

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

Parecer

Este exemplar corresponde a redação final da tese defendida por Felix Emilio Prado Cornejo e aprovada pela Comissão julgadora em 18 de setembro de 1987.

Campinas, 18 de setembro de 1987

~~Presidente da Banca~~
Prof. Dr. Kil Jin Park

ESTUDO DOS PARÂMETROS DE SECAGEM
E CONSTRUÇÃO DE UM SECADOR DE BAIXO CUSTO
PARA FILÉS SALGADOS DE PESCADO

por

FELIX EMÍLIO PRADO CORNEJO
Engenheiro Mecânico

Prof. Dr. Kil Jin Park
Orientador

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia Agrícola
da Universidade Estadual de Campinas, para a obtenção
do título de "Mestre" em Engenharia Agrícola

1987

CAMPINAS - S. PAULO

UNICAMP

Aos meus pais

À minha esposa

As minhas filhas

Ao meu filho

AGRADECIMENTOS

- Ao prof. Dr. Kil Jin Park, pela orientação e amizade.
- A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, pela possibilidade que me concedeu.
- A Faculdade de Engenharia Agrícola.
- A Faculdade de Engenharia de Alimentos.
- A Álvaro Gregori Tucunduva, Chaw Shan-Hua e Roberto Meirelles de Souza, pelos levantamentos experimentais.
- A Celso Costa Lopes, pela contribuição na montagem do sistema acoplado ao condicionador de ar.
- A Associação Brasileira de Industriais de Alimentos-ABIA, pelo fornecimento das cópias.
- A todas as pessoas que de alguma forma contribuíram com minha formação acadêmica.

SUMÁRIO

	Página
I. INTRODUÇÃO	1
II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
1. Processamento	6
1.1. Operações a bordo	6
1.2. Tratamentos para industrialização	7
1.3. Métodos para preservação	11
1.3.1. Salga	11
1.3.2. Secagem	14
2. Teoria de secagem	17
3. Considerações para o pescado	26
4. Critérios e procedimentos para dimensionamento ou escolha	33
4.1. Transferência de calor	33
4.2. Atmosfera de secagem	34
4.3. Propriedades físicas gerais do sistema sólido- líquido	34
4.4. Propriedades do sólido	34
4.5. Tipos de secadores dimensionado para pescado ...	37
III. MATERIAIS E MÉTODOS	51
1. Material	51
1.1. Equipamentos e controles utilizados para condu- ção experimental	51
1.2. Utilização dos equipamentos e controles	52
2. Metodologia	54
2.1. Levantamento experimental	55
2.2. Avaliação de um secador alternativo	56
IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
1. Avaliação experimental	58
1.1. Encolhimento	58
1.2. Secagem	63
1.3. Comparação dos sistemas de secagem	69
1.4. Comparação de custos	78
V. CONCLUSÕES	80
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81

RESUMO

O presente estudo visa contribuir com nova tecnologia na secagem de pescado, utilizando filê salgado de cação.

Através da revisão bibliográfica e dos estudos experimentais conduzidos com os filês salgados de cação, obteve-se as características do ar de secagem como sendo: 350 a 400C de temperatura, 40 a 50% de umidade relativa e 0,5 a 1,0m/s de velocidade.

Baseado nestes valores numéricos, é possível tratar o ar ambiente utilizando o método de desumidificação do ar por aspersão de água fria e aquecimento posterior deste para obter o ar de secagem.

Crítérios de dimensionamento e resultados experimentais possibilitam construir um equipamento de secagem com tecnologia apropriada de baixo custo.

SUMMARY

The present study contributes to a new technological method for fish drying, for this purpose salted shark fillets were used. Through the literature and experimental studies conducted for such a method, the temperature from 350 to 400C, relative humidity from 40 to 50% and 0,5 to 1,0m/s of velocity were obtained as basic parameters.

Based on the above values, the best conditions for the drying air for salted shark fillets were obtained by dehumidification of environmental air by introducing cold water sprays and posterior heating.

With appropriate technology, basic design criteria and experimental results contribute to build and evaluate a low-cost fish drying system.

I. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos um número significativo de pesquisas voltadas ao aproveitamento da carne de cação vem sendo desenvolvido, pois esta espécie tem representado uma porcentagem considerável da captura total nas costas da América do Sul. Entretanto essa espécie ainda pode ser considerada como subexplorada, principalmente no Norte e Nordeste do Brasil.

Trabalhos realizados por Waterman (1978), Wirth & Col. (1975), Torrano & Okada (1977), Madrid & Copriva (1984) entre outros, não obstante a sua contribuição tecnológica, visam também a sensibilizar governantes e empresários na utilização racional da carne de cação.

O parque industrial brasileiro foi influenciado e direcionado por países desenvolvidos aos processos de congelamento e enlatamento, havendo uma evidente concentração de esforços sobre um pequeno número de espécies, tornando-o vulnerável às flutuações das capturas, ou seja, causando disfunções no setor produtivo.

O não acompanhamento do processamento de pescado salgado seco pelos industriais devido a este direcionamento do parque industrial pesqueiro desincentivou-os a dispender esforços para a busca de alternativas viáveis nesta área.

O Brasil é um dos grandes consumidores mundiais de bacalhau, produto tradicional no mercado nacional, proveniente da importação. Em trabalho realizado pela SUDEPE e IBGE, mostra-se que

nos últimos 60 anos o Brasil importou cerca de 1,5 milhões de toneladas, representando um desembolso de divisas para o país da ordem de aproximadamente 900 milhões de dólares em valores não atualizados.

Uma das espécies abundantes no limite territorial marítimo brasileiro com características adequadas para substituir o bacalhau importado ou de produzir um produto alternativo de pescado salgado seco é o cação, sendo este fato verificado em vários países latino-americanos como a principal opção, Madrid e Copriva (1984).

O aproveitamento do cação é completo, dele se obtendo além da carne, as barbatanas, a pele, o óleo vitaminado do fígado e o resíduo utilizado em várias formas de aproveitamento industrial.

Além de um substituto ao bacalhau, a carne de cação pode se constituir em alimento de baixo custo podendo ser incluída na dieta da população brasileira menos favorecida.

As barbatanas, devidamente industrializadas, são tidas como a parte mais nobre do tubarão, situando-se em um dos alimentos mais caros do mundo, atualmente sendo totalmente exportado pelo Brasil. A secagem da barbatana tradicionalmente é feita com exposição direta ao sol, por um tempo de 10 a 14 dias, apresentando um conteúdo de umidade final inferior a 18%, o que representa uma perda de peso da ordem de 42%. Pode-se recorrer também à secagem mecânica em um secador artificial, embora a temperatura do ar de secagem não possa exceder a 40°C. Também são comercializadas verdes ou frescas em função de resfriamento, devendo ser consumidas em poucos dias, Madrid & Copriva (1984).

