

IVAN TOMASELLI

CONDIÇÕES DA SECAGEM ARTIFICIAL
DE MADEIRAS SERRADAS NO PARANÁ
E SANTA CATARINA

Dissertação submetida à consideração da Comissão Examinadora, como requisito parcial na obtenção de Título de "Mestre em Ciências - M. Sc.", no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

CURITIBA

1974

IVAN TOMASELLI

CONDIÇÕES DA SECAGEM ARTIFICIAL
DE MADEIRAS SERRADAS NO PARANÁ
E SANTA CATARINA

Dissertação submetida à consideração da Comissão Examinadora, como requisito parcial na obtenção de Título de "Mestre em Ciências - M. Sc.", no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

CURITIBA

1974



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
FACULDADE DE FLORESTAS

Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia
Florestal

P A R E C E R

Os membros da Comissão Examinadora, designada pela Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal para realizar a arguição da Tese de Mestrado apresentada pelo candidato Ivan Tomaselli, sob o título "Condições de Secagem Artificial de Madeiras Serradas no Paraná e Santa Catarina", para a obtenção do grau de MESTRE em ENGENHARIA FLORESTAL, (Opção Tecnologia de Produtos Florestais), após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato, e realizado a atribuição de notas, são de PARECER pela aprovação da Tese com conceito "A", completando assim todos os requisitos necessários para receber o grau e o diploma de MESTRE.

Curitiba, 20 de dezembro de 1974

Prof. Leo da Rocha Lima
1º Examinador

Prof. Hans Peter Nock
2º Examinador

Prof. Hans Georg Richter
Presidente

CONDIÇÕES DE SECAGEM ARTIFICIAL DE MADEIRAS SERRADAS NO
PARANÁ E SANTA CATARINA

T E S E

SUBMETIDA À CONSIDERAÇÃO DA COMISSÃO
EXAMINADORA COMO REQUISITO PARCIAL
NA OBTENÇÃO DE TÍTULO DE

MESTRE EM CIÊNCIAS - M.Sc.

NO

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL DO SETOR
DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

APROVADA:

HANS GEORG RICHTER - DIPL. HOLZWIRT

HANS PETER NOCK - DIPL. HOLZWIRT

LÊO DA ROCHA LIMA - PROFESSOR CATEDRÁTICO

A G R A D E C I M E N T O

O autor expressa os seus agradecimentos ao seu Orientador, na pessoa do Professor Hans Georg Richter, pelo apoio e confiança dispensada no transcorrer dos trabalhos.

À Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, em especial ao Professor Sylvio Péllico Netto, pelo estímulo e atenção dispensada durante todas as fases, bem como a seus Professores, pelos mesmos motivos.

Ao Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq), e ao Conselho de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES), pelo suporte material, sem o qual maiores seriam as dificuldades a enfrentar.

B I O G R A F I A

NOME - IVAN TOMASELLI

DATA E LOCAL DE NASCIMENTO - 12 de julho de 1951
Joinville - Santa Catarina

CURSOS SECUNDÁRIOS -

CURSO CIENTÍFICO - Colégio Bom Jesus - Joinville -S.C.
Dezembro - 1968

CURSO TÉCNICO EM CONTABILIDADE

- Escola Técnica de Comércio Bom Jesus -
Joinville -S.C. Dezembro - 1968

CURSO SUPERIOR

Engenharia Florestal do Setor de Ciências
Agrárias da Universidade Federal do Paraná.
Curitiba - Pr. - Novembro - 1972.

ÍNDICE DO CONTEÚDO

	Página
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	x.
CAPÍTULO I	
INTRODUÇÃO	01
CAPÍTULO II	
REVISÃO DE LITERATURA	03
2.1. Estudos Realizados no Setor	03
2.2. Interrelações Água-Madeira e sua Secagem - Aspectos Físicos	05
2.2.1. Umidade Relativa e Absoluta do Ar	05
2.2.2. Umidade da Madeira	06
2.2.2.1. Tipos de Água Existente na Madeira	06
2.2.3. Fluxo de Água na Madeira	08
2.2.4. Contração e Inchamento	13
CAPÍTULO III	
MÉTODOS E MATERIAIS	16
3.1. Local de Estudos	16
3.2. Materiais e Instrumentos Usados	16
3.2.1. Etapa Geral	17
3.2.2. Etapa Especial	18
3.3. Descrição de Método usado na Coleta de Dados	18
3.3.1. Etapa Geral	18
3.3.2. Etapa Especial	20
3.3.2.1. Teste de Velocidade de Ar	20
3.3.2.2. Teste da Distribuição das Temperaturas e Umidades Relativas	22
3.4. Coleta de Dados	22
CAPÍTULO IV	
RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1. Etapa Geral	26
4.1.1. Potencial de Madeira Seca	26
4.1.2. Indústrias e Seu Nível Técnico	31
4.1.3. Madeiras em Secagem Artificial	32
4.1.4. Equipamento para Secagem Artificial	35

	Página
4.1.4.1. Tipos de Câmaras	35
4.1.4.2. Sistema de Aquecimento	42
4.1.4.3. Sistema de Ventilação	42
4.1.4.4. Sistema de Carregamento	43
4.1.5. Métodos de Secagem	44
4.1.5.1. Sistema de Empilhamento	44
4.1.5.2. Programas de Secagem	45
4.1.6. Controle da Secagem	51
4.1.6.1. Equipamento de Controle	51
4.1.6.2. Métodos de Controle	52
4.1.6.3. Pessoal de Operação	55
4.1.7. Resultados Obtidos	55
4.1.7.1. Uniformidade e Defeitos	55
4.1.7.2. Aceitação de Mercado	58
4.1.7.3. Problemas das Empresas	58
4.1.8. Custos de Secagem	61
4.2. Etapa Especial	63
4.2.1. Teste de Velocidade do Ar	63
4.2.2. Teste de distribuição de Temperatura e Umida de Relativa durante o Processo de Secagem....	72
 CAPÍTULO V	
CONCLUSÃO	79
5.1. Conclusão	79
5.2. Nível Técnico e Espécies em Secagem	80
5.3. Equipamento	81
5.4. A Indústria e o Operador na Programação da Secagem..	82
RESUMO	87
SUMMARY	89
ZUSAMMENFASSUNG	91
RÉSUMÉ	93
LITERATURA CONSULTADA	95
APENDICE I	100
APÊNDICE II	108

LISTA DE FIGURAS

FIGURAS Nº		PÁGINA
1	Tipo de Água Existente na Madeira	07
2	Relação Entre a Umidade, Coeficiente de Condutibilidade de Umidade, e Resistência à Difusão	10
3	Proporção de Quantidade d'água transporta da por Forças Capilares e por Difusão em Temperaturas Constantes	12
4	Moléculas de Água entre Feixes de Celulo- se	13
5	Pontos de Tomada da Velocidade do Ar	21
6	Distribuição dos Pontos de Tomadas das Temperaturas	23
7	Mapas do Paraná e Santa Catarina com as Sub-Regiões de Atuação	25
8	A- Equipamento para Secagem de Fabricação Nacional em Uso no Paraná e Santa Catari- na. (Tipo Moore - Fabricante A)	38
	B- Equipamento para Secagem de Fabricação Nacional em Uso no Paraná e Santa Catari- na. (Tipo Moore - Fabricante B)	39
	C- Equipamento para Secagem de Fabricação Nacional em Uso no Paraná e Santa Catari- na. (Tipo Hildebrand)	40
9	Sistema de Empilhamento encontrado em al- gumas Indústrias	45
10	Acondicionamento do Material no Final da Secagem, para Diminuição do Gradiente de Umidade dentro de uma Peça	46
11	Programa de Secagem utilizado para Madei- ra do Litoral Catarinense	48
12	A- Programa de Secagem Típico para as Sub Regiões de Curitiba e Sudoeste do Paraná.	49
	B- Programa de Secagem Típico para as Sub Regiões de Curitiba e Sudoeste do Paraná.	50

Figuras Nº		Página
13	Obtenção do Corpo de Provas para Determinação do Teor de Umidade Inicial.....	53
14	Amostra Colocada em uma Pilha para Secagem Artificial	53
15	Encanamento causado pela falta de Acondicionamento ou por Endurecimento Superficial, quando a Peça é subdividida em duas porções	57
16	Seção Transversal de Peça de Madeira que sofreu Colapso	57
17	Velocidade de Ar em Metros por Segundo - Características da Câmara	65
18	Velocidade de Ar em Metros por Segundo...	66
19	Velocidade de Ar em Metros por Segundo com a Reversão do Fluxo de Ar na Câmara da Fig. 18	67
20	Velocidade de Ar em Metros por Segundo (Fabricante B)	68
21	Distribuição da Velocidade do Ar, em Fluxo Turbulento e Laminar	70
22	Programa de Secagem Elaborado com Dados Tomados no Registrador Potenciométrico...	75

LISTA DE TABELAS

Tabelas Nº		Página
1	Estimativa do Potencial instalado pa ra Secagem de Madeira Serrada no Pa ranã e Santa Catarina por Sub-Região	27
2	Câmaras de Secagem Investigadas	30
3	Produção de Madeira Seca no Paranã e Santa Catarina	34
4	Distribuição das câmaras investiga - das por Fabricante, Tipo e Capacida de	37
5	Dimensões Internas Mais Comuns das câ maras de secagem do Paranã e Santa Ca tarina.....	41
6	Distribuição dos Custos na Secagem em Estufa	62
7	Comparação do Volume de Ar, produzido por ventilador de Diferentes Equipamen tos.....	62
8	Temperaturas Secas, Úmidas, Umidades Re lativas durante Processo de Secagem To madôs com o Registrador Potenciométrico	76
9	Temperaturas Secas, úmidas, Umidades Re lativas, e Gradiente de Secagem Médios Tomado com Registrador Potenciométrico	77
10	Temperaturas Secas, Umidades Relativas Tomadas durante o Processo de Secagem conforme Protocolo do Operador - Uso do Psicrômetro instalado na câmara ...	78

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

A secagem artificial de madeiras, tem sido levada em consideração, nos países desenvolvidos como fase de alta importância no fluxo industrial. Novas tecnologias são adotadas visando a obtenção de melhores resultados, incluindo uma redução dos custos da operação.

Cita-se 1953 como o ano de introdução da 1.^a estufa no Brasil. A instalação de outras unidades, segundo informações, deu-se somente em torno de 1959, com o início de atividades de uma pequena indústria, dedicada à fabricação do equipamento, já inteiramente nacional.

No entanto, poucos foram os adeptos da inovação nos primeiros anos, e somente no fim da década de 60, o número de câmaras instaladas atingiu níveis significativos, principalmente em virtude de exigências feitas pelo mercado de exportação.

A inexistência de bases técnicas e científicas, fez surgir vários problemas, que até a atualidade não foram bem identificados.

Sendo: 1. a fase de secagem considerada uma das mais importantes dentro da indústria madeireira, pois dela depende toda a programação da produção e a qualidade do produto final; 2. o setor madeireiro, na atualidade, altamente influente na economia brasileira, evidenciando-se as condições específicas dos Estados do Paraná e Santa Catarina; 3. o Brasil considerado com grandes possibilidades de tornar-se um dos maiores produtores florestais a curto espaço de tempo; considera-se de suma importância um conhecimento profundo da situação atual no que toca a equipamento empregado, operação e condições técnicas da secagem artificial.

Através de uma análise da situação, baseando-se em dados obtidos em levantamento, objetiva-se: 1. determinar os pontos críticos; 2. alertar sobre a situação atual; 3. sugerir algumas iniciativas básicas a serem tomadas, visando contribuir com o desenvolvimento econômico do setor madeireiro.

CAPÍTULO II

REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Estudos Realizados no Setor

Com uma área de 562.071 Km² representando apenas 6,79% da área total do País, a Região Sul constitui o centro da produção madeireira participando com aproximadamente 40% da produção total brasileira. Considerando-se o período 1970 a 1972, a produção da região sul atingiu 4.927.000 de metros cúbicos de madeira serrada, sendo que 78% é a participação das reservas de "*Araucaria angustifolia*" (27). Na atualidade é clara a tendência de uma contribuição ascendente de folhosas no total da produção em virtude do esgotamento das reservas da única conífera brasileira de valor econômico. (3)

A situação da secagem de madeira serrada por meios artificiais na Região Sul é praticamente desconhecida. Estudos esparsos revelam alguns fatores importantes, e exprimem as fases de transição, e, a ainda precária situação atual.

A Comissão Coordenadora de Exportação de Madeiras -CCEM, verificou entre 1955 e 1958, uma desmoralização do produto brasileiro na Europa Ocidental, principalmente na Inglaterra e Alemanha (15). Entre os fatores contribuintes para o referido fato, cita-se a

"Desclassificação do produto e falta de um sistema de Controle de Qualidade", diretamente ligadas ao fator "secagem".

Em 1963 definia-se sumariamente o problema de mercado externo para madeira brasileira como:

" O exame das condições de operação das serrarias permite assinalar, entretanto a extrema escassez de produtos de qualidade. No mercado internacional o Pinho Brasileiro poderia obter cotações bastante elevadas, se não fosse o mau acabamento e baixa qualidade. E é tão escassa a produção de tábuas submetidas à secagem em estufa, que sua oferta é livre de de-

limitações."(15)

O número de estufas existentes na época era entre 5 e 6.

Somente em 1964, parte do prestígio foi reestabelecido. Sugeriu-se a esta época uma intervenção estatal devendo incluir:

- a) medidas de incentivo à melhoria da qualidade da madeira serrada pelo combate aos fungos e carunchos, e introdução de processos de secagem artificial;
- b) redução do volume de immobilizações financeiras, obtendo-se flexibilidade em relação ao mercado por coordenação de programas de estocagem e reduções do estoque em todas as fases.(15)

A secagem por adoção de circulação forçada de ar, (uso de ventiladores) podendo ser mencionado como pré-secagem, em madeira de "*Araucaria angustifolia*"- Pinho do Paraná, foi testada para várias espessuras. Neste trabalho (19) é mencionada a importância da metodologia adotada no uso industrial, principalmente no que se relaciona a uma pequena empresa, reduzindo o tempo de secagem, com pequeno investimento de capital e pouca exigência de técnica especializada.

Levantamento realizado em empresas paranaenses que transformam madeira serrada em artigos aplainados (21) traz a tona os principais problemas existentes. As indústrias usuárias da secagem forçada, possuíam em 1972 uma capacidade instalada estimada em 1250m³, distribuídas em 59 câmaras. Previam-se um aumento na capacidade até julho de 1973 em 90-120%. Poucas espécies eram submetidas a secagem em estufas, sendo que as informações coletadas em 1972 citam a "*Araucaria angustifolia*"- Pinho, o "*Balfourodendrum ridelianum*" - Pau marfim e a "*Cedrela fissilis* (cedro). A capacidade das câmaras variava de 15 a 40m³, construídas de alvenaria, não tendo sido constatados métodos especiais de secagem como de altas temperaturas e outros. O sistema de ventilação existente era único, o do tipo "Hildebrand", com fluxo de ar horizontal, sendo que as entradas e saídas de ar não foram consideradas eficientes. Rachaduras nas câmaras foram evidencia -

das.

Hilpert cita o processo de controle tradicional com o uso de psicômetro, como o único constatado. Os programas de secagem utilizados na época, definidos pelo autor como "Programas Negativos de Secagem", era carente de bases técnicas e científicas, sem o conhecimento tecnológico fundamental sobre o comportamento da madeira durante a secagem.

Sugeria-se em outro trabalho (23), a criação de incentivos fiscais para a produção de madeira seca, sentindo-se a gravidade do problema.

2.2. Interrelações Água-Madeira e sua Secagem - Aspectos Físicos 1/

2.2.1. Umidade Relativa e Absoluta do Ar.

Define-se Umidade Relativa (y) como a relação entre o peso do vapor real (p) contido em um determinado volume de ar, e o máximo peso de vapor teórico (p_s) que o mesmo ar pode conter (estado de saturação completa) a igual temperatura, expresso em porcentagem.

$$y = \frac{p}{p_s} \cdot 100 (\%) \quad \text{Equação 1.}$$

A Umidade Absoluta do Ar é o peso real de vapor contido no ar expresso em g/cm^3 .

Num processo de secagem, o conhecimento da umidade relativa do ar em contacto com a madeira é fundamental. Essa determinação é normalmente realizada, na prática industrial através de psicrômetros e higrômetros de cabelo.

1/ Literatura consultada referente a este item, (16), (20), (25), (26), (28), (34), (35), (36) e (41).

2.2.2. Umidade na Madeira

As propriedades físicas e mecânicas, custo de transporte, resistência ao ataque de fungos e insetos, e outros aspectos importantes, são altamente influenciados pelo teor de umidade da madeira. Este teor de umidade (U) é definido como uma relação entre a quantidade de água existente na madeira, diferença entre o Peso Úmido (Pu) e Seco à 0% de umidade (Ps), e o peso seco, expresso em porcentagem.

$$U = \frac{Pu - Ps}{Ps} \cdot 100 (\%) \quad \text{Equação 2}$$

Sendo o cálculo realizado em relação ao peso seco da madeira, não é absurdo obter-se valores maiores que 100% na determinação do teor de umidade, o que em madeiras verdes é frequente.

2.2.2.1. Tipos de Água Existente na Madeira

A água existente no interior de uma árvore recém abatida pode ser classificada em três tipos:

- água livre ou de capilaridade - que é encontrada preenchendo os espaços, celulares e intercelulares.
- água de impregnação- impregnando os espaços submicroscópicos da parede celular, em camadas polimoleculares fixadas por forças eletrostática (forças polares).
- água de absorção química - aderindo-se às interfaces, entre moléculas de celulose e de hemicelulose, por forças de valência secundária. (Pontes de Hidrogênio):

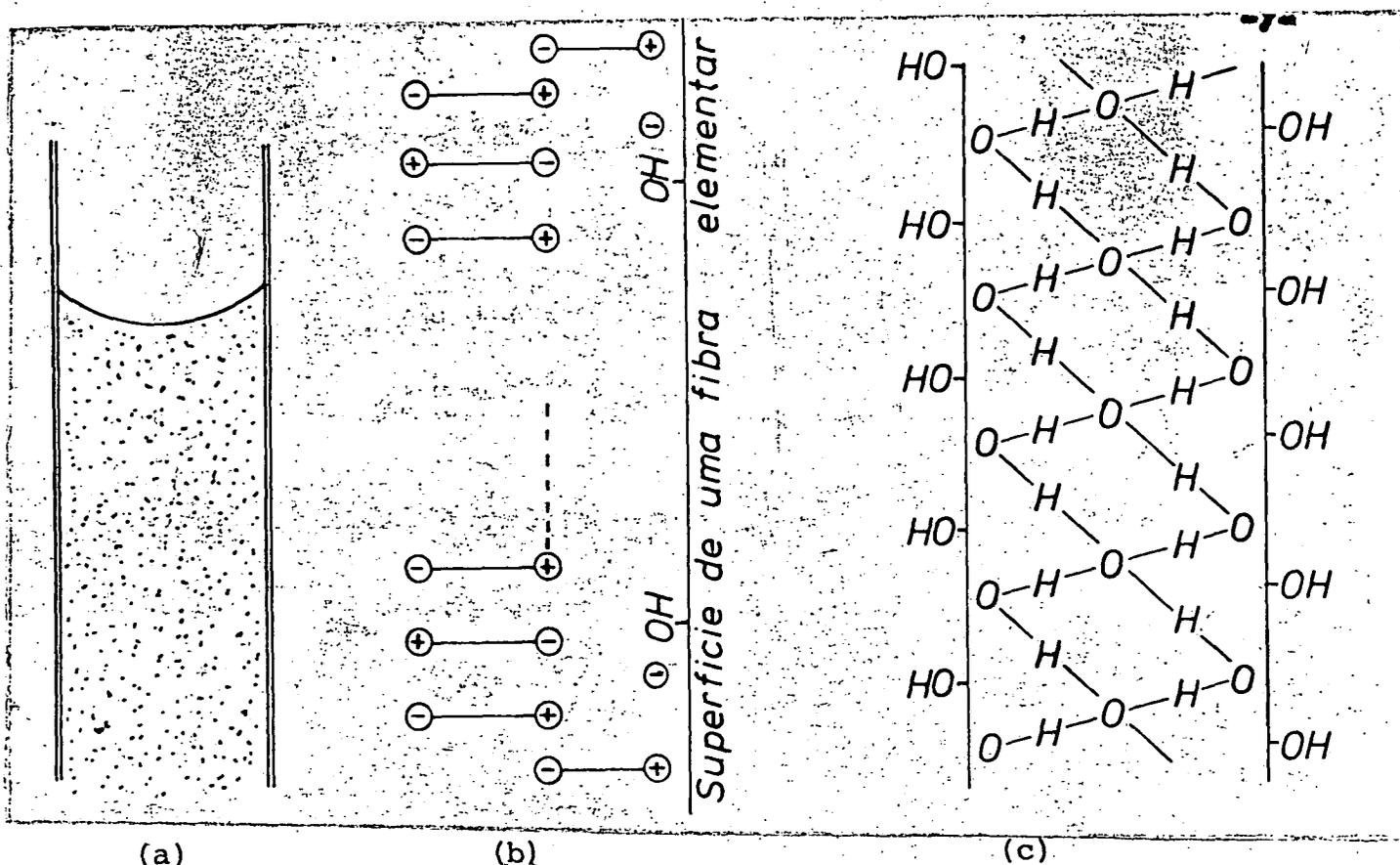


Figura 1 - Tipos de água existentes na madeira. a) água livre, b) água de impregnação, c) água de adsorção química

Ao iniciar-se uma secagem, o primeiro tipo de água a ser retirada, será a capilar, até atingir cerca de 28%, teor de umidade este conhecido como "Ponto de Saturação das Fibras". Na continuidade do processo, a água de impregnação será eliminada (28 a 6% de umidade), e finalmente (6 a 0% de umidade) ocorrerá a perda da água de adsorção química. Com a queda do teor de umidade, aumenta a dificuldade da extração da água existente na madeira em virtude das forças aderentes (de fixação da água) serem maiores com a aproximação do teor de umidade igual a 0%. Considerando-se " μ " como um "coeficiente de resistência da evaporação", pode-se equacionar da seguinte maneira:

$$\begin{array}{l} \% \text{ de umidade} \text{ ----- } 0\% \\ \mu \text{ ----- } \infty \end{array}$$

Durante a aquisição de umidade, ocorre processo inverso. Inicialmente, até 6% será adquirida a água de adsorção química; de 6. até o Ponto de Saturação das Fibras, a água de impregnação; e acima deste ponto a de capilaridade. Os

limites são definidos em função de um ponto mais ou menos médio, dentro de uma zona de transição.

O ponto de saturação das fibras (PSF) é de uma elevada importância prática. Grande parte das propriedades da madeira, alteram abaixo deste, como resistência à flexão, dureza, compressão, que aumentam gradativamente com a diminuição do teor de umidade, em virtude da estrutura da parede celular ser afetada. A contração e inchamento também só aparecem abaixo deste ponto. Defeitos causados durante a secagem, devido à distribuição desigual da água na peça de madeira, causando uma contração irregular, somente ocorrem abaixo de 28%. O colapso é o único defeito de secagem que ocorre acima do PSF, sendo consequência de forças de capilaridade atuando nos espaços celulares e intercelulares.

A perda e aquisição de água pela madeira, ocorre sempre que apresenta-se uma mudança no ambiente onde está colocada. Madeira completamente seca, ao expor-se a altas umidades relativas (UR), ocorrerá uma adsorção de vapor d'água do ar, até atingir um determinado equilíbrio. Neste ponto, não ocorrerá nem perda, nem aquisição de água, e é conhecido como "Umidade Equilíbrio da Madeira", o teor de umidade da madeira estará em equilíbrio com o ambiente (Temperatura e Umidade Relativa). Desenvolveu-se tabelas para o uso prático, relacionando a umidade relativa à temperatura, e a umidade de equilíbrio da madeira, que é de alta importância no desenvolvimento dos programas de secagem.

2.2.3. Fluxo de Água na Madeira

Dois tipos de fluxo ocorrem na madeira: o movimento capilar (água livre) e o movimento por difusão (vapor). O movimento capilar ocorre somente acima do Ponto de Saturação das Fibras, enquanto que o de difusão apenas abaixo deste ponto.

Durante um processo de secagem, os dois tipos de fluxos estão intimamente ligados, não podendo ocorrer uma separação, e sim apenas determinar qual dos dois movimentos predomina.

O movimento capilar é determinado por forças de tração, em função da tensão artificial do líquido, do raio

de capilar e da pressão diferencial de vapor. Este movimento é descrito pela fórmula de Hagen-Poiseuille (Equação 3), em que a quantidade (M) que passa por um capilar é medida em m³/h.

$$M = \frac{\pi r^4}{8 \mu} \cdot \frac{d P}{d x}$$

Equação 3

onde: r = raio do capilar

μ = viscosidade do líquido

d P = diferença da pressão parcial de vapor acima dos dois extremos de coluna d'água no capilar.

Sendo a pressão parcial de vapor (P), proporcional à umidade (u), e considerando o conjunto de valores:

raio do capilar - r

viscosidade do líquido - μ

densidade do líquido - ρ

temperatura absoluta - T

constante dos gases - R

Umidade Relativa - γ

Tensão superficial do líquido - σ como coeficiente de condutibilidade de umidade - Cc (Kg/m.h). temos:

$$M = Cc \frac{d u}{d x}$$

Equação 4

ou

$$gc = Cc \frac{d u}{d x}$$

Equação 5

onde

gc = quantidade de líquido transportada em Kg/m².h

Este coeficiente, C_c , é basicamente uma função da umidade, e sofre conforme condições prevalescentes durante a secagem, uma série de modificações, como mostra a figura 2 (Valores empíricos desenvolvidos por Krischer e outros).

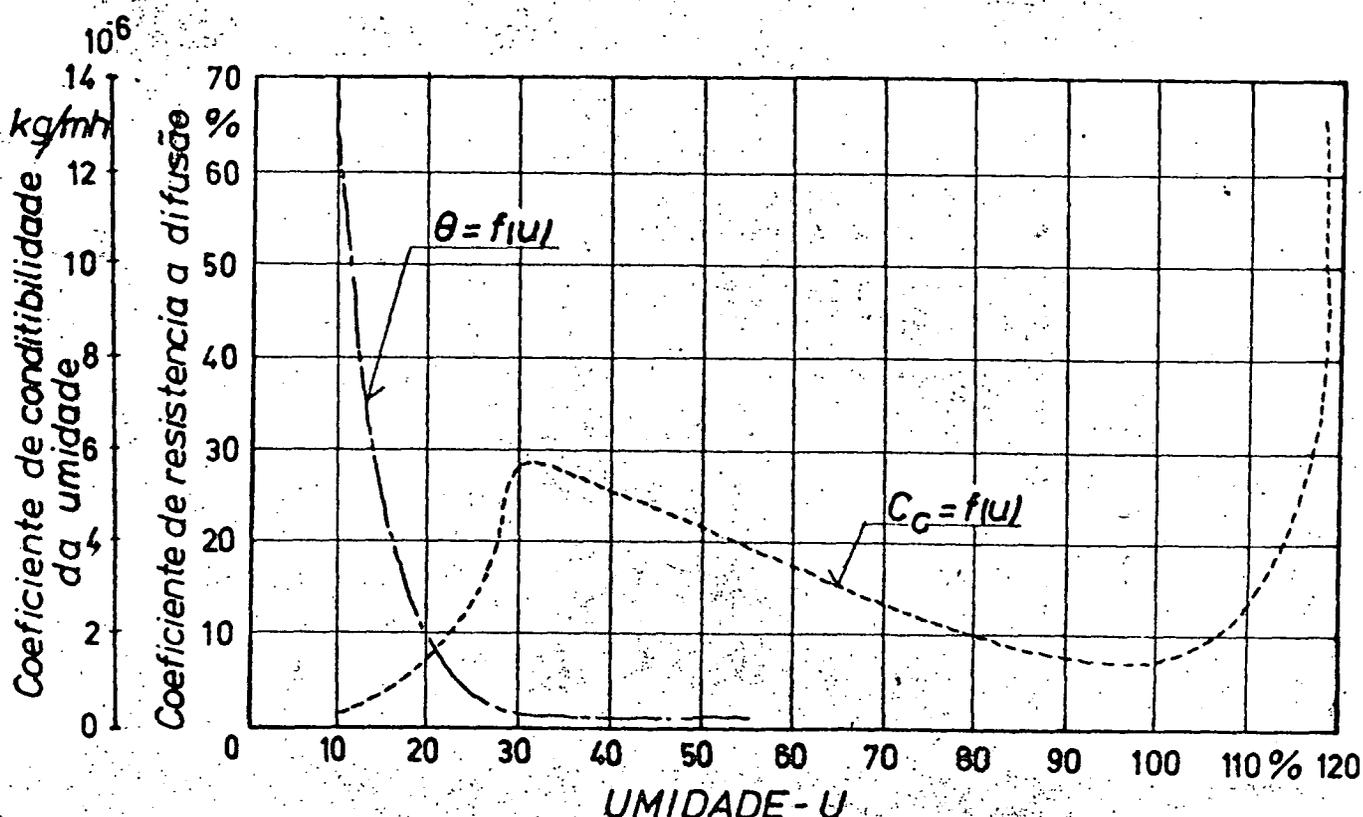


Figura 2 - Relação entre a umidade, os coeficientes de condutibilidade de umidade (C_c) e a resistência à difusão (θ).

