AD (*High Temperature and Short Time/Air Drying*), HTST (150°C-15min)/AD e HTST(130°C-30min) onde os valores apresentados foram de 4,7 a 6,8 para a primeira condição e de 5,8 para a segunda condição.

Caneppele et al. (2001) obtiveram banana passa com acidez de 1,24% (expressa em ácido málico). O valor da acidez encontrado por Mota (2005), foi de 1,702% para a variedade prata. Jesus et al. (2005) observaram que a acidez da bananas passa dos genótipos Prata Graúda e Prata Anã foram de 1,36 e 1,34, respectivamente.

## **2.7. Análise Sensorial**

O desenvolvimento de novos produtos acentua a necessidade de testes seguros, eficientes e representativos da opinião do consumidor, tanto quanto o estudo contínuo das mudanças nos hábitos alimentares. Os testes de aceitabilidade sensorial com equipes de consumidores são indicados para avaliar, em termos de qualidade hedônica e aceitação, novos produtos lançados no comércio (TREPTOW, 1998).

A análise sensorial é uma metodologia destinada a avaliar a aceitação de produtos no mercado, pesquisando os gostos e preferências de consumidores. Com base nos resultados da análise é possível medir, avaliar e interpretar a percepção sensorial em relação ao produto analisado. Os requisitos de qualidade sensorial de um produto devem ser considerados em conjunto, não só para satisfazer a necessidade do consumidor, mas também, para proteção da saúde pública. Os consumidores expressam suas opiniões em cabines individuais, onde recebem o produto a ser analisado, usando metodologia científica referendada internacionalmente, acompanhando um formulário com perguntas pré-definidas para determinação dos resultados (MESQUITA, 2003).

Existem alguns tipos de testes que podem ser aplicados em análise sensorial de alimentos e bebidas como: os testes discriminativos ou de diferença que são considerados métodos objetivos, pois medem alguns atributos pela discriminação simples, indicando por comparações, se existem ou não diferenças estatísticas entre amostras; os testes descritivos que descrevem os atributos sensoriais e medem a intensidade em que são percebidos, sendo que alguns dos componentes mais empregados nesses testes são os que se referem à aparência, aroma, textura, e sabor; os testes afetivos são testes em que o julgador expressa seu estado emocional ou reação afetiva ao escolher um produto pelo outro, sendo a forma usual de se medir a opinião de um grande número de consumidores com respeito as suas preferências e opiniões.

Os atributos sensoriais, como aroma, sabor, textura e aparência, são influenciados significativamente pela composição química e, nos frutos de bananeira, principalmente pelos ácidos, açúcares e compostos fenólicos (SOTO BALLESTERO, 1992).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Secagem e Armazenamento do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA), no Laboratório de Análise Sensorial do Departamento de Tecnologia de Alimentos (DTA), da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa-MG, e no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA), da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEA), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campinha Grande-PB.

#### 3.1. Tratamentos

Passas de bananas da variedade Prata (*Musa sp.*) foram comparadas utilizando-se dois tratamentos. O primeiro tratou-se do processo de secagem, o qual foi realizado com a utilização do gás liquefeito de petróleo (GLP) para o aquecimento do ar de secagem, à temperatura de 70°C, e o segundo tratou-se da obtenção de banana passa proveniente do aquecimento do ar de secagem por meio da gaseificação de carvão vegetal, à temperatura de 70°C. Ambos tratamentos foram aplicados em um secador de bandeja, da marca Polidryer.

#### 3.2. Matéria-prima

Foram utilizadas, como matéria-prima, bananas da variedade Prata (*Musa sp.*), provenientes da região da Zona da Mata do Estado de Minas Gerais, adquirida no comércio de Viçosa-MG. Estas foram selecionadas de acordo com a observação visual da cor da casca, totalmente amarelada (Figura 03).



**Figura 03.** Vista com a caracterização das bananas utilizadas no experimento.

### 3.3. Preparo da amostra

As bananas foram selecionadas, de forma a eliminar os exemplares que apresentavam danos físicos visuais. As bananas foram sanitizadas com uma solução de hipoclorito de sódio com concentração de  $100 \text{ mgL}^{-1}$ , durante 15 minutos; posteriormente, estas foram enxaguadas em água corrente a fim de retirar o excesso da solução. Em seguida, as bananas foram descascadas, cortadas em fatias formando círculos de 10 mm de espessura, utilizando-se um cortador em aço inox de tripla lâmina, que foi desenvolvido para este fim, com o objetivo de manter a espessura uniforme (Figura 04).



**Figura 04.** Cortador de aço inox de tripla lâmina.

### 3.4. Caracterização física da matéria-prima

As amostras de banana “*in natura*” foram caracterizadas em relação a: umidade, sólidos totais, cinzas, massa, comprimento e diâmetro.

#### 3.4.1. Teor de água e sólidos totais

O teor de água os sólidos totais ( $\text{kg água/kg matéria seca} - \text{kg/kms}$ ), foram determinados de acordo com o método descrito no manual do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005).

### 3.4.2. Cinzas

As cinzas foram determinadas utilizando-se a metodologia descrita pela AOAC (1997) e os resultados foram expressos em percentagem (%).

### 3.4.3. Massa

A massa de bananas com casca e sem casca foi determinada utilizando uma balança semi-analítica com resolução de 0,1g.

### 3.4.4. Comprimento e diâmetro do fruto

Conforme o Programa Brasileiro para Melhoria dos Padrões Comerciais e Embalagens de Hortigranjeiros (PBMPCEH), o comprimento do fruto foi determinado medindo a banana com casca utilizando uma fita flexível graduada e o diâmetro foi determinado medindo a banana com casca e sem casca utilizando um paquímetro digital, conforme ilustrado nas Figuras 05 e 06.



**Figura 05.** Determinação do diâmetro e comprimento da banana. FONTE: Programa Brasileiro para Melhoria dos Padrões Comerciais e Embalagens de Hortigranjeiros (PBMPCEH, 1998).

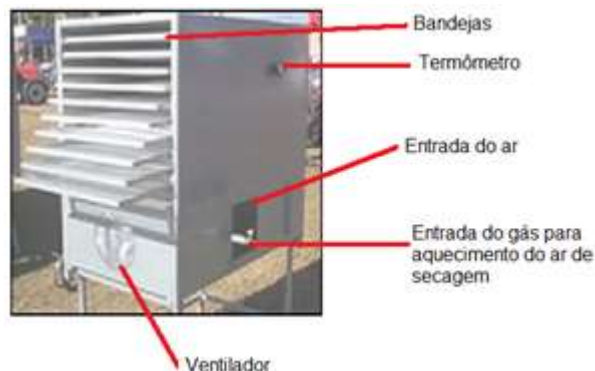


**Figura 06.** Determinação do comprimento e dos diâmetros com casca e sem casca da banana.

### 3.5. Secagem da banana

A secagem das amostras de banana foi realizada no Laboratório de Secagem e Armazenamento, do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA), da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, em dois tratamentos.

Utilizou-se o secador de bandejas, PD 25 da marca Polidryer, com capacidade de até 26 kg de banana inteira. Este possui estrutura em perfis de aço carbono soldados, revestimento interno com chapas de alumínio, revestimento externo em chapas de aço galvanizado e pintura, bandejas de aço inoxidável, isolamento térmico de lã de rocha e termômetro com escala de 0°C a 150°C situado na lateral do secador, possui duas janelas reguláveis para saída de ar, em cada uma de suas laterais, situadas próximo a porta, possui uma janela regulável para entrada de ar, em uma de suas laterais, próximo aos queimadores que ficam situados no interior do secador, na parte inferior do mesmo, os quais estão interligados com a canalização do gás para o aquecimento do ar de secagem (Figuras 07 e 08).

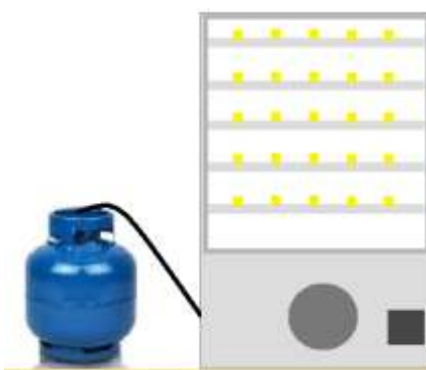


**Figura 07.** Secador de bandejas aberto.



**Figura 08.** Secador de bandejas fechado.

O primeiro tratamento, tratou-se da secagem das bananas com a utilização do gás liquefeito de petróleo (GLP) como fonte de calor para o aquecimento do ar de secagem a temperatura de 70°C, onde as amostras de banana, devidamente preparadas, foram colocadas em bandejas de aço inox perfuradas e em seguida, as bandejas foram alocadas no secador, até que as bananas tivessem teor de água igual a 25% (b.u.), e os resultados foram obtidos com a média de três repetições (Figura 09).



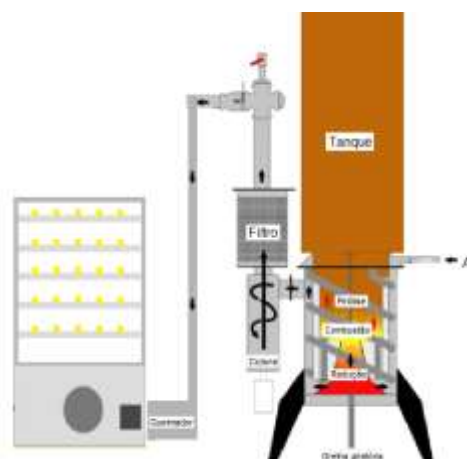
**Figura 09.** Esquema do processo de secagem de banana via GLP.

O segundo tratamento, tratou-se da secagem das bananas com a utilização de energia de biomassa (carvão vegetal), via gaseificação, como fonte de calor para o aquecimento do ar de secagem a temperatura de 70°C, onde as amostras de banana, devidamente preparadas, foram depositadas em bandejas de aço inox perfuradas e posteriormente alocadas no secador de bandejas, até que as bananas tivessem teor de água de 25% (b.u.) em três repetições. O sistema de gaseificação que foi utilizado para realização deste experimento consistiu de um reator de fluxo concorrente modelo GEK-Allpowerlabs acoplado aos componentes secundários: ciclone, filtro, queimador (Figura 10 e 11). A movimentação do gás de síntese no reator se dá devido a um conjunto

acoplado de injetor Venturi e compressor (2cv), o qual provoca uma queda de pressão no final do sistema.



**Figura 10.** Processo de secagem de banana via gaseificação de carvão vegetal.



**Figura 11.** Esquema do processo de secagem de banana por meio da gaseificação de carvão vegetal.

O reator foi confeccionado em chapas de aço e isolado com manta de fibra cerâmica. Geometricamente o reator é constituído de três cilindros concêntricos, onde no cilindro interno ocorrem as reações termoquímicas. O cilindro do meio é preenchido com material isolante e o cilindro externo completa o corpo do gaseificador funcionando como um espaço para transporte do gás produzido até o ciclone.

O gás de síntese transporta particulados (cinzas e carbono não reagido), os quais são fisicamente separados por meio de um ciclone. Após passar pelo ciclone, o gás atravessa um filtro de carvão e palha de aço, no intuito de diminuir a concentração de alcatrão remanescente, e em seguida misturado com ar ambiente para combustão no

queimador, o qual foi acoplado ao secador de bandejas, sendo utilizado como fonte principal de calor.