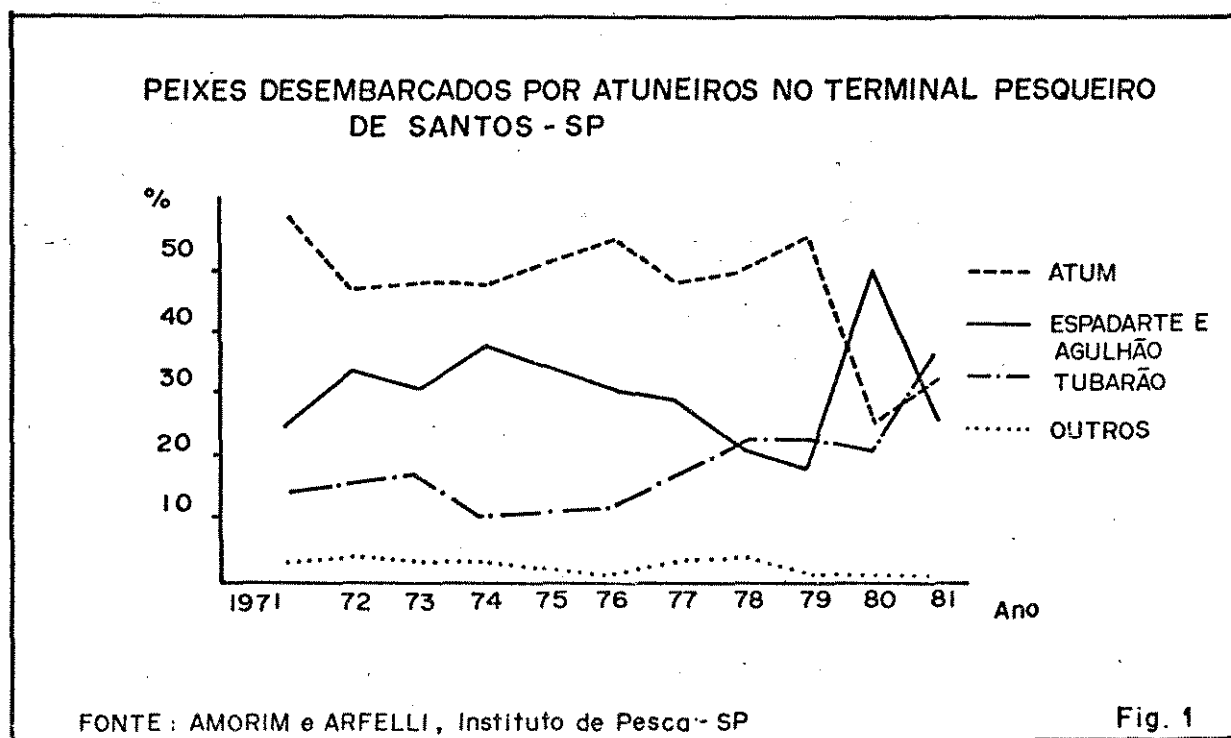
Além das barbatanas, em cações de grande porte, devido a sua excepcional resistência, a pele é transformada em couro de elevada qualidade.

Durante a segunda guerra mundial, capturou-se cação em grande quantidade, como alternativa de manter a oferta internacional de vitamina "A", que tradicionalmente era garantida através da comercialização do óleo de fígado de bacalhau, oriundo de países europeus, Torrejon (1975).

Nos últimos anos, o óleo de fígado do tubarão alcançou cotações elevadíssimas que justificaram a captura dessa espécie somente para aproveitamento da vitamina "A", sendo o restante do animal morto devolvido ao mar.

No Brasil, não se tem estatisticamente informações a nível de consumo per-capita nacional ou regional para a carne de cação, mas tem-se observado que na região sudeste, com o decorrer dos tempos, o produto tem alcançado aceitação surpreendente em comparação às outras regiões.

A denominação cação, independente do tamanho do animal, predominou nas regiões sul e sudeste, não acontecendo o mesmo nas regiões norte e nordeste onde o nome comercial é tubarão.



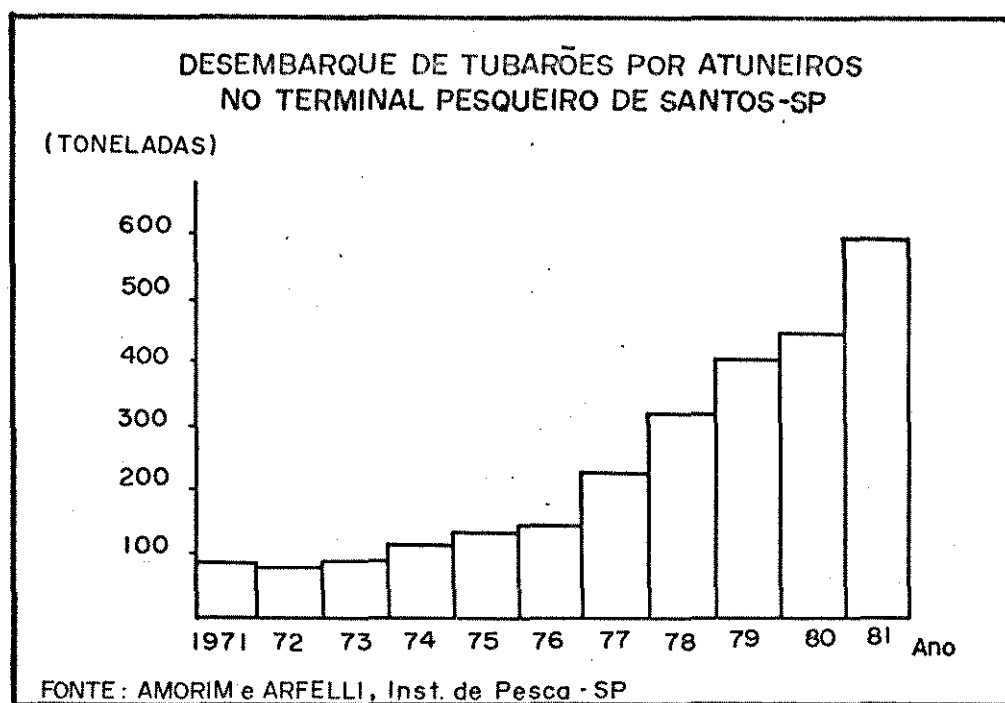


Fig. 2

Observa-se nos gráficos uma participação significativa do cação na quantidade total entre as espécies capturadas pelos barcos atuneiros, Figuras 1 e 2.