A difusão é um fenômeno causado por um movimento espontâneo de gás ou vapor. O transporte de água durante a secagem, em forma de vapor é entre e dentro dos espaços vazios, sempre que exista um gradiente de pressão parcial de vapor, isto é, de umidade. Este tipo de fluxo é sempre de uma maior para uma menor pressão parcial (concentração). É um fenômeno complicado devido a ocorrência simultânea da difusão dos espaços vazios da célula e da difusão através da parede celular. A lei de Fick, que governa este tipo de movimento, não se aplica para o caso específico da madeira. Isto devido a um fenômeno conhecido como "difusão impedida". A difusão impedida é causada pelo fato das moléculas de vapor necessitarem um determinado espaço livre (maior que

400 A9), para que ocorra o fluxo sem turbulência no caso da madeira, havendo o choque com as paredes de passagens mais estreitas, retardando o fluxo.

Knudsen, Krischer, Stefan e outros adaptaram as leis da física para descrever o fluxo por difusão na madeira. Estas adaptações resultaram na seguinte formulação de Krischer, para calcular a quantidade de vapor d'água transportada por difusão (g_d).

$$g_d = \frac{D_{ar}}{\theta} \cdot \frac{1}{R \cdot T} \cdot \frac{P_o}{P_o - P_D} \cdot \frac{d P_d}{d x} \quad \text{Equação 6}$$

onde: g_d - quantidade de vapor d'água transportada em $K_g/m^2 \cdot h$

D_{ar} - taxa de difusão de vapor d'água no ar - m^2/h

θ - Coeficiente de resistência a difusão em relação a difusão em uma camada de ar estável de igual área.

T - Temperatura absoluta ($^{\circ}K$)

K - Constante dos gases para vapor d'água

P_o - Pressão parcial de vapor d'água

$P_o - P_D$ - Pressão parcial do ar

No processo de secagem ocorre o fluxo pelos dois tipos de movimento, sendo a quantidade total de água transportada (G_t) igual a

$$G_t = G_c + G_d \quad \text{Equação 7}$$

O gráfico abaixo apresentado (figura 3), - mostra a relação proporcional entre as quantidades transportadas por forças capilares (G_c) e por difusão (G_d), e a total ($G_t = G_c + G_d$), para várias umidades e temperaturas (t).

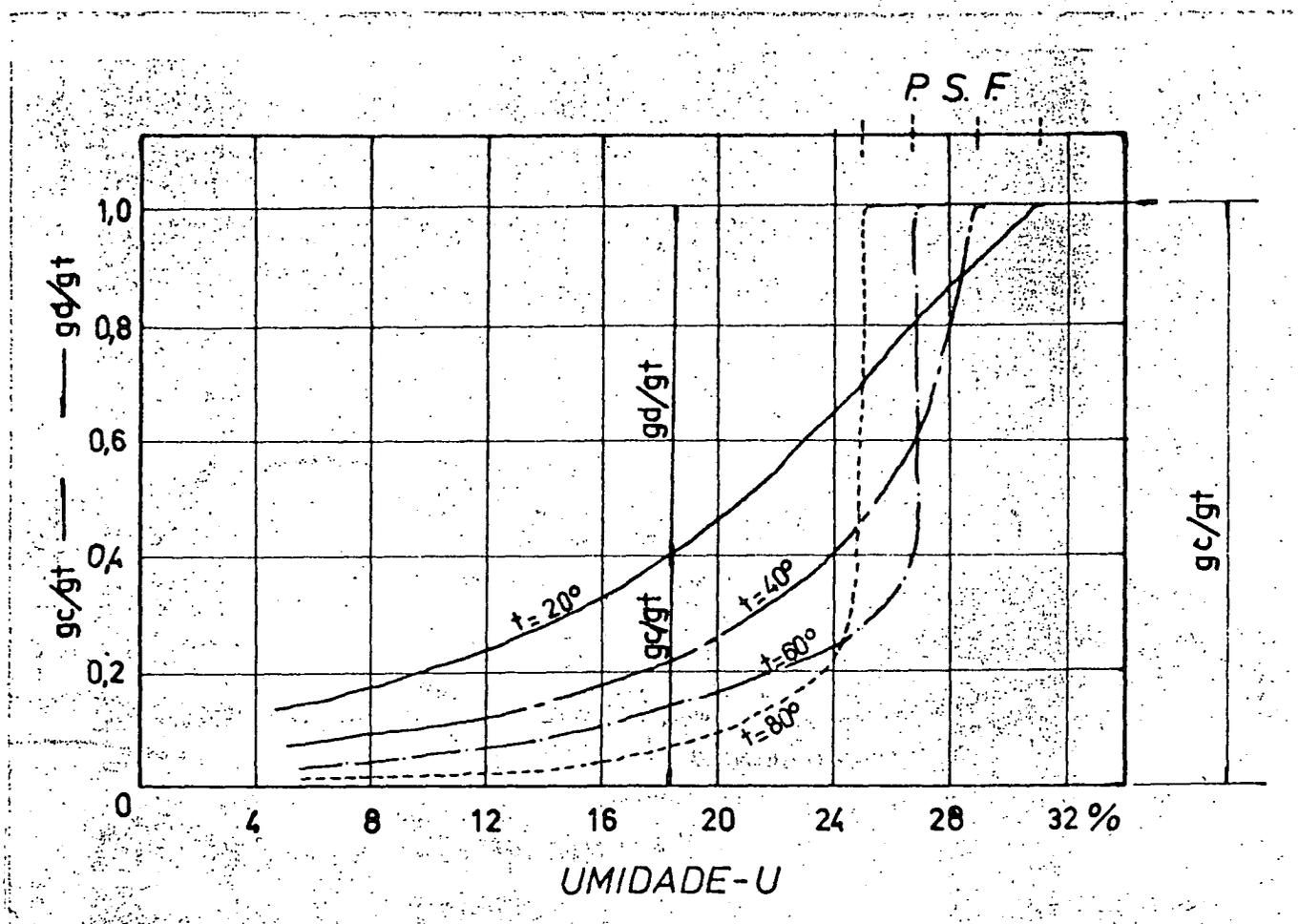


Figura 3 - Proporção de quantidade d'água transportada por forças capilares e por difusão em temperaturas constantes.

Determinados fatores também podem interferir no fluxo, causando retardamento, como aspiração das pontuações, incrustações, e outros. A aspiração de pontuações é relacionada à forças capilares da saída da água durante a secagem. O alburno de madeira verde, todas as pontuações (unidades estruturais da parede celular que fazem a ligação de uma a outra célula) encontram-se abertas. Com a queda do teor de umidade, aparecem pontuações fechadas (aspiradas), fenômeno que ocorre somente até atingir-se o ponto de saturação das fibras. Experiências tem demonstrado que a aspiração é causada pela tensão superficial, mas deve ocorrer uma reação química, com formação de ponte de hidrogênio, permitindo ao torus (espessamento da membrana da pontuação) colar-se à parte interna da cavidade da

pontuação tornando-a irreversível. Incrustações, por modificações estruturais no cerne da madeira, presença de tilos, presença de resinas e gomas são fatores que dão resistência ao fluxo.

O fluxo de água na madeira depende também da direção que o mesmo toma em relação aos eixos anatômicos, e da própria estrutura da espécie. Uma relação entre o fluxo no sentido radial-tangencial e longitudinal seria:

$$\text{Fluxo}_{\text{long}} : \text{Fluxo}_{\text{tang. e rad.}} = 6-8 : 1$$

2.2.4. Contração e Inchamento

O aumento ou diminuição do volume da madeira, devido a adsorção ou perda de água, é uma das propriedades mais importantes, prejudicando altamente seu uso em vários ramos, bem como causando problemas principalmente na secagem.

Esta perda ou aumento das dimensões da madeira é causado pela saída ou inclusão de moléculas de água nos espaços submicroscópicos entre as micelas. As micelas de áreas amorfas e cristalinas (figura 4). Sendo as partes cristalinas' praticamente impenetráveis, as áreas amorfas são as responsáveis pela variação nas dimensões.

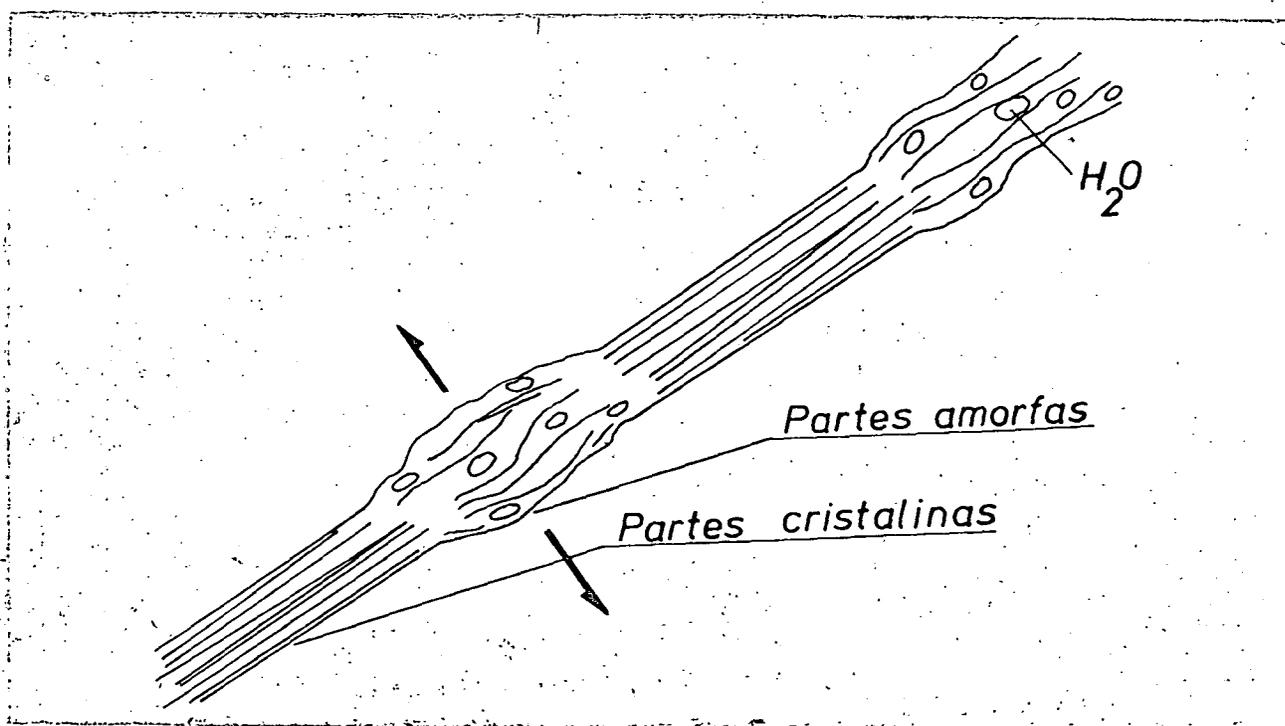


Figura 4 - Moléculas de água entre feixes de celulose.

Como a contração e inchamento são contados somente pela água nos espaços submicroscópicos, somente ocorrem abaixo do ponto de saturação das fibras, ou seja contração de 28% a 0% e inchamento de 0% a 28% de umidade.

Os gradientes de umidade causados durante um processo de secagem, fazem com que a madeira contraia irregularmente na sua espessura. A determinada etapa, pode-se observar, um interior da peça de madeira com teor de umidade acima do PSF (não ocorrendo contração), enquanto a parte mais exterior, encontra-se abaixo deste ponto (contração). Sendo o sistema fechado, desenvolvem-se forças de tensão. Estas forças podem alcançar valores bastante altos.

Se a resistência da madeira perpendicular às fibras for menor que a tensão desenvolvida, a consequência será o aparecimento de defeitos.

Quanto menor o gradiente de umidade desenvolvido durante um processo de secagem, maiores as possibilidades de obter-se um material em melhores condições de uso.

Existe uma diferença na contração e inchamento nos diferentes eixos anatômicos. No sentido tangencial é verificada a maior contração, enquanto que o longitudinal é o que apresenta a menor. A relação entre a contração nos diversos sentidos pode ser estabelecida aproximadamente em:

$$\beta_t : \beta_r : \beta_l : 1,6 - 2,0 : 1 : 0,1$$

onde:

β_t é o coeficiente de contração tangencial

β_r o coeficiente de contração radial

β_l o coeficiente de contração longitudinal

Os coeficientes de contração (β) e inchamento (α) máximos, são calculados por:

$$\beta = \frac{l_u - l_0}{l_u} \cdot 100 (\%)$$

Equação 8

$$\alpha = \frac{l_u - l_0}{l_0} \cdot 100 (\%)$$

Equação 9

sendo

l_u - dimensão do corpo de prova à "u"% de umidade

l_0 - dimensão do corpo de prova seco. $u = 0\%$

O que é de real interesse na contração, é a diferença desta nos eixos tangenciais e radiais da madeira. O fator de Anisotropia é calculado por:

$$A_c = \frac{\beta_t}{\beta_r} \quad \text{Equação 10}$$

Quanto maior o valor deste fator mais sujeito a defeitos é a madeira quando em secagem.

As causas da anisotropia são muito discutidas, existindo várias teorias que tentam dar uma explicação. Cita-se como fatores responsáveis:

- a) O impedimento da contração e inchamento pelos raios, o único tecido horizontalmente orientado.
- b) Presença de pontuações em maior quantidade na face tangencial da célula, causando uma desorientação acentuada nas microfibrilas localizadas nos arredores, impedindo a contração e inchamento radial.
- c) Maior espessura da lamela média e parede primária na face radial, aumentando a contração e inchamento neste sentido, devido a presença de substâncias altamente higroscópicas.
- d) Presença do lenho outonal, mais denso, transferido com maior facilidade é o movimento tangencial, enquanto que o movimento radial é absorvido pelo lenho primaveril (mais poroso).

Os gradientes de umidade, decorrentes num processo de secagem, dando origens a tensões internas, são agravados pela anisotropia e em consequência defeitos como rachaduras, empenamentos, encanoamentos e outros, podem vir a ocorrer.

CAPITULO III

3. METODOS E MATERIAIS

3.1. Local de Estudos

Os Estados do Paraná e Santa Catarina foram o objetivo do presente estudo, sendo que o setor de atuação foi o de secagem de madeiras serradas em estufas convencionais. Basicamente uma estufa convencional é constituída de uma câmara fechada, onde existe circulação de ar forçada, cuja temperatura e umidade relativa podem ser controladas.

A delimitação do setor de estudos, foi em função das dificuldades enfrentadas pela indústria madeireira, crescentes com a utilização da secagem artificial para folhosas (27).

Dentro da citada área, estabeleceu-se contactos com os fabricantes e fornecedores locais de equipamentos para secagem de madeiras serradas, com o objetivo de avaliação de equipamento, da técnica empregada, da assistência prestada à indústria madeireira quando da instalação do equipamento, a programação, e controle da secagem, e a manutenção.

Mediante relações dos usuários de estufas, fornecidas pelos fabricantes, verificou-se a dificuldade de uma enumeração completa devido ao grande número. Procedeu-se por amostragem, com escolha aleatória dentro de extratos determinados em função das dimensões das indústrias, avaliadas com base no número de operários, capital social e produção, bem como espécies utilizadas.

3.2. Materiais e Instrumentos Usados

A delimitação do trabalho, dentro do campo de secagem de madeiras serradas em estufas, obrigou a uma subdivisão em duas etapas básicas. A primeira, denominada "Geral", incluiu coleta de dados junto às indústrias, incluindo material em secagem, equipamento, controle, programa, operação e custos

de secagem.

Na segunda denominada "Especial", foram considerados problemas de circulação de ar, distribuição de umidade relativa e temperatura dentro da câmara de secagem, com a função de complementação e obtenção de dados mais concretos.

3.2.1. Etapa Geral

Para a primeira etapa, o uso de formulário detalhado, (ANEXO I) visando uma coleta racional e padronizada de informações, foi a melhor solução encontrada. Numa análise prévia do problema, determinou-se o programa, o controle, e principalmente o pessoal de operação, como pontos fundamentais a serem atingidos.

Informações complementares como dados da empresa, material em secagem, equipamento e custos, participaram.

Dentro de generalidades da empresa, incluem-se informações como: Capital, Número de operários, fonte de matéria prima, espécies utilizadas e produção, para que se conseguisse uma avaliação do porte da indústria, além dos dados referentes à atividade exercida, nível técnico e mercado de consumo, obtendo-se informações sobre a qualidade de material exigido.

Do material em secagem artificial, dados como espécies, dimensões, umidade inicial e final, tempo de secagem, levam a uma boa idéia da eficiência conseguida.

Do equipamento usado para secagem, foram anotados marca, modelo, ano, dimensões internas, sistema de aquecimento e ventilação, carregamento, capacidade, tipo de construção detalhes da caldeira e combustível.

A evidência dada ao método de secagem incluiu sistema de empilhamento, tipo de acondicionamento e recondicionamento, se existe. O controle da secagem, considerado de alta importância, foi checado quanto à existência, condições de uso, e manutenção, bem como pessoal ligado à operação do equipamento.

Foram ainda computados no formulário, dados coletados referentes a resultados obtidos com a secagem ar

tificial, aceitação dos mercados internos e externo, problemas encontrados pela empresa, e custos de secagem artificial e ao ar livre.

Além do formulário, com conteúdo citado acima, utilizou-se um aparelho elétrico para medição de teores de umidade, dando a possibilidade de checar-se a uniformidade e porcentagem da umidade final.

3.2.2. Etapa Especial

Para a segunda etapa, utilizou-se na determinação da velocidade do ar, um anemômetro com possibilidade de leitura da velocidade do ar, entre 0 e 20 metros por segundo. Na determinação das temperaturas e umidades relativas dentro da câmara durante o processo de secagem, utilizou-se um registrador potenciométrico, ligado a termoelementos colocados em diferentes posições na pilha de madeira, num total de 5 pontos: três pontos de tomada de temperatura secas, e dois umedecidos, obtendo-se a temperatura úmida. Desta maneira, funcionando no princípio de um psicrômetro: pela depressão do bulbo úmido em relação ao seco, devido à energia gasta para evaporar a água que o envolve, obteve-se os valores da umidade relativa.

3.3. Descrição do Método Usado na Coleta de Dados

3.3.1. Etapa Geral

Inicialmente, verificou-se o tipo de equipamento existente, marca, ano e modelo, determinando-se as dimensões internas, sistema de aquecimento com controle manual ou automático, seu funcionamento e eficiência, sistema de ventilação - motores, rotação por minuto, possibilidade de reversão do fluxo e distribuição na estufa. O tipo de carregamento, disposição na estufa, capacidade, tipo de construção, bem como detalhes da caldeira foram cuidadosamente investigados.

De importância vital, considerada inicialmente, e reforçada com o transcorrer dos trabalhos, foi a checagem momentânea das condições de operação, levando-se em consideração temperaturas e umidades relativas. O sistema de empilhamento foi analisado em função das dimensões, uniformidade e espaçamento, entre sarrafos, uniformidade do material para secagem, em pilhas tidas pelo operador da estufa como em condições para entrar na câmara.

A verificação do equipamento de controle, realizou-se em relação do funcionamento, existência e conservação de psicômetros, termômetros e outros. Seguiu-se a mesma regra para a constatação do equipamento auxiliar, considerando estufas para corpos de provas, balança de precisão, medidores de umidade, etc.

Durante a inspeção, sugeria-se o acompanhamento do operador, iniciando-se uma entrevista informal de modo a obter-se dados seguros e verdadeiros, bem como avaliação do nível técnico do mesmo.

Com investigação "cuidadosa" junto ao operador procurou-se obter o programa de secagem (quando existe um protocolo), e o método de controle em todos seus passos, intervalos, amostras e condição geral.

A especial atenção dada ao operador, com a finalidade de uma análise mais profunda do seu nível técnico, consistiu também em obter-se a origem da técnica, a experiência e responsabilidade do operador, melhorias introduzidas pelo mesmo e pela indústria, e condições de trabalho.

Quando possível (presença de material seco na estufa) verificava-se os resultados obtidos com a secagem, e em especial, porcentagem de umidade final e uniformidade (somente no caso de pilhas recém saídas da estufa, usando-se um medidor elétrico de umidade), porcentagem de perdas, defeitos ocorrentes.

A entrevista com a administração, teve como objetivo a obtenção de dados relativos a generalidades da empresa, como capital, número de operários, atividade, fonte de matéria prima, produção, mercado, para uma avaliação poste-

rior das dimensões. Incluiu-se observações relativas ao nível técnico da empresa, o qual obteve-se por ou mediante observações do fluxograma, pessoal, melhorias introduzidas e equipamento. Problemas de mercado, em relação à aceitação e procura da madeira seca em estufas, dificuldades encontradas pela empresa na utilização da secagem artificial, bem como existência de dados referentes a custos de secagem natural e artificial, levou-se em cogitação durante a entrevista com a administração.

3.3.2. Etapa Especial

Os dois testes realizados nesta etapa, dizem respeito tanto à habilidade do operador e técnica empregada, como qualidade do equipamento utilizado.

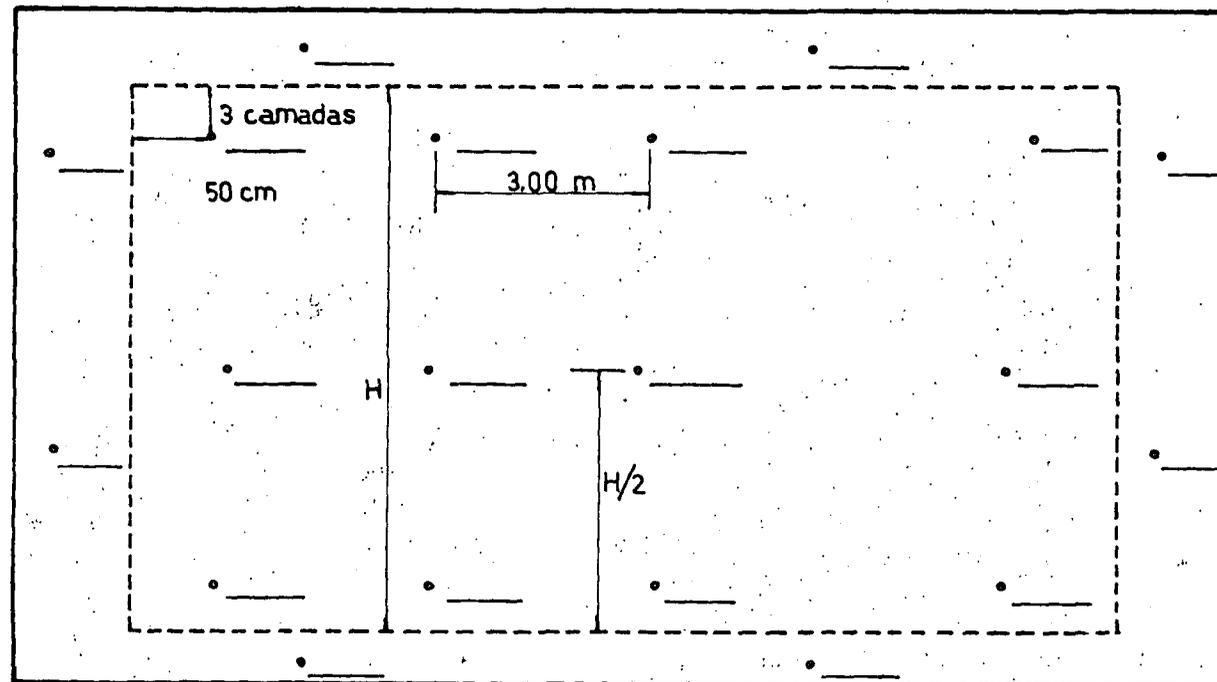
3.3.2.1. Teste de velocidade de ar

Uma prancha (figura 5) com vista lateral da estufa, contendo no seu interior a pilha de madeira, era inicialmente preparada, locando-se os pontos para tomada da velocidade do ar.

A prancha apresenta ainda espaços para coleta de dados referentes às dimensões necessárias para avaliação das condições, bem como local de coletas e tipos de câmara.

Na indústria, uma vez com a pilha no interior da câmara já fechada, eram tomadas as dimensões das áreas abertas - passagens livres laterais, passagens de ar na parte superior e inferior da pilha, passagem entre pilhas, número de aberturas na pilha e dimensão.

Acionando-se somente os ventiladores, sem a presença de aquecimento ou umidificação, procedia-se as leituras nos pontos indicados, colocando-se a sonda entre as tábuas, para o caso da verificação da velocidade dentro da pilha. A tomada destas velocidades, realizada sempre no lado da saída do ar, com o auxílio de um anemômetro.



----- Pilha
 ————— Parede interna da estufa

Figura 5 - Pontos de tomada da Velocidade do ar.

No caso de tratar-se de estufa com possibilidade de reversão do fluxo de ar, eram realizadas duas medições, uma para cada direção. Também foram realizadas medições com as portas de entradas e saídas de ar abertas e fechadas. Isto para verificação da variação apresentada com o desenvolver do programa, na distribuição das velocidades.

3.3.2.2. Teste da Distribuição das Temperaturas e Umidades Relativas

Fixou-se a pilha colocada dentro da estufa, e em cinco diferentes pontos, "elementos de medições termoelétricos" ligados diretamente a um "registrador potenciométrico". Dois dos elementos foram mantidos úmidos, com o uso de algodão acoplado a um recipiente contendo água destilada (denominada "Tu"). Os outros três elementos foram mantidos sem umectação (denominado "Ts"). Os pontos de medição foram distribuídos na pilha (figura 6) na seção lateral, e no lado da entrada de ar.

A denominação "Ts" e "Tu", dada aos termoelementos, indicam termômetro seco e termômetro úmido respectivamente. Desta maneira, o conjunto "Ts" e "Tu", colocados nos pontos "1" e "3" na figura esquematizados, funcionando como psicrômetro, terão a função da tomada da umidade relativa além da temperatura. O ponto de medição "2", teve a finalidade de registro de apenas a temperatura seca.

O registrador potenciométrico utilizado, regulado para uma tomada de leitura a cada 20 segundos e uma velocidade de avanço de papel de 20 mm/hora, foi instalado antes do início da secagem e mantido até o término da mesma, onde o gráfico obtido era retirado para análise.