As bananas desidratadas foram armazenadas em sacos de polietileno de baixa densidade e armazenadas em temperatura média ambiente (20°C), até a realização das análises sensoriais e químicas.

### **3.6. Caracterização físico-química da banana desidratada**

Foi realizada a caracterização físico-química da banana desidratada por meio de análises de pH, acidez total titulável, açúcares redutores, ácido ascórbico e massa específica. Todas as determinações foram realizadas em triplicata, no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA), do Departamento de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, PB.

#### **3.6.1. pH**

O pH foi determinado pelo método potenciométrico, com o medidor de pH da marca Tecnal modelo TEC-2, previamente calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0.

#### **3.6.2. Acidez total titulável**

Determinou-se a acidez total titulável utilizando-se o método acidimétrico do manual do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005), em que as amostras foram tituladas com solução padronizada de NaOH 0,1 N (os resultados expressos em percentagem de ácido málico).

#### **3.6.3. Açúcares redutores**

Os açúcares redutores foram determinados utilizando a metodologia descrita pela AOAC (1997), e os resultados foram expressos em percentagem de glicose.

### 3.6.4. Ácido ascórbico

O ácido ascórbico foi determinado segundo o método da AOAC (1997), modificado por Benassi & Antunes (1988). Nesta metodologia, o ácido oxálico é usado como solução extratora e se baseia na titulação da amostra com o 2,6 diclorofenolindofenol sódio, que tem cor rosa em solução ácida e cor azul em solução alcalina. Os resultados foram expressos em mg de ácido ascórbico/100 g da amostra.

### 3.6.5. Massa específica

As bananas cortadas em fatias foram pesadas em balança semi-analítica e utilizando-se um paquímetro foram determinados o diâmetro da fatia e a espessura de cada amostra. E em seguida determinada a massa específica.

Calculou-se a área da fatia da banana pela equação 22, que é função do diâmetro da amostra.

$$\text{Área} = \frac{(\pi \cdot d^2)}{4} \quad (22)$$

onde:

d - diâmetro da amostra, m

Calculou-se o volume pela equação 23.

$$\text{Volume} = \text{Área} \cdot \text{Espessura} \quad (23)$$

Logo, a massa específica foi calculada pela relação entre a massa e o volume das amostras de banana, equação 24.

$$\text{Massa específica} = \frac{\text{Massa (kg)}}{\text{Volume (m}^3\text{)}} \quad (24)$$

### 3.7. Encolhimento

O encolhimento resultante da evaporação de água durante a secagem deve ser avaliado nas direções longitudinal e radial. O encolhimento longitudinal refere-se a uma relação da diferença entre as espessuras da banana antes e após a secagem com a espessura da banana antes da secagem; e o encolhimento radial refere-se a uma relação da diferença entre os diâmetros da banana antes e após a secagem com o diâmetro da banana antes da secagem, conforme as equações 25 e 26.

$$\text{Encolhimento longitudinal} = \left( \frac{I_0 - I}{I_0} \right) \quad (25)$$

$$\text{Encolhimento radial} = \left( \frac{d_0 - d}{d_0} \right) \quad (26)$$

onde:

$d_0$  - diâmetro da banana antes da secagem, mm

$I_0$  - espessura da banana antes da secagem, mm

$d$  - diâmetro da banana após a secagem, mm

$I$  - espessura da banana após a secagem, mm

O encolhimento das amostras de banana foi obtido medindo-se o diâmetro e a espessura de cinco amostras de cada uma das cinco bandejas utilizadas no experimento. Foi utilizado um paquímetro digital com resolução de 0,02 mm para realizar as medições.

O coeficiente de encolhimento indica a redução do volume da amostra e é obtido pela relação entre o volume final (após a secagem) e o volume inicial (antes da secagem) da amostra, foi calculado pela equação 27.

$$\text{Coeficiente de encolhimento} = \left( \frac{V_f}{V_i} \right) \cdot 100\% \quad (27)$$

onde:

$V_f$  - volume final,  $m^3$

$V_i$  - volume inicial,  $m^3$

### **3.8. Análise sensorial**

O teste afetivo aplicado foi o teste de aceitação por escala hedônica, onde cada indivíduo expressou o grau de gostar ou de desgostar do produto, de forma globalizada.

As amostras de banana passa foram avaliadas por 60 consumidores, sendo 35 mulheres com faixa etária entre 14 e 32 anos, e 25 homens com faixa etária entre 17 e 40 anos, sendo estes alunos, funcionários e professores da UFV. O teste foi realizado no Laboratório de Análise Sensorial do Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Viçosa, em uma única sessão.

As amostras foram codificadas com número aleatório de três dígitos e servidas sob luz branca em cabines individuais aos consumidores. As amostras foram disponibilizadas de uma só vez, acompanhadas de um copo com água à temperatura ambiente, para que entre uma amostra e outra o consumidor possa “lavar” a cavidade oral e neutralizar o paladar.

As avaliações de cada consumidor foram anotadas em uma ficha resposta (Figura 12) contendo uma escala hedônica estruturada com nove pontos, atribuindo-se nota 9 para gostei extremamente e 1 para desgostei extremamente.



### 3.9. Cinética de secagem

Durante o processo de secagem da banana fatiadas em rodela de 10mm de espessura, determinou-se as cinéticas de secagem. Os dados da cinética de secagem foram obtidos pesando-se as bandejas com as amostras, durante as secagens até o peso referente a 25% (b.u.) calculado pela equação 28, em intervalos regulares.

$$M_f = \frac{M_i(100-U_i)}{(100-U_f)} \quad (28)$$

onde:

$M_i$  – Massa inicial de bananas de uma bandeja, kg

$M_f$  – Massa final da banana seca, kg

$U_i$  – Teor inicial de água da banana, % (b.u.)

$U_f$  – Teor final de água desejada para o produto (25%, b.u.)

Os modelos matemáticos de Page, Henderson & Pabis, Lewis, Wang Singh, Aproximação da Difusão e Regressão Linear, descritos no Quadro 01, foram ajustados às curvas experimentais de secagem utilizando-se o programa computacional SigmaPlot 11.0. Para se determinar o melhor ajuste de cada equação aos dados experimentais foram utilizados os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os valores do desvio quadrático médio (DQM). Os parâmetros dos modelos utilizados foram obtidos mediante aplicação dos dados experimentais ao pacote de análise de regressão não-linear do programa.

No assistente de regressão não-linear do programas computacional SigmaPlot 11.0, foram adicionado os modelos matemáticos supracitados de acordo com as equações descritas no Quadro 01.

**Quadro 01.** Modelos matemáticos utilizados para predizer o fenômeno de secagem

Modelo	Equação	Referência
Page	$Ru = \exp(-kt^n)$	GONELI et al. (2009)
Henderson & Pabis	$Ru = a \exp(-kt)$	MELO (2008)
Lewis	$Ru = \exp(-kt)$	AKPINAR et al. (2006)
Wang Singh	$Ru = 1 + at + bt^2$	ÖZDEMIR e DEVRES (1999)
Aproximação da Difusão	$Ru = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kbt)$	MENGES e ERTEKIN (2006)
Regressão Linear	$Ru = b + at$	

em que:  $Ru$  – razão de teor de água (adimensional);  $t$  – tempo (min);  $k$  – constante do modelo (1/h);  $n$  – constante do modelo;  $a, b$  – constante do modelo (adimensional).

Como critério de seleção do modelo que melhor representam o processo de secagem da banana utilizou-se como parâmetros o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o desvio quadrático médio (DQM) (ERTEKIN e YALDIZ, 2004), em que quanto menor o valor de DQM (Equação 29) melhor é a representação do modelo empregado:

$$DQM = \sqrt{\frac{\sum (RU_{pred} - RU_{exp})^2}{n}} \quad (29)$$

onde:

DQM – desvio quadrático médio

$RU_{pred}$  – razão de umidade predito pelo modelo

$RU_{exp}$  – razão de umidade observado experimental

$n$  – número de observação

### **3.10. Consumo de combustíveis**

Acompanhou-se o consumo de combustível para os dois tratamentos utilizados, durante a realização do experimento.

No processo utilizando o gás liquefeito de petróleo para o aquecimento do ar de secagem das bananas, o botijão de 13 kg utilizado, tipo doméstico, foi colocado em cima de uma balança com capacidade de 100 kg, e o acompanhamento de seu peso foi feito a cada trinta minutos, durante todo o processo de secagem.

No processo utilizando a gaseificação de carvão vegetal para o aquecimento do ar de secagem das bananas, o sistema de gaseificação (tanque, reator, filtro, ciclone, queimador), foi colocado em cima de uma balança com capacidade de 250 kg e o acompanhamento de seu peso foi feito a cada trinta minutos, durante todo o processo de secagem.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Caracterização física da banana “*in natura*”

Observa-se na Tabela 01 os valores médios das características físicas de 10 bananas “*in natura*” representativas no montante, escolhidas aleatoriamente, de cada repetição para realização da secagem em sistema de aquecimento do ar de secagem por meio da gaseificação de carvão vegetal e por gás liquefeito de petróleo (GLP).

**Tabela 01.** Características físicas da banana “*in natura*”, a serem utilizadas para a secagem

GLP	MASSA (g)		DIÂMETRO (mm)		COMPRIMENTO (mm)
	COM CASCA	SEM CASCA	COM CASCA	SEM CASCA	
REPETIÇÃO					
1	138,5	87,9	37,9	30,2	160,5
2	120,6	76,2	37,7	29,6	160,5
3	123,4	77,1	38,6	27,7	163,0

GASEIFICAÇÃO	MASSA (g)		DIÂMETRO (mm)		COMPRIMENTO (mm)
	COM CASCA	SEM CASCA	COM CASCA	SEM CASCA	
REPETIÇÃO					
1	130,8	75,0	38,5	28,6	158,0
2	109,4	65,9	36,5	27,8	153,0
3	110,6	67,3	36,0	28,0	149,0

Na Tabela 02 contém os valores médios do teor de água, sólidos totais e cinzas da polpa da banana “*in natura*”, utilizadas para as secagens.

**Tabela 02.** Valores médios do teor de água, sólidos totais e cinzas da polpa da banana “*in natura*”

<b>Parâmetros</b>	<b>Média ± desvio padrão</b>
Teor de água (kga/kgms)	73,421 ± 1,279
Sólidos Totais (%)	26,579 ± 1,279
Cinzas (%)	0,912 ± 0,055
Massa específica (kg.m <sup>-3</sup> )	1038,698 ± 18,800

Os valores obtidos para o teor de água e das cinzas, de 73,4% (b.u.) e 0,9%, respectivamente, estão condizentes com os valores encontrados por Medina et al. (1995), que ao determinarem a composição da banana madura, observou que os valores do teor de água e das cinzas foram de 75,6% (b.u.) e 0,8%, respectivamente. NEPA (2006) encontrou valores de teor de água e das cinzas para polpa da banana nanica madura iguais a 74,0% (b.u.) e 0,8%, respectivamente.

O valor da massa específica obtido de 1038,7 kg.m<sup>-3</sup>, foi inferior ao valor da massa específica encontrado por Aguiar (2006) foi de 1080 kg.m<sup>-3</sup>.