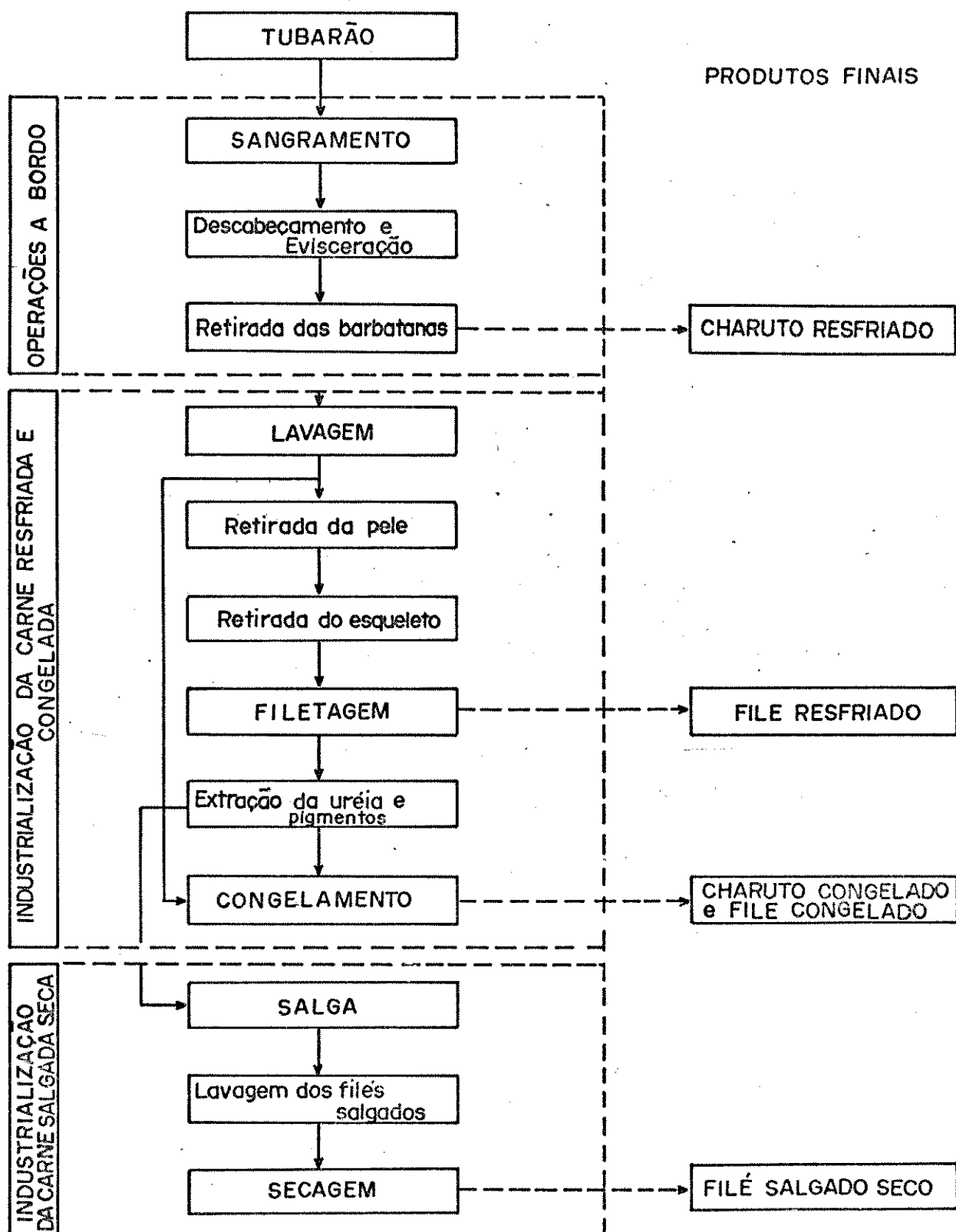
No Brasil não existe captura dirigida exclusivamente a cação, sendo sua produção fruto de uma pesca acidental.

Na região sul, os tubarões capturados são provenientes principalmente da pesca de arrasto, na região sudeste há desembarque significativo da pesca efetuada com espinhel (atuneiros) e, no norte e nordeste, através da pesca artesanal.

Ciente desta potencialidade, SUDEPE e EMBRAPA, estabeleceram convênio bilateral denominado "*Projeto Tubarão*", com o objetivo de elaborar um pacote tecnológico o mais abrangente possível.

Os estudos desde a captura do cação até o seu processamento no sentido de verificar o melhor aproveitamento da sua carne, deverão ter prosseguimento por apresentar um grande potencial estratégico alimentar.

ESTÁGIOS DE PROCESSAMENTO DA CARNE DE TUBARÃO
E SEUS PRODUTOS FINAIS



II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1. Processamento

1.1. Operações a bordo

Após a captura, a carne de cação deverá ser tratada de uma forma especial, diferente dos outros peixes de modo a se obter um produto com características que permitam um aproveitamento integral, Madrid & Capriva (1984).

Caracteriza-se nos cações a ocorrência de um alto nível de uréia no sangue e na carne, apresentando um teor de 2 a 2,5%, enquanto o dos teleosteos é de 0,01 a 0,001%.

Em todos os peixes marinhos forma-se no sangue e nos fluídos do organismo a uréia. Os teleosteos eliminam-na rapidamente enquanto os elasmobrânquios retêm a uréia no sangue tendo como função elevar a pressão osmótica a um valor semelhante ao da água do mar, conseqüentemente o sangue dos cações possui um maior grau de concentração osmótica, absorvendo água por osmose através de suas membranas, não necessitando beber água como os teleosteos.

O cação macuira contém 1.718mg% de uréia, o jaguara 1.990mg%, a mûsula (martelus) 2.038mg% e o martelo 2.330mg%, Madrid & Capriva (1984).

Quando o peixe é içado ao barco, uma das primeiras operações que devem ser executadas é a retirada do sangue, se possível

enquanto o cação ainda estiver vivo, devido ao elevado teor de uréia presente. Caso contrário, a carne apresentará efeitos negativos quanto ao sabor e odor, decompondo-se rapidamente após a captura, não só devido ao processo enzimico, como também pela ação de microorganismos, que produzem odor desagradável de amônia.