3.4. Coleta de Dados

Após visitas à indústrias, fabricantes de equipamentos, e localização dos principais polos de secagem artificial, iniciou-se as visitas - investigação aos usuários de estufas.

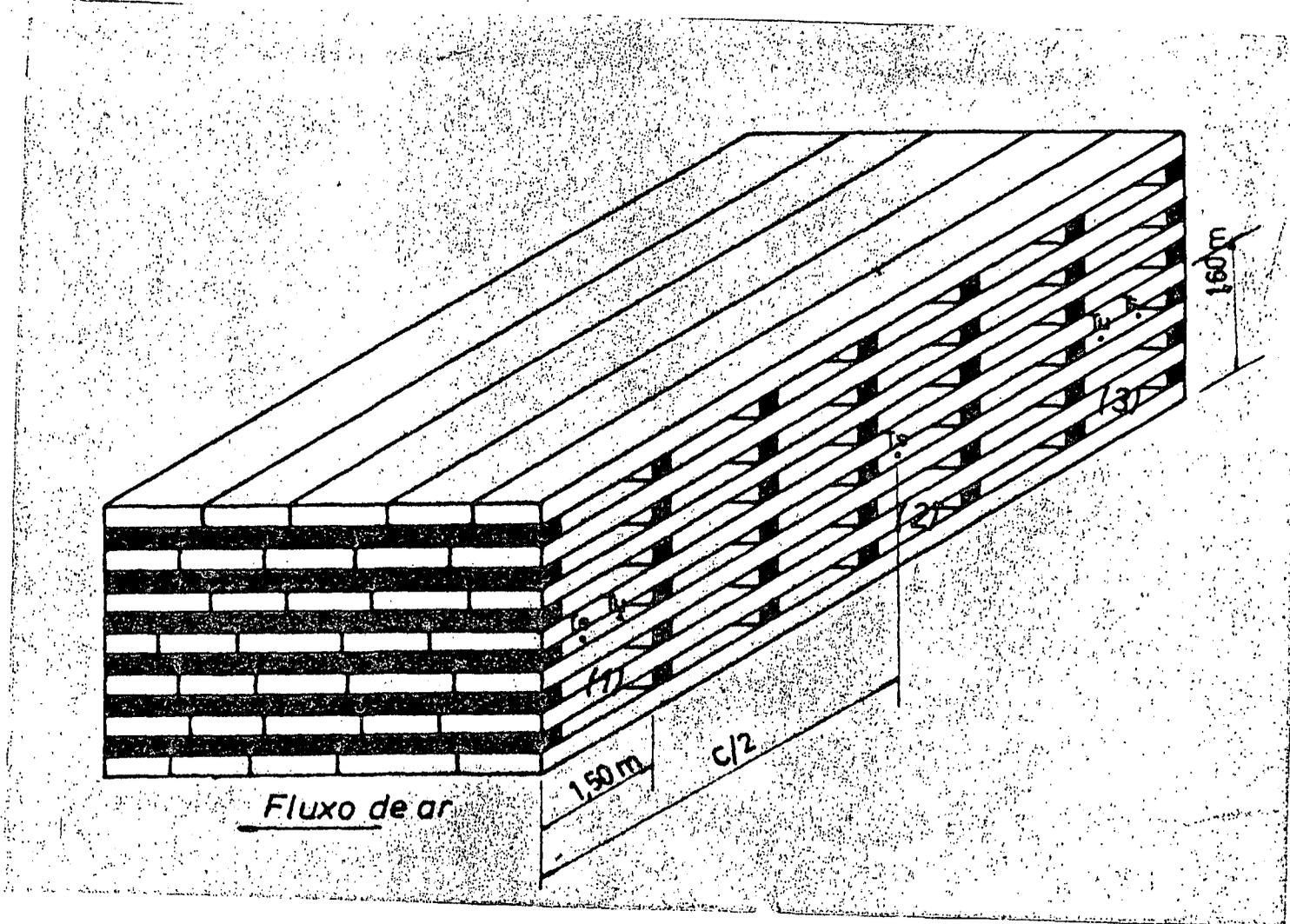


Figura 6 - Distribuição dos pontos de tomada das temperaturas

A enumeração completa, como verificado inicialmente, seria bastante difícil, uma vez que existem na região sul do Brasil aproximadamente 300 câmaras de secagem instaladas em 130 diferentes empresas, afetando consideravelmente o custo do levantamento.

Em virtude disto, trabalhou-se com amostragem aleatória, dentro de diferentes sub-regiões tidas como extras nos quais a variabilidade dos itens em estudo pode ser considerada insignificante.

A Sub-Região "1", denominada Sub-Região de Curitiba, abrangeu, grande parte também, do Oeste de Santa Catarina, e Oeste Paranaense. Levou-se em consideração, que as grandes empresas instaladas nesta sub-região, possuem suas reservas florestais no oeste Catarinense e Paranaense, transportando até Curitiba a madeira ainda verde, ou com pré-secagem ao ar livre, para, a seguir ser submetida a uma secagem artificial, até atingir-se o teor de umidade final necessário.

A Sub-Região "2", denominada Sub-Região do Norte Catarinense, baseando-se na utilização de folhosas, com introdução gradativa de estufas para secagem artificial.

A Sub-Região "3", denominada região do Vale do Itajaí, apresenta grande variabilidade quanto à dimensão das indústrias, e espécies em utilização, podendo ser considerada como a precursora no uso de estufas. Inclui-se também parte da região de Araucária exportada pelo Porto de Itajaí, (Santa Catarina), onde predominam grandes empresas.

Sub-Região "4", denominada Sudoeste do Paraná, caracteriza-se pela utilização de folhosas de difícil secagem como *Ocotea porosa* (Imbúia), além da *Araucaria angustifolia* (Pinho do Paraná).

Na figura 7, encontra-se esquematicamente demarcadas as sub-regiões de atuação, para coleta dos dados gerais.

O mercado de equipamento para secagem de madeiras serradas, nos estados do Paraná e Santa Catarina, encontra-se basicamente dividido entre duas fábricas. Em virtude disto, para dados especiais coletados, escolheu-se aleatoriamente indústrias que possuíam diferentes equipamentos. Com medição das

velocidades do ar e temperaturas, tornou-se possível a comparação de eficiência entre equipamentos de fabricação nacional.

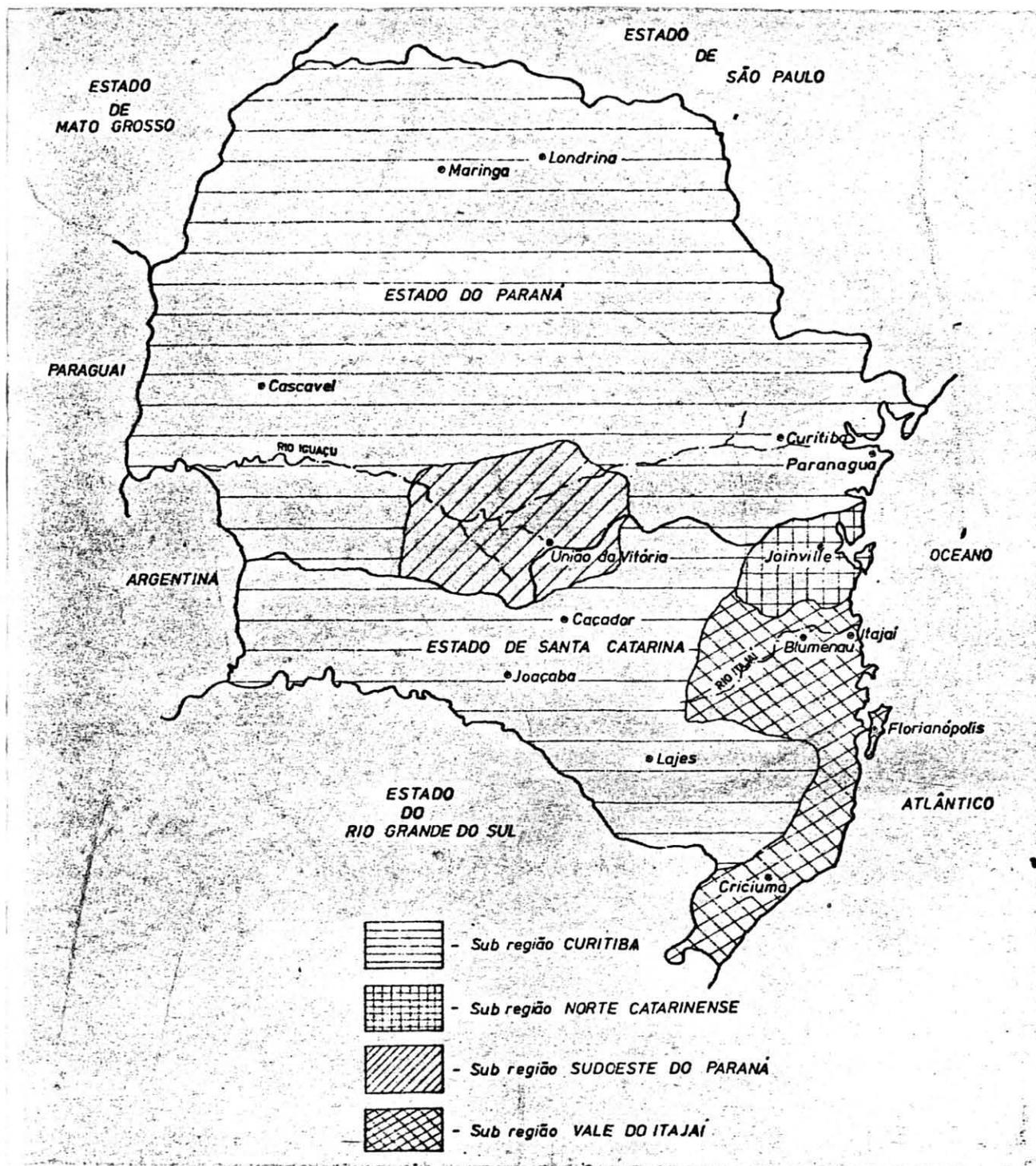


Figura 7 - Mapas do Paraná e Santa Catarina com as sub-regiões de atuação.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Etapa Geral

4.1.1. Potencial de madeira seca

Baseando-se em informes, dados de fabricantes de estufas, sindicato da classe e bibliografias, estima-se em um número aproximado de 123 indústrias, praticantes da secagem artificial de madeiras serradas em estufas, no Paraná e Santa Catarina. O número total de câmaras em uso, gira em torno de 288, com uma capacidade média de 18 metros cúbicos por estufa, representando aproximadamente uma capacidade instalada de 5.500 m³.

A tabela 1 traz uma distribuição por sub-região com dados estimados da situação atual.

TABELA L

Estimativa do potencial instalado para Secagem de Madeira Serrada no
Paraná e Santa Catarina por Sub-Região.

Locais	Indústrias c/ estufas	Número Total de Câmaras	Capacidade nominal Média por Câmara (m ³)	Capacidade nominal Média por Indústria (m ³)	Capacidade nominal Total Instalado (m ³)	% por sub-regi- ão da Capacida- de Total
Sub-Região Curitiba	45	119	23,24	61,57	2.766	51,45
Sub-Região Norte Catarinen se	25	60	18,37	44,08	1.102	20,50
Sub-Região Sudoeste do Paraná	10	21	19,43	40,80	408	7,60
Sub-Região Vale do Itajaí	43	88	12,50	25,58	1.100	20,45
Total para Paraná e S.Catarina	123	288	18,39	42,98	5.376	100

A análise dos dados computados, leva às seguintes considerações:

a. A Sub-Região Curitiba é a que apresenta o maior potencial na secagem artificial, perfazendo uma porcentagem de mais de 50% do total.

b. A Sub-Região Sudoeste do Paraná é a que apresenta menor potencial ou seja 7,60%.

c. Considerando-se as indústrias isoladamente, os grandes complexos de secagem artificial estão instalados na sub-região de Curitiba, atingindo uma capacidade média por indústria, de 61,5 metros cúbicos.

d. As unidades industriais de menor capacidade individual estão instaladas na sub-região do vale do Itajaí, com uma capacidade instalada de 25,58 metros cúbicos em média por indústria.

e. A mínima capacidade média por câmara é encontrada na sub-região do Vale do Itajaí, $12,50 \text{ m}^3/\text{câmara}$, contra 23 m^3 na sub-região de Curitiba. Pode-se afirmar que em comparação com a sub-região Curitiba, existe grande número de pequenas câmaras de secagem, típicas de pequenas indústrias.

f. Considerando-se um tempo médio de secagem para todas as condições com a técnica empregada e programas existentes, igual a 6 dias (dados fornecidos pelos usuários) e, sendo a capacidade instalada igual a 5.376 m^3 , ter-se-á uma produção mensal de madeira seca igual a 26.880 metros cúbicos. Comparando-se com a quantidade total de madeira serrada produzida nos Estados do Paraná e Santa Catarina, que chegou a uma média mensal aproximada em 1972 de 200.000 m^3 (27), porcentagem de madeira submetida a secagem artificial é de apenas 13,44%.

g. Considerando-se o volume médio mensal em 1972, de exportação de madeiras serradas, cerca de 70.000 m^3 (27) e a exigência do mercado importador, na obtenção de teores de umidade abaixo dos obtidos na secagem ao ar livre, a capacidade instalada é somente capaz de suprir 38,4% das necessidades.

h. Considerando-se que apenas uma parte das câmaras são utilizadas para secagem de madeira designada à exportação, e que não existe um aproveitamento integral da capacidade instalada, a porcentagem de suprimento acima estipulada

fica bastante diminuída. Isto significa um déficit de secagem ainda maior.

No levantamento realizado para os estudos, cujos dados encontram-se computados na tabela 2, a amostragem efetuada atingiu níveis bastante altos. Mais de 20% das indústrias que utilizam secagem artificial em estufas foram investigadas. A capacidade instalada das indústrias investigadas chegou a 48,51% do total existente.

TABELA 2

Câmaras de secagem investigadas

Locais	Nº de indústrias investigadas	% do existente	Nº câmaras investig.	% do existente	Capacidade nominal mē dia p/cam. (m ³)	Capacidade nominal mē dia p/ind. (m ³)	Capacidade nominal total invest. (m ³)	% do existente
Sub-região Curitiba	9	20,0	49	41,2	31,02	168,90	1520	54,9
Sub-região Norte Catarinense	4	16,0	17	28,3	15,29	65,00	260	23,6
Sub-região Sudoeste do Paraná	2	20,0	6	28,6	20,00	60,00	120	29,4
Sub-região Vale do Itajaí	13	30,2	47	53,4	15,06	54,46	708	64,4
Total do Pr.e S.C.	28	32,8	119	41,3	21,92	93,14	2608	48,5

4.1.2. Indústrias e seu Nível Técnico

Analizando-se os diversos setores, pode-se definir superficialmente como a sub-região de Curitiba, a tecnicamente mais evoluída. Esta evolução é citada em termos de equipamento, pessoal técnico, e de operação, administração, fluxograma, e controle de qualidade. Isto pode ser citado como resultado dos seguintes fatores:

a. a uniformidade do material em elaboração trata-se do uso em grande parte e na maioria dos casos, exclusivamente, da madeira de "*Araucaria angustifolia*" ocorrendo assim uma padronização empírica.

b. Os altos preços e aceitação, atingidos pela madeira da "*Araucaria angustifolia*" no mercado interno e externo, deram muitas condições ao atual estágio de desenvolvimento. As exigências do mercado em relação à qualidade do produto final no mercado exterior, também forçou a que se atingisse o presente nível.

c. Dimensões das indústrias - a localização das maiores indústrias na sub-região de Curitiba, devido aos fatores acima citados, proporcionaram e incutiram o aperfeiçoamento. Por outro lado, são estas empresas as possuidoras das maiores reservas florestais do sul do Brasil, advindo daí, maiores lucros, por ser computada também, a "produção da floresta", no resultado final.

d. Introdução de novas técnicas e mentalidades. A manutenção do título do centro madeireiro brasileiro até nossos dias, atraiu novas técnicas com ofertas de maquinários e tecnologia de outros países. O surgimento do curso de Engenharia Florestal, o primeiro no País, trouxe a Curitiba, através de convênios e programas de auxílio, técnicas especializadas, introduzindo uma mentalidade progressista e quantificada.

O mais baixo nível técnico, com completa desorganização de fluxograma, "pontos de estrangulamento" no processo industrial, pessoal de operação rudimentar, equipamento ultrapassado, e falta de planejamento de produção, é o encontrado na região Vale do Itajaí. Os fatores que mais influen

ciam são:

a. Predominância de pequenas indústrias, com mercado restrito local.

b. Heterogeneidade do material - uso de uma grande variação de espécies, influenciando decisivamente na qualidade final do produto, causando uma queda do preço de venda. Deve-se ao fato de que grande número de espécies, com propriedades diferentes sofreram o mesmo processo industrial.

Uma classificação preliminar das indústrias de madeira serradas do Paraná e Santa Catarina, quanto ao nível técnico, pode ser feita baseando-se em dois fatores determinantes. A utilização final do material e o mercado de consumo.

Engloba-se nas indústrias de um "bom nível técnico", os produtores de materiais manufaturados para exportação, torneados, brinquedos, lambris e molduras. Parcialmente, pode-se incluir indústrias exportadoras de madeiras serradas e aplainados.

Com um "nível técnico regular", inclui-se as indústrias de manufaturados para o mercado nacional, como esquadrias, lambris, tacos, parquet, etc. Uma percentagem significativa de exportadores de madeiras serradas e aplainadas situa-se também dentro deste nível.

Um "baixo nível técnico", inclui o grupo de indústrias atuantes no mercado nacional, de madeiras serradas, para construção civil, com uma situação ainda mais crítica à medida que aumenta-se as distâncias dos grandes centros consumidores.

4.1.3. Madeiras em Secagem Artificial

Na investigação acerca do material submetido à secagem artificial, a inexistência de protocolo e dados referentes a espécies, quantidade de madeira seca produzida, dimensões, umidade inicial e final, tratamento prévio do material (pré-secagem ao ar livre, etc.), dificultou sensivelmente a obtenção dos dados.

A tabela 3, demonstra a grande parcela ocupada pelo Pinho do Paraná, 50% do total, fato este que é devido principalmente as exigências feitas na exportação (teo -

res de umidade abaixo dos obtidos em secagem natural). Fato idêntico ocorre para Pau marfim e Cedro. Grande porcentagem é retida pelas canelas (Lauraceas)- 19,6%, e espécies do litoral sul brasileiro, 8%, atribuído aos fatores: a) potencial de madeiras destas espécies nas sub-regiões vale do Itajaí e Norte Catarinense, baseando-se principalmente na canela preta (*Ocotea catarinensis*). b) existência do fabricante de equipamento de secagem na região.

A caixeta, com utilizações especiais como brinquedos e carretéis, participa com 12,6% da produção de madeiras secas em estufas. No aproveitamento desta espécie, existem um número restrito de indústrias, com grande potencial instalado.

A Imbuia, apresentando dificuldade na secagem artificial, participa com uma parcela menos significativa. Secagem artificial é somente aplicada no Ipê, em casos esporádicos. Trata-se de madeira relativamente escassa no mercado.

TABELA 3

Produção de Madeira Seca no Paraná e Santa Catarina

Espécie	Produção das indústrias ¹ , investigadas m ³ /mes	Estimativa produção total (1) m ³ /mes	Participação da espécie no total %	Utilização final	Mercado consumo (2)
Pinho <u>Araucaria angustifolia</u>	3.040	6.267	50,58	serrados tabuados aplainados lambris forro molduras	nacional e exportação
Canelas (<u>Lauraceas</u>)	1.180	2.432	19,63	serrados esquadrias tacos, etc.	local nacional
Caixetas <u>Chrysophyllum</u> sp.	760	1.567	12,65	carreteis brinquedos serrados	nacional exportação
Pau marfim <u>Balfourodendrum riedelianum</u>	210	433	3,49	serrados torneados molduras tacos parquet	exportação
Imbuia <u>Ocotea porosa</u>	130	268	2,16	serrados aplainados	nacional
Ipe <u>Tabebuia</u> sp.	50	103	0,84	tacos assoalhos	nacional
Outras espécies <u>Olandi Calophyllum brasiliense</u> Bicuíba <u>Virola oleifera</u> Guapuruvu <u>Schizolobium parahybum</u> Pau óleo <u>Copaifera</u> sp. Paguaçu <u>Talauna ovata</u>	510	1.051	8,49	serrados tabuados forro caixotaria	local e nacional
TOTAL	6.010	12.389	100	-	-

- (1) Estimativa da produção total de madeira serrada, seca em estufa, metros cúbicos por mes, por espécie, calculado em função da amostragem realizada - 47% do total.
- (2) Mercado local é tido como madeira consumida na sub-região, onde localiza-se a indústria. Mercado nacional inclui o consumo em todo o País, com evidência a São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte e Brasília. Mercado de exportação inclui exportação principalmente para Europa e Estados Unidos.

Relacionando-se a estimativa do potencial instalado 5.376 metros cúbicos e a produção estimada mensal de madeira seca em estufas no Paraná e Santa Catarina, em 12.389 m³/mes, ter-se-á um tempo médio de secagem para todas as espécies, espessuras, tipos de madeira e programas de 13 dias, não confirmando as informações dos usuários nos quais computou-se uma média de 6 dias.

Considerando-se que grande porcentagem de madeiras em secagem artificial é de Araucaria angustifolia com dimensão de 2,5mm, e outras espécies de pequenas dimensões e sem problemas acentuados na perda de água, o tempo realmente utilizado é bastante elevado. Atribui-se aos seguintes fatores a) De maneira geral os programas são mal elaborados e em determinados casos inexistentes. b) Deficiências do equipamento de secagem. c) Aproveitamento incorreto da capacidade instalada em virtude de mau empilhamento e descontinuidade na produção. Esta descontinuidade é atribuída em certos casos a falta de matéria prima, já em evidência para determinadas indústrias. e) A inexistência de protocolo em muitas indústrias, a variabilidade em espécies, espessuras e tipos de madeira, a operação descontínua e teores de umidade iniciais e finais variáveis, causam dificuldades na obtenção dos dados e sua confiabilidade.

4.1.4. Equipamento para Secagem Artificial

4.1.4.1. Tipos de câmaras

As câmaras de secagem artificial existentes no Paraná e Santa Catarina são em sua grande maioria de fabricação nacional, ultrapassada. As duas únicas câmaras de fabricação estrangeira localizadas, são de pequeno porte, tendo sido as precursoras.

Nos dois estados, o mercado encontra-se dividido não equitativamente entre os três fornecedores de equipamento. Os modelos fabricados são do "tipo Moore" (origem americana) e "Hildebrand" (origem alemã), e a capacidade individual de cada câmara varia em função do adquirente da estufa. A distribuição das câmaras investigadas, levando-se em consideração o fabricante, modelo e capacidade, encontram-se na tabela 4.

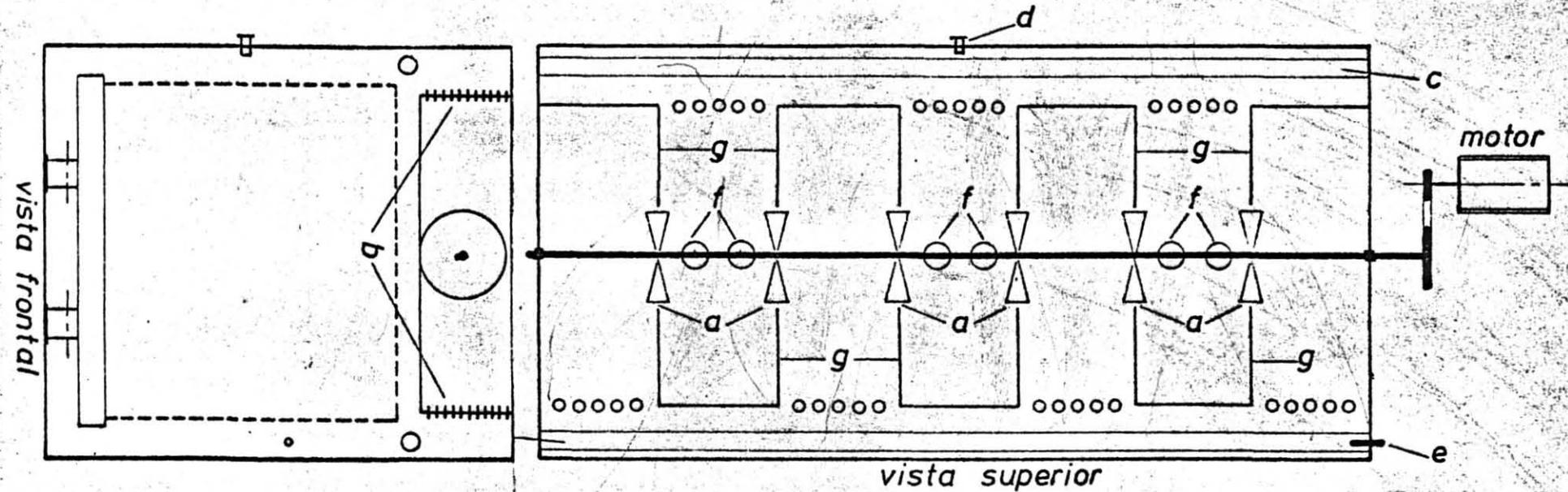
O tipo Hildebrand, possui o sistema de ventilação, aquecimento e vaporização dispostos lateralmente com circulações de ar horizontal, enquanto que no tipo Moore, todo o sistema encontra-se num sub-teto. Isto constitui-se a diferença básica entre um e outro modelo. A figura 8 A,B,C demonstram esquematicamente os modelos de câmaras de secagem detectadas.