#### **4.2. Caracterização físico-química da banana desidratada**

Observa-se na Tabela 03 os valores experimentais da caracterização físico-química da banana desidratada utilizando-se GLP para o aquecimento complementar e o gás proveniente da gaseificação de carvão vegetal, como fonte de aquecimento do ar de secagem.

**Tabela 03.** Caracterização físico-química da banana desidratada

<b>Parâmetro</b>	<b>GLP</b>	<b>GASEIFICAÇÃO</b>
	<b>Média ± desvio padrão</b>	<b>Média ± desvio padrão</b>
pH	4,641 ± 0,002	4,671 ± 0,018
Ácido ascórbico (mg/100g)	4,051 ± 0,026	3,728 ± 0,586
Açúcares redutores (% glicose)	24,830 ± 0,000	30,477 ± 0,484
Acidez total titulável (% ácido málico)	1,484 ± 0,006	1,487 ± 0,001

Observa-se que os valores do pH das bananas desidratadas pelos métodos de secagem utilizando o GLP e a gaseificação do carvão vegetal para o aquecimento do ar de secagem foram similares ao pH da banana madura “*in natura*” que variou entre 4,2 e 4,7 de acordo com Medina et al. (1995).

O teor do ácido ascórbico da banana utilizando o processo de secagem por gaseificação obteve resultado inferior comparado ao resultado obtido para o processo de secagem via GLP, resultado este que pode ter sido obtido devido aos diferentes graus de maturidade das bananas, pois estes processos foram realizados em dias diferentes e com lotes de banana distintos, mas sendo estas da mesma variedade. O valor do teor do ácido ascórbico para a banana utilizando a gaseificação de carvão vegetal para o aquecimento do ar de secagem está de acordo com o valor encontrado por Jesus et al. (2005) das bananas-passa, em média, de 3,4 mg 100 g<sup>-1</sup>.

Os valores referentes ao conteúdo dos açúcares redutores foram distintos entre os dois tratamentos utilizados, sendo que o valor obtido para a banana seca via GLP foi menor que o valor obtido para a banana seca via gaseificação. Este resultado deve-se ao fato relacionado aos diferentes graus de maturidade das bananas utilizadas para os dois tratamentos. Verifica-se que o conteúdo dos açúcares redutores foram inferiores aos valores obtidos por Jesus et al. (2005) para banana-passa de diferentes genótipos que variaram de 55,85% (PV03-44) a 62,88% (Nanica).

Os valores referentes a acidez total titulável foram inferiores aos valores observados por Pontes et al. (2007) que obtiveram valores para a acidez da banana prata desidratada a 60°C e 70°C referentes a 2,70% e 3,76%, respectivamente.

### **4.3. Curvas de secagem**

A secagem envolve fenômenos simultâneos de transferência de calor e de massa, onde o calor é transferido para o produto e a água é removida na forma de vapor para uma fase gasosa não-saturada (SCHULTZ, 1999; VASQUES, VALLE e VALLE, 2004).

A secagem das fatias de banana foi realizada em secador de bandejas com o ar de secagem na temperatura de 70°C. As bandejas foram dispostas dentro do secador em diferentes alturas (Figura 13). O critério de parada de secagem foi estipulado por gravimetria correspondente ao valor de 25% (b.u.).



**Figura 13.** Vista parcial da disposição das bandejas com amostras dentro do secador.

A razão de umidade é calculada pela equação 30.

$$RU = \frac{U - U_e}{U_0 - U_e} \quad (30)$$

em que:

RU – Razão de umidade, adimensional

U – Teor de água no tempo t, decimal (b.s.)

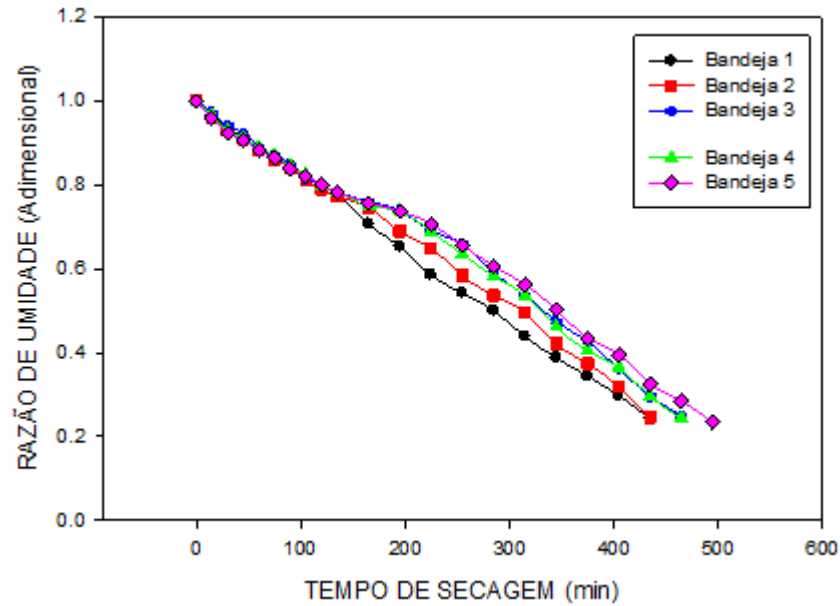
U<sub>0</sub> – Teor inicial de água, decimal (b.s.)

U<sub>e</sub> – Teor de água em equilíbrio, decimal (b.s.)

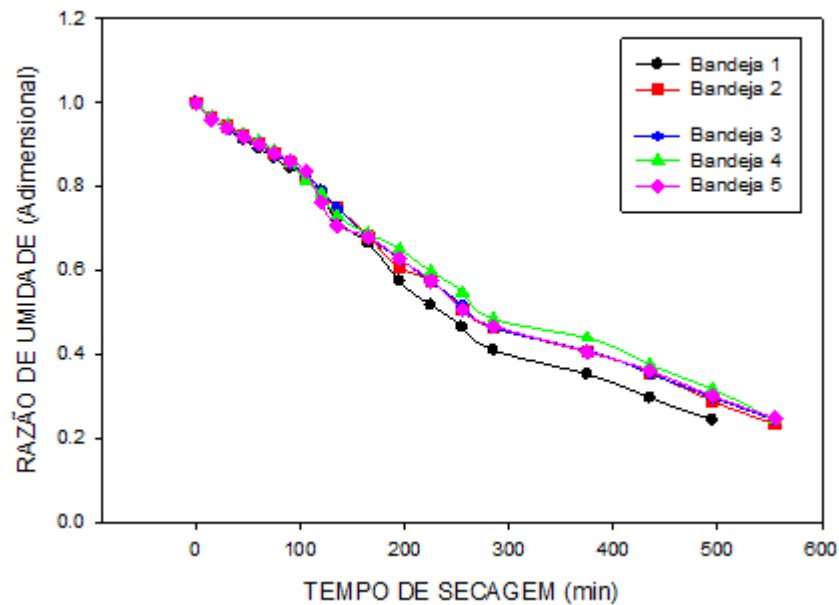
Por não se encontrar na literatura valores ou modelos matemáticos para calcular ou prever a umidade de equilíbrio higroscópico (U<sub>e</sub>), da variedade utilizada, considerou-se U<sub>e</sub> igual a zero (U<sub>e</sub> = 0), portanto a razão de umidade foi calculada pela equação 31.

$$RU = \frac{U}{U_0} \quad (31)$$

As Figuras 14 e 15 representam as taxas de secagem da banana em fatias para cada método de secagem utilizado no experimento. Os dados utilizados para a construção das curvas de secagem foram os valores médios na forma adimensional de umidade (razão de umidade, Equação 31) das amostras para cada bandeja em função do tempo, em três repetições para cada método de secagem utilizado.



**Figura 14.** Taxa de secagem da banana utilizando o gás liquefeito de petróleo para aquecimento do ar do sistema de secagem, referente a cada bandeja.

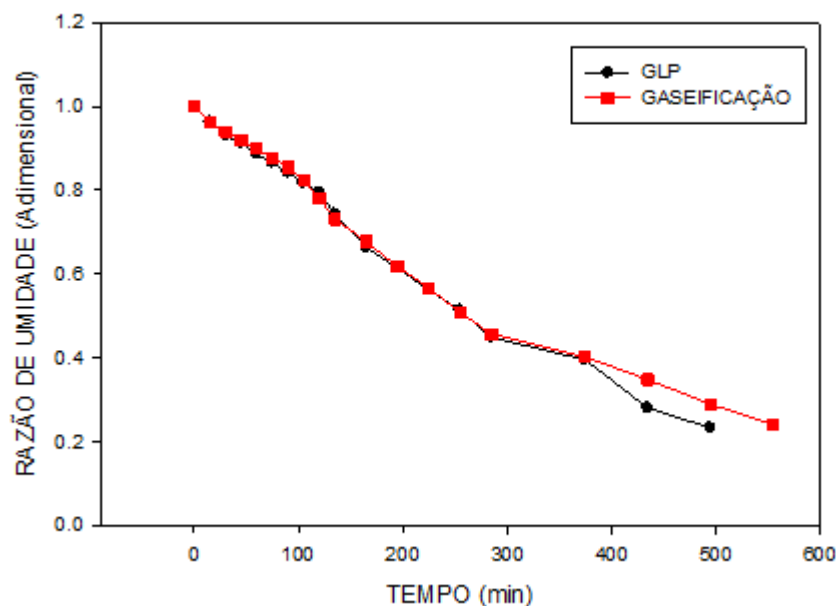


**Figura 15.** Taxa de secagem da banana utilizando a gaseificação de carvão vegetal para aquecimento do ar do sistema de secagem, referente a cada bandeja.

Pode-se observar na Figura 14 que para a secagem utilizando o GLP, as amostras das bandejas 1 e 2, as quais estavam situadas na parte superior do secador, e as bandejas 3 e 4 atingiram o teor de água de referência (25%, b.u.) com 60 e 30 minutos mais rápido que a bandeja 5, respectivamente. Enquanto que na Figura 15 para a

secagem utilizando a gaseificação de carvão vegetal para aquecimento do ar do sistema de secagem, verifica-se que somente a bandeja 1 atingiu a umidade de referência (25%) com 60 minutos mais rápido que as outras bandejas. Este fato pode ter ocorrido devido a má distribuição do ar de secagem dentro da câmara.