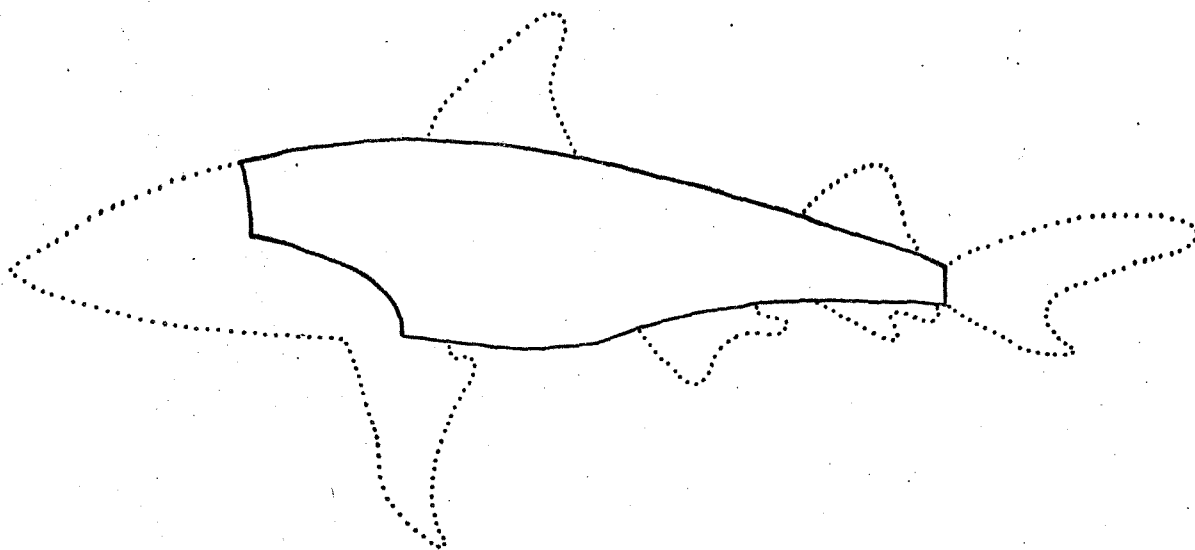
Logo após a sangria, visando a redução do teor de uréia nos tecidos, a cabeça deve ser retirada, começando o corte pelas barbatanas peitorais, retirando parte das brânquias. As vísceras devem ser removidas e a cavidade abdominal cuidadosamente limpa com água, retirando todas as partes pretas, raspando-as profundamente até saírem todas as impurezas da coluna.

1.2. Tratamentos para industrialização

No seu desembarque, os cações já na forma de "*charuto*", Figura 3, ou seja, descabeçados, eviscerados e sem barbatanas, são lavados minuciosamente tanto na parte externa como na sua cavidade abdominal, usando água sob pressão. A seguir são colocados em mesa, efetuando-se a retirada do esqueleto fazendo um corte transversal na musculatura, de forma a definir o comprimento e espessura dos filês. Realizada esta fase, inicia-se a obtenção de mantas ou filês. Este procedimento é de suma importância para o material que será submetido a secagem, pois a geometria dos filês influem no processo de secagem, além de garantir um produto final homogêneo.

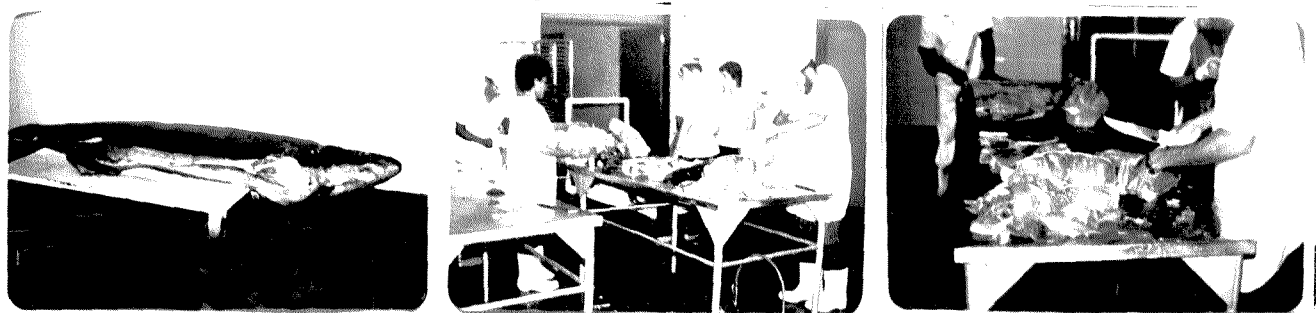
A diminuição do teor de uréia pode ser conseguida mediante tratamento por calor (escaldamento, cocção ou esterilização), imersão da carne em água, salmoura ou solução ácida. O tratamento por calor é menos eficiente que o de imersão.

PARTES A SEREM RETIRADAS PARA A OBTENÇÃO DO "CHARUTO"



FONTE: MADRID, R.M. & COPRIVA, M.A. - PROJETO TUBARÃO / SUDEPE - M.A.

Fig. 3



Em trabalho de caracterização do cação como matéria-prima para processamento, Torrano & Menezes (1977), citam em sua revisão que Gordierskaya (1973) estudou minuciosamente a presença de uréia em várias espécies de cação encontradas na União Soviética, testando vários métodos químicos e físicos para a eliminação da mesma antes do processamento. Descreve também a existência de um teor de uréia bem definida nas diversas espécies, independente do tamanho e peso dos animais, concluindo que entre os tratamentos de imersão da carne em soluções de cloreto de sódio a 1%, ácido láctico a 1,5% e extrato de urease, sendo o tratamento com ácido láctico o mais eficiente na eliminação da uréia. O extrato de urease apresentou um melhor desempenho mas foi descartado por ser antieconômico.

No entanto, Torrano & Menezes em pesquisas realizadas no Instituto de Tecnologia de Alimentos, Campinas, SP, empregando filés de espécie *Carcharhinus* com 1,5cm de espessura, tratados com soluções de ácido cítrico, acético e láctico, em diversas concentrações durante 4 horas, mantendo a temperatura a 40°C, verificaram

que o ácido acético foi o mais eficiente, na concentração de 1%.

Analisando os dois estudos verifica-se que:

Gordievskaya (1973) não identifica a espécie, os filês são imersos num tanque com solução ácida durante 3 horas com a temperatura de 15°C, ao passo que Torrano e Menezes, concluem que o ácido láctico e o acético são eficazes devendo-se apenas padronizar o tamanho dos filês, o tempo e temperatura de imersão.

As substâncias nitrogenadas compreendem nitrogênio proteico e não proteico, contendo extratos de nitrogênio de bases voláteis (BV), trimetilamina (TMA), óxido de trimetilamina (OTMA), uréia, creatinina, aminoácidos essenciais, entre outros. Este conhecimento deve ser levado em conta para estabelecer o teor de proteína no cação em análise laboratorial. Nos teleosteos o nitrogênio não proteico chega a 400mg%. De acordo com os dados investigados pelos laboratórios de TINRO - URSS, 1969, estas substâncias alcançam 3.300mg% na carne de cação. O conteúdo de uréia é o que mais afeta o conteúdo de nitrogênio não proteico, chegando a valores que flutuam entre 1.570 e 2.530mg%.