TABELA 4

Distribuição das câmaras investigadas por Fabricante, "Tipo e Capacidade"

Fabricante	"tipo"	Capacidade m ³	Nº de Câmaras investigadas	Capacidade total investigada m ³
A Equipamento nacional	"Hildebrand"	20	15	300
		30	2	60
	"Moore"	30	4	120
		45	4	180
B Equipamento nacional	"Hildebrand"	10	30	300
		20	20	560
		30	7	210
		40	16	640
	" Moore "	45	2	90
C Equipamento nac.	"Hildebrand"	15	8	120
		20	1	20
D Equipamento importado	"Hildebrand"	4	2	8
TOTAL	-	-	119	2.608

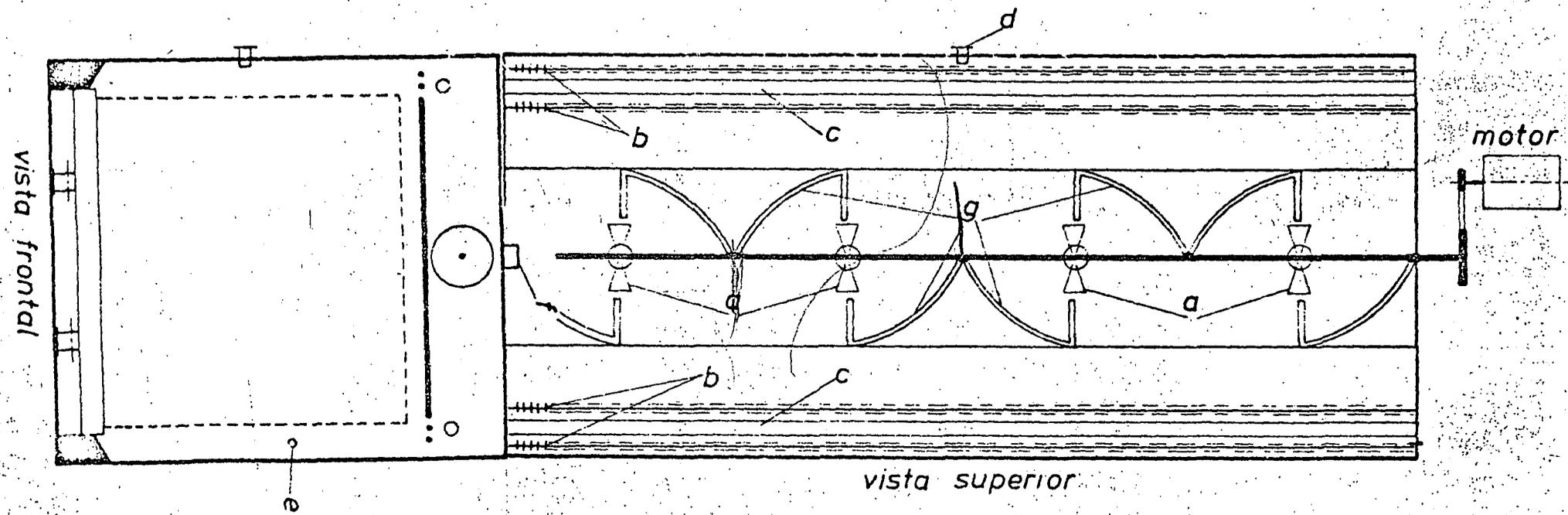
TIPO MOORE- Fabricante-A



- a - ventiladores
- b - serpentinas de aquecimento
- c - vaporizadores
- d - psicrometro
- e - termostato
- f - saída e entrada de ar
- g - deflectores de ar

Figura 8-A - Equipamento para secagem de fabricação nacional em uso no Paraná e Santa Catarina

TIPO MOORE - Fabricante - B

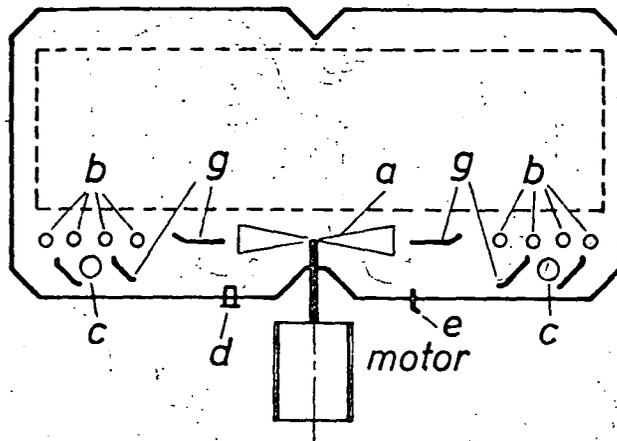


- a - ventiladores
- b - serpentinas de aquecimento
- c - vaporizadores
- d - psicrometro
- e - termostato
- f - saída e entrada de ar
- g - defletores de ar

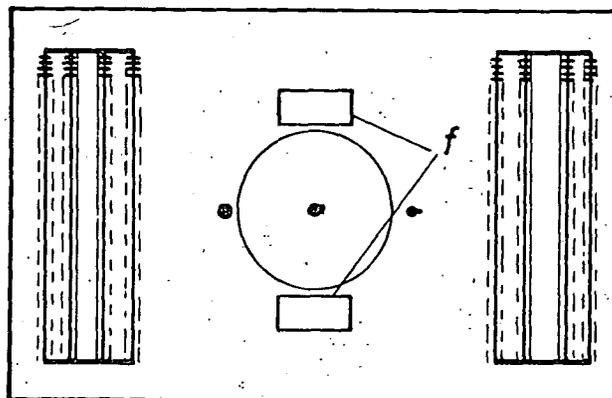
Figura 8 -B - Equipamento para secagem de fabricação nacional em uso no Paraná e Santa Catarina

TIPO HILDEBRAND

vista superior



vista lateral



- a - ventilador
- b - serpentina de aquecimento
- c - vaporizador
- d - psicrometro
- e - termostato
- f - saída e entrada de ar
- g - chapas deflectoras

Figura 8-C Equipamento para secagem de fabricação nacional em uso no Paraná e Santa Catarina.

Com exceção das duas câmaras de fabricação estrangeira todas as demais são construídas em alvenaria, com tijolos maciços e teto em concreto, apresentando com frequência rachaduras na estrutura. Apenas uma câmara localizada possuía um sistema de isolamento simples. As dimensões internas das câmaras, (tabela 5) variam de fabricante para fabricante, e de usuário para usuário. A tendência ao não seguimento das dimensões recomendadas pelo fabricante, em detrimento ao aumento da capacidade da estufa, causou dificuldades na compilação dos dados. A dimensão alterada em geral é a largura da câmara. Pode-se encontrar para o mesmo equipamento e condições, câmaras com dimensão interna na largura variando de 1,60 a 2,50 metros. As variáveis altura e comprimento, quando possuem uma discrepância da planta fornecida pelo fabricante, são a níveis menores, podendo ir de 30 a 40cm.

Tabela 5

Dimensões internas mais comuns das câmaras de secagem do Paraná e Santa Catarina

Dimensão Considerada	TIPO			
	"Hildebrand"		"Moore"	
	Dimensões (m)	Capacidade (m ³)	Dimensões (m)	Capacidade de (m ³)
Altura	2,50		3,40	
Largura	1,80	20	2,50	45
Comprimento	12,00		12,00	

4.1.4.2. Sistema de Aquecimento

O sistema de aquecimento é exclusivamente à base de serpentinas com vapor produzido por caldeira. Em determinados casos, introduziu-se um sistema de controle automático da temperatura (termostato). Em virtude da baixa manutenção e condições de operação precárias (incrustações e partículas introduzidas pelo vapor), dificilmente o sistema funciona satisfatoriamente.

As caldeiras utilizadas para a produção de vapor muitas vezes são centenários, sendo em alguns casos velhas locomotivas. Especificações de marca e modelo, ano, produção de vapor e superfície de aquecimento são em geral inexistentes. Vazamentos pronunciados, evidenciam-se pela falta de manutenção e o não tratamento das águas utilizadas (águas de rios causando incrustações). Foram citados em alguns casos acidentes fatais, em consequência da falta de atenção a estes detalhes (explosão).

Todas as indústrias utilizam-se de resíduos para a alimentação das caldeiras. A pressão usada varia de 3 a 10 Kg/cm². Esta variação é em função da necessidade de vapor e a segurança que a mesma oferece. Dificilmente são encontradas purgadores, ("Steam Traps"), que possuem a finalidade de eliminar do sistema de aquecimento porções de água que, possam a vir se formar por condensação de vapor, ou mesmo bolhas de ar.

4.1.4.3. Sistema de Ventilação

O sistema de ventilação é promovido por ventiladores colocados no interior da estufa. Dependendo do fabricante utiliza-se um tipo de motor, e a rotação no eixo do ventilador varia também com o fabricante e usuário. Para o tipo Hildebrand (figura 8C) normalmente utiliza-se motor de fabricação nacional com 3 a 5HP, sendo que a rotação no eixo do ventilador normalmente atinge 360 rpm. Basicamente a cada 10 metros cúbicos de capacidade de secagem, utiliza-se um ventilador. Assim para uma estufa com capacidade de 20 metros cúbicos existem dois motores, uma para cada ventilador para o tipo Moore, existe um único motor que aciona através de correias a polia do eixo, onde estão colocados os ventiladores, em número de 4 a 6. (Figura 8 A e B). O motor utilizado possui uma potência de 15 a 20 HP e a velocidade obtida no eixo é de 290 a 330 rpm. Em poucos casos existe sistema de ven-

tilação reversível, e quando existentes raramente é utilizado. Este sistema tem a finalidade de reverter o fluxo, dando uma maior uniformidade na distribuição de temperatura e umidade relativa.

Nas verificações gerais sobre o funcionamento do sistema de ventilação pode-se citar:

a. Em determinados casos o motor de 3HP é sujeito a sobre carga, causando aquecimento e em casos extremos a inutilização (queima da bobina).

b. Os mancais do eixo do ventilador apresentam ruídos causados por uma falta de manutenção. Constatou-se nestes casos um desgaste excessivo no eixo e rolamentos, contribuindo com a sobre-carga do motor.

c. Ao ligar-se os motores, afim de iniciar-se a movimentação dos ventiladores, verificou-se situações em que as correias patinam. Isto devido a vários fatores como correias frouxas, eixo mal lubrificado, ventiladores com pás excessivamente pesadas e tipo de correia inadequado.

d. Perigos para o operador, quanto às instalações elétricas como fios sem isolamento, chaves sem proteção, vazamentos de vapor próximos às instalações e exposição às intempéries.

e. As entradas e saídas de ar não funcionam satisfatoriamente, e a movimentação individual causa problemas, o que já foi salientado em outros trabalhos (21).

4.1.4.4. Sistema de Carregamento

O carregamento das estufas é realizado sob vagonetes com uma altura do solo aproximada média de 50cm. Esporadicamente o material é colocado sob o piso. Para câmaras do tipo Hildebrand, a cada $10m^3$ utiliza-se de um vagonete. No tipo Moore é normal utilizar-se vagonetes de $20m^3$. Devido a construção e manutenção, tornam-se pesadas, dificultando grandemente a movimentação.

Dependendo do nível técnico da empresa, os defeitos acima mencionados são mais ou menos acentuados. Nas grandes empresas, que atinge os mercados externos, já aparece uma tendência a tratar da secagem como fator de alta importância no fluxo industrial, e desta maneira maiores atenções são dadas ao equipamento.

4.1.5. Métodos de Secagem

4.1.5.1. Sistema de Empilhamento

Para a sub-região de Curitiba, o método de empilhamento adotado é normalmente bom. Existe uma relativa uniformidade na espessura, sendo que o espaçamento entre sarrafos de 25mm com separação entre os mesmos de 40 a 50cm, numa carga de tábuas de Araucaria com 25mm de espessura. Este fato pode também ser observado para indústrias de outras sub-regiões que dão uma utilização especial ao material final (brinquedos para exportação, torneados, tinas para máquinas de lavar, etc.). Também o material em secagem é bastante uniforme em espessura, sendo sempre da mesma espécie. A separação entre cerne e alburno não é realizada, e é normal ter-se na mesma carga diferentes teores de umidade inicial.

Para as demais sub-regiões, a situação é bastante precária. Os sarrafos separadores possuem variações até 100% em espessura, podendo-se encontrar na mesma carga, sarrafos de 1 até 2mm. Isto causa distorções nas tábuas empilhadas permanecendo após a secagem. Constatou-se ainda, em determinadas indústrias a não utilização de sarrafos separadores, na secagem de pequenos vigotes (2,5 x 2,5 x 180 cm). Os mesmos eram somente colocados no interior da estufa em maços, e submetidos a secagem sem condições de ventilação. Outros problemas são encontrados no empilhamento como de secar-se em uma mesma câmara tábuas de espessura diferente (1,5 até 2,5cm), e ainda de diferentes espécies. É também característica a perda de espaço devido ao mau sistema de empilhamento, como deixando espaço entre as tábuas, o que não é necessário sendo o fluxo de ar horizontal (Figura 9).

No entanto, segundo o usuário, tem a finalidade de aumentar a velocidade de secagem, o que não é verdadeiro, podendo, em virtude da má distribuição, ocorrer o inverso.

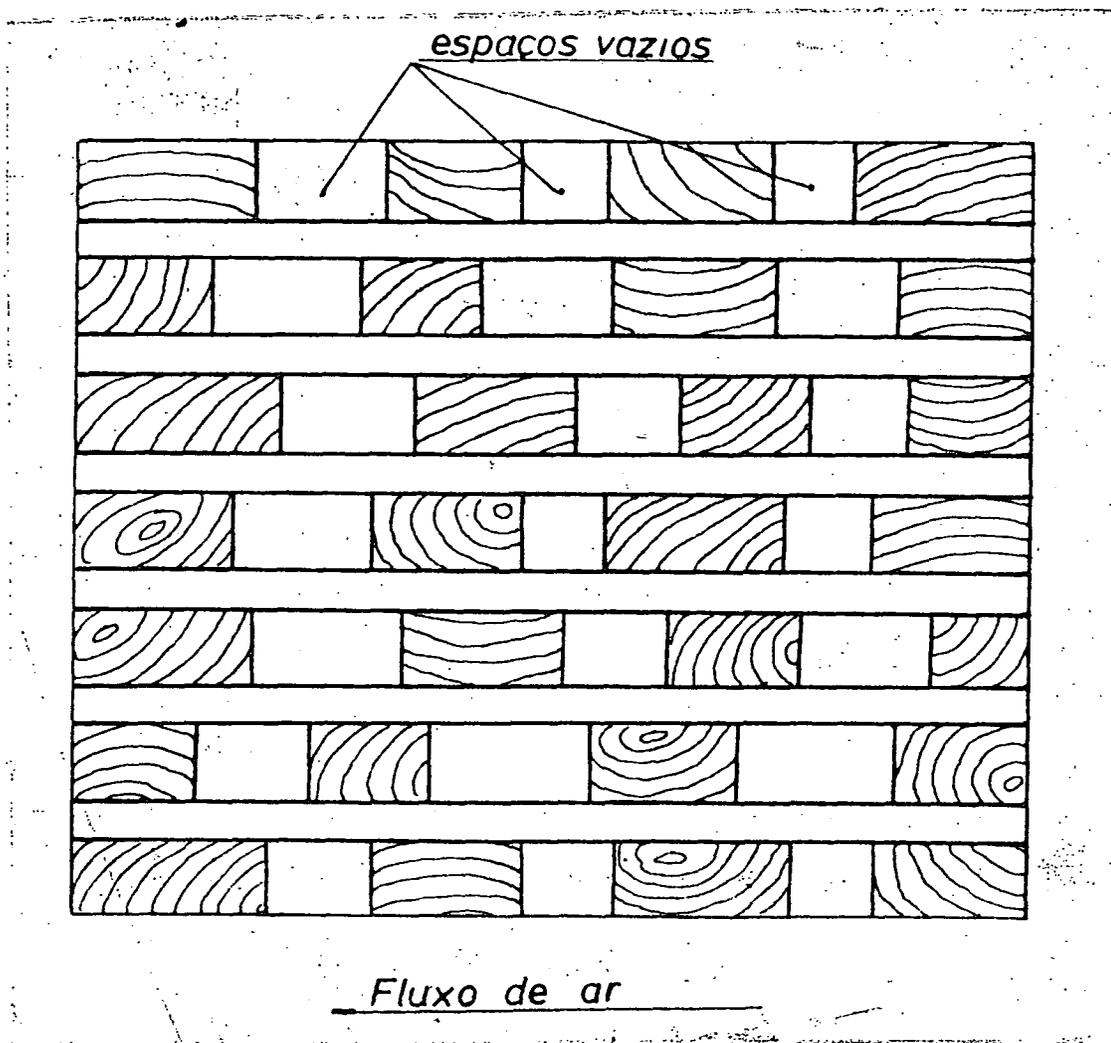


Figura 9. Sistema de empilhamento encontrado em algumas indústrias

4.1.5.2. Programas de Secagem

Os programas de secagem negativos citados por Hilpert (21), são aqueles que representam uma maior porcentagem. A aplicação de uma vaporização inicial (aplicação de vapor saturado diretamente das caldeiras), a temperaturas entre 80 a

100°C, é uma constante em praticamente todas as seqüências de secagem, como também a aplicação do mesmo tratamento em intervalos de tempo de 2 horas.

Apenas uma indústria localizada possui um programa que pode ser considerado tecnicamente elaborado (figura 11). O gradiente de secagem que é a relação entre a umidade atual da madeira e umidade equilíbrio, é utilizado. A madeira primeiramente é submetida a uma vaporização, em um autoclave por duas horas, com pressões pouco acima da atmosfera. Utiliza-se desta vaporização para melhorar as condições de secagem, diminuindo-se o tempo e obtendo-se um produto final de melhor qualidade, segundo experiências realizadas pela própria indústria, sem uma base técnico científica. Todos estes cuidados são em função da necessidade de obtenção de uma qualidade elevada, pois trata-se de material de utilização especial, sendo inadmissível defeitos no produto final. O gradiente utilizado é de 3,5, para espécie do litoral catarinense, cuja secagem é relativamente fácil. Observa-se também uma separação nítida das três fases consideradas em um programa de secagem, cujas podem ser de aquecimento, a da secagem e a do acondicionamento final do material. Neste acondicionamento, também conhecido como "equalização", tenta-se diminuir os gradientes de umidade criados durante o processo (figura 10), evitando-se assim a formação de tensões internas, altamente desfavoráveis na continuidade do processo de industrialização.

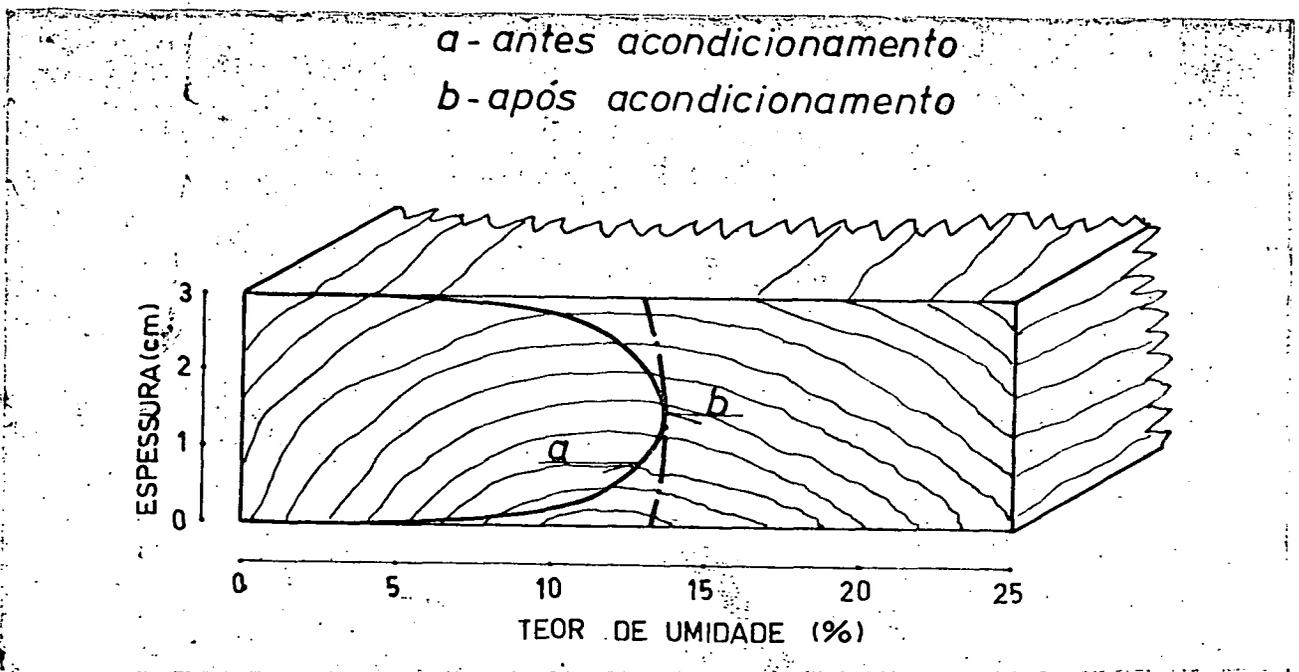


Figura 10 - O acondicionamento do material no final da secagem para diminuição do gradiente de umidade dentro de uma peça.

Pode-se citar certa indústria localizada na sub-região Norte Catarinense (figura 11), como um caso esporádico, em que o programa de secagem encontra-se dentro das técnicas indicadas, obtendo-se resultados muito desejáveis. A experiência e a dedicação no campo é bastante ampla, sendo tida também como a indústria pioneira em secagem artificial de madeiras serradas, com a introdução de câmaras marca Hildebrand em torno de 1953.

Para a sub-região de Curitiba e Sudoeste do Paraná, a situação apresenta-se relativamente uniforme no que diz respeito à sequência aplicada na secagem. Não existe na realidade um programa de secagem, e dependendo da habilidade do operador boas ou más técnicas são empregadas. São normais as aplicações de vaporizações iniciais e a intervalos de tempo determinados, com o aumento da umidade relativa de interior da câmara até 100%, mesmo na fase final da secagem.

Este tratamento é citado como necessário para que não ocorra rachaduras na madeira em secagem. É plenamente justificável em função da aplicação incorreta, principalmente na fase inicial de baixas umidades relativas, causando o endurecimento superficial da madeira (Casehardening), com o aparecimento de grandes tensões internas. A taxa de secagem fica, com isto reduzida, o que já encontra-se citada em algumas publicações (21), bem como outros problemas como rachaduras são frequentes. O controle da umidade relativa dentro da câmara através da quantidade de ar introduzido e removido é perfeitamente viável, mas não tem sido praticado em sua totalidade. Prefere-se a introdução de vapor, proveniente diretamente da caldeira.

Não existe na realidade uma distinção entre as fases de secagem, sendo que o acondicionamento final dificilmente é realizado. É substituído na maioria dos casos por um resfriamento. Este resfriamento lento até temperaturas de 50-60°C, e a partir deste ponto, através de abertura das portas principais procede-se um resfriamento bastante brusco. Métodos de recondicionamento são completamente desconhecidos.

Na figura 12 A e B, encontram-se dois programas de secagem típicos, para as sub-regiões de Curitiba e sudoeste do Paraná, na secagem de madeira de Araucaria angustifolia -Pinho do Paraná, com espessura de 25mm.

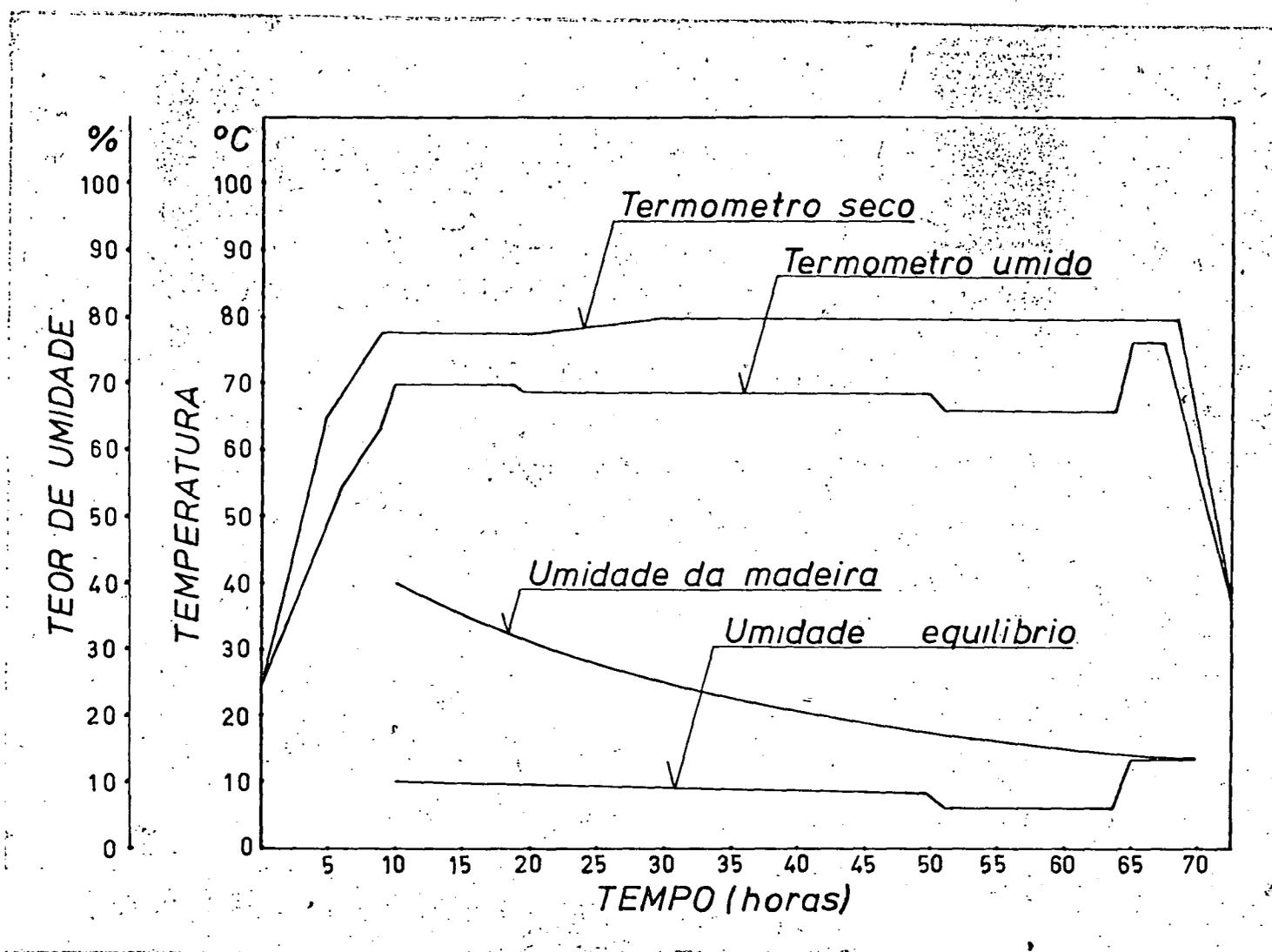


Figura 11 - Programa de Secagem utilizado para madeira do litoral Catarinense - Espessura -30mm - Estufa "Tipo Hildebrand" fabricação nacional - Gradiente de Secagem 3,5

Métodos de acondicionamento (14), ou seja recuperação através de tratamento especial de material que sofreu distorções durante o processo de secagem, não foi constatado. Existe noção de que o aumento da umidade relativa no interior da câmara é necessário se defeitos surgirem durante o transcorrer do processo.

As diferenças existentes são função da habilidade do operador, uma vez que não existe programa pré elaborado. Deve-se levar em consideração também que o equipamento em que utilizou-se o programa, A, é tecnicamente inferior, são provenientes de fabricantes diferentes, de tipo "Moore", com capacidades de carga semelhantes. A insuficiência apresentada pela primeira, deve-se em parte a uma deficiência no sistema de ventilação, comprovado com o levantamento de velocidade de ar realizado posteriormente.