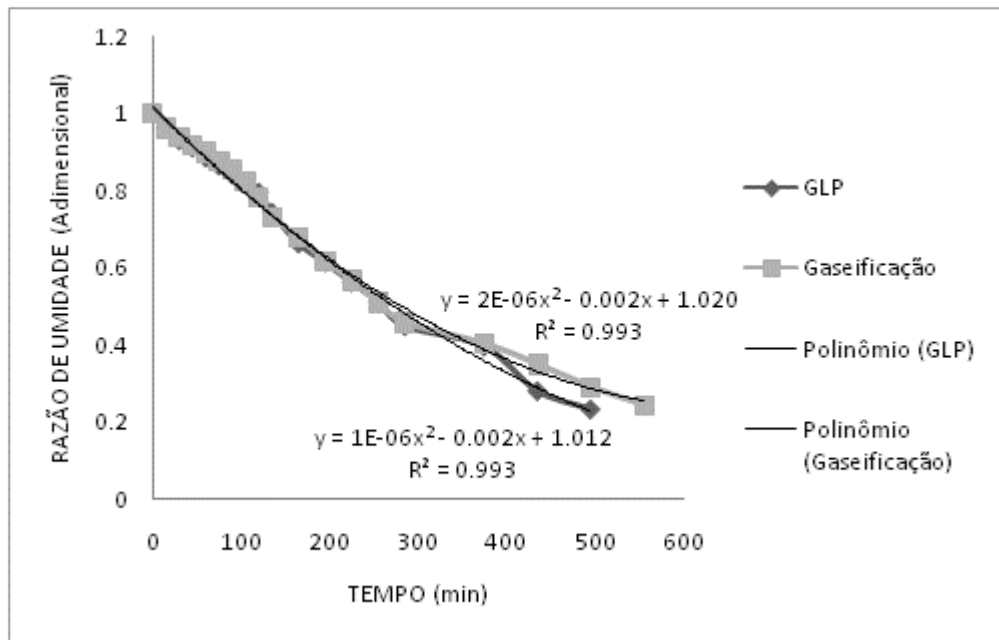
Observa-se, na Figura 16, que para o método de secagem utilizando a gaseificação de carvão vegetal, foi necessário maior tempo de secagem para que as amostras atingissem a massa correspondente a 25% (b.u.), o que já era esperado por não se tratar de um processo com fluxo contínuo de combustível, pois a taxa de produção do gás combustível utilizado para a secagem da banana é variável com relação ao tempo.



**Figura 16.** Curvas de secagem da banana utilizando o gás liquefeito de petróleo e a gaseificação de carvão vegetal para aquecimento do ar de secagem.

Silva et al. (2009) ao estudar a curva de secagem da banana maçã em secador de leito fixo para variadas espessuras de fatias à temperatura de 70°C, observou que o tempo de secagem para a espessura de 10,0 mm foi de, aproximadamente, 600 min.

Verifica-se na Figura 17 o ajuste das curvas de secagem como fonte principal de calor o GLP e a gaseificação de carvão vegetal, representadas por uma equação polinomial de segundo grau, com  $R^2$  iguais a 0,993 para ambos os tratamentos. Onde a equação para a secagem da banana utilizando o gás liquefeito de petróleo é igual a:  $y = 1.10^{-6}x^2 - 0,002x + 1,012$ , e a equação para a secagem da banana utilizando a gaseificação de carvão vegetal é igual a:  $y = 2.10^{-6}x^2 - 0,002x + 1,020$ .



**Figura 17.** Ajuste das curvas de secagem da banana utilizando o gás liquefeito de petróleo e a gaseificação de carvão vegetal para aquecimento do ar de secagem.

#### 4.4. Cinética de secagem: Modelos matemáticos

Na Tabela 04 encontram-se os parâmetros dos modelos empregados para a representação do processo de secagem da banana a 70°C, utilizando o gás liquefeito de petróleo e utilizando a gaseificação de carvão vegetal.

**Tabela 04.** Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e o desvio quadrático médio (DQM) dos modelos empregados para a representação de secagem de banana para os dois métodos de secagem

Modelo	Tratamento	Parâmetro			$R^2$	DQM
		k	n			
Page	GLP	0,0009	1,1350		0,986	0,023459
	GASEIFICAÇÃO	0,0032	0,9134		0,996	0,012181
	Tratamento	Parâmetro			$R^2$	DQM
		a	k			
Henderson & Pabis	GLP	1,0089	0,0020		0,979	0,028107
	GASEIFICAÇÃO	0,9777	0,0019		0,995	0,012898
	Tratamento	Parâmetro			$R^2$	DQM
		k				
Lewis	GLP		0,0020		0,979	0,028480
	GASEIFICAÇÃO		0,0020		0,992	0,017406
	Tratamento	Parâmetro			$R^2$	DQM
		A	b			
Wang Singh	GLP	-0,0014	0,0000001		0,995	0,013337
	GASEIFICAÇÃO	-0,0018	0,0000012		0,995	0,013481
	Tratamento	Parâmetro			$R^2$	DQM
		a	b	k		
Aproximação da Difusão	GLP	0,8868	1,0000	0,0020	0,979	0,028480
	GASEIFICAÇÃO	0,0325	0,0357	0,0516	0,996	0,011369
	Tratamento	Parâmetro			$R^2$	DQM
		A	b			
Regressão Linear	GLP	-0,0014	0,9724		0,995	0,013519
	GASEIFICAÇÃO	-0,0012	0,9325		0,972	0,031957

Pode-se observar que todos os modelos aplicados, para os dois tratamentos de secagem utilizados, representaram de forma significativa o comportamento da secagem apresentando coeficientes de determinação superiores a 97% e valores de DQM inferiores a 0,032, podendo estes modelos serem utilizados para a predição da cinética de secagem da banana em fatias para as condições experimentais deste estudo.

Para a secagem utilizando o GLP, como fonte de aquecimento, observa-se que os modelos que melhor representam o processo são os modelos de Wang Singh, Page e a Regressão Linear, resultando nos maiores valores para  $R^2$  e nos menores para o DQM. Para a secagem utilizando a gaseificação de carvão vegetal verifica-se que os modelos que melhor representam o processo de secagem foram os de Page, Henderson & Pabis, Wang Singh e Aproximação da Difusão, por terem obtido maiores valores de  $R^2$  e menores valores para o DQM.

Em estudos realizados por Hofsetz (2007) foram utilizados os modelos Exponencial e Page. Os valores de  $R^2$  foram maiores do que 0,98 para ambos os modelos e baixos valores de DQM, indicando bom ajuste dos mesmos aos dados experimentais de secagem. Entretanto, considerando também o critério de que quanto menor o valor de SQR (soma do quadrado dos resíduos), melhor o ajuste do modelo, o modelo de Page, por ter ajuste matemático melhor que o modelo Exponencial, foi escolhido para predizer as características do processo de secagem de todas as amostras, dentro das condições experimentais estudadas.

Alexandre et al. (2009) ao estudar a cinética de secagem de abacaxi cv pérola em fatias aplicou os modelos de Page, Henderson & Pabis e Lewis. Verificou que, dos modelos testados, o de Page foi o que melhor ajustou-se para o coeficiente de determinação. Todos os modelos tiveram valores de  $R^2$  superiores a 96%.

Silva et al. (2009), ao estudar a cinética de secagem em camada fina de banana maçã, verificaram que a solução analítica da equação de difusão de Fick para placa plana, representa, com exatidão, o processo de secagem da banana, com  $R^2$  superior a 98%. Os modelos que melhor representaram o processo foram o de Page e o Exponencial dois termos, resultando nos maiores valores para  $R^2$  e os menores para o DQM.

Santos et al. (2010) em estudos de cinética de secagem de banana da variedade terra aplicaram os modelos de Aproximação da Difusão, Dois Termos, Midilli e Kucuk, e Page, verificando que todos os modelos analisados tiveram ajustes com elevados coeficientes de determinação ( $R^2$ ), superiores ou próximos a 99%, e baixo erro médio, estimado inferiores a 0,020.

Pereira (2007) ao estudar a aplicação de microondas na secagem de bananas tratadas osmoticamente, verificou que o modelo de Page ajustou-se melhor aos dados experimentais em comparação ao modelo exponencial. Os valores do coeficiente de

determinação ( $R^2$ ) foi de 0,998 sendo o menor valor encontrado para a amostra “*in natura*” seca utilizando potência de 188W.

#### 4.5. Encolhimento

Na Tabela 05 encontram-se os valores médios relacionados ao encolhimento longitudinal, encolhimento radial e coeficiente de encolhimento para a secagem utilizando o gás liquefeito de petróleo e a secagem utilizando a gaseificação de carvão vegetal para aquecimento do ar do sistema de secagem.

**Tabela 05.** Valores médios relacionados ao encolhimento longitudinal, encolhimento radial e coeficiente de encolhimento

<b>MÉTODO</b>	<b>Encolhimento Longitudinal</b>	<b>Encolhimento Radial</b>	<b>Coefficiente de Encolhimento</b>
<b>GLP</b>	34%	20%	43%
<b>GASEIFICAÇÃO</b>	21%	16%	55%

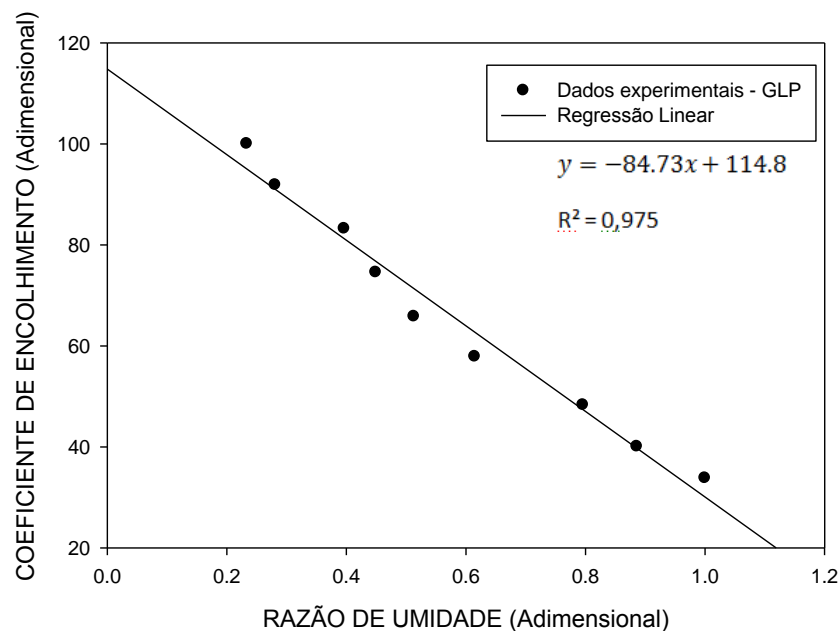
Verifica-se na Tabela 05 que a secagem utilizando o gás liquefeito de petróleo obteve um menor índice de encolhimento quando comparado com a secagem utilizando a gaseificação de carvão vegetal, com diferença de 12 pontos percentuais.

Saca e Lozano (1992) ao desidratar amostras de banana submetidas à incorporação do *explosion puffing* (secagem combinada que produz alimentos com a qualidade semelhante aos produtos liofilizados, promovendo o aumento do volume de um sólido a partir da expansão ou liberação e um gás (ou vapor) em seu interior, de maneira a criar uma estrutura celular forte ou propiciar a expansão ou ruptura de uma estrutura já existente (PAYNE et al., 1989), neste processo, o alimento parcialmente seco (umidade entre 15 % e 35 % (b.u.)) é colocado sob pressão numa câmara, com vapor superaquecido, após um determinado tempo, a pressão é subitamente liberada ao abrir-se a tampa da câmara, causando uma parcial vaporização da água e criando uma estrutura porosa no alimento (SULLIVAN; GRAIG JR., 1984)), e à secagem convencional, observaram no final do processo, que as amostras submetidas ao *explosion puffing* atingiram 43% do seu volume inicial e as amostras submetidas ao processo convencional encolheram até 16% do seu volume inicial.