Na Tabela I, pode-se observar as substâncias nitrogenadas não proteicas em algumas espécies de cação encontradas no Brasil.

O conteúdo de elementos não proteicos ou extratos não proteicos na carne de teleosteos chega a 10% do nitrogênio total. O fator de conversão para converter o nitrogênio proteico (6,25) produz um ligeiro erro com respeito ao conteúdo de substâncias não proteicas, sendo que no cação a quantidade de nitrogênio nas substâncias não proteicas chega a 50% devido a uréia, cujo fator de conversão é 2,14. Ao se utilizar o fator de conversão 6,25 a quantidade de compostos contendo nitrogênio na carne do cação é muito alta e em função disto, o valor proteico fica superestimado. Esta é a razão

pela qual, quando se determina a composição química da carne de cação, deve-se analisar separadamente o nitrogênio da uréia e o do OTMA depois de se determinar quantitativamente o nitrogênio pelo método "Kjeldahl".

TABELA I. Substâncias nitrogenadas não proteicas na carne de cação, mg%.

Latim	Nome popular	TMA	OTMA	Uréia
<i>Prionace glauca</i> (Linnaeus)	Azul, mole-mole	2,1	500,2	2.059
<i>Carcharinus limbatus</i> (Muller and Henl)	Galha preta	-	-	1.728
<i>Galeocerdo cuvieri</i> (Péron and Lesver)	Tintoreiro, jaguara	-	-	1.990

Fonte: Gordievskaya, V.S.: "Shark Flesh in the Food Industry".

Kizevetter, I.V.: "Chemistry and Technology of Pacific Fish" Vladivostok, 1971.

Assim sendo o conteúdo protéico da carne, resulta da subtração do nitrogênio da uréia e do OTMA. A diferença obtida se multiplica pelo fator de conversão 6,25, Torrejon (1975).

A fim de remover de 40 a 50% de uréia existentes na carne de cação, Torrano & Okada (1977), utilizaram tratamentos por imersão com ácidos acético e láctico a 1-2% a 50°C durante 3-4 horas, obtendo uma carne perfeitamente utilizável para processamento.

Pedaços de carne de cação (2,5kg) perderam 64% de seu conteúdo de uréia após imersão durante 24 horas numa solução de ácido láctico. Já no tratamento de imersão em água a perda de uréia é de aproximadamente 40%. Estes experimentos demonstraram que quanto maior o conteúdo inicial de uréia, mais rapidamente é eliminada, salvo o resíduo final de 1.000 a 1.200mg%. Quando se coloca o pro-

duto em imersão, a proporção da carne e água deve ser de 1 para 4, considerando pedaços de qualquer tamanho, devendo a solução ser resfriada com o uso de gelo. Soluções salinas muito concentradas são muito eficazes para eliminar a uréia da carne. Utilizando-se salmoura ácida com posterior imersão em água elimina-se de 79 a 90% do conteúdo de uréia, Madrid e Copriva (1984).

Após o término do tratamento da uréia, inicia-se o processo de salga, para a obtenção do filé salgado.

1.3. Métodos para preservação

1.3.1. Salga

Leitão (1979), comenta ser o processo de salga uma das técnicas de conservação de utilização mais antiga, citando que desde tempos remotos os povos primitivos observaram que produtos de diversas naturezas podiam ser preservados com tratamentos em sal, seguidos ou não de posterior desidratação ao sol.

Nó-entanto, apenas em épocas mais recentes é que pesquisas vem sendo desenvolvidas visando explicar os mecanismos do processo de conservação, penetração do sal, transformações nos tecidos, inibição da microflora deteriorativa e patogênica nos produtos salgados e as características dos microrganismos capazes de se desenvolverem.

Para produtos como pescado submetido à salga seca, há uma rápida perda de peso nos primeiros dias ao redor de (25%) seguida de uma redução mais lenta até atingir uma perda de peso ao redor de 30%, deste modo a concentração de sal se eleva até atingir níveis de 20% (peso úmido).

Geromel & Forster (1982), descreveram três tipos de processos de salga: seca, úmida e mista.

No processo de salga seca, o produto é obtido através de camadas homogêneas intercaladas de sal e pescado. A salmoura for-

mada durante o tempo de salga é escorrida e, dependendo do produto, obtêm-se uma relação peso de sal por peso de pescado variando em torno de 10 a 20% de sal, com um tempo de salga de 2 a 20 dias.

Na salga seca há uma maior perda de peso do produto com um menor rendimento final.

Na salga úmida o pescado é mergulhado em uma salmoura artificial super-saturada (26,5% sal a 25°C). Este processo ocasionará uma complexa variação do peso do produto. A espessura da carne influencia bastante o tempo de salga, aumentando-se o tempo de salga em função do aumento da espessura.

Verifica-se que o produto obtido com o emprego de salga úmida é de qualidade superior quando comparado com produtos obtidos por meio de salga seca.

Já a salga mista é um processo combinado com dois processos anteriores, apenas não permitindo que se escoe a água perdida pelo pescado. É o método mais empregado atualmente por não exigir recipientes especiais para o preparo da salmoura.

Sanchez & Lam (1965), consideram que o sal adequado para a salga deva conter 97,5% de cloreto de sódio e impurezas de sais de cálcio e de magnésio que não ultrapassem ao valor de 0,6%.

Os cristais de sal são classificados de acordo com o tamanho, influenciando a velocidade da formação da salmoura natural. Cristais muito grandes demoram a se dissolver, dificultando a penetração do sal, podendo acarretar num problema de conservação do pescado, deste modo Geromel & Forster aconselham a utilização de sal de tamanho médio de cristais.

Bastos (1977), em sua revisão relata que o Instituto Nacional do Sal considera um sal de boa qualidade aquele cujo teor de cloreto de sódio seja 98% e argumenta que o sal produzido no nordeste brasileiro está dentro dos padrões estabelecidos para salga

de peixes, apresentando uma porcentagem de 99% de cloreto de sódio e, devido aos sais de cálcio e de magnésio, impurezas da ordem de 0,43 a 0,05%, respectivamente.

Waterman (1978), considera que a característica principal da salga reside na extração de parte da água da carne do pescado e sua parcial reposição pelo sal, sendo os principais fatores que afetam a velocidade de absorção do sal no pescado: a quantidade de gordura, espessura do pescado, grau de frescor (quanto menor mais rápida a absorção do sal).