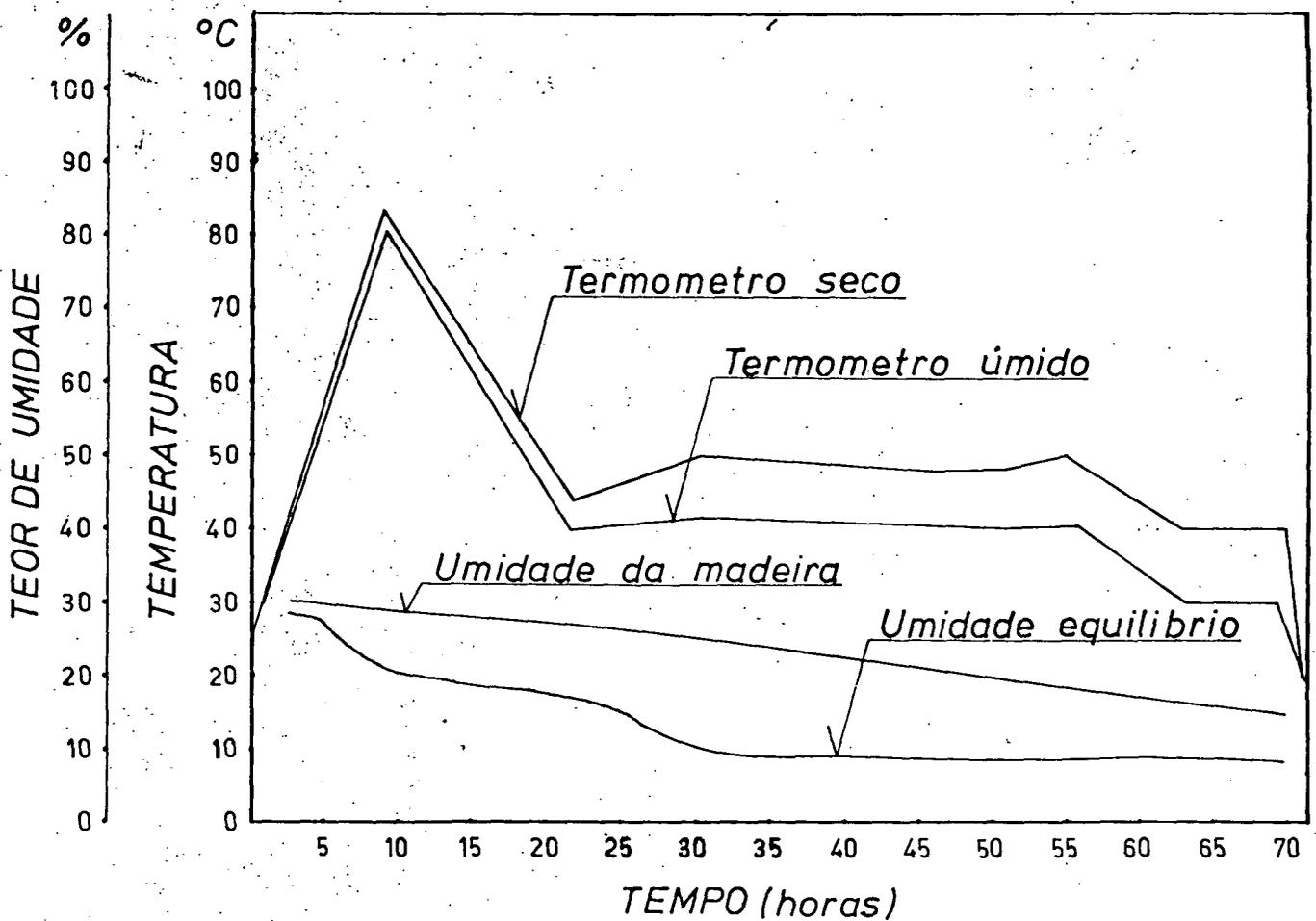


Figura 12-A - Programa de Secagem típico para as sub-regiões de Curitiba e Sudoeste do Paraná.

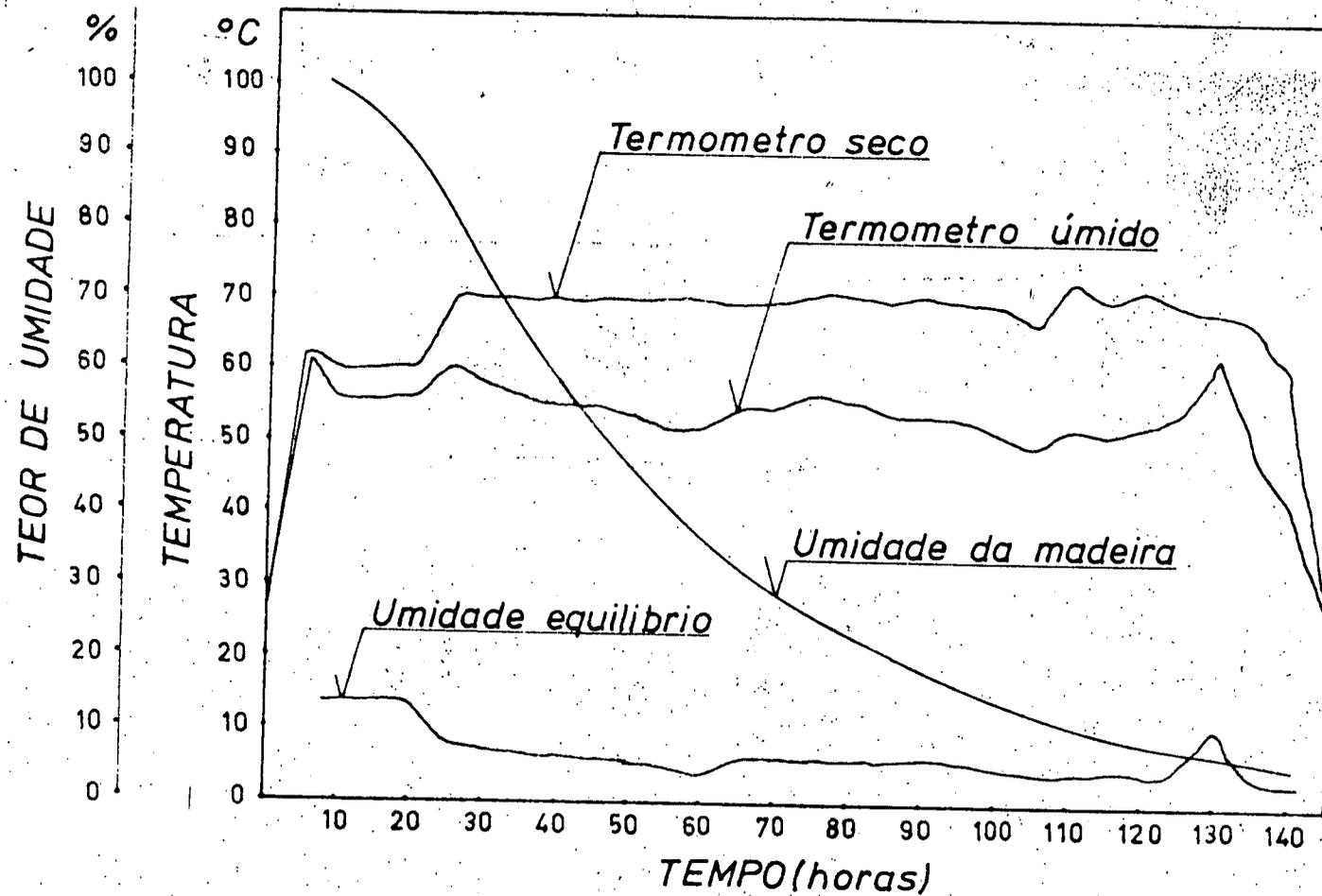


Figura 12-B - Programa de Secagem típico para as sub-regiões de Curitiba e Sudoeste do Paraná.

Verifica-se partes de vaporização inicial e intermediárias, com o aumento de umidade equilíbrio da madeira pela aproximação do Termômetro seco e úmido.

Maiores dúvidas e mudanças contínuas no sistema aplicado para secagem é encontrado para o caso de espécies que não seja a Araucaria angustifolia. Evidencia-se o caso da Imbúia - Ocotea porosa, onde além de tempo de secagem ser elevado, a ocorrência de colapso, rachaduras, arqueamentos e outros problemas tomam grande importância, com um aumento desproporcional no custo de secagem.

Na sub-região do Norte de Santa Catarina e Vale do Itajaí, além de não existir um programa para secagem não existem protocolos que dêem condição de uma avaliação concreta das técnicas empregadas. A sequência em geral consta de uma vaporização inicial que pode variar de 2 a 12 horas, dependendo do usuário, e um período de secagem, com a aplicação de vaporizações periódicas (15 min de 2 em 2 horas). Não existe efetivamente um controle da umidade relativa, mas apenas um limite de temperatura ficando desta maneira sem utilização o termômetro úmido. O acondicionamento final do material não foi constatado. Realiza-se um resfriamento repentino causando problemas típicos do tratamento a que o material é submetido. A mesma metodologia de secagem é aplicada para várias espécies e espessuras, inclusive com tempos semelhantes.

É evidente que os resultados obtidos são bastante divergentes, no que diz respeito a qualidade do produto final (nível de defeitos), e principalmente quanto ao teor de umidade final.

Pode-se constatar secagem com aplicação contínua de vapor saturado, para após submeter-se o material a uma secagem ao ar livre. Neste caso, salientam-se problemas c/o estado de conservação das câmaras (aumento da corrosão, etc), bem como maiores gastos de combustível e água.

4.1.6. Controle de Secagem

4.1.6.1. Equipamento de Controle

O equipamento existente, e em alguns casos utilizado, é o psicrômetro. Pode-se encontrar termostatos para um controle automático da temperatura, que em determinadas situações apresentam um funcionamento satisfatório. Existem em geral válvulas manuais para o controle da temperatura, realizando através da regu-

gem da quantidade de vapor introduzido nos radiadores, o controle de umidade relativa através da regulagem da vaporização, vapor aplicado diretamente sobre a madeira.

Em determinadas situações, com grande expressão nas sub-regiões Norte Catarinense e Vale do Itajaí, existe apenas um termômetro seco, ou existindo um psicômetro, devido a fatores de má conservação, perdem a finalidade: a depressão do termômetro úmido usada para a determinação da umidade relativa na câmara e a umidade de equilíbrio do material.

O equipamento auxiliar de controle mais comum é o medidor elétrico de umidade, o qual dificilmente, apesar de existir é utilizado. Em caso de um nível técnico mais elevado, constata-se balanças e estufas para corpos de prova, visando o controle do processo pelo método de pesagens a determinados intervalos de tempo.

Plotadores de gráficos e sistemas mais sofisticados não foram constatados durante o levantamento.

4.1.6.2. Métodos de Controle

Quando existente, o método de controle por pesagem, é em alguns casos adequadamente realizado. Pequenos detalhes, no entanto, podem acarretar erros significativos nos resultados. Inicialmente, é retirado um corpo de prova com uma espessura de alguns milímetros (5-8mm), do material que será submetido a secagem (figura 13). Esse pequeno corpo de prova é pesado no estado original, obtendo-se um peso denominado úmido (P_u). Com a colocação na estufa para corpos de prova, reduz-se a um teor de umidade igual a 0%, obtendo-se o peso denominado seco (P_s); Com estes dados obtém-se através da equação 1^o teor de umidade que o material deverá estar antes do início de processo.

A amostragem realizada para a obtenção de um corpo de prova que seja representativo da carga, é duvidosa. Problemas mais graves ocorrem na secagem da pequena amostra. O uso de temperaturas demasiadamente elevadas, e sem um controle real (estufas de fabricação caseira), podem causar a evaporação de outros componentes, que não sejam a água, obtendo-se resultados errôneos no cálculo final.

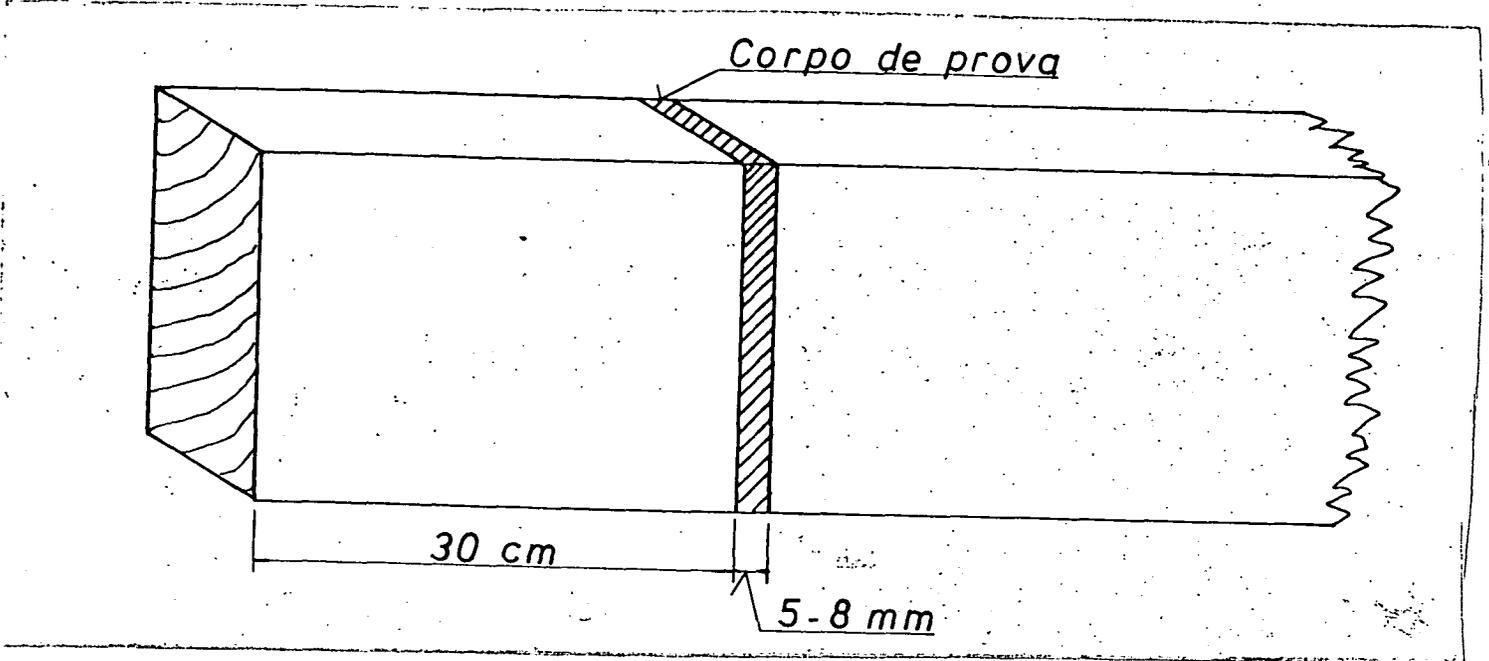


Figura 13 - Obtenção do corpo de prova para determinação do teor de umidade inicial.

A amostra de proporções maiores é colocada na pilha figura 14, em local apropriado para que possua - se facilidade de retirar. Será o "ponto de apoio", ou seja deverá representar a queda de umidade da pilha dentro da câmara durante o processo de secagem.

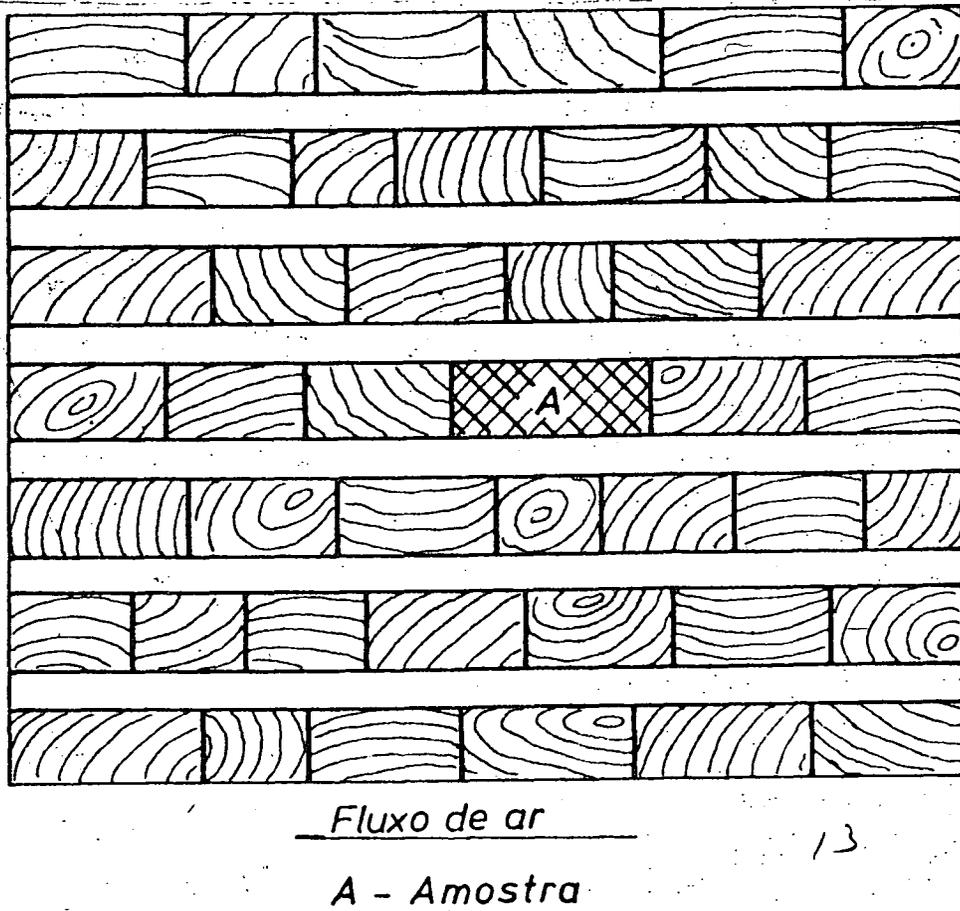


Figura 14 - Amostra colocada em uma pilha para secagem artificial.

Supõe-se que esta amostra possua um teor de umidade (u_i) idêntico ao do pequeno corpo de prova, para um determinado peso (P_i), tomado antes do início da secagem. Pode-se calcular o peso a diferentes teores de umidade (U_f). O cálculo realizado através da equação 11 é encontrado em determinadas indústrias, mas com a restrição que o único valor de real interesse no caso, é o calculado para o teor de umidade final desejado. Com isto a opinião geral segue que deve-se evitar ao máximo defeitos, seguindo uma secagem mais rápida possível (o que é correto) buscando-se atingir o peso final da amostra desejada. Não considera-se outros fatores como gradientes, tipos de água existentes na madeira e sua influência na secagem.

$$P_f = \frac{P_i (100 + U_f)}{100 + U_i} \quad \text{Equação 11}$$

Dependendo da perícia do operador, ocorre um aumento da temperatura e da diferença entre os termômetros seco e úmido (diminuição da umidade relativa), à medida que o valor do peso da amostra aproxima-se do peso final desejado.

A pesagem é realizada em intervalos variáveis, dependendo do usuário, normalmente de 12 em 12 horas.

A amostra colocada na pilha, no interior da câmara é em geral de pequeno comprimento, comparando-se com o total da carga. Como somente em casos esporádicos é feita uma impermeabilização dos topos (seção transversal), e sendo a perda de umidade por esta seção, numa proporção muito superior as ocorrentes pelas faces tangenciais e radiais, erros são cometidos, com a queda de umidade (velocidade de secagem) maior na amostra, não representando o total da pilha.

Considerando-se as sub-regiões do Norte Catarinense e Vale do Itajaí, com ligeiras excessões, o sistema de controle é inexistente. O material é colocado na câmara, submetido a uma vaporização inicial. A secagem é realizada sem uma verificação do teor de umidade inicial ou final. Supõe-se que a madeira encontra-se seca quando nas saídas de ar, colocadas na parte superior da câmara, não seja mais expelido ar saturado, chegando-se a esta conclusão quando desaparecem as gotículas que condensam-se na saída. Não existem efetivamente passos ou intervalos de controle.

4.1.6.3. Pessoal de Operação

A predominância de pessoal de operação com baixo nível técnico, típico no setor madeireiro, aliada à falta de experiência agrava a situação.

A técnica aplicada tem origem em geral nas experiências da própria indústria e do operador (quando este possui condições). Considerando-se a grande maioria das empresas com instalação recente de estufas, é fácil avaliar a situação atual, no que toca a operadores.

A remuneração do operador, é na maioria dos casos, não condizente com a responsabilidade atribuída. Essa responsabilidade é em geral distribuída desde o recebimento do material, até a entrega da madeira seca para venda em forma de serrados, ou para beneficiamento futuro.

Existem casos, não representando parcela elevada, em que o operador possui uma maior experiência, com conhecimento técnico, considerado superior à média. A origem da técnica é atribuída a especialistas estrangeiros, que em curtas estadas nestas indústrias, deixaram boas noções de secagem. Estas noções, por sua vez foram distribuídas de operador a operador, e a medida que mais se distancia do ponto original, diminui a capacidade produtiva do elemento.

Pode-se citar que o pessoal de operação, seu nível técnico e interesse pelo melhoramento das condições, é diretamente ligado ao nível técnico da empresa em que o indivíduo é atuante.

4.1.7. Resultados Obtidos

4.1.7.1. Uniformidade e Defeitos

Fatores inerentes ao equipamento e outros devido a uma falta de separação prévia entre alburno e cerne (para indústrias com nível técnico mais elevado), e a mistura de espécies e espessuras (para indústrias técnicas com nível mais baixo), além de métodos de empilhamento, contribuem sensivelmente na falta de uniformidade do teor de umidade final do material submetido a secagem artificial.

A distribuição não homogênea da circulação de ar, provoca gradientes, em determinados casos elevados ac

longo do comprimento e da altura da pilha. Este fator atribuído à falha do equipamento, é uma constante em praticamente todas as câmaras de secagem, conforme levantamento das velocidades de ar realizado (veja item 4.2.1.). A intensidade desta variação em sua maioria é ligada ao fabricante, mas também ao usuário (alterações e melhoramentos introduzidos, manutenção do equipamento).

A separação de cerne e alburno, é bastante difícil, em se tratando de madeira de Araucaria angustifolia. Uma das maneiras, com possibilidade de aplicação seria a adoção de novos métodos de serrar (29), que deveriam ser cuidadosamente investigados. Considerando-se folhosas, esta separação seria mais viável. Os resultados obtidos tornariam com certeza, perfeitamente econômica, a seleção prévia. Os problemas causados são, além da falta de uniformidade no teor de umidade final, empenamentos e torções, devido tratar-se de tecidos lenhosos com propriedades diferentes.

A inexistência de bases técnico-científicas, a falta de atenção atribuída no setor secagem, e o não planejamento industrial (abastecimento de matéria prima, atendimento ao mercado, etc.), são fatores que contribuem para que a uniformidade e, conseqüentemente a qualidade do produto final, não seja o desejável. Através de diferentes espécies e espessuras numa câmara de secagem, e métodos incorretos de empilhamento, os problemas são agravados.

Pode-se verificar, em determinadas indústrias, em que o sistema de empilhamento aplicado não trazia condições reais de circulação, peças com teores de umidade de 8%, e outras podendo atingir até 50% de umidade, com o aparecimento de fungos na superfície (bolores) em madeira tida como seca. A secagem neste caso era realizada a temperaturas entre 40 e 50°C, sem um controle efetivo de umidade inicial, final e de programação.

É evidente, à medida que cresce o nível das empresas tecnicamente, os gradientes, ou seja a variação do teor de umidade entre peças de uma mesma pilha, após ter sido submetida à secagem, não chegam a ser significantes.

A falta de método adequado para o acondicionamento do material após submetido a secagem, faz com que ocorram gradientes de umidade elevados. Não há possibilidade, desta maneira, de utilização imediata na sequência de produção, havendo necessidade de um período para uma "equalização", ao ar livre, chamada de período de descanso, variando de 2 a 4 dias, conforme a região. É evidente que as tensões existentes, como já é de conhecimento do madeireiro causam problemas com perdas de desclassificação do material. Este tipo de defeito é conhecido como enca-

noamento (figura 15), muito comum em todas as indústrias usuárias de secagem artificial.

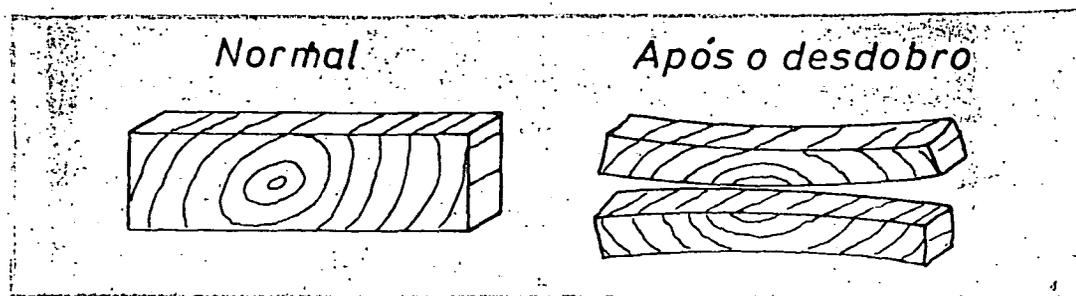


Figura 15 - Encanoamento causado pela falta de acondicionamento ou por endurecimento superficial (Case-Harding) quando a peça é subdividida em duas porções.

Outros defeitos mais ocorrentes no material são as rachaduras, e, empenamentos. Em determinados casos atingem níveis bastante elevados, dificultando a retirada das pilhas da câmara. Para o caso específico da Imbuia, problemas graves decorrentes do colapso, ou seja uma desuniforme da peça (figura 16), são típicos. Este tipo de defeito é provocado pela tensão superficial da água, e portanto somente ocorre acima do ponto de saturação das fibras (PSF 28% de umidade), dentro do intervalo da ocorrência de água livre.

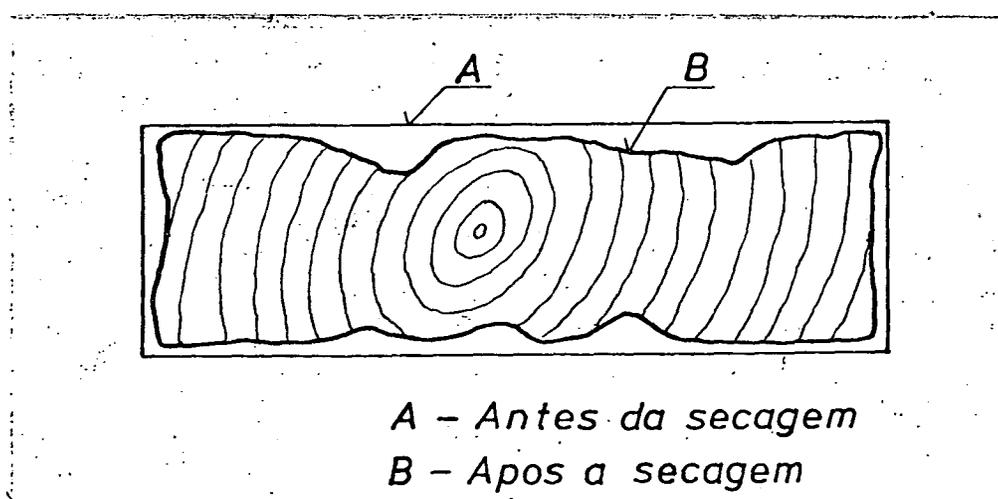


Figura 16 - Seção transversal de Peça de Madeira que sofreu Colapso.

A intensidade de ocorrência deste tipo de defeito é diretamente proporcional a temperatura (14), não sendo influenciada pela umidade relativa do ambiente.

Computando-se os dados obtidos, pode-se afirmar que as perdas de madeiras, em câmaras de secagem artificial, devido a defeitos, chegam ao nível de 5% em média. Não computa-se perdas referentes a desclassificação do material, principalmente no caso do destinado a exportação, que pode chegar a 30 ou 40%.

4.1.7.2. Aceitação do Mercado

O mercado de consumo externo, é na realidade o responsável pela introdução da grande maioria das câmaras. A exigência de teores de umidade abaixo dos obtidos em secagem ao ar livre, foi o fator preponderante na instalação das estufas. A aceitação do material, é, em determinados casos para o mercado externo, problemática. Cita-se ocorrência de devolução do material acarretando prejuízos de elevada monta. Esta preocupação constante faz com que haja uma tendência, por parte das indústrias exportadoras, de melhoramentos no processo de secagem.

Para o caso específico de exportação, existem cotas adicionais, pagas pelos importadores, para madeira submetida a secagem em estufas.

O mercado nacional, principalmente o que não seja de grandes centros é pouco exigente. Não ocorrem preferências significativas entre madeira submetida a secagem artificial ou natural. A inexistência de especificações e normas na construção civil, e o elevado teor de umidade de equilíbrio da madeira contribuem para esta situação. Os preços do mercado nacional não são alterados com a aplicação da secagem artificial.

4.1.7.3. Problemas das Empresas

Os problemas enfrentados pelas indústrias adeptas da secagem artificial são relacionados principalmente com o programa de secagem. Não existe efetivamente, no que toca à técnica de secar, assistência por parte do fornecedor do equipamento. As noções fornecidas ao comprador do equipamento são realmente de baixa valia, e o usuário as cita como impraticáveis.