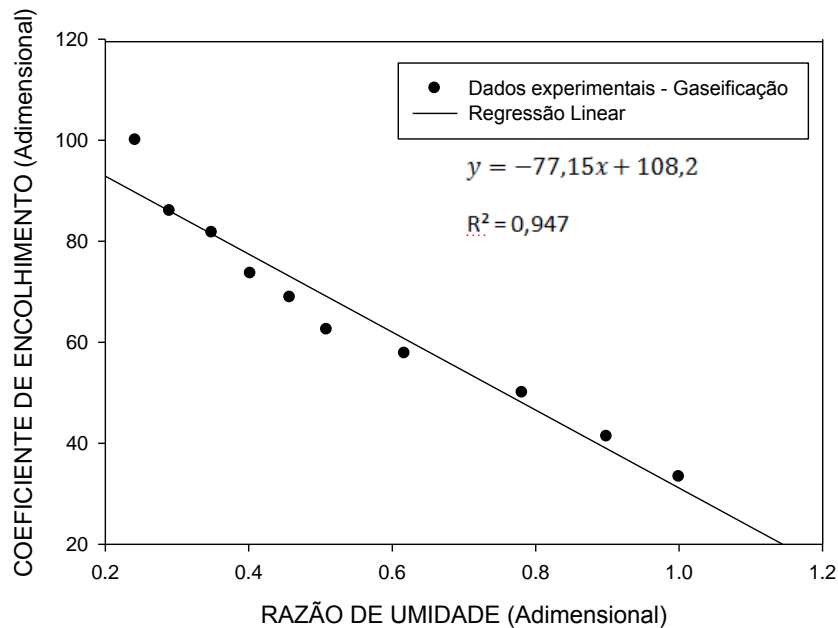
Katekawa (2006) verificou que fatias de banana encolhem linearmente, mas essa dependência linear não é observada para baixas umidades e, tanto o endocarpo quanto o mesocarpo da fruta têm diferentes variação em relação à transferência de massa e ao encolhimento.

Hofsetz (2007) ao estudar a secagem de banana utilizando um pulso inicial a alta temperatura e curto tempo, combinado com uma etapa de secagem convencional a ar quente a 70°C. Observou que a secagem combinada resultou na formação de um produto com menor índice de encolhimento (42% a 68,5%), quando comparada com a secagem convencional a 70°C.

Nas Figuras 18 e 19 estão apresentados os coeficiente de encolhimento em função da razão de umidade para os dados experimentais coletados durante a secagem para os dois tratamentos utilizados. Pode-se observar a forte linearidade entre estas duas variáveis.



**Figura 18.** Variação do coeficiente de encolhimento com a razão de umidade para a secagem de banana utilizando o gás liquefeito de petróleo para o aquecimento do ar de secagem.

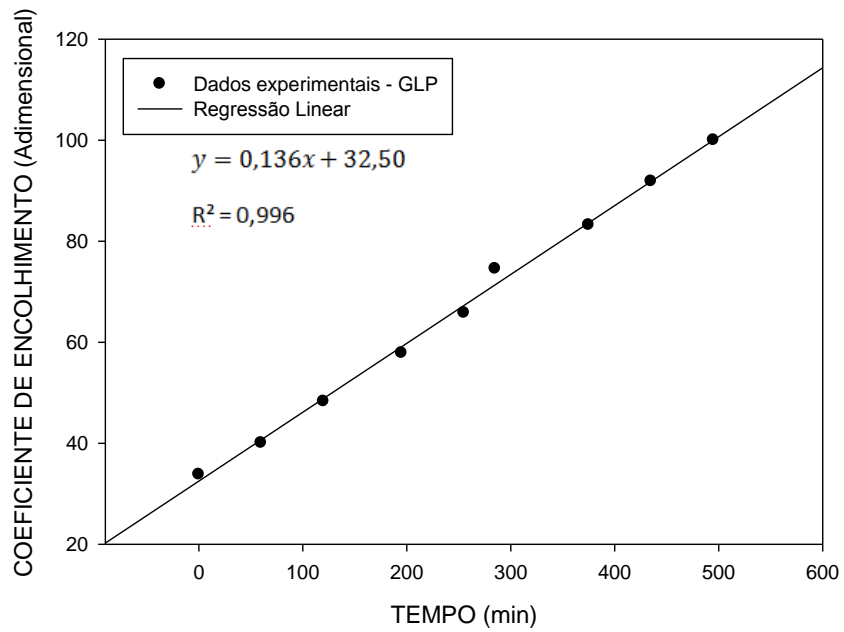


**Figura 19.** Variação do coeficiente de encolhimento com a razão de umidade para a secagem de banana utilizando a gaseificação de carvão vegetal para o aquecimento do ar de secagem.

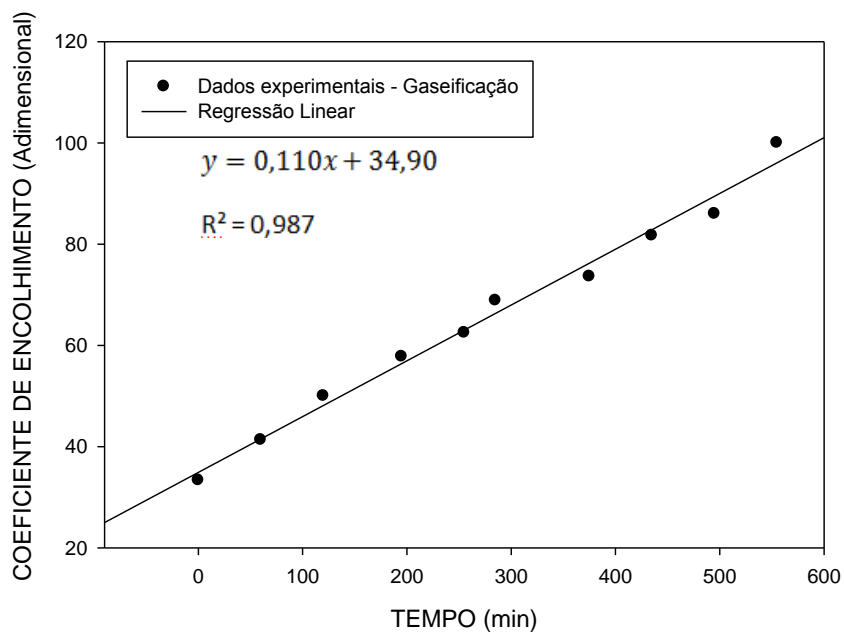
Segundo Mayor e Sereno (2004), o desvio da linearidade nos últimos estágios da secagem é consequência de uma tensão de ruptura produzida pela remoção da água. Esta variação linear do encolhimento nos estágios iniciais da secagem, seguido de um ligeiro desvio da linearidade para valores baixos de conteúdo de água, foi observado por Katekawa (2006) na secagem de bananas, com, ar quente, a 40°C e 50°C.

Na desidratação de alimentos, quando a água é removida do material, um desequilíbrio de pressão é produzido entre o interior do mesmo e a pressão externa exercida, gerando tensões de ruptura que levam ao encolhimento ou colapso da estrutura do material, mudando a forma do produto e, ocasionalmente, formando rachaduras no alimento (MAYOR e SERENO, 2004). Nos estágios iniciais da secagem, o tecido celular é elástico o suficiente para encolher dentro do espaço deixado pela água evaporada. À medida que o processo de secagem continua, as mudanças estruturais no tecido celular resultam numa forma rígida que favorecerá o desenvolvimento da porosidade (KROKIDA et al., 1997).

Nas Figuras 20 e 21 estão apresentados o coeficiente de encolhimento versus o tempo para os dados experimentais coletados durante a secagem para os dois tratamentos utilizados.



**Figura 20.** Variação do coeficiente de encolhimento com o tempo para a secagem de banana utilizando a gaseificação de carvão vegetal para o aquecimento do ar de secagem.



**Figura 21.** Variação do coeficiente de encolhimento com o tempo para a secagem de banana utilizando a gaseificação de carvão vegetal para o aquecimento do ar de secagem.

Ao aplicar a regressão linear para os dados referentes as Figuras 21 e 22 obteve-se coeficiente de correlação de 0,98 para a secagem utilizando GLP e 0,99 para a secagem utilizando gaseificação de carvão vegetal. Foi utilizado o programa SigmaPlot 11.0 para geração dos gráficos e para fazer o tratamento estatístico.

#### 4.6. Aceitabilidade Sensorial

Verifica-se na Tabela 06 as médias globais obtidas no teste de aceitação sensorial das bananas desidratadas em sistema de aquecimento do ar de secagem via gaseificação de carvão vegetal e método convencional de secagem utilizando gás liquefeito de petróleo (GLP).

**Tabela 06.** Notas médias globais do teste de aceitação sensorial das bananas desidratadas em sistema de aquecimento do ar de secagem via gaseificação de carvão vegetal e método convencional de secagem utilizando gás liquefeito de petróleo (GLP)

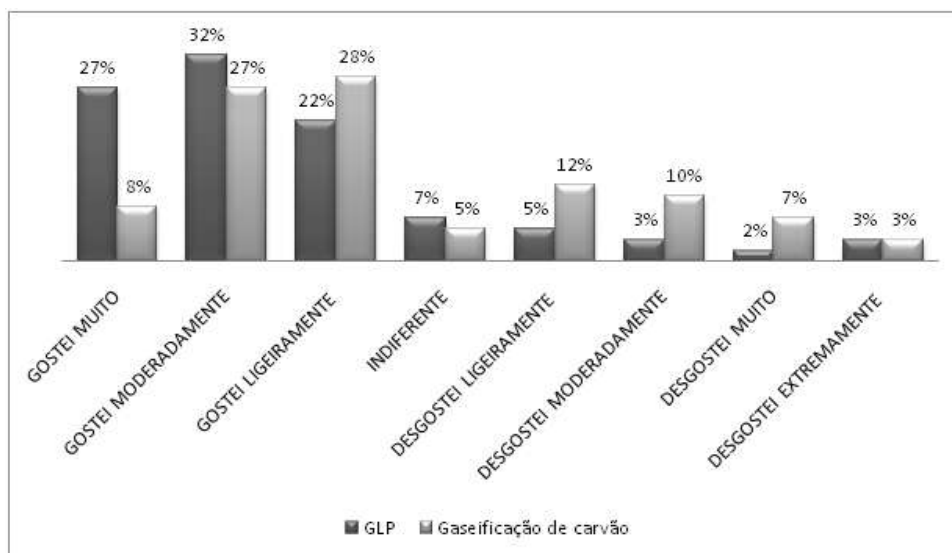
	<b>Banana desidratada via GLP</b>	<b>Banana desidratada via gaseificação</b>
Notas médias	6,4 a	5,4 b

Pode-se observar que houve diferença significativa no grau de aceitação das amostras analisadas, sendo a banana desidratada em sistema de aquecimento do ar de secagem utilizando GLP mais aceito que a banana desidratada em sistema de aquecimento do ar de secagem por meio da gaseificação de carvão vegetal ( $p < 0,05$ ).

Um dos fatos ocorridos que pode ter contribuído para esta diferença significativa observada na análise sensorial das amostras de bananas desidratadas por meio dos dois processos de secagem, foi que pelo processo de secagem utilizando o sistema de aquecimento do ar de secagem por meio da gaseificação de carvão vegetal resultaram na produção descontínua de gás combustível, o que dificultou o controle rigoroso da temperatura dentro da câmara de secagem, diferentemente do sistema de aquecimento do ar de secagem utilizando o gás liquefeito de petróleo (GLP), onde pode-se controlar a quantidade de gás que está sendo queimado para o aquecimento do ar de secagem dentro do secador. Portanto essas variações de temperatura dentro da câmara de

secagem para o tratamento utilizando a gaseificação de carvão vegetal pode ter influenciado na qualidade do produto final.