Trabalhando com salga em merluza, Sanchez & Lam (1965), determinaram fatores que afetam a eficiência do processo de salga como: tamanho e espessura dos filês, qualidade do sal, temperatura e umidade do meio ambiente. Os autores apresentam o tratamento prévio do sal em fornos a 100°C durante 10 a 15 minutos antes de seu uso a fim de evitar contaminação microbiológica, sendo necessário um novo tratamento caso o sal seja armazenado.

No que se refere à temperatura e umidade, os mesmos autores comentam que ocorre uma maior velocidade da salga em ambientes com maiores umidades relativas, favorecendo também uma rápida formação da salmoura e conseqüentemente uma penetração mais rápida de cloreto de sódio nos filês. Isto é importante pois permite o processo de cura normal antes de que se inicie a decomposição bacteriana que deterioraria o pescado.

A penetração de sal no produto faz com que este perca água em seus tecidos até alcançar um equilíbrio osmótico, tornando os líquidos internos soluções salinas concentradas com a inibição dos sistemas enzimáticos, degradando as proteínas e contraindo os tecidos, Wirth & Col. (1975).

A presença de altas concentrações de cloreto de sódio, di-

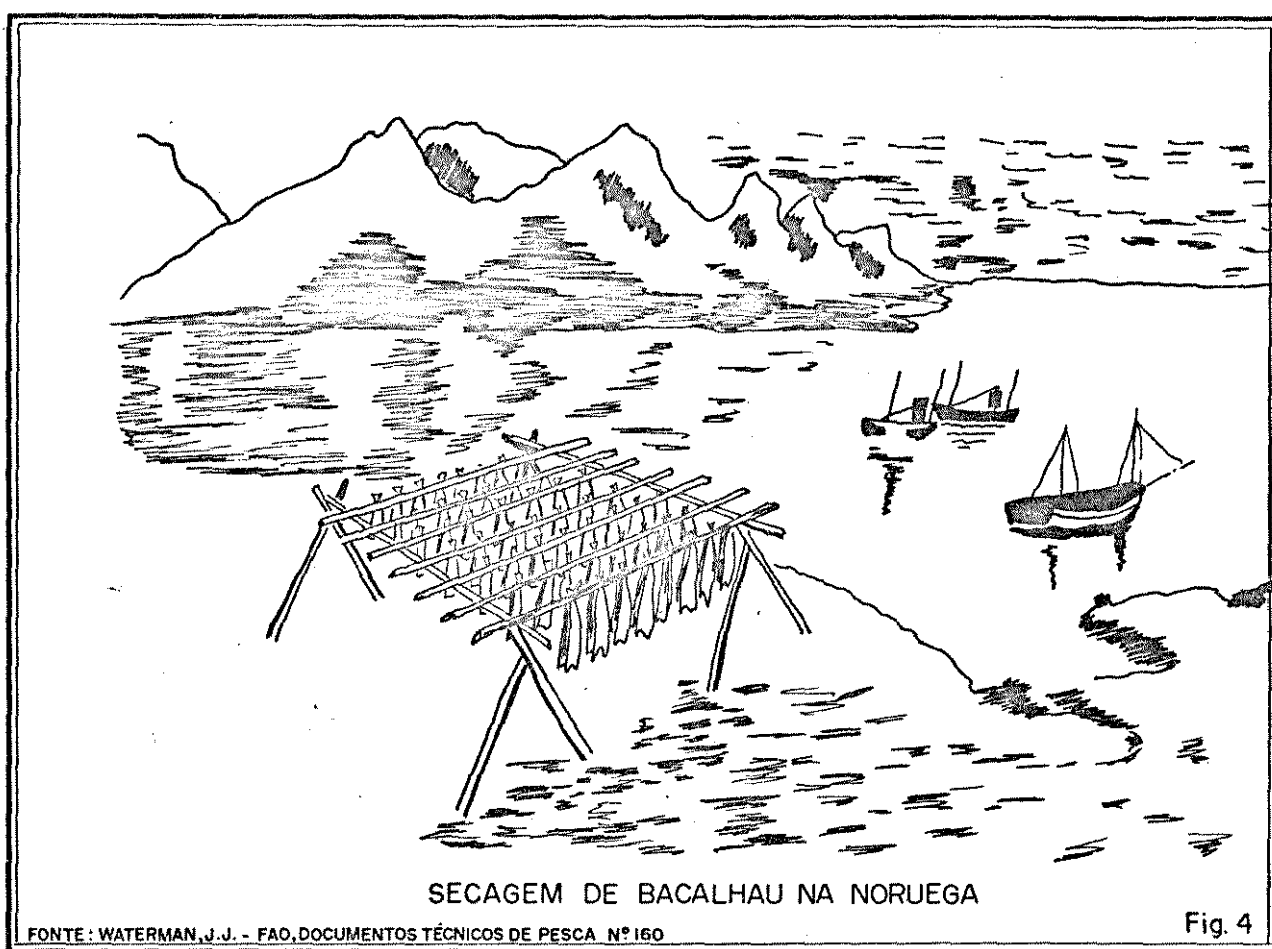
minuirá ou mesmo evitará o desenvolvimento de microrganismos, bem como a autólise do produto, mantendo-o em condições de ser consumido durante períodos relativamente longos de estocagem, Ortiz, Cabral & Alvim (1980).

Boeri, Moschiar & Lupin (1982), estudaram comparativamente procedimentos de salga em merluza (*merluccius hubbsi*) a fim de verificar organolêpticamente a rancidez e observam que utilizando salga seca ocorre aumento de rancidez mais rapidamente que em relação a salga úmida e comentam em sua revisão que Perna & Perricone (1969) encontraram correlações similares para filês de merluza congelados.

Wirth & Col. (1975), descrevem métodos utilizados para conservação do pescado, como o congelamento, método este que visa paralisar as enzimas através de baixas temperaturas e pela falta de água, que foi congelada. Muitos dos microorganismos são mortos no congelamento possivelmente por colapso, devido a desnaturação de suas proteínas. Utilizando-se a cura para a conservação do pescado, consegue-se principalmente o retardamento da ação de bactérias e em menor grau o das enzimas. Pode ser realizada também a desidratação em condições ambientais com exposição direta ao sol ou artificialmente.

1.3.2. Secagem

A secagem natural consiste em expor o produto por longos períodos à radiação solar e sob condições climáticas adversas, portanto exige um clima com umidade baixa, temperatura relativamente alta e ventos com relativa intensidade. Assim, para melhor aproveitar as condições naturais é conveniente colocar o pescado salgado em condições que permitam a livre circulação do ar, além de permitir a incidência de radiação solar, **Figura 4.**



A desvantagem da desidratação natural é a exposição do material a um meio que favoreça a proliferação de microrganismos, acelerando a degradação do mesmo, Figura 5.