As recomendações dadas pelo fabricante do equipamento, quando existente seguem ao exemplo abaixo:

"INÍCIO DA SECAGEM: Fechar as portas, ligar os ventiladores, não os desligando até tirar a madeira da estufa. Fechar a entrada do ar fresco em baixo e a saída em cima, em seguida abrir os registros da vaporização (ou cozimento ou banho). Assim vaporizando em geral a média de 12 horas, atingindo com os termômetros 70 a 80°C. Terminado este processo, começa a secagem da madeira, dependendo das qualidades e tipos de madeira. Madeiras oleosas ou de mais resinas, necessitam de mais vaporização. Depois da vaporização abre-se a gaveta do ar fresco e saída do ar saturado por 3 centímetros, fechando os registros da vaporização, abrindo os dos radiadores, observando se os purgadores estão funcionando.

Segue esquema secagem:

- Pinho - verde acima de 45% de umidade, início c/ radiador 40-45°C.
- Canela - madeira com 30% de umidade, início c/ radiador 45-50°C.
- Cedro - madeira com 30% de umidade, início c/ radiador 55-60°C.
- Peroba - madeira com 20-30% de umidade, início c/ radiador 55-60°C.

Estas madeiras acima relacionadas, com grossuras de 25mm, necessitam 120 horas. Depois de terminada a vaporização por 12 horas contínuas, liga-se os radiadores por 3 horas de secagem e adicionando-se um pouco de ar fresco deixando sair pouca quantidade de ar saturado, pois a madeira é obrigada a continuar úmida. Passadas as 3 horas de secagem de radiadores, muda-se novamente para 1/2 hora de vaporização, fechando a gaveta de baixo e de cima, continuando este processo de 3 horas secagem, 1/2 hora vaporização, até a metade do tempo de secagem, podendo-se aumentar o sistema de secagem, exemplo: aumentar mais 5 a 10°C, 3 horas de secagem com os radiadores e 1/4 hora vaporização, com 1/2 até 3/4 de abertura nas gavetas até chegar o final da secagem. Aconselhamos também esfriar a madeira dentro da estufa, desligando o vapor completamente, abrindo as gavetas completas e deixando o ventilador correndo até mais 3 horas."

Analizando-se estas recomendações, verifica-se:

a. A vaporização inicial, sem justificativa com possibilidade de aumento no tempo de secagem, quando o material estiver a teores de umidades iniciais relativamente baixos (25-30%).

b. Não é definido o termo "madeiras oleosas", e se tratando de madeiras com presença de resinas, já mais recomendar-se-ia vaporizações iniciais até 80°C. Temperaturas neste nível, fatalmente iriam dissolver a resina, provocando obstruções das aberturas (caminhos do fluxo d'água) existentes na madeira, e em consequência maior dificuldade na retirada da água.

c. O controle da umidade relativa, conforme o citado, é feito na abertura da entrada de ar, mas não é determinado o seu valor através de leituras psicrométricas. Observa-se um completo abandono do uso da depressão do termometro úmido, o que não é citado nas recomendações. Desta maneira é completamente desconhecido o valor da umidade relativa dentro da câmara (o que não pode ser determinado ou medido através de centímetro deixado na entrada do ar), bem como a umidade de equilíbrio do material em secagem e o gradiente de secagem, fatores estes indispensáveis para o desenvolvimento correto da operação.

d. Interessante é observar-se que para quatro espécies, que possuem características tecnológicas bastante divergentes, é citado um único tempo de secagem (120 horas). A temperatura aplicada para o Pinho (conífera), encontra-se a níveis mais baixos que as temperaturas recomendadas para as outras três espécies (folhosas). Pela própria estrutura anatômica das folhosas, as temperaturas indicadas deveriam ser menores que para o caso das coníferas (26). O tempo de secagem também é muito variável com a espécie, não podendo ser computados tempos idênticos.

e. As vaporizações em intervalos de tempos de 3 horas, são recomendadas, mesmo perto da fase final de secagem, molhando-se a madeira quando esta apresenta-se a teores de umidade bastante baixos. Com isto aumentar-se-á o tempo de secagem, o que nunca é desejável.

f. A fase de acondicionamento final é completamente desprezada.

Os melhoramentos dos resultados, são obtidos por experiência da própria indústria, e os prejuízos e conômicos podem ser maiores ou menores, dependendo do interesse do industrial e do operador.

Também assistência ao próprio equipamento visando um perfeito funcionamento é citado como insuficiente. Estas falhas podem ser atribuídas a falta de equipamento até então existente no mercado, estando vigente a lei da oferta e procura, devido ao grande número de novos adeptos e à seca artificial.

Cursos e publicações referentes ao campo de secagem artificial é normalmente de interesse, em virtude da inexistência de operadores para estufas na atualidade. Isto está desenvolvendo uma concorrência muito grande em torno deste tipo de mão de obra especializada.

Em alguns casos, normalmente em indústria em que o nível técnico não é dos mais desejáveis, este interesse é restrito. Citam-se como terem atingido o auge da técnica e a consideram como estável e imutável. Com facilidade percebe-se, em todos os setores de uma indústria nessa situação, uma "mentalidade madeireira extrativa tradicional", com desinteresse por uma melhor produtividade e técnica. Os grandes lucros até agora usufruídos pelo campo madeireiro, aliado a pouca exigência da qualidade do produto no mercado nacional, contribuem sensivelmente para esta situação atual. No entanto com a proximidade da extinção das reservas naturais no sul do Brasil, e problemas inerentes ao próprio mercado, a situação tende a uma mudança, o que acentuou-se nestes últimos meses de 1974, com uma queda na procura, e maiores exigências na qualidade do produto.

4.1.8. Custos de Secagem

Não foi constatado em nenhum caso a existência do cálculo dos custos relacionados, tanto à secagem ao ar livre como à secagem em estufas. Em certos casos há uma noção de que o custo de secagem em estufas é menor que o no processo ao ar livre. O fator primordial seria o juro sobre o capital empatado no material em secagem, devido ao elevado tempo que é necessários para atingir-se um teor de umidade desejado. Mas, em regra geral, a aplicação da secagem artificial, é em função da necessidade de flexibilidade da adaptação da produção ao mercado e um menor investimento em estoques.

Valores aproximados fornecidos por algumas indústrias dão uma noção quantitativa dos custos de secagem. Considerando-se a Araucaria angustifolia, com uma dimensão de 2,5 centímetros o custo de secagem ao ar livre estaria em torno de Cr\$ 120,00 por metro cúbico.

A tabela 6, considera a distribuição de custos por metro cúbico de madeira seca, para a espécie Ocotea catarinensis (Canela), com uma dimensão de 2,0 centímetros, considerando-se um tempo de secagem igual a 100 horas, que obteve em condições normais num processo industrial.

TABELA 6

Distribuição dos custos na Secagem em Estufa

Tipo de Custo	Custo por m ³ de Madeira seca (Cr\$)	Participação Individual %
1. Depreciação	4,12	3,36
2. Juros sobre capital equipamento	8,92	7,27
3. Mão de obra	20,87	17,00
4. Combustível	4,13	3,36
5. Empilhamento e desempilhamento	5,88	4,79
6. Juros sobre capital material em secagem	2,50	2,04
7. Energia	19,42	15,82
8. Água	0,17	0,14
9. Manutenção	6,74	5,49
10. Perdas e desclassificação do material	50,00	40,73
TOTAL	122,75	100

O anexo II, demonstra a sequência utilizada para o cálculo dos valores computados na tabela 6.

Os custos computados levam em consideração as condições específicas para a região do Norte Catarinense, em meados de 1974. Considerou-se um tempo de depreciação igual a 10 anos, e a taxa de juros igual a 1,8% ao mês. As câmaras de secagem, em número de duas são de fabricação nacional, do tipo Hildebrand, com uma capacidade nominal instalada de 20 metros cúbicos cada.

A elevação do custo de secagem deve-se principalmente a perdas e desclassificação do material, que na maioria das situações são bastante mais elevados, que as consideradas acima.

Em caso do investimento em manutenção não ser realizado, ter-se-á um tempo de depreciação bastante menor, o que foi constatado em algumas indústrias, cujas câmaras, após um período de 3 anos de utilização, encontram-se em situação bastante precária.

Salienta-se que os dados relativos ao custo de secagem, são a caracter de informação preliminar, no intuito principal de dar uma noção básica no que toca a sua distribuição. Somente com estudos mais profundos neste setor, o que não é objetivo primordial da presente, poder-se-ia obter dados concretos para diferentes regiões e situações, sumamente importantes para cálculos de custos gerais de uma empresa.

4.2. Etapa Especial

Somente na câmara do tipo Moore, de fabricação nacional, é que realizou-se os testes de velocidade do ar, e de distribuição de temperaturas e umidades relativas. Isto em virtude das câmaras do tipo Hildebrand serem de difícil acesso ao seu interior, quando introduzidas as pilhas, bem como a tendência das do tipo Moore apresentarem maiores problemas, atribuídos preliminarmente a uma má distribuição dos fatores ambientais influentes na secagem, conforme observações.

4.2.1. Teste de Velocidade do Ar

Tres diferentes câmaras, de dois fabricantes foram investigadas, possuindo capacidades idênticas. Em duas das estufas, apesar de pertencerem ao mesmo fabricante, existem características, em que diferem, apesar do motor, redu

ção e ventiladores não possuem diferenças significativas. Estas características divergentes, são relacionadas a disposição de deflectores ou orientadores de ar, do sistema de aquecimento e da própria estrutura da estufa.

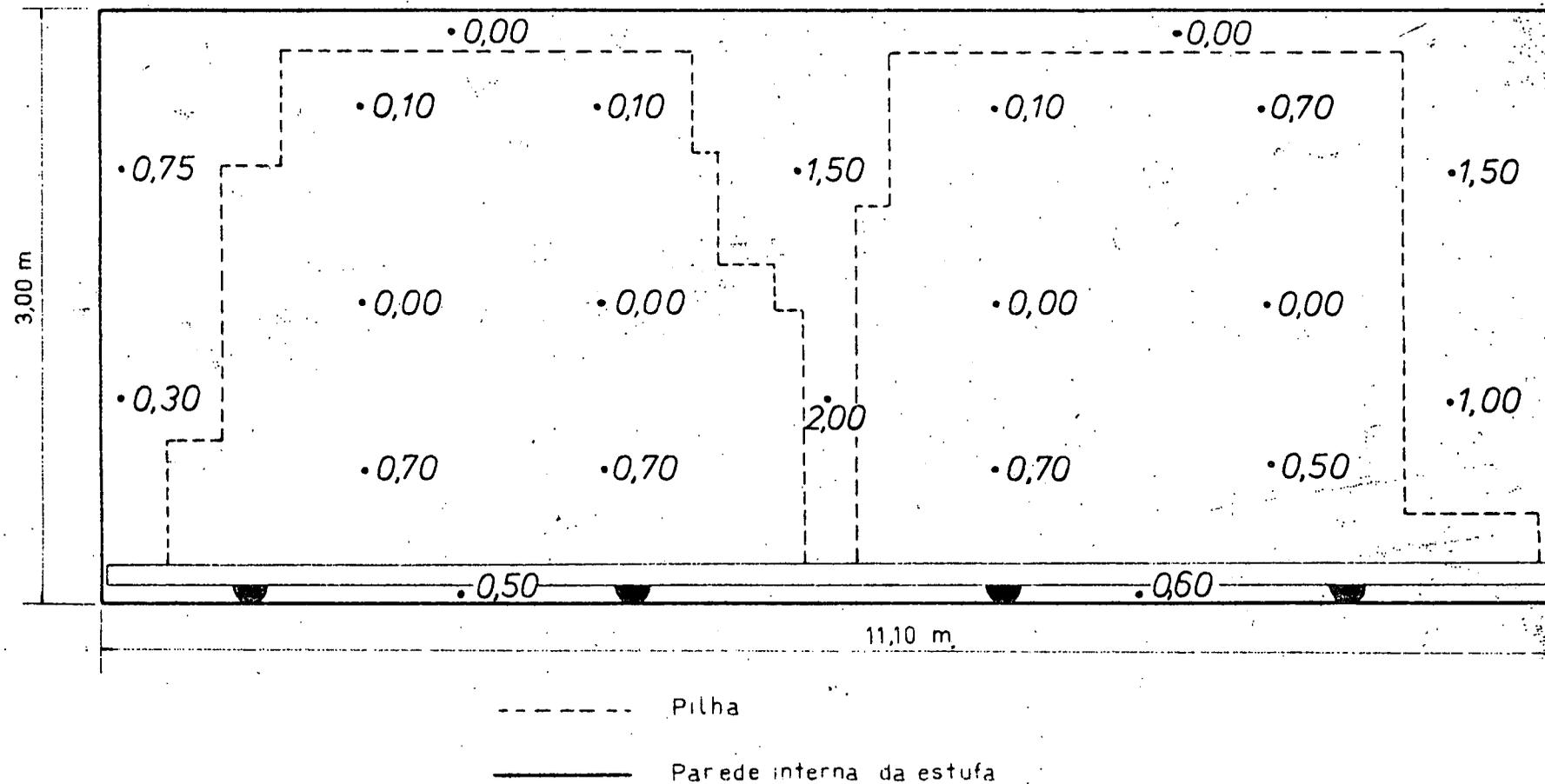


Figura 17 - Velocidades de ar em metros por segundo - Características da câmara
 Fabricante A - Tipo 1 - Motor - 15HP - Rotação do eixo do ventilador
 290 r.p.m. - Número de ventiladores - 4
 Largura da Pilha - 4 metros
 Obs. Sistema não reversível

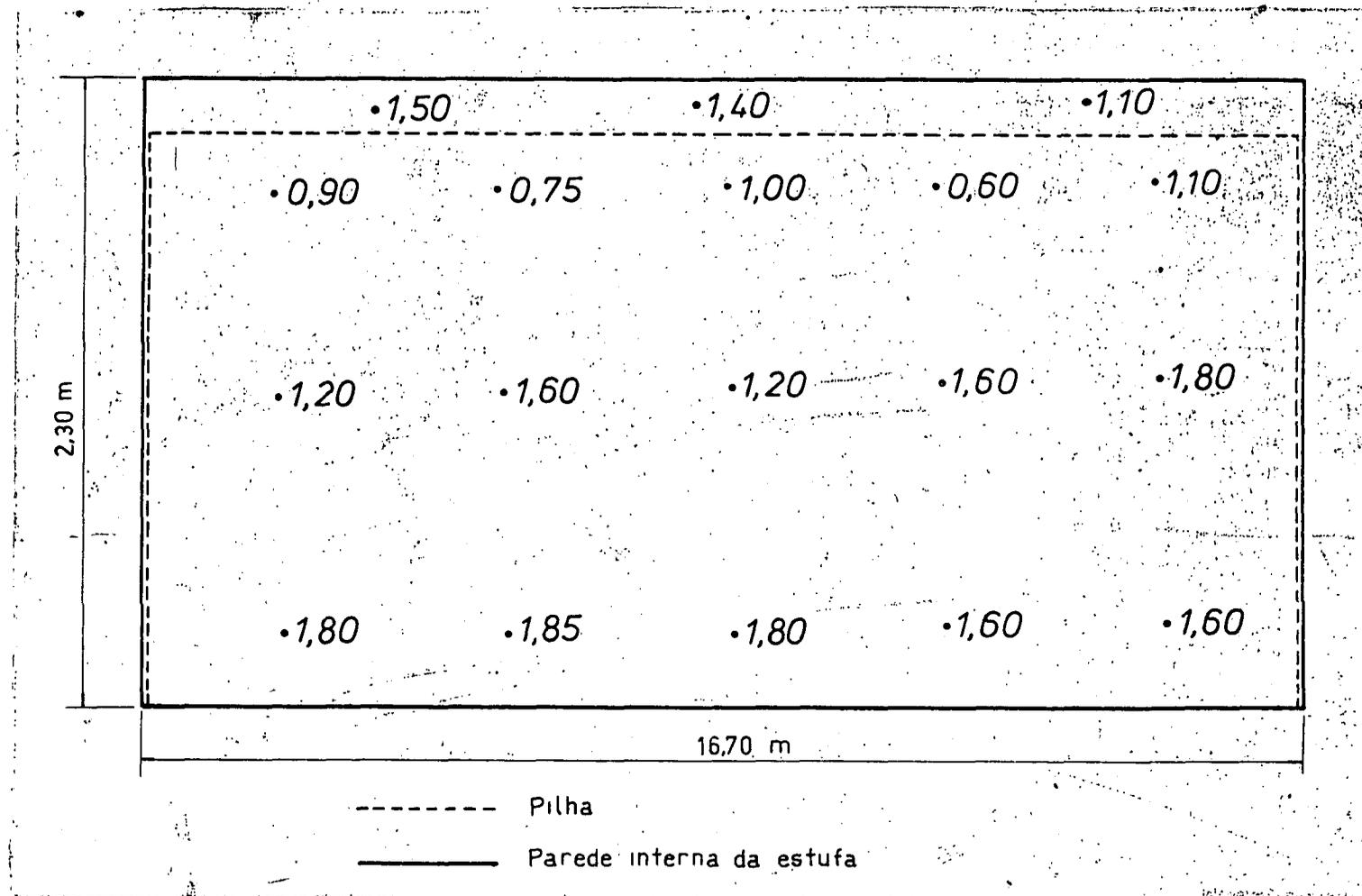


Figura 18 - Velocidades de Ar em Metros por Segundo
 Características da Câmara
 Fabricante A - Tipo 2 - Motor - 15HP - Rotação no eixo do Ventilador
 290 r.p.m. Nº de ventiladores - 6 - Largura da Pilha - 2,50 metros

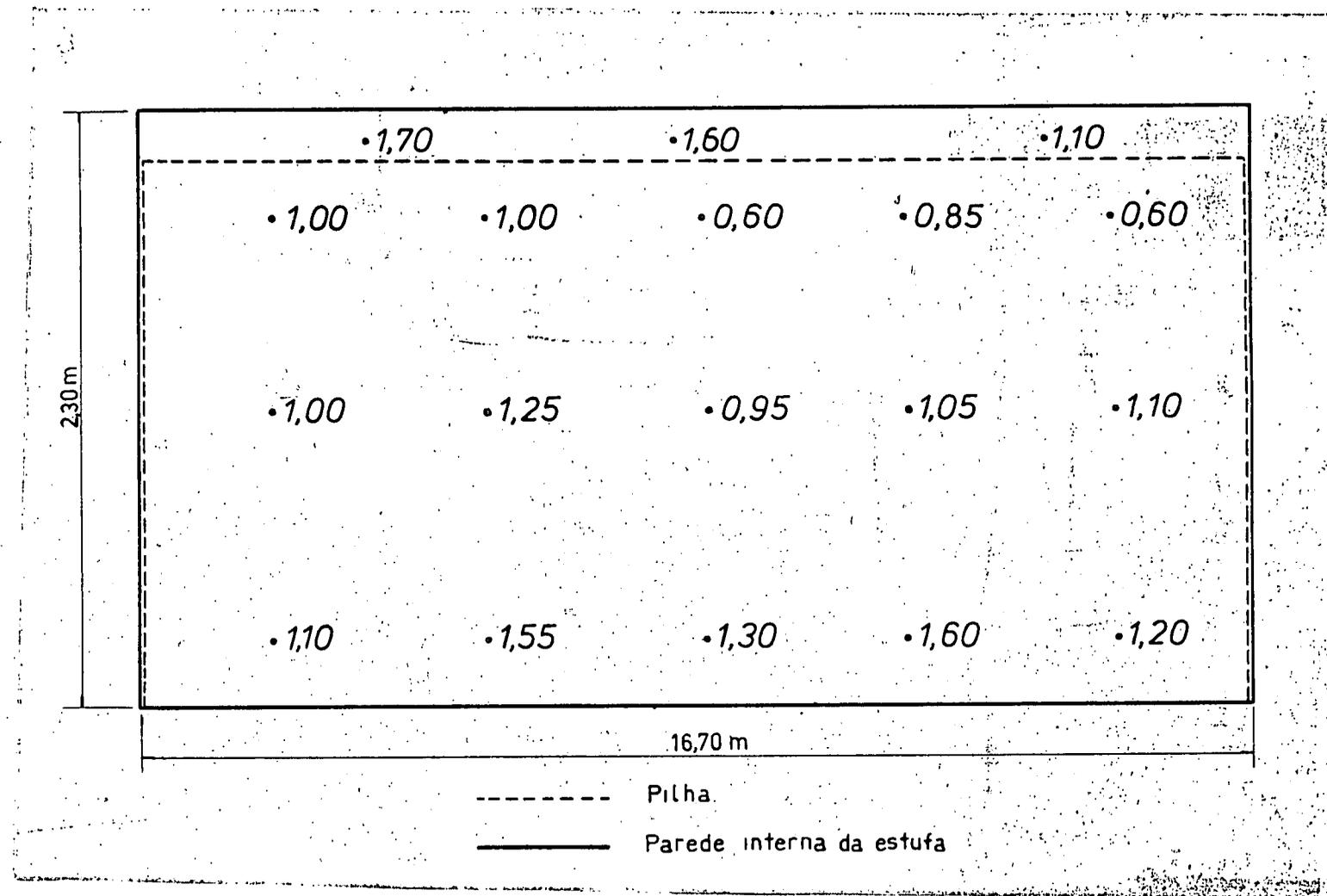


Figura 19 - Velocidades de Ar em metros por segundo com a reversão do fluxo de ar na câmara da Figura 18.

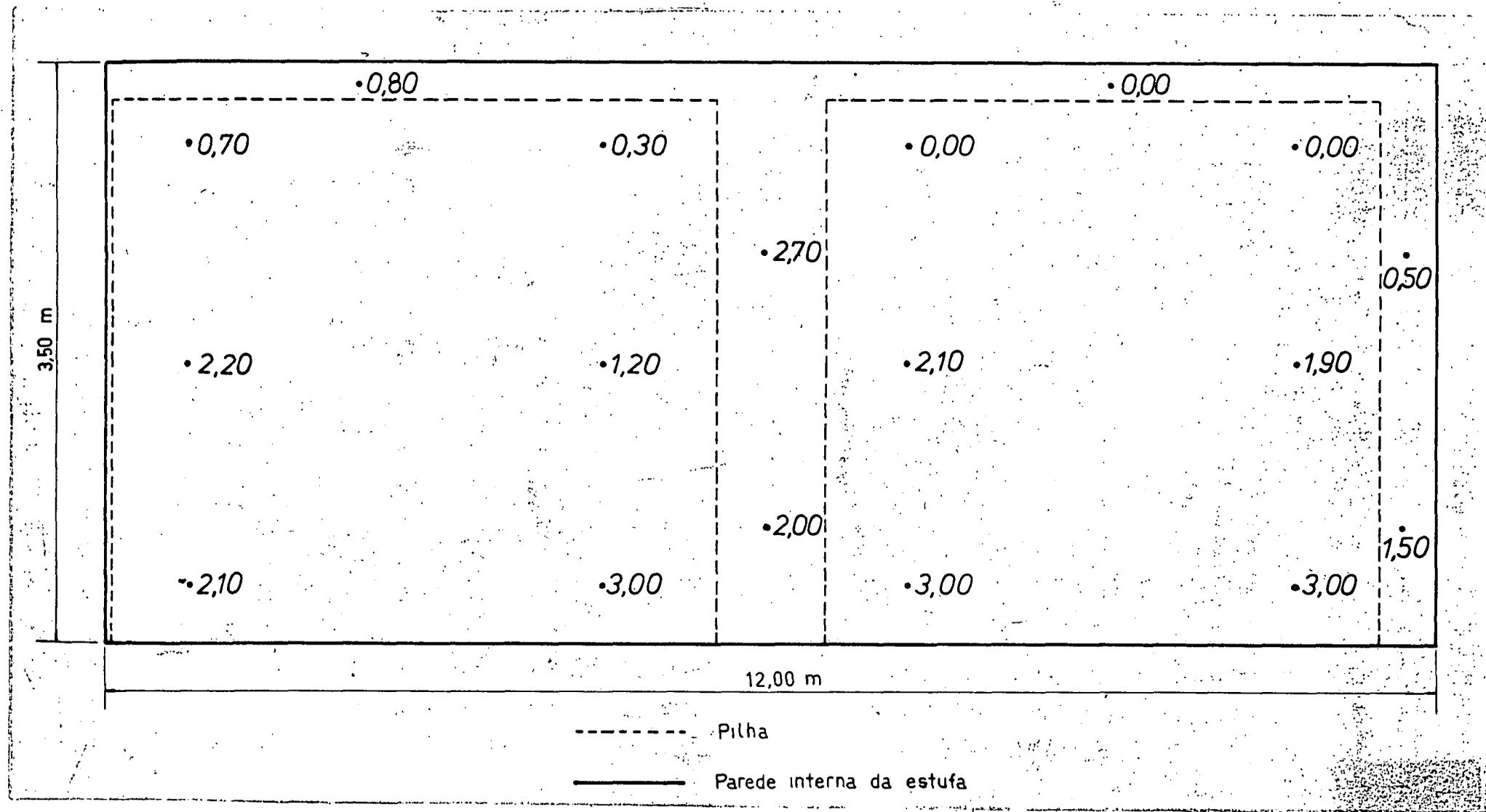


Figura 20 - Velocidades de Ar em Metros por Segundo
 Características da Câmara - Fabricantes B - Motor 20 HP
 Rotação do Eixo do Ventilador 330 r.p.m. - Número de Ventiladores 4 - Largura da Pilha 4 metros.

TABELA 7

Comparação do Volume de Ar Produzido por Ventilador de Diferentes Equipamentos

(a)	Fabricante A Tipo 1	Fabricante A Tipo 2		Fabricante B
		Direita	Esquerda	
Total da área aberta entre tábuas espaço formado pelos sarrafos separadores - m ²	12,544	10,02	10,02	13,375
(b) Velocidade média do ar passando pela área m/s.	0,3	1,083	1,320	1,625
(a) x (b) Volume de ar passando pela pilha' m ³ /s.	33,705	10,852	13,238	21,739
(A) Total da área aberta lateral superior e inferior a pilha m ²	14,950	3,34	3,34	6,04
(B) Velocidade média do ar passando pela área m/s.	0,815	1,467	1,333	1,25
(A) X (B) Volume de ar passando nas partes superiores, inferiores e laterais m ³ /s	12,184	4,900	4,452	7,550
Volume total de ar produzido pelos ventiladores m ³ /s.	15,947	15,752	17,678	29,284

Analisando-se os resultados computados na tabela 7, pode-se citar em todos os casos, uma deficiência de circulação de ar. A velocidade de ar indicada, conforme experimentos de Rucker e Smith em 1961 (26) é de 2,5 - 3 m/s . Este intervalo é considerado como um ótimo de equilíbrio entre a taxa de secagem e o custo considerado para a ventilação.

Torgeson (37), indica velocidades de ar como ideais entre 2,7 e 2,4 m/s. Cita que o gradiente transversal de temperatura e umidade relativa na largura da pilha, que é consequência de um fluxo de ar laminar, que diminui a temperatura e aumenta a umidade relativa, a medida que passa através da largura da pilha. No fluxo laminar, é típico a velocidade do ar assumir velocidade parabólica, quando em passagem entre duas superfícies, com as menores velocidades localizadas próxima a superfície do material em secagem (figura 21). Com isto, pouca é a capacidade deste ar remover a água que é transportada, por capilaridade ou difusão, a superfície da madeira. No fluxo turbulento, não ocorre caso idêntico, com uma distribuição melhor da velocidade do ar, o que é favorável do processo de secagem.