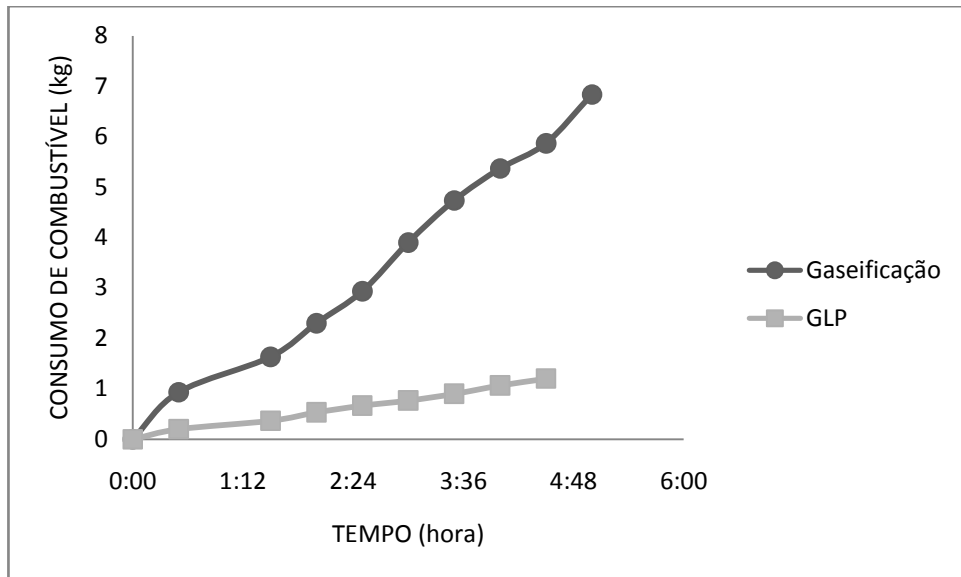
Ao analisar a Figura 22 verifica-se que a aceitação dos 60 consumidores das amostras de banana desidratada recaiu sobre o segundo, o terceiro e o quarto níveis da escala hedônica, caracterizados, respectivamente, por “gostei muito”, “gostei moderadamente” e “gostei ligeiramente”, o que mostra um grau de aceitação promissor do produto obtido. Analisando a amostra de banana desidratada em sistema de aquecimento do ar de secagem via gaseificação de carvão vegetal observa-se que um total de 55% das respostas dos consumidores ficou entre os níveis “gostei moderadamente” e “gostei ligeiramente”.



**Figura 22.** Histograma de aceitação sensorial das bananas desidratadas em sistema de aquecimento do ar de secagem via gaseificação de carvão vegetal e método convencional de secagem utilizando gás liquefeito de petróleo (GLP).

#### 4.7. Consumo de combustíveis

Verifica-se na Figura 23 a taxa referente ao consumo de combustível para o aquecimento do ar de secagem nos dois tratamentos utilizados, a fim de se obter bananas desidratadas. Pode-se observar que o processo de gaseificação tem consumo de carvão vegetal irregular com a média de consumo de  $3,5 \text{ kg.h}^{-1}$ , enquanto que o consumo de GLP permanece praticamente constante, aproximadamente  $0,6 \text{ kg.h}^{-1}$ .



**Figura 23.** Taxa do consumo de combustível durante o processo de secagem utilizando o sistema de aquecimento do ar de secagem via gaseificação de carvão vegetal e método convencional de secagem utilizando gás liquefeito de petróleo (GLP) para obtenção das bananas desidratadas.

## 5. CONCLUSÕES

Portanto observou-se na caracterização física da banana “*in natura*” que as médias das massas, com e sem casca, foram de 122,22 g e 74,9 g, respectivamente; os diâmetros médios, com e sem casca, foram equivalentes a 37,53 mm e 28,65, respectivamente; e o comprimento médio de 157,33 mm. O teor de água, teor de cinzas e massa específica estão de acordo com valores encontrados na literatura.

Verificou-se que na caracterização físico-química da banana desidratada, o valor do pH e da acidez total titulável para os dois métodos de secagem foram similares, enquanto que o valor do ácido ascórbico para o método de secagem utilizando o GLP para o aquecimento do ar de secagem foi superior, e o valor dos açúcares redutores foi superior para as bananas desidratadas pelo método de secagem via gaseificação de carvão vegetal, sendo que a causa desta diferença pode está relacionada com o grau de maturação das bananas utilizadas .

Os modelos de Page e Wang Singh obtiveram melhor desempenho para representar os dois tratamentos estudados. Verifica-se no modelo de Lewis o mesmo valor do parâmetro k para os dois tratamentos, o que indica que uma só equação pode representar o comportamento da cinética de secagem via GLP e via gaseificação de carvão vegetal.

Menor índice de encolhimento das amostras desidratadas foi observado na secagem utilizando o gás liquefeito de petróleo para o aquecimento do ar de secagem.

Verificou-se diferença significativa nas notas médias globais para o teste de aceitação sensorial aplicadas as amostras, sendo a banana desidratada via GLP mais aceito que a banana desidratada via gaseificação de carvão vegetal. Observou-se que 63% das respostas dos consumidores, ao analisar a amostra de banana desidratada em sistema de aquecimento do ar de secagem via gaseificação de carvão vegetal, recaiu sobre o segundo, o terceiro e o quarto níveis da escala hedônica, caracterizados, respectivamente, por “gostei muito”, “gostei moderadamente” e “gostei ligeiramente”, o que mostra um grau de aceitação promissor do produto obtido.

Observou-se no processo de desidratação das bananas via gaseificação de carvão vegetal, dificuldades quanto ao controle do fluxo do gás produzido, provocando intermitência na taxa de aquecimento do ar de secagem. Esta dificuldade de controle do processo provoca maior desuniformidade entre as amostras o que pode ter acarretado as diferenças quanto às características físico-químicas e para o teste de aceitação sensorial.

Por fim concluiu-se que o processo de secagem utilizando a gaseificação ainda é uma tecnologia que necessita de estudos. Observou-se que o sistema de secagem utilizando a gaseificação precisa de alguns ajustes, como a adaptação de um inversor de frequência no sistema de aeração, para o melhor controle da temperatura dentro da câmara, para que se obtenha um sistema de secagem funcionando similar ao sistema utilizando o GLP.

Portanto pode-se afirmar que a desidratação de banana utilizando a energia de biomassa, via gaseificação, foi promissora, pois obteve-se um produto de qualidade similar ao produto obtido através da desidratação utilizando o gás liquefeito de petróleo, como fonte de calor para o aquecimento do ar de secagem.

## 6. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- ADÃO, R. C.; GLÓRIA, M. B. A. Bioactive amines and carbohydrate changes during ripening of “prata” banana (*Musa acuminata* x *M. balbisiana*). **Food Chemistry**. 90 (4): 705-711, 2005.
- AGUIAR, A. M. L. **Avaliação do processo de concentração osmótica para obtenção de banana passa**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP. 2006.
- AGUILERA, J., M.; CHIRALT, A.; FITO, P. Food dehydration and product structure. **Trends in Food Science and Technology**. 14: 432-437, 2003.
- AGUIRRE, J. M.; GASPARINO FILHO, J. **Desidratação de frutas e hortaliças**. Campinas: ITAL, 2002. 205p. (Manual Técnico).
- AKPINAR, E.K.; BICER, Y.; CETINKAYA, F. Modelling of thin layer drying of parsley leaves in a convective dryer and under open sun. **Journal of Food Engineering**, v.75, n.3, p.308-315, 2006.
- ALEXANDRE, H. V.; GOMES, J. P. BARROS NETO, A. L.; SILVA, F. L. H.; ALMEIDA, F. A. C. Cinética de secagem de abacaxi cv pérola em fatias. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**. Campina Grande, v.11, n.2, p.123-128, 2009.
- ALMEIDA, C.O.; SOUZA, J.S.; CORDEIRO, Z.J.M.; INÁCIO, E.S.B. Mercado Mundial. **Banana pós-colheita**. Embrapa Informação Tecnológica (Eds.), Brasília (DF), Brasil, 2001, p. 9-12.
- ALVES, E. J. **A cultura da banana: aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais**. 2ª edição. Embrapa-SPI: Brasília, pp. 27-34, 85-86, 90-91, 471-473, 533, 542, 545-547, 564, 574, 1999.
- ANDRADE, J. S.; CARVALHO, V. D.; CASTRO-GOMES, R.; CAL-VIDAL, J. Cinética de desidratação ambiental de banana-passa (*Musa* SP.) em diversas fases de amadurecimento. **Revista Brasileira de Tecnologia**. v. 11, p. 23-33, 1980.
- AOAC – ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis**, Williams, S. (Ed) 14.ed. Arlington, 1997. 1141p.
- ARAÚJO, E. A. F. **Estudo da cinética de secagem de fatias de banana nanica (*Musa acuminata* var. *Cavendish*) osmoticamente desidratadas**. (Dissertação – Mestrado Universidade Estadual de Campinas). Campinas, SP.p.88. 2000.
- BABALIS, S. J.; PAPANICOLAOU, E.; KYRIAKIS, N.; BELESSIOTIS, V. G. Evaluation of thin-layer drying models for describing drying kinetics of figs (*Ficus carica*). **Journal of Food Engineering**, v. 75, n. 2, p. 205-214, 2006.

- BENASSI, M. T.; ANTUNES, A. J. A. Comparison of meta-phosphoric and oxalic acids as extractant solutions for the determination of vitamin C in selected vegetables. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v. 31, n. 4, p. 507-513, 1988.
- BITTENCOURT, J. (2001). **Avaliação de um secador de banana tipo cabine com bandejas**. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, Campinas, SP, 75 p.
- BITTENCOURT, J; QUEIROZ, M. R. de & NEBRA, S.A. (2004). Avaliação econômica da elaboração de banana-passa proveniente de cultivo orgânico e convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, potência 473-483.
- BLEINROTH, E. W. Matéria-prima. In: MEDINA, J. C.; BLEINROTH, E. W.; DE MARTIN, Z. J.; TRAVAGLINI, D. A.; OKADA, M.; QUAST, D. G.; HASHIZUME, T.; MORETTI, V. A.; BICUDO NETO, L. C.; ALMEIDA, L. A. S. B.; RENESTO, O. V. **Banana: cultura, matéria-prima, processamento e aspectos econômicos**. 2ª ed. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1995, p. 133 – 196.
- BORGES, M. T. M. R. **Potencial vitamínico da banana verde e produtos derivados**. Campinas, 2003. 137p. Tese (Doutor em Ciência de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.
- BOUDHRIOUA, N.; MICHON, C.; CUVELLIER, G.; BONAZZI, C. Influence of ripeness and air temperature on changes in banana texture during drying. **Journal of Food Engineering**. 55: 115-121, 2002d.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Métodos químicos e físico-químicos para análises de alimentos**. Brasília: Ministério da Saúde, 2005. 1017p.
- BRENNAN, J. G. **Food Dehydration: a dictionary and guide**. Woodhead Publishing, New York, USA, 1994, 196 p.
- CÁCERES, M. C. **Estudo do processamento e avaliação da estabilidade do blend misto a base da polpa de tamarindo (*Tamarindus indica* L.) e suco de beterraba (*Beta vulgaris*)**. 2003. 124 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.
- CARVALHO, C. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; PAIVA, K. M. R.; FONDIM, M. M. S. Secagem da polpa formulada de umbu-cajá. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 36., 2007. Bonito. **Anais...** Bonito: SBEA, 2007.CD.
- CANEPPELE, C.; PRIANTI FILHO, N.; CANEPPELE, M.A.B.; PEREIRA, L.C.; SANTOS, P. dos. Avaliação da influência de secagem em secadores de frutas por convecção natural. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v.26, p.46-52, 2001.