Por outro lado, a secagem artificial permite obter condições específicas do ar de secagem, sem depender de condições climáticas favoráveis.

De um modo geral, no processo de secagem o produto está sujeito a diversas alterações de natureza química, bioquímica, microbiológica e física que podem ocorrer durante o período de secagem, Ortiz, Cabral & Alvim (1980).

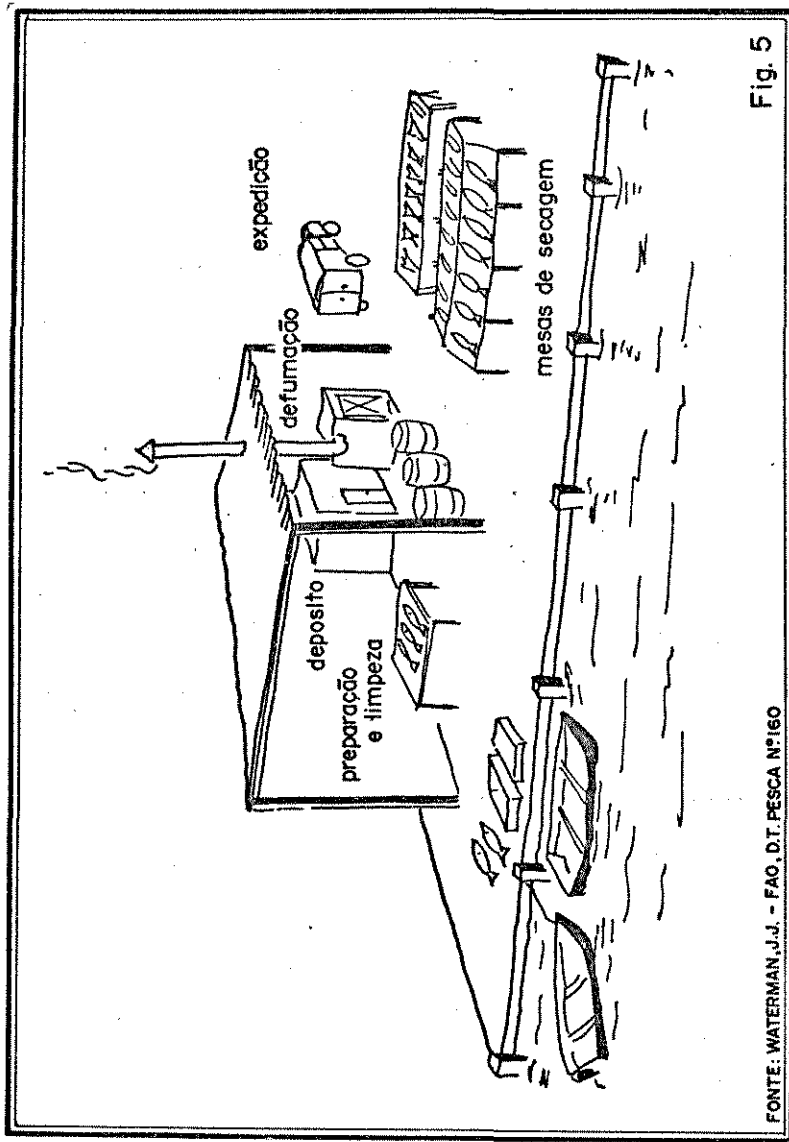


Fig. 5

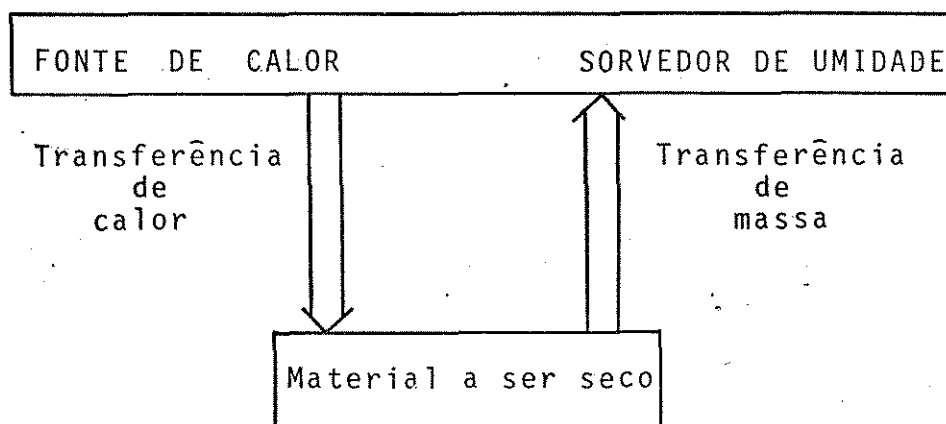
FONTE: WATERMAN, J.J. - FAO, D.T. PESCA Nº 160

2. Teoria de secagem

Sem querer comprometer outras definições, podemos considerar como secagem a eliminação do líquido de um material por evaporação, Perry & Chilton, (1985).

A secagem pode ser subdividida em tres meios de transferência de calor: por convecção devido a uma corrente gasosa aquecida (método direto), por condução através de uma superfície sólida (método indireto) e por radiação.

Durante a secagem é necessário um fornecimento de calor para evaporar a umidade do material e ao mesmo tempo existir um sorvedor de umidade para remover o vapor de água formado a partir da superfície do material a ser seco, representado em forma gráfica, temos:

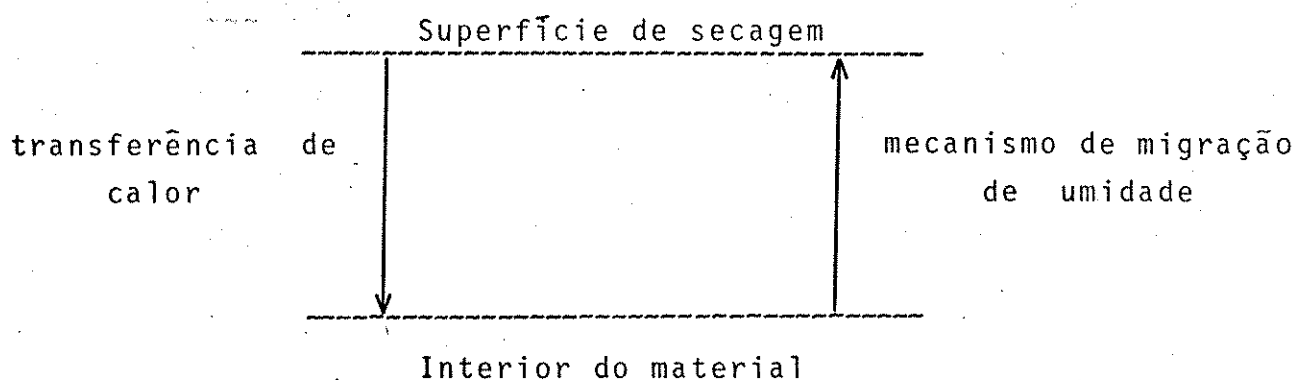


Sabemos também que o estudo de secagem não se restringe às análises das condições externas, sendo necessária a compreensão do relacionamento sólido-umidade, isto é, como a água é transportada do interior do sólido à superfície. A relação de equilíbrio para materiais biológicos é a isoterma de sorção.