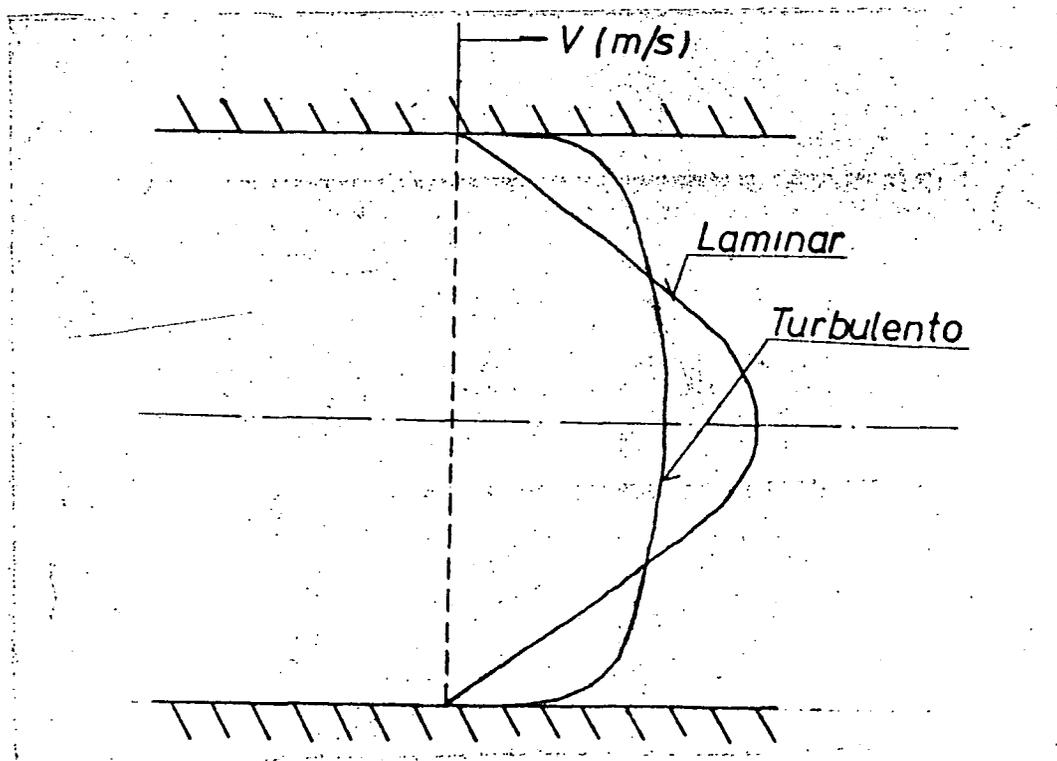


Figura 21 - Distribuição da velocidade do ar, em fluxo turbulento e laminar.

Qualquer meio de quebrar esta estratificação (fluxo laminar), implicaria em uma maior eficiência na transferência de calor, e, em consequência uma maior uniformidade. A criação desta turbulência seria viável por meio de um aumento na velocidade do ar.

No levantamento realizado, para a melhor situação foi determinada uma velocidade do ar média em 1,6m/s (Fabricante B), o que corresponde a aproximadamente 50% do recomendado.

A situação agrava-se para as outras duas câmaras investigadas (Fabricante A), onde as velocidades médias vão de 0,3 m/s para o tipo 1, até 1,083 m/s para o tipo 2, podendo atingir neste último tipo a 1,32 m/s com a reversão do fluxo do ar. Esta diferença obtida em câmaras do mesmo fabricante, onde o motor e ventilador utilizado são idênticos, deve-se a tres fatores primordiais:

a) tipo de desenho da câmara
b) estado de conservação do equipamento, o qual apresenta-se bastante precário para a investigada de tipo 1.

c) método de empilhamento verificado na investigação da câmara do tipo 1, que pode decisivamente influenciar na movimentação do ar (31).

A baixa velocidade média obtida acoplada a uma má distribuição das velocidades do ar, determina na maioria dos casos uma desuniformidade completa no teor de umidade final. Isto é verificado pelo aparecimento de gradientes de umidade na largura da pilha (baixa velocidade), na altura e comprimento (distribuição desigual).

Os pontos básicos que determinam as falhas relacionadas à circulação do ar podem ser assim enumeradas:

a) deficiência do tipo de ventilador,

b) baixa rotação no eixo do ventilador,

c) deficiência em completa ausência de deflectores de ar,

d) pouca atenção dada a circulação do ar pelo fabricante e pelo usuário, com completo desconhecimento da sua influência e necessidade.

Devido a maior potência de motor, e rotação mais elevada no eixo do ventilador, o equipamento do fabricante B, consegue uma maior produção de volume de $29,28 \text{ m}^3/\text{s}$.

Nas duas câmaras investigadas, pertencentes ao fabricante A, o volume de ar produzido esteve entre 15,95 e 17,67 m³/s, sendo bastante inferior.

As consequências inerentes a produção de madeira seca, ligadas a ventilação e circulação de ar dentro da câmara, e que afetam diretamente os custos de secagem são:

a) maior tempo de secagem provocado por falha na retirada da umidade do interior da câmara e da superfície da madeira, além da má distribuição do calor, fatores altamente dependentes da circulação do ar. Em determinadas câmaras, é difícil conseguir-se diferenças psicrométricas mais elevadas, o que indica dificuldades no controle da umidade relativa. Envolve-se neste caso também problemas referentes a má localização e funcionamento das entradas e saídas de ar.

b) baixa qualidade do material produzido, com formação de gradientes de umidade relativa e temperatura na câmara durante o processo. Verificou-se gradientes elevados tanto no comprimento, na altura e na largura da pilha de material retirado da câmara de secagem.

c) dificuldade no controle da secagem. As condições às quais são submetidas o corpo de prova na câmara, tem grandes possibilidade de não representar o total ou maioria da carga.

d) dificuldade na programação da secagem. Sendo os programas relacionados a temperaturas dadas pelo termometro do bulbo seco, e do bulbo úmido, dificilmente representam as condições interiores, não uniformes. Como uma média, pode-se citar 2m/s, a velocidade de ar passando através dos termômetros. Isto é um fator positivo ao funcionamento correto do psicrômetro.

4.2.2. Teste de distribuição de temperatura e umidade relativa durante o processo de secagem

Instalou-se o registrador potenciométrico, em uma câmara de fabricação nacional, tipo "Moore", tendo sido realizado levantamento das velocidades de ar fase anterior (figura 6). Seguiu-se o planejamento original, com a instalação de cinco termoelementos, dois deles envolvidos em uma porção de algodão que permaneceram umedecidos (termometro de bulbo úmido - T_u) e os demais permaneceram secos (termometro de bulbo seco - T_s), instalados no lado de entrada do ar na pilha, conforme indicado em literatura.

Na tabela 8 e 9, encontram-se computados dados tomados nos diferentes pontos da câmara.

Verifica-se que não existem diferenças de temperaturas, entre os pontos 1,2,3 que sejam realmente significantes. Diferenças constatadas são momentâneas, não havendo uma constância que implique numa real deficiência do equipamento.

Caso idêntico foi verificado para o caso das umidades relativas, com variações pequenas entre os extremos da câmara.

Estes resultados, trazem uma idéia de uma boa distribuição no comprimento da estufa, dos fatores ambientais o que pode ser atribuído aos bons níveis alcançados pela velocidade do ar, bem distribuídos dentro da faixa onde foram instalados os termoelementos.

Analisando-se o programa de secagem (figura 22), elaborado com base nos dados obtidos no registor, problemas bastante graves são evidenciados, além das falhas típicas existentes, quando verificado o programa elaborado em função dos dados protocolados pelo operador. Veja item 4.1.5.2.

As principais observações são:

a. Variações na temperatura, com declínio acentuado na temperatura durante o período da noite, compreendido entre as 22 e 6 horas. Considerando-se que a coleta dos dados foi realizada num período de verão, onde o declínio da temperatura ambiental externa não atinge níveis elevados durante o período noturno; que a câmara de secagem está situada sob cobertura; que a elevação da temperatura verifica-se após as 6 horas da manhã, o que não ocorreria se a causa fosse a influência externa, atribui-se o declínio possivelmente devido a não alimentação da caldeira. O interessante é observar-se que no programa de secagem elaborado em função dos dados protocolados pelo operador (figura 12B), não constata-se problema idêntico (Protocolo do mesmo processo foi cedido pela indústria para comparação).

b. Efetivamente não existe uma fase de acondicionamento final, sendo substituído incorretamente por um resfriamento brusco, a baixas umidades relativas.

c. Gradientes de secagem excessivamente e levados, em determinadas etapas, atingindo valores entre 4 e 5 são observados. Nas condições específicas em que os dados foram tomados recomenda-se gradientes em torno de 3 (20). Confrontando-se com o programa elaborado em função dos dados protocolados, pelo operador (figura 12B), observa-se diferenças significativas no valor do gradiente de secagem. Pode-se atribuir a localização do psicrômetro, o qual é localizado no lado de saída do ar da pilha, enquanto os termoelementos foram fixados na entrada, onde as umidades relativas fatalmente deverão ser menores, com temperaturas mais elevadas. Pode-se sentir, a confirmação da necessidade de um sistema reversível, pois gradientes de temperaturas e umidades relativas são formados na largura da pilha.

Por outro lado, existe possibilidade de que o funcionamento do termometro úmido seja precário, em virtude de incrustações e corrosão no sistema colocado no interior da estufa. Neste caso, o sistema tenderia a uma menor diferença psicrométrica, implicando em dados errôneos, com a noção de umidade relativa mais elevada que as reais.

d. Completo desconhecimento de programação de secagem, com a manutenção praticamente a um nível constante dos valores de umidade equilíbrio, o que implica em gradientes de secagem excessivamente elevados no início do processo (problemas com degradação do material), e muito na parte final do processo (baixa velocidade secagem).

Na tabela 10, encontram-se computados os dados fornecidos pela indústria, conforme protocolo do operador. A finalidade é a de facilitar a confrontação com os obtidos através do registrador potenciométrico, sendo ambos provenientes do mesmo processo de secagem.

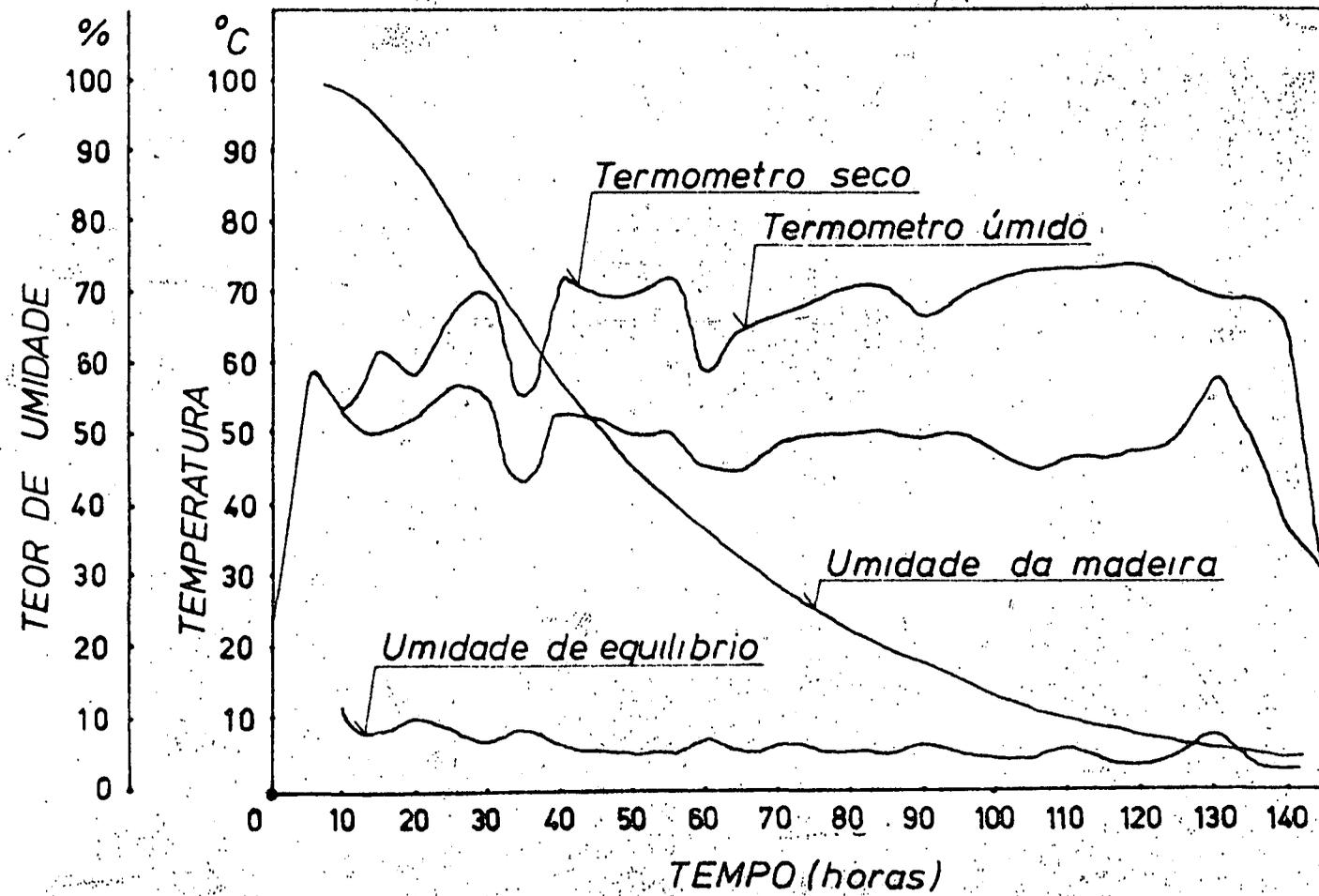


Figura 22 - Programa de Secagem elaborado com dados tomados no Registro potenciométrico

TABELA 8

Temperaturas Secas (Ts), Umidas (Tu) e Umidades Relativas (UR) durante o processo de secagem tomados com o Registrador Potenciométrico

Sequência Cronológica (Hrs)							
	Ts (°C)	Tu (°C)	UR (%)	Ts (°C)	Ts (°C)	Tu (°C)	UR (%)
0	20	-	-	-	20	-	-
5	60	60	-	60	60	60	-
10	53	53	-	53	53	53	-
15	62	50	53	66	61	53	66
20	58	52	73	62	58	53	77
25	68	57	57	71	67	57	60
30	70	55	47	72	66	55	56
35	53	43	55	53	50	43	67
40	72	53	39	73	67	53	49
45	70	52	39	72	68	53	46
50	70	50	35	71	68	51	40
55	72	50	31	72	68	51	40
60	58	45	42	57	56	45	54
65	65	45	33	63	61	46	43
70	67	49	39	66	65	50	46
75	68	50	39	68	66	50	43
80	71	50	33	73	70	51	38
85	71	50	33	71	69	50	35
90	66	49	40	67	65	50	46
100	72	47	26	74	71	48	29
105	73	45	20	75	72	45	21
110	65	47	37	65	65	48	40
115	74	47	23	75	75	47	23
120	74	48	25	75	75	49	26
125	72	50	31	72	70	50	35
130	70	58	55	73	71	58	53
135	70	45	25	72	69	46	25
140	66	36	14	60	65	37	15
142	56	35	25	56	56	35	25

Obs. Os pontos 1, 2, e 3 referem-se aos plotados na figura

TABELA 9

Temperaturas Secas (Ts), Úmidas (Tu), Umidades Relativas (UR), e Gradientes de Secagem (G) Médias tomadas com Registrador Potenciométrico

Sequência Cronológica (Hrs)	T s (°C)	T u (°C)	UR (%)	G
0	20	-	-	-
5	60	60	100	-
10	53	53	100	-
15	63	51,5	53	-
20	59,3	51,5	63	-
25	68,6	57	58	-
30	69,3	55	51	-
35	52	43	61	-
40	70,6	53	44	-
45	70	51,5	42	-
50	69,6	50,5	37	-
55	70,6	50,5	35	-
60	57	45	51	-
65	63	45,5	38	6,8
70	66	49,5	42	4,6
75	67,3	50	41	5,2
80	71,3	50,5	35	4,4
85	70,3	50	34	4,0
90	66	49,5	43	3,0
95	69,3	50	37	3,0
100	72,3	47,5	27,5	3,2
105	73,3	45	20	2,2
110	65	47,5	38	1,7
115	74,6	47	23	1,6
120	74,6	48,5	25	1,7
125	71,3	50	33	1,2
130	71,3	52	54	0,7
135	70,3	45,5	25	1,2
140	63,6	36,5	14	1,2
142	56	35	25	1,2

TABELA 10

Temperaturas Secas (Ts), Úmidas (Tu) e Umidade Relativa (UR), tomados durante o processo de secagem conforme protocolo do Operador - uso do psicrômetro instalado na câmara

Sequência Cronolôgia (Hrs)	T s (°C)	T u (°C)	UR(%)
0	20	-	-
5	62	62	100
10	60	56	83
15	60	56	83
20	60	56	83
25	72	61	58
30	70	58	55
35	70	56	53
40	70	56	53
45	70	54	44
50	70	54	44
55	70	52	39
60	70	52	39
65	70	55	47
70	70	55	47
75	71	57	50
80	71	56	47
85	70	55	47
90	71	54	41
95	70	54	44
100	70	52	39
105	67	50	40
110	74	53	35
115	70	52	39
120	72	53	39
125	70	55	48
130	69	63	75
135	68	50	39
140	60	40	30
142	-	-	-

CAPÍTULO V

5. CONCLUSÃO

5.1. Potencial

Mesmo com as exigências feitas para exportação, o potencial instalado tem somente capacidade de suprir aproximadamente 38% do volume total. Pode-se citar, portanto que a maior parte da madeira designada à exportação não é submetida a uma secagem em estufas, e com isto o atingimento de preços menos elevados.

Considerando-se a distribuição do potencial é bastante interessante a observação das "correntes" ou fluxos econômicos". A sub-região Curitiba e arredores, é ponto de convergência de madeira serrada em bruto, de praticamente todo o Estado do Paraná (executando-se na sub-região Sudoeste do Paraná) e do oeste Catarinense. Aspectos importantes devem ser considerados:

a. O aumento do custo de transporte em virtude de tratar-se de madeira verde, ou com altos teores de umidade, com o peso mais elevado, fator no qual é baseado o preço do transporte.

b. A descapitalização gradativa das zonas de onde é proveniente a madeira, com o acúmulo de capitais em Curitiba, onde o material chegando "em bruto", recebe um tratamento mais refinado, alcançando melhores preços.

c. Desclassificação do material, por ataque de fungos manchadores, quando a madeira é transportada a teores de umidade elevados, a longas distâncias (maior tempo), e em épocas quentes (condições favoráveis ao desenvolvimento dos fungos).

As demais sub-regiões, não acompanham a situação anteriormente descrita, sendo que as operações de desdobro e beneficiamento do material, quando existentes, são realizadas no mesmo local.

5.2. Nível Técnico e Espécies em Secagem

Considerando-se o nível técnico, numa observação preliminar, pode-se citar que a indústria madeireira, nos Estados do Paraná e Santa Catarina, encontra-se muito abaixo do apresentado por indústrias de outros setores.

Tratando-se das espécies em secagem artificial, preve-se um aumento gradativo da participação das folhosas, em detrimento da diminuição da porcentagem de utilização da Araucaria angustifolia. Em consequência agravar-se-ão os problemas atualmente enfrentados, na secagem artificial, pois tratam-se em geral de espécies que necessitam maiores atenções. Também para o caso do aparecimento no mercado, em um espaço de tempo relativamente curto, de madeiras de coníferas provenientes dos reflorestamentos situação similar poderá vir a ser encontrada (madeira juvenil e com altos teores de resina). Programas e métodos novos de secagem, deverão ser introduzidos para uma melhor eficiência.

No que toca a métodos de secagem, torna-se muito importante uma escolha criteriosa do equipamento a ser utilizado. Estudos considerando-se fatores como tempo, investimento, capacidade e outros (13 e 11), deveriam ser desenvolvidos pelas empresas, antes de optar-se por altos investimentos em câmaras ou estufas convencionais.

Por facilidade de aquisição, falta de informações técnicas e econômicas, aliada a "mentalidade madeireira extrativista tradicional", deixa-se de lado considerações importantes como custos no planejamento industrial, em consequência, existe atualmente uma quantidade significativa de estufas, empregadas para secagem de espécies que atingem tempos iguais a trinta ou mais dias, além de outros problemas. O sistema de pré-secadores poderia vir a ser introduzido com muito sucesso, principalmente para espécies sujeitas ao colapso (Imbúia e Eucalipto). Utilizando-se de baixas temperaturas, pequeno investimento, com uma capacidade instalada alta, a presecagem poderá contribuir na diminuição do custo total de secagem que deve atingir níveis bastante elevados em estufas convencionais, com tempos iguais a 30 dias.

5.3. O Equipamento

Apresentando condições favoráveis, o mercado colaborou no desenvolvimento das pequenas indústrias, fabricantes de equipamentos para secagem artificial, mesmo sendo o produto apresentado sem as condições técnicas básicas e mínimas a um funcionamento adequado.

Os modelos em operação, são "cópias esquemáticas" de estrangeiros, tidos como ultrapassados.

A falta ou deficiência dos purgadores, pode vir a causar problemas inerentes a má distribuição de temperaturas dentro de uma câmara, com a criação de gradientes no comprimento. Isto não foi verificado na estufa, onde foi realizado o teste de distribuição de temperaturas e umidades relativas.

O sistema de ventilação, é o que apresenta maior precariedade. Não existe uma mentalidade formada a respeito da necessidade do sistema reversível (14), especialmente importante no caso da secagem de coníferas (Pinho do Paraná). O fabricante cita o sistema reversível como um "desnecessário acréscimo no custo de instalação", e embora existente em algumas câmaras não é utilizado.

No teste de distribuição de umidades relativas e temperaturas (item 4.2.2.), pode-se confirmar a necessidade do sistema reversível, comparando-se os dados obtidos pelo protocolo do operador (psicrômetro localizado na saída do ar da pilha), e os obtidos através do registrador potenciométrico (termoelementos localizados na entrada do ar). Gradientes de temperatura normalmente atingem proporções de 1 a 2°C (temperaturas mais baixas na saída do ar), enquanto que a umidade relativa apresentou diferenças bastante significativas como 10% entre o lado da entrada e saída do ar.

Estas diferenças implicam em uma desuniformidade da secagem, com a criação de gradientes de umidade através da largura da pilha, o que nunca é desejável, obtendo-se uma menor secagem da madeira no lado de saída do ar.

A orientação do fluxo do ar, a quantidade produzida pelos ventiladores, são provavelmente os maiores problemas apresentados pelo equipamento, atualmente uti-

lizado. Tanto nas câmaras do "tipo Moore", como do "tipo Hildebrand", a disposição irracional dos deflectores de ar (quando existentes), causam uma turbulência antes do fluxo atingir a pilha, além da má distribuição, que acoplados a baixa velocidade do ar, formam um conjunto de fatores negativos, impedindo decisivamente a obtenção de resultados satisfatórios. Considerando-se a melhor das situações, onde obteve-se uma produção total de ar pelos ventiladores de $29,284\text{m}^3/\text{sg}$. (veja tabela 7 Fabricante B), verifica-se que esta atingiu apenas 60,33% da produção mínima necessária (considerando-se uma velocidade de 2m/s), que seria $48,538\text{m}^3/\text{s}$. No caso da câmara investigada do fabricante A - tipo 1, a situação é ainda mais crítica, atingindo apenas 23,2% do mínimo volume de ar necessário.

A solução do problema somente seria atingida, com modificações introduzidas em vários pontos, quais sejam: deflectores, motor, tipo de ventilador, rotação do eixo do ventilador, posicionamento das entradas e saídas de ar, extremamente mal colocadas.

5.4. A Indústria e o Operador na Programação da Secagem

Considerando-se o processo de secagem, uma das fases de maior importância na sequência industrial madeireira, pois encontra-se diretamente ligado a fatores como prazo de entrega, qualidade do produto final, preço alcançado no mercado, é incoerente a falta de atenção dispensada pela maioria das indústrias.

A inexistência completa de programas de secagem a adoção errônea de determinada metodologia, a falta de um controle de qualidade, a incapacidade e irresponsabilidade dos operadores, formam um conjunto de fatores contribuindo ao insucesso, em determinadas situações, da secagem artificial.

Este insucesso é relacionado à baixa qualidade e uniformidade obtida, o que não vinha afetando de uma maneira direta ao madeireiro. Atualmente, com uma tendência do mercado nacional, a tornar-se mais exigente, em busca de materiais de melhor qualidade (evidente nos últimos meses de 1974), a fase de secagem irá afetar diretamente a economia da indústria.

A necessidade de preparação de operadores de estufa é incontestável. Não é admissível, que, em pequenas e médias e de grandes empresas, todo o material a ser industrializado, representando um capital bastante elevado, seja colocado em secagem sob a cautela de operadores semi-alfabetizados. Estes operadores, em alguns casos, bem intencionados, não possuem condições mínimas para uma programação correta.

É evidente que o problema operador não pode ser analisado isoladamente. O elemento, em função de oportunidade de emprego, é situado num setor de grande responsabilidade, para o qual não possui qualificações e sem um preparo prévio. A administração, ao instalar as câmaras para secagem, pensa estar resolvendo um grande problema, principalmente relacionado com a flexibilidade ao mercado, uma vez que os custos, fator primordial, não são levados em consideração. Ao confrontar-se com o problema de utilização da câmara (surgimento de perdas em porcentagens elevadas e longos tempos de secagem), a administração recorre ao fornecedor do equipamento, o qual em pouco colabora, pois com conhecimento precário do processo de secagem, não possui efetivamente condições de elaboração de um programa correto.

Após determinado tempo de utilização, com experiências bastante desastrosas, chega a um "nível máximo", ou seja um determinado ponto, considerado por alguns industriais (em função da sua formação), como "Técnicamente auto suficiente no processo de Secagem", embora não exista um programa e as noções mais elementares são desconhecidas.

A flutuação da mão de obra, fenômeno muito comum na atualidade dentro do setor madeireiro, constitui-se num ponto de grande dificuldade para a indústria, quando trata-se de operadores de estufas. Existindo alguma noção do processo de secagem, obtida por experiências, esta é de posse exclusiva do operador, não por vontade própria, mas pelo desinteresse da administração. Se o operador, em função de melhores oportunidades de emprego abandona seu cargo, ocorre um impacto muito grande, voltando-se praticamente ao ponto inicial, com um novo operador a realizar novas experiências desastrosas. Cria-se portanto um ciclo vicioso que somente poderia ser quebrado com um protocolo bem elaborado, de todos os

processos, incluindo considerações sobre os resultados obtidos. Dados como estes, computados durante determinado período de tempo, possuem valor relevante.

Considerando-se a estimativa da produção de madeira seca em estufas no Paraná e Santa Catarina (12.389m³ mes), e a porcentagem de perdas no processo de secagem, observado durante o levantamento (5%), obteria-se uma perda total por ano de 7.433,40m³. A um preço médio de Cr\$ 1.000,00/m³, estima-se em cr\$ 7.433.400,00 perdidos em câmaras de secagem por ano, nos dois Estados. Salienta-se que estes dados, computados em condições ótimas, não levam em consideração perdas por desclassificação devido a secagem, do material destinado a exportação, o que levaria as cifras a valores bem mais elevados.