- CEMIG - COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS, Superintendência de Desenvolvimento Energético e Mercado, Departamento de Desenvolvimento Energético 1986. **Gaseificação de biomassa**, p.111. Belo Horizonte.
- CHUA, K., J.; MUJUMDAR, A., S.; CHOU, S., K.; HAWLADER, M., N., A.; HO, J., C. Convective drying of banana, guava and potato pieces: effect of cyclical variations of air temperature on drying kinetics and color change. **Drying Technology**. 18 (4&5): 907-936, 2000.
- CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; MARTINAZZO, A. P.; GONELI, A. L. D.; BOTELHO, F. M. Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (*phaseolus vulgaris* L.) em camada delgada. **Engenharia Agrícola**, v.27, n. 02, p.501-507, 2007.
- COTTER J. L., CHINN M. S., GRUNDEN A. M. 2009. Influence of process parameters on growth of *Clostridium ljungdahlii* and *Clostridium autoethanogenum* on synthesis gas. **Enzyme and Microbial Technology**, v.44, p. 281-288.
- CRANK, J. **The mathematics of Diffusion**. 2 ed., Clarendon Press Oxford, 1975, 414p.
- CZERNIK S., FRENCH R. J. 2006. Production of Hydrogen from Plastics by Pyrolysis and Catalytic Steam Reform. **Energy Fuel**, v.20, p.754-758.
- DELLA MODESTA, R. C.; GONCALVES, E. B.; ROSENTHAL, A.; SILVA, A. L. S.; FERREIRA, J. C. S. Desenvolvimento de perfil sensorial e avaliação sensorial/instrumental de suco de maracujá. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n.2, p. 345-352, 2005.
- DERMIBAS A. H., DERMIBAS I. 2007. Importance of rural bioenergy for developing countries. **Energy Conversion and Management**, v.48, p. 2386-2398.
- DEVI L., PTASINSKI K. J., JANSSEN F. J. J. G. 2003. A review of the primary measures for tar elimination in biomass gasification processes. **Biomass and Bioenergy**, v.24, p.125-140.
- DOYMAZ, I. The kinetics of forced convective air-drying of pumpkin slices. **Journal of Food Engineering**, v. 79, n.1, p. 243-248, 2007.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia40/AG01/Abertura.html>. Acesso em: 10 nov. 2009.
- ERTEKIN, C.; YALDIZ, O. Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. **Journal of Food Engineering**, v.63, n.3, p.349-359, 2004.
- FANCELLI, M. Cultivo da banana para o estado do Amazonas – Importância Econômica. **Revista eletrônica Embrapa Mandioca e Fruticultura**. Sistema de Produção, 6. Versão eletrônica 2003.

- FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Food and Agricultural commodities production.** Disponível em: <http://faostat.fao.org>. Acesso em: 09 nov. 2009.
- FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípio e prática.** Porto Alegre: Artmed, 2006. 602p.
- FERNANDES, K., M.; CARVALHO, V., D.; CAL-VIDAL, J. A Research Note - Physical changes during ripening of Silver Bananas. **Journal of Food Science.** 44, 1979.
- GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; JÚNIOR, P. C. A.; OLIVEIRA, G. H. H. Cinética de secagem dos grãos de café descascados em camada delgada. **Revista Brasileira de Armazenamento.** v. Especial Café, n. 11, p. 74-80, 2009.
- GOUVEIA, J. P. G.; ALMEIDA, F. A. C.; MURR, F. E. X. Estudo da difusividade e do encolhimento do gengibre (*Zingiber officinale*, Roscoe) durante a secagem. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais,** Campina Grande, v.1, n.1, p.51-58, 1999.
- GOYAL, R.K.; KINGSLY, A.R.P.; MANIKANTAN, M.R.; ILYAS, S.M. Mathematical modelling of thin layer drying kinetics of plum in a tunnel dryer. **Journal of Food Engineering,** v. 79, n. 1, p. 176-180, 2007
- GUERRA, M. P. Tópicos sobre a cultura da bananeira. Apostila da disciplina de horticultura aplicada segmento fruticultura – Bananicultura UFSC/CCA – Departamento de Fitotecnia, 2004.
- GUINÉ, R. P. F. Secagem solar de pêras: evolução da densidade e características de encolhimento. **Brazilian Journal of Food Technology.** V.8, n.3, p.248-251. 2005.
- HAENDLER, L. Produits de transformation de la banana. **Fruits** 21 (7) 329-342, 1966.
- HATAMIPOUR, M. S.; MOWLA, D. Shrinkage of carrots during drying in an inert medium fluidized bed. **Journal of Food Engineering,** 55: 247-252, 2002.
- HIGMAN, C., VAN DER BURGT M. 2008. **Gasification.** Gulf Professional Publishing, Second Edition, 456p.
- HOFSETZ, K. **Propriedades físicas e transições de fase de banana nanica submetida à secagem com pulso HTST (inicial).** Tese (Doutorado), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Campinas (SP), 2007.
- IBGE - **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo agropecuário 2006.** Disponível em: [www.sidra.ibge.gov.br](http://www.sidra.ibge.gov.br). Acesso em maio de 2010.
- JESUS, S. C.; MATSUURA, F. C. A. U.; FOLEGATTI, M. I. S.; CARDOSO, R. L. Avaliação de banana-passa obtida de frutos de diferentes genótipos de bananeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v.40, n.6, p.573-579. 2005.

- KATEKAWA, M.E. **Análise teórico-experimental do encolhimento: estudo da secagem de banana.** Tese (Doutorado em Engenharia Química). Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Campinas (SP), 2006.
- KHRAISHEH, M. A. M.; COOPER, T. J. R.; MAGEE; T. R. A. Shrinkage Characteristics of Potatoes Dehydrated Under Combined Microwave and Convective Air Conditions. *Drying Technology*, v. 15, n. 3&4, p. 1003-1022, 1997.
- KILPATRICK, P. W.; LOWE, E. ARSDEL, W. B. Tunnel dehydrators for fruits and vegetables. **Advances in food research**, New York, Academic Press, v.6, 1955. 360p.
- KIM, M. H.; TOLEDO, R. T. Effect of osmotic dehydration and high temperature fluidized bed drying on properties of dehydrated rabbiteye blueberries. **Journal of Food Science**, 52(4): 980-984/989, 1987.
- KROKIDA, M.K.; ZOGZAS, N.P.; MAROULIS, Z.B. Modeling shrinkage and porosity during vacuum dehydration. **International Journal of Food Science and Technology**, 32: 445-458, 1997.
- LAHSASNI, S.; KOUHILA, M.; MAHROUZ, M.; IDLIMAM, A.; JAMALI, A. Thin layer convective solar drying and mathematical modeling of prickly pear peel (*Opuntia ficus indica*). **Energy**, v. 29, n. 2, p. 211-224, 2004.
- LEITE, J., B.; MANCINI, M., C.; BORGES, S., V. Effect of drying temperature on the quality of fried bananas cv. prata and d'água. **Lebensmittel Wissenschaft and Technologie**. 40 (2): 319-323, 2007.
- LIMA, A. G. B. **Fenômeno de difusão em sólidos esferoidais prolatos. Estudo de caso: secagem de banana.** Tese (Doutorado). Faculdade de Engenharia Mecânica. Universidade Estadual de Campinas, Campinas (SP), 1999.
- LOZANO, J.E.; ROTSTEIN, E.; URBICAIN, M.J. Total porosity and open-pore porosity in the drying of fruits. **Journal of Food Science**, 45: 1403-1407, 1980.
- LOZANO, J.E.; ROTSTEIN, E.; URBICAIN, M.J. Shrinkage, porosity and bulk density of foodstuffs at changing moisture contents. **Journal of Food Science**, 48: 1497-1502/1553, 1983.
- LUSAS, E., W.; ROONEY, L., W. **Snack foods processing**. CRC Press, Florida, EUA, pp. 34, 219, 2001.
- MARTIN, S.; SILVA, J. N.; TINOCO, I. F. F.; VIEIRA, A. C.; ZANATTA, F. L.; Melo, L. D. Projeto e construção de um gasificador de biomassa de fluxo concorrente. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v.14, n.4, 238- 249, Out./Dez, 2006.
- MAYOR, L.; SERENO, A. M. Modeling shrinkage during convective drying of food materials: a review. **Journal of Food Engineering**, 61: 373-386, 2004.

- MEDINA, J. C., BLEINROTH, E. W, MARTI, Z. J. D., TRAVAGLINI, D. A., OKADA, M., QUAST, D. G., HASHIZUME, T., MORETTI, V. A., BICUDO NETO, L. C., ALMEIDA, L. A. S. B., RENESTO, O. V. **Banana: cultura, matéria-prima, processamento e aspectos econômicos.** Campinas, ITAL, Série Frutas Tropicais, 2ed, 3, 1995. 302 p.
- MEDINA, V. M.; PEREIRA, M. E. C. Pós-colheita. In: BORGES, A. L.; SOUZA, L. S. **O cultivo da bananeira.** Cruz das Almas: EMBRAPA, 2004, cap.12, p.219.
- MELO, K. S. **Secagem da polpa do fruto do mandacaru.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande (PB), 2008.
- MENEZES, H. C.; DRAETTA, I. S. Bioquímica das frutas e hortaliças. In: **Alguns aspectos tecnológicos das frutas tropicais e seus produtos.** São Paulo: ITAL, 1980.
- MENGES, H. O.; ERTEKIN, C. Mathematical modeling of thin layer drying of Golden apples. **Journal of Food Engineering**, v. 77, n. 1, p. 119–125, 2006.
- MESQUITA, P. C.; MAIA, G. A.; SOUZA FILHO, M. S. M.; NASSU, R. T. Estabilidade microbiológica, físico-química e sensorial de pendúnculos de caju (*Anarcadium occidentale L.*) processados por métodos combinados. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos.** v. 23, n° 3, Campinas, 2003.
- MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A. New model for single-layer drying. **Drying Technology**, v.20, p. 1503–1513, 2002. DOI:10.1081/DRT-120005864.
- MINIM, V. P. R. **Análise Sensorial: estudos com consumidores.** Viçosa. Ed. UFV, 2006. 225p.
- MISRA, R. N.; YOUNG, J. H. Numerical solution of simultaneous diffusion and shrinkage during soybean drying. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, v.23, n.5, p.1277-1282, 1980.
- MOREIRA, R. S. **Banana: teoria e prática de cultivo.** Campinas: Fundação Cargill, Brasil, 1987, 335 p.
- MOTA, R. V. Avaliação da qualidade de banana passa elaborada a partir de seis cultivares. **Ciência e Tecnologia de Alimentos.** Campinas, v.25, n.3, p.560-563, 2005.
- MOWLAH, G.; TAKANO, K.; KAMOL, I.; OBARA, T. Water transport mechanism and some aspects of quality changes during air dehydration os bananas. **Lebensm-Wiss. U-Technol.** 16(2) 103-107, 1983.
- NEPA – NÚCLEO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM ALIMENTAÇÃO. **Tabela brasileira de composição de alimentos.** NEPA-Unicamp, Campinas (SP), 2006, 105p.