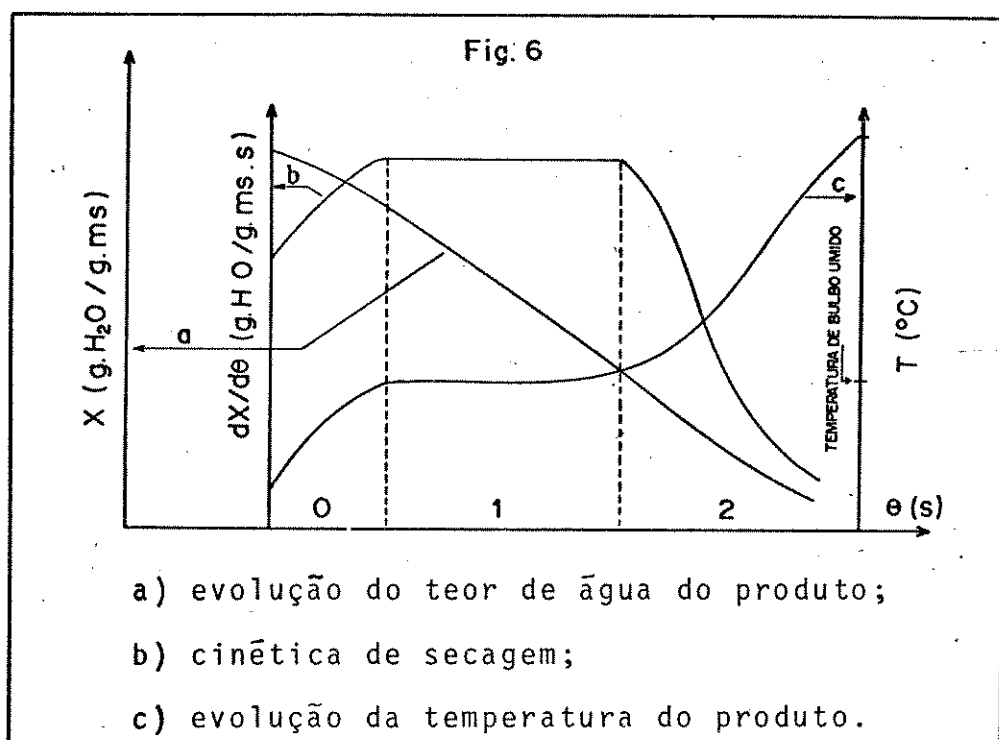
Alvarenga & Col. (1980), citam como sendo seis os possíveis mecanismos de transporte de água em sólidos.

1. Difusão líquida, devido ao gradiente de concentração.
2. Difusão de vapor, devido ao gradiente de pressão parcial de vapor causado pelo gradiente de temperatura.
3. Fluxo de líquido e de vapor, devido a diferença de pressão externa, contração, alta temperatura e capilaridade.
4. Escoamento por efusão, escoamento de Knudsen, que ocorre quando o caminho livre das moléculas de vapor for igual ao diâmetro dos poros. Esse mecanismo só é importante para condições de alto vácuo.
5. Movimento de líquido devido à força gravitacional, o que não influi significativamente na secagem de alimentos.
6. Difusão superficial, que não é levada em consideração na maioria das teorias existentes, pelo fato de ser praticamente desprezível.

Representando em diagrama no interior do sólido, temos:



De acordo com Daudin (1983), a curva característica de secagem é conforme mostrado na Figura 6.



No momento em que submete-se uma amostra úmida a condições do ar de secagem ocorrerá simultaneamente transferência de calor e massa.

A Figura 6, representa as curvas de evolução do tempo (θ), do teor de água no produto (X) de sua temperatura (T) e da veloci-

dade de secagem (dX/dO), denominada também de taxa de secagem, para um ar com propriedades constantes.

No começo da secagem o produto é geralmente mais frio do que o ar e a pressão parcial de vapor de água na superfície do produto é pequena, ocorrendo deste modo um período de "indução", representado pela região "0". Quando a temperatura do sólido se eleva, ocorre uma elevação na taxa de secagem, fenômeno este que continua até que a transferência de calor seja igual a energia necessária para evaporar a água (transferência de massa).

O período 1 descreve o período de taxa constante de secagem. Durante este período, como no anterior, a quantidade de água livre no produto é bem grande.

Neste período a pressão de vapor de água na superfície do material é constante e a temperatura do material é igual a temperatura de bulbo úmido. Nonhebel (1971), sugere ser a terminologia mais correta "secagem a temperatura de bulbo úmido" ao invés da utilização de "período de taxa constante de secagem", uma vez que cada período de taxa constante corresponde a uma condição externa de secagem constante.

Este período permanece até que a migração de água do interior à superfície do produto seja suficiente para compensar a perda por evaporação na superfície.

O período 2 descreve o período de taxa decrescente de secagem, que se expressa no momento em que a quantidade de água na superfície diminui ocasionando o decréscimo da velocidade de secagem. O valor do teor de água do produto no ponto de transição entre os dois períodos (1 e 2) é denominado de conteúdo de umidade crítica.

A transferência de calor não estando mais compensada pela evaporação faz com que a temperatura do produto aumente e tenda as-

sintoticamente para a temperatura do ar. Neste período o fator limitante é a migração interna de água. Esta redução da taxa de secagem é mais freqüentemente interpretada pela diminuição da pressão parcial de vapor de água na superfície. O material tenderá ao equilíbrio com o ar (umidade de equilíbrio).

Fazendo uma breve explanação das teorias existentes na literatura, referentes ao movimento da mistura no interior do material temos, Figura 7, Park (1986/1987).

Atualmente existem as seguintes teorias para explicar o comportamento de secagem no período de taxa decrescente de secagem, sendo:

- teoria difusional
- teoria capilar
- teoria de Luikov
- teoria de Philip & De Vries
- teoria de Krishner—Berger & Pei
- teoria da Condensação-evaporação