Para um melhoramento da situação, pontos básicos a serem atingidos, e que poderiam vir a contribuir, são:

a. Conscientização do industrial da necessidade imperiosa de maiores cuidados no processo de secagem. O próprio mercado, devido a fatores já citados, está incutindo nova mentalidade, com maiores atenções a todas etapas de industrialização. Esta preocupação já é evidente em algumas indústrias de grande porte.

b. Criação de cursos para operadores de estufas, a nível médio e de curta duração. Incluir-se-ia várias etapas com noções básicas sobre aspectos físicos elementares de secagem, operação e manutenção da câmara e, utilização de programas de secagem de forma correta. Paralelamente, de grande importância seria o desenvolvimento de cursos para atingir outras camadas dentro da indústria, visando uma maior conscientização e também instrução técnica da administração, de detalhes como a necessidade de um protocolo e sua elaboração, a avaliação dos resultados finais e o controle de qualidade, a manutenção da câmara, a elaboração de custos de secagem e a escolha do equipamento correto. Existindo uma associação de classe, nada mais coerente, que a mesma tome iniciativas que viriam a favorecer todo o setor.

c. Elaboração de programas de secagem através de uma cooperação efetiva Universidade - Empresa, ponto essencial no entanto dependente de fatores ligados ao perfeito funcionamento do equipamento. Apesar de algumas indústrias já terem alcançado um nível razoável na técnica aplicada

são limitadas pelo equipamento utilizado. Tudo leva a crer que mesmo com a elaboração de programas corretos, a sua aplicação, nas câmaras atualmente existentes, implicará em resultados não satisfatórios, cuja causa principal estaria ligada à velocidade do ar. Qualquer programa que venha a surgir, deverá apresentar valores de gradientes de secagem, abaixo do recomendado, implicando em menor velocidade de secagem, para poder-se obter uma maior segurança no que diz respeito a porcentagem de perdas e defeitos. Isto porque, o gradiente recomendado para uma determinada espécie é obtido, e deverá ser aplicado em condições perfeitas de funcionamento da câmara, o que não ocorre no equipamento de fabricação nacional.

d. Estudo criterioso visando a introdução de presecadores, para o caso de folhosas que apresentam dificuldades na secagem. As vantagens dessa inovação, seriam sentidas com cálculos de custo comparativos, entre o sistema atualmente utilizado, e o sistema misto (com uma fase inicial de presecagem). Na maioria dos casos é totalmente desconhecido o custo das diferentes operações dentro de uma madeireira, o que não é admissível. Estes estudos também deveriam ser dirigidos no sentido de uma introdução de equipamento mais moderno, com melhores condições que o existente na atualidade.

e. Concientização da maior vantagem de introdução de um grande número de câmaras de pequeno porte, principalmente em pequenas e médias empresas. A variedade da produção (uso de diferentes dimensões), causa dificuldades no "funil secagem", dentro do fluxo industrial. Em consequência observa-se indústrias utilizando em um mesmo processo, espessuras e espécies diferentes ou cargas incompletas.

f. Para indústrias de pequeno porte, uma solução viável, e com grande possibilidade de vir a ser concretizada, seria a introdução de "Cooperativas de Secagem". Nestas cooperativas, pertencentes a um determinado número de pequenas indústrias localizadas dentro de um raio de ação, estariam instaladas estufas, com capacidade de suprir as necessidades de seus associados. A vantagem primordial, seria a dissolução de determinados tipos de custos, como o do operador, o qual seria criteriosamente escolhido, podendo a condição salarial ser mais elevada.

g. Uso de maior número de corpos de prova, para determinação da umidade inicial e final. Com isto obter-se-ia valores mais representativos, o que nunca é possível com um único corpo de prova, caso idêntico deveria ocorrer para a peça de madeira colocada na pilha, com a finalidade de representar a queda de umidade do total de uma carga em secagem.

h. Dirigir estudos e publicações no sentido de obtenção de dados válidos ao uso correto da secagem artificial no Brasil, informações de carácter aplicado através de boletins e periódicos. Pesquisas no setor secagem, dificilmente são realizadas, e as bibliografias, quando existentes, datam de 20 até mais anos, ou, se recentes, não atendem as necessidades. Verifica-se em muitas o carácter comercial, com a finalidade de introdução de um novo produto no mercado, sem contudo apresentar dados de valia ao usuário. Somente um apoio maciço por parte de órgãos governamentais, associação de classe (sindicatos), e da própria indústria madeireira, o que não ocorre na atualidade, poderia-se dar início as bases para um melhoramento da situação. Saliencia-se que os benefícios oriundos de trabalhos no campo de pesquisa, reverter-se-iam em benefício da própria indústria.

Infelizmente, devido a uma "mentalidade extrativista tradicional", por parte da maioria da administração de indústrias madeireiras, presume-se que atitudes como esta, não serão tomadas em um curto espaço de tempo, em prejuizo da economia do setor madeireiro, mesmo havendo possibilidade. Esta possibilidade é relacionada a uma maior integração entre a Universidade, que possui as condições técnicas, e a indústria, com a utilização prática da secagem artificial.

RESUMO

A secagem, é considerada uma das fases mais importantes em uma indústria madeireira. A introdução de métodos artificiais, quando dentro de normas técnicas corretas, tem beneficiado o setor, com uma maior flexibilidade ao mercado, obtenção de materiais de melhor qualidade, redução dos custos, proteção eficaz da madeira e obtenção de teores de umidade desejados.

O presente estudo consta de um levantamento e análise das condições da secagem artificial para madeira serradas, nos Estados do Paraná e Santa Catarina, considerados até a atualidade como centro da produção madeireira do Brasil.

A introdução de estufas convencionais, deu-se a cerca de 20 anos, com um aumento acentuado do potencial instalado nos últimos 2 anos, o qual supre apenas uma pequena parcela das necessidades.

Os principais problemas encontrados são relacionados:

1. Baixa qualidade do equipamento
2. Inexistência de programa de secagem
3. Baixo nível técnico dos operadores
4. Pouca atenção dispensada pela administração à fase de secagem
5. Inexistência de cálculos de custos relacionados à operação secagem
6. Falta de critérios na escolha do equipamento adequado.

Em consequência, as perdas por defeitos na secagem assumem alta importância, bem como a desuniformidade obtida no teor de umidade final, contribui para a diminuição dos lucros da empresa.

Atitudes deveriam ser tomadas, a curto espaço de tempo, através de órgãos governamentais, associações de classe, e da própria indústria, afim de:

1. Elaborar cursos de secagem para operadores
2. Obter programas tecnicamente elaborados
3. Incutir modificações nos equipamentos atualmente empregados
4. Incentivar pesquisas, publicações relativas à secagem artificial.

Summary

Drying is one of the most important steps during conversion of the raw material wood into products in practically all sectors of wood industry.

The introduction of artificial drying methods when applied correctly, has brought great economic and technical advantages to wood industry with regard to meeting higher quality requirements of more flexible markets, cost reduction, efficient wood protection and controlled moisture contents suitable for further industrialization of the raw material.

The present study consists of a survey and analysis of artificial drying conditions of sawn wood in two states of southern Brasil, Paraná and Santa Catarina.

The first conventional kilns were introduced in this area about 20 years ago and, although installed capacity has increased substantially in the last two years, it meets only a small percentage (13%) of the overall needs for wood drying.

Drying installations and techniques encountered during the survey have been found seriously deficient with regard to the following sectors.

1. low quality of equipment (kilns)
2. lack of proper drying schedules
3. education and technical knowledge of kiln operators is inadequate
4. of all phases during wood processing the drying sector is paid the least attention by industry administration
5. lack of cost calculations for drying operation.
6. absence of technical and economical criteria with regard to the choice of adequate drying equipments

Consequently losses due to defects caused by inadequate drying and considerable variation of the final moisture content are quite common and tend to reduce considerably company profits.

In view of these facts which badly prejudice the profitability of wood industry it is urgently recommended that industry itself, professional association and government immediately.

1. organization of short time wood drying courses for kiln operators
2. elaboration of drying schedules for wood species groups of high economical importance
3. provide for modifications and improvements of drying equipment actually in use
4. propagate, finance research and publications with respect to adequate application of artificial drying techniques and equipment.

ZUSAMMENFASSUNG

Trocknung ist einer der wichtigsten Schritte der Holzverarbeitung in praktisch allen Sektoren der Holzindustrie.

Die Einführung künstlicher Holz-trocknungs methoden, wenn richtig angewendet, hat Holzindustrie und Verbrauchern grobs Vorteils gebracht im Hinblick auf höhere Qualitätseforderungen des Marktes, Herabsetzung der Koeste, wirksamerem Holzschtz und besser kontrollierbaren Feuchtigkeitsgehalt für die weitere Verarbeitung.

Die vorliegende Arbeit untersucht und analysiert den gegenwärtigen Stand der künstlichen Holz-trocknung von Schmitt in zwei Staaten Südbrasilien, Paraná und Santa Catarina.

Die ersten Trockenofen wurden in dieser Region vor Etwa 20 Jahren eingeführt und, obwohl in den beiden letzten Jahren ein starker Zuwache zu verzeichnen war, deckt die gegenwärtig vorhandene Kapazität nur einen geringen Prozentsats (~13%) der tatsächlich getrockneten Holzmenge.

Hinsidrtlich der untersudsten gelangt die arbeit zu folgender Ergebnissen.

1. Schlechte Qualität von konstruktion und Ausrüstung der Trockenkammern
2. Fehlen von adequaten Trocknungsprogrammen
3. Auberst niedriges Ausbildungeniveau und technisches Wissen der für die Durchführung der Trocknung verantwortlichen Arbeiter (Trockenmeister).
4. Der wirtschaftlichen und technischen Bedeutung der Trocknung als Teilaspekt des gesamten Verarbeitungsprozesses wird von der Verwaltung wenig Aufmerksamkeit gewidmet.

5. Eine detailliertere Erfassung der Trocknungskosten fehlt weitgehend.

6. Fehlen von wirtschaftlichen und technischen Kriterien bei der Auswahl von Trockenkammern und Instrumentierung.

Die Folge dieser Tatsachen sind hohe Verluste durch Trocknungsfehler und eine grobe Variation der Endfeuchtigkeit im Trockengut, die wiederum zu seiner starken Reduzierung der Gewinne der Holzindustrie führen.

Zur sofortigen Besserung dieser Situation werden eine Reihe von Vorschlägen gemacht, die an die Holzindustrie selbst, aber auch an Berufsvereinigungen und staatliche Organisationen gerichtet sind:

1. Organisation und Durchführung von Kurzzeit-Trockenkursen für Industriepersonal.

2. Ausarbeitung von adequate Trocknungsprogrammen für wirtschaftlich wichtige Holzarten und -gruppen.

3. Einführung von dringend notwendigen Verbesserungen der gegenwärtig benutzten Trocknungseinrichtungen.

4. Auftrag und Finanzierung von Forschungsarbeiten und Veröffentlichung der Resultate im Hinblick auf die wirtschaftliche und technisch korrekte Anwendung von Verfahren der künstlichen Holz-trocknung.

RÉSUMÉ

Le séckage est considéré une des phases des plus importantes dans une industrie du bois.

L'introduction des méthodes artificielles selon les normes techniques correctes, lui a apporté des bénéfices en donnant une plus grande flexibilité au marché: ' par l'obtention de matériaux de meilleure qualité, par la réduction des prix de coût, par la protection efficace du bois et par l'obtention de l'humidité désiré.

Cette étude se rapporte à un exposé et à une analyse des conditions du séckage artificiel pour bois séiés, dans les états de Paraná et Santa Catarina, considérés, actuellement le centre de la productions au Brésil.

L'emploi de sécheire conventionnels a commencé il y a vingt ans, avec une remarquable augmentation ' du potentiel installé au cours de ces deux dernières années, ' mais qui ne correspond qu' a une parcelle de la demande.

Les principaux problèmes qui se présentent sont dûs:

1. À la mauvaise qualité des équipements;
2. À l'absence de programmes de séckage;
3. Au manque de préparation technique des opérateurs;
4. À l'attention insuffisante de l'administration pour ce qui concerne le séckage;
5. À ce que les prix de revient du séckage ne sont pas faits;
6. Au mauvais choix des équipements.

Toutes choses en conséquence desquelles les pertes, par défauts de séckage atteignent une importance considérable, comme une distribution irrégulière de l'humidité des

bois, en fin de séckage, qui contribuent à une diminution des bénéfices de l'entreprise.

Des organismes officiels, les associations professionnelles et même les industries devraient prendre, à bref delai, les mesures nécessaires à:

1. L' élaboration de coure de séckage pour operateurs;
2. L' obtention de programmes techniquement organisés;
3. Favoriser la sugestion de modifications des équipements actuellement employés;
4. L' encouragement des recherches et la publication d'informations reletive au séckage artificiel.

LITERATURA CONSULTADA

- (1) ANÔNIMO (1958) Function and calculation of ventilation in drying compartments. U.S. For.Serv.Inf.Rev.Reaffirmed-1265, 6 p.
- (2) _____ (1971) Debates técnicos sobre a secagem artificial da madeira. R.mad., 23(268): 7-14.
- (3) BANCO DE DESENVOLVIMENTO DO PARANÁ (BADEP), CURITIBA (1974) Programa de apoio às indústrias madeireiras do estado do Paraná; anexo: estudo do setor madeireiro. Curitiba, 81 p.
- (4) BANKS, C.H. (1968) Kiln drying conditions - development - study. CSIR Subject Survey, Pretoria, South Africa, 0/n. 9. 80 p.
- (5) _____ (1970) Low-temperature drying of timber with - special reference to predrying - a subject survey. CSIR Subject Survey, Pretoria, South Africa, 0/n.11. 26 p.
- (6) BRENNAM, L.J. et al. (1966) Predrying in Australia. South Melbourne?/ Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. Division of Forest Products. Separata de Austr. Timber J., 32 (11): 360-364, 366. (CSIRO. Division of Forest Products Reprint, n.686).
- (7) BROTERO, F.A. (1941) Secagem da madeira em estufa. B.IPT, 27 47 p.
- (8) BROWN, N.C. & BETHEL, J.S. La industria maderera. México - Kimusa-Wiley, 1965. 397 p.
- (9) CAMPBELL, G.S. (1967) Sample boards and kiln charging./ East Melbourne?/ Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. Division of Forest Products. 10 p.
- (10) _____ (s.d.) Kiln operation./ East Melbourne? / Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. Division of Forest Products. 16 p.
- (11) CAMPBELL, G.S. & WRIGHT, G.W. (s.d.) Selection of the drying process./ East Melbourne/ Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. Division of Forest Products. 14 + 3 p. il.

- (12) CHRISTENSEN, F.J. & MACKAY, J.F.G. (1972) The future and practical application of high temperature seasoning of plantation softwoods. Austr.For.Ind.J., 38 (10):55 - 58.
- (13) COMMONWEALTH SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH ORGANIZATION. DIVISION OF FOREST PRODUCTS, Australia (s.d.) Timber seasoning correspondence course; introductory course. South Melbourne. 5v.
- (14) _____ (s.d.) Timber seasoning correspondence course; kiln operator's course. South Melbourne. 18 v.
- (15) COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DO PARANÁ (CODEPAR) Curitiba (1964) O Paraná e a economia madeireira. Curitiba 2. v.
- (16) ESPANHA. Ministério de Indústria y Agricultura. Servicio de la Madeira (1959). Secado de la Madera. I. Madrid - 126 p.
- (17) FRICKE, K.W. (1968) The relation of humidity and air circulation to the drying of timber. /East Melbourne?/ - Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. Division of Forest Products. 12 p.
- (18) _____ (s.d.) The Timber seasoning kiln. / East Melbourne?/ Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. Division of Building Research. 8 p. + ilustr.
- (19) HASEK, V. (1967) Estudo comparativo da secagem de pinho do Paraná. s. l. s. ed. 24 p. (mimeografado)
- (20) HILDEBRAND, R. ed. (1970) Kiln drying of sawn timber. Oberboihingen. Maschinenbau GmbH. 198 p.
- (21) HILPERT, B. (1972) Entwicklungsgang der künstlichen Schnittholz Trocknung in Hobelwerken in Staate Paraná. 1972 . Curitiba 13 f. (cópia xerográfica de relatório).
- (22) _____ (1972) Kurzer Abriss der Situation und der Probleme der Künstlichen Massivholz-Trocknung in Staate Paraná. Vorschlag für eine Änderung der "incentivos fiscais" für den Export von XX künstlich getrockneten Schnittholzprodukten. Curitiba. 7 p. (cópia fotostática de relatório).

- (23) HILPERT, B. & SCHNEIDER, L.C. (1972) Considerações sobre a situação e os problemas de secagem artificial de madeira no Estado do Paraná. proposta para uma modificação dos incentivos fiscais para produtos de madeira serrada, tipo exportação, seca artificialmente. Curitiba 6.f. (cópia fotostática de relatório).
- (24) KIMBALL, K.E. (1963). Testing commercial kilns for uniformity of drying conditions. U.S. For.Serv. Inf. Rev. Reaf. firmed FPL - 1643. 18 p.
- (25) KOCH, P. (1972) Utilization of the southern pines. Pineville, U.S. Southern Forest Experiment Station. 2 v.
- (26) KOLLMANN, F.F.P. & COTÉ, W.A., Jr. (1968) Principles of wood science and technology. Berlin, Springer Verlag v.1. 592 p.
- (27) LAARMANN, J. (1974) The Paraná sawmill industry s/l./129 p. (Tese em Curso de publicação).
- (28) LIMA, L. da R. (1971) Operações unitárias - secagem. Curitiba Faculdade de Engenharia Química. Departamento de Engenharia Química 52 p. (mimeografado).
- (29) MALCOLM, F.B. & HAELOCK, H. (1972) Effects of three sawing methods on warp of hard maple dimension cutting. For - Prod. J., 22(4) : 57 - 60.
- (30) McMILLEN, J.M. & BOONE, R.S. (1974) Kiln-drying selected colombian woods. For. Prod. J., 24(4): 31-35.
- (31) RASMUSSEN, E.F. (1960) Analysis of problems relating to uniformity of kiln control. U.S. For. Serv. Inf. Rev. reaf firmed FPL -1645. 12 p.
- (32) _____ (1961) Dry kiln operator's manual. Washington, U.S. Government Printing Office. 197 p. (Estados Unidos. Forest Service. Agricultura Handbook, n. 188).
- (33) _____ (1963) Need for uniformity of temperature in a forced-air-circulation, ventilated, compartment dry kiln. U.S. For.Serv. Inf.Reprinted - 1966 5.p.

- (34) RICHTER, H.G. (1974) Interrelações água-madeira e secagem s.n.t. / (Apostila manuscrita)
- (35) SIAU, J.F. (1971) Flow in wood . Syracuse, N.Y. Syracuse University Press. c. 1971. 131 p. il.
- (36) SKAAR, C. (1972) Water in wood. Syracuse, N.Y. Syracuse - University Press. 218 p.
- (37) TORGENN, O.W. (1959) Circulation of air in a lumber dry kiln U.S. For.Serv. Inf. Rev. Reaffirmed FPL - 1678 6 p.
- (38) TORGESON, O.W. (1960) Why the drying time of a kiln load of lumber is affected by air velocity. U.S. For. Serv. Inf. Rev. Reaffirmed FPL - 1269 4.p.
- (39) VAN DER MERWE, J.J. (1973) Strenght and warp in kiln dried S.A. pine timber as affected by the drying process, spiral grain and other factors. CSIR Special Report, Pretoria, South Africa, n. 56. 10f. + 5. graf.
- (40) VAN DER MERWE; J.J. & BANKS, C.H. (1973) The effect on warp of drying timber at different temperatures with and without restraint, and its subsequent behaviour during storage. CSIR Special Report, Pretoria, South Africa n. 57 - 17 f. + 8 il.
- (41) VILLIÉRE, A. (1966) Séchage des bois. Paris, Dunod. 409 p.
- (42) WRIGHT, G.W. (s.d.) The seasoning of the eucalyptus/ East Melbourne? / Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. Division of Forest Products. 10 p. + 2 tab. desd.

- (43) YAMAMOTO, A.K. (1973) Desdobro e secagem de Pinus eliottii
São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 26 p.
(Mimeografado, trabalho apresentado no II Congresso Flo
restal Brasileiro, Curitiba em curso de impressão).

APÊNDICE I

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL
OPÇÃO TECNOLOGIA DA MADEIRA

Secagem de Madeira Serrada em Estufas - Dados para fins de pesquisa

FIRMA
ENDEREÇO

I) Generalidades da Empresa

- a. Capital
- b. Nº de Operários
- c. Atividade
- d. Fonte de Matéria Prima

Espécie				Região
Flor.própria	%	Mad. comprada	%	

e.

Espécies utilizadas	Produção média mensal (m ³)	Utilização

f. Nível Técnico da Empresa

.....
.....
.....

g. Mercado de Consumo

.....
.....
.....

IV - Método de secagem

a) Sistema de empilhamento

- dimensões entre sarrafos _____ X _____ X _____
- espaçamento entre sarrafos _____
- uniformidade dos sarrafos _____
- uniformidade em espessura do material em secagem _____
- _____
- carregamento do material até a estufa _____
- _____

Croqui de empilhamento

b) Programa de secagem (anexo 1)

c) Tipo de acondicionamento a que o material é submetido

d) Tipo de recondicionamento a que é submetido no caso de defeitos

V - Controle de secagem

a) Equipamento existente

- Psicrômetro _____
- Termômetros _____
- Outros _____

Observações

b) Equipamento auxiliar

- Estufa para corpos de prova _____
- Balança de precisão _____
- Medidores de umidade _____ marca _____
- Outros _____

Observações

c) Método de controle da secagem

- passos, intervalos de controle, amostras, descrição geral

- Pessoal de operação

nível escolar _____

origem da técnica _____

experiência _____

responsabilidade _____

Sugestões de melhoria _____

Remuneração e assistência _____

Obs.

VI - Resultados Obtidos

a) Uniformidade _____

b) % de umidade final _____

c) % de perdas _____

d) Defeitos ocorrentes - rachaduras _____

 - empenamentos _____

 - colapso _____

 - encanoamento _____

 - outros _____

Obs.

e) Aceitação no mercado (preço alcançado em relação a madeira seca ao ar, a não seca, etc.)

- mercado interno

- mercado externo

f) Problemas encontrados pela empresa (falta de assistência técnica, interesses em cursos e assistência para operadores, etc).

VII - Custos de Secagem

a) Artificial - Custo por m³ de madeira seca _____

Capital das estufas _____

Tempo de depreciação _____

Preço do m³ do material em secagem _____

Taxa de juros _____

Carga e descarga da estufa: tempo _____

Nº operários _____

Custo hora operário _____

Custo hora do operador _____

Funcionamento da estufa por dia _____

Consumo de energia _____

Preço da energia _____

Custo da energia calorífica: Cap. Caldeira _____

Temp. Deprec. _____

Custo água _____

Custo combust.p/hora _____

Outros custos _____

Assistência e Manutenção _____

Perdas _____

Outros _____

Obs.

b) Natural - Custo por m³ de madeira seca _____
Construções: capital _____
 durabilidade _____
Tempo de secagem _____
Preço do m³ do material em secagem _____
Tempo para empilhamento e desempilhamento por m³ _____
Custo hora operário _____
Custo de Transporte _____
Custo de Manutenção _____
Taxa de Juros _____
Outros _____

Obs.

APÊNDICE II

Cálculo de Custos da Secagem

Câmaras de Secagem - Fabricação Nacional - Tipo Hildebrand -
Duas Unidades de 20m³

Capacidade nominal instalada - 40 m³

Capacidade real - 30,28 m³

Espécie em Secagem - Ocotea catarinensis - canela preta

Espessura - 20 mm

Preço por m³ - Cr\$ 1.000,00

Tempo de secagem - 100 horas

Local - Sub região norte catarinense

Data - Julho/ 1974

1. Custo de Depreciação

Capital investido - Cr\$ 108.000,00 (incluindo caldeira,
galpão, e estufas)

Tempo - 10 anos

Obs. - Depreciação linear, sem valor resto

1.1. Por ano

$$D \frac{108.000}{10} = \text{Cr\$ } 10.800,00/\text{ano}$$

1.2. Por hora

$$D \frac{10.800}{8640} = \text{Cr\$ } 1,25/\text{hora}$$

1.3. Por metro cúbico de madeira seca

$$D \frac{1,25 \times 100}{30,28} = \text{Cr\$ } 4,12 /\text{m}^3$$

2. Juros sobre Capital - Equipamento

Taxa de juros - 1,8%/mes

2.1. Por mes

$$J_e = \frac{108.000}{100} \cdot 1,8 = \text{Cr\$ } 1.944,00/\text{mes}$$

2.2. Por hora

$$J_e = \frac{1944}{720} = \text{Cr\$ } 2,70/\text{hora}$$

2.3. Por metro cúbico de Madeira Seca

$$J_e = \frac{2,70 \times 100}{30,28} = \text{Cr\$ } 8,92/\text{m}^3$$

3. Custo da Mão de Obra

Número de operários efetivos	- 2
Custo homem/hora	- Cr\$ 2,20
Férias e 13º Salário	- Cr\$ 0,12/hora
Encargos sociais	- Cr\$ 0,74/hora
Custo Total	- Cr\$ 3,16/hora

3.1. Por hora

$$\text{M.O.} = 3,16 \times 2 = 6,32/\text{hora}$$

3.2. Por metro cúbico de Madeira Seca

$$\text{M.O.} = \frac{6,32 \times 100}{30,20} = \text{Cr\$ } 20,87$$

4. Custo Combustível

Tipo - Lenha e resíduos

Consumo - 5 m³/dia

Preço - Cr\$ 7,50/m³

4.1. Por hora

$$C = \frac{5 \times 7,50}{30} = \text{Cr\$ } 1,25/\text{hora}$$

4.2. Por metro cúbico de Madeira seca

$$C = \frac{1,25 \times 100}{30,28} = \text{Cr\$ } 4,13/\text{m}^3$$

5. Custo Empilhamento e Desempilhamento

5.1. Preço por carga empilhada e desempilhada para duas câmaras
Cr\$ 177,00

Obs. Pagamento feito pelo regime de empreitada

5.2. Por metro cúbico de madeira seca

$$E = \frac{177}{30,28} = \text{Cr\$ } 5,88/\text{m}^3$$

6. Juros sobre Capital - material em secagem

Capital em secagem - Cr\$ 30.280,00

Taxa de Juros - 1,8%/mes

6.1. Por mes - $J_m = \frac{30.280}{100x} \cdot 1,8 = \text{Cr\$ } 545,04/\text{mes}$

6.2. Por hora - $J_m = \frac{545,04}{720} = \text{Cr\$ } 0,75.7$

6.3. Por metro cúbico de madeira seca

$$J_m = \frac{0,75.7 \times 100}{30,28} = \text{Cr\$ } 2,50/\text{m}^3$$

7. Custo de Energia Elétrica

Número de Motores - 4

Potência - 5 Hp/motor

Potência prática utilizada (80%) - 4 Hp = 2,94 KWh

Total 4 motores = 11,76 KWh

Custo local KWh - Cr\$ 0,50

7.1. Por hora - $E_n = 11,76 \times 0,50 = \text{Cr\$ } 5,88$

7.2. Por metro cúbico de Madeira Seca - $E_n = \frac{5,88 \times 100}{30,28} = \text{Cr\$ } 94,42/\text{m}^3$

8. Custo da água

Caldeira - 50 m² de superfície de aquecimento

Consumo de água - 500 litro/hora

Recuperação - 60%

Consumo real- 200 litros/hora

Preço - Cr\$ 0,25/m³

8.1. Por hora - $A = 0,200 \times 0,25 = \text{Cr\$ } 0,05$

8.2. Por metro cúbico de Madeira Seca

$$A = \frac{0,05 \times 100}{30,28} = \text{Cr\$ } 0,17/\text{m}^3$$

9. Manutenção

9.1. Por mes - Média Computada nos últimos 10 meses - Cr\$ 1.469,40

9.2. Por hora

$$M = \frac{1469}{720} = \text{Cr\$ } 2,04/\text{mes}$$

9.3. Por metro cúbico de Madeira Seca

$$M = \frac{2,04 \times 100}{30,28} = \text{Cr\$ } 6,74/\text{m}^3$$

10. Perdas e Desclassificação do Material

Porcentagem média - 5%

Obs. Baseado em dados fornecidos pelo industrial, e observações efetuadas durante o levantamento

10.1. Total

$$P = \frac{30,28 \times 1000,00 \times 5\%}{100} = \text{Cr\$ } 1.514,00$$

10.2. Por metro cúbico de madeira seca

$$P = \frac{1.514,00}{30,28} = \text{Cr\$ } 50,00/\text{m}^3$$

Custo Total de Secagem = Cr\$ 122,75/m³