- 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**. 79 (1): 200-207, 2007.
- NOGUEIRA, R. I. **Processo de secagem de banana (*Musa acuminata* subgrupo *Cavendish* cultivar nanica): parâmetros ótimos na obtenção de banana-passa**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Campinas (SP), 1991.
- OLIVEIRA, J. L. **Potencial energético da gaseificação de resíduos da cafeicultura e produção de eucalipto**. Viçosa, 2010. 79 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa.
- ORMENESE, R. C. S. C. **Obtenção de farinha de banana verde por diferentes processos de secagem e aplicação em produtos alimentícios**. Tese (Doutorado) Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos. Campinas, SP. 2010.
- ÖZDEMİR, M.; DEVRES, Y.O. The thins layer drying characteristics of hazelnuts during roasting. **Journal of Food Engineering**, v.42, n.4, p. 225-233, 1999.
- PANCHARIYA, P. C.; POPOVIC, D.; SHARMA, A. L. Thin-layer modeling of black tea drying process. **Journal of Food Engineering**, v. 52, v. 04, p. 349–357, 2002.
- PARK, K. J.; BROD, F. P. R.; ALONSO, L. F. T. Secagem de produtos agrícolas. In: **XI SEMEAGRI – SEMANA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA DA UNICAMP**. Campinas (SP): Agrológica – Empresa Júnior de Engenharia Agrícola, pp. 41-55, 1999.
- PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Obtenção das isotermas de sorção e modelagem matemática para a pêra bartlett (*Pyrus* SP.) com e sem desidratação osmótica. **Ciência e tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 1, p. 73-77, 2001.
- PARK, K. J.; TUBONI, C. T.; OLIVEIRA, R. A.; PARK, K. J. B. Estudo da secagem de caqui giombo com encolhimento e sem encolhimento. **Revista Brasileira de produtos Agroindustriais**, v. 6, n. 1, p. 71-86, 2004.
- PAYNE, F. A.; TARABA, J. L.; SAPUTRA, D. A review of puffing processes for expansion of biological products. **Journal of Food Engineering**. 10: 183-197. 1989.
- PBMH & PIF - PROGRAMA BRASILEIRO PARA A MODERNIZAÇÃO DA HORTICULTURA & PRODUÇÃO INTEGRADA DE FRUTAS. **Normas de Classificação de Banana**. São Paulo: CEAGESP, 2006. (Documentos, 29).
- PEREIRA, N. R. **Estudo da aplicação de microondas na secagem de bananas tratadas osmoticamente**. Tese (Doutorado) Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas. Campinas (SP). 2007.

- PINO, J. A. Los constituyentes volatiles de la fruta de la passion. **Alimentaria**, marzo, p. 73-81, 1997.
- PINTO, L. A. A. **Cinética da secagem de filés de peixe: uso de um modelo difusivo com variação de volume**. São Carlos, 1996, 154p. (Tese – Doutorado Universidade Federal de São Carlos).
- PONTES, S. F. O.; BONOMO, R. C. F.; PONTES, L. V.; RIBEIRO, A. C.; CARNEIRO, J. C. S. Secagem e avaliação sensorial de banana da terra. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**. Campina Grande, v.9, n.2, p.143-148, 2007.
- PONTES, S. F. O. **Processamento e qualidade de banana da terra (*musa sapientum*) desidratada**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. 2009.
- PROGRAMA BRASILEIRO PARA A MELHORIA DOS PADRÕES COMERCIAIS E EMBALAGENS DE HORTIGRANJEIROS. Centro de Qualidade em Horticultura - CEAGESP. 1998.
- PUROHIT P. 2009. Economic potential of biomass gasification projects under clean development mechanism in India. **Journal of Cleaner Production**, v.17, p.181-193.
- RAGHVAN, G. S. V.; SILVEIRA, A. M. Shrinkage Characteristics of Strawberries Osmotically Dehydrated in Combination with Microwave Drying. **Drying Technology**, v. 19, n. 2, p. 405-414, 2001.
- RATTI, C. Shrinkage during drying of foodstuffs. **Journal of Food Engineering**, 23: 91-105, 1994.
- RATTI, C. Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review. **Journal of Food Engineering**, 49:311-319, 2001.
- REED T. B., DAS A. 1988. **Handbook of downdraft gasifier engine systems**. Golden, Colo.: Solar Technical Information Program, Solar Energy Research Institute, 140 p.
- RENTIZELAS A., KARELLAS S., KAKARAS E., TATSIPOULOS I. 2009. Comparative techno-economic analysis of ORC and gasification for bioenergy applications. **Energy Conversion and Management**, v.50, p.674-681.
- RODRIGUES, E.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; ANSELMO, G. C. S.; DUARTE, M. E. M.; SILVA, Y. C. Isotermas de equilíbrio higroscópico do cajá em pó obtido por meio de secagem por atomização. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE, 2., 2005. Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: UFCG, 2005.
- SACA, S. A.; LOZANO, J. E. Explosion puffing of bananas. **International Journal of Food Science and Technology**, 27: 419-426, 1992.

- SANTOS, P.; SILVA, F. S., PORTO, A. G.; SILVA, F. T. C. FURTADO, G. F. Influência de pré-tratamentos na cinética de secagem em diferentes temperaturas de banana da variedade terra (*Musa Sapientum, Linneo*). **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**. v. 04, n. 02: p. 218-234, 2010.
- SERENO, A. M.; MEDEIROS, G. L. Simplified model for the prediction of drying rates for foods. **Journal of Food Engineering**. 12(1): 1-11, 1990.
- SHARMA, S., K.; MULVANEY, S., J.; RIZVI, S., S., H. **Food Process Engineering – Theory and Laboratory Experiments**. John Wiley & Sons Publication, INC., Cornell University, Ithaca, NY, EUA, pp. 216-218, 2000.
- SHARMA A. K. 2009. Experimental study on 75 kW<sub>th</sub> downdraft (biomass) gasifier system. **Renewable Energy**, v.34, p.1726-1733.
- SILVA, J. N.; CARDOSO SOBRINHO, J.; SAIKI, E. T. Utilização de biomassa na secagem de produtos agrícolas via gaseificação com combustão adjacente dos gases produzidos. **Engenharia Agrícola**. v.24 n.2 Botucatu. 2004.
- SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. A New Version of the assistat-statistical assistance software. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 4.Orlando. **Anais...** Orlando: American Society of Agricultural Engineers, 2006. p. 393-396.
- SILVA, A. S.; MELO, K. S.; ALVES, N. M. C.; GOMES, J. P. Cinética de secagem em camada fina da banana maçã em secador de leito fixo. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. v.9, n.2. p. 107-115. 2009.
- SOARES, E. C.; OLIVEIRA, G. S. F.; MAIA, G. A.; MONTEIRO, J. C. S.; SILVA J. A.; S. FILHO, M. S. Desidratação da polpa de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) pelo processo “Foam-mat”. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.21, n.2, p. 164-170, 2001.
- SONI C. G., WANG Z., DALAI A. K., PUGSLEY T., FONSTAD T. 2009. Hydrogen production via gasification of meat and bone meal in two-stage fixed bed reactor system. **Fuel**, v.88, p. 920-925.
- SOTO BALLESTERO, M. **Banano - cultivo y comercialización**. 2.ed. San José: Litografía e Imprenta LIL, 1992b. 674p.
- STRINGHETA, P. C., MELLONI, P., FERNANDES, A. R., SILVA, C. A. B. Produção de banana passa In: **Projetos de empreendimentos agroindustriais: produtos de origem vegetal**. Editado por: SILVA, C. A. B. e FERNANDES, A. R. Universidade Federal de Viçosa-UFV Viçosa M.G.,2003 p. 23-57.
- SUAREZ, C.; VIOLLAZ, P. E. Shrinkage effect on drying behavior of potato slabs. **Journal of Food Engineering**., v.13, n.2, p.103-114, 1991.

- SULLIVAN, J. F.; GRAIG JR, J. C. The development of explosion puffing. **Food Technology**, 38 (2): 52-55/131. 1984.
- SUZUKI, K.; KUBOTA, K.; HASEGAWA, T.; HOSAKA, H. Shrinkage in dehydration of root, vegetables. **Journal of Food Science**, v. 41, p.1189-1194, 1976.
- TELIS, V. R. N.; LOURENÇO, V. A.; GABAS, A. L.; TELIS-ROMERO, J. 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, 2006.
- TRAVAGLINI, D.A.; AGUIRRE, J.M.; SILVEIRA, E.T.F. Desidratação de frutas. In: AGUIRRE, J.M.; GASPARINO FILHO, J. **Desidratação de frutas e hortaliças**. Campinas: Ital/Fruthotec, 1997. p.3.1-3.40.
- TREPTOW, R. O.; QUEIROZ, M. I.; ANTUNES, P. L. Preferência e Aceitação de Fatias Desidratadas de Maçãs (*Malus domestica* Borkh). **Revista Brasileira de Agrociência**. v. 4, n. 1, p. 41-46, 1998.
- TRIBESS, T. B.; HERNÁNDEZ-URIBE, J. P.; MÉNDEZ-MONTEALVO, M. G. C.; MENEZES, E. W.; BELLO-PÉREZ, L. A.; TADINI C. C. Thermal properties and resistant starch content of green banana flour (*Musa cavendishii*) produced at different drying conditions. **Food Science and Technology**, v. 42, p. 1022 – 1025, 2009.
- UNCTAD. Info Comm Market Information in the Commodities Area. Disponível em <http://www.unctad.org/infocomm/anglais/banana/characteristics.htm#descript> **United Nations Conference on Trade and Development**.
- VAGENAS, G. K.; MARINOS-KOURIS, D. Drying kinetics of apricots. **Drying Technol.**, v.9, n.3, p.735-752, 1991.
- VILAS BOAS, E. V. B.; ALVES, R. E.; FILGUEIRAS, H. A. C.; MENEZES, J. B. Características da fruta. In: MATSUURA, F. C. A. U.; FOLEGATTI, M. I. S. (Ed.) **Banana: Pós-colheita**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001, Cap.2, p. 15-19.
- VON LOESECKE, H. W. **Bananas**. 2nd ed. New York: Interscience Publishers 1950, p. 52-66.
- ZANATTA F. L., SILVA J. N., TINÔCO I. F. F., OLIVEIRA FILHO D., MARTIN S. 2008. Avaliação do conforto térmico em aviário aquecido com gaseificador de biomassa. **Engenharia na Agricultura**, v. 16, p.270-284.
- WANG, N.; BRENNAN, J.G. Changes in structure, density and porosity of potato during dehydration. **Journal of Food Engineering**, 24: 61-76, 1995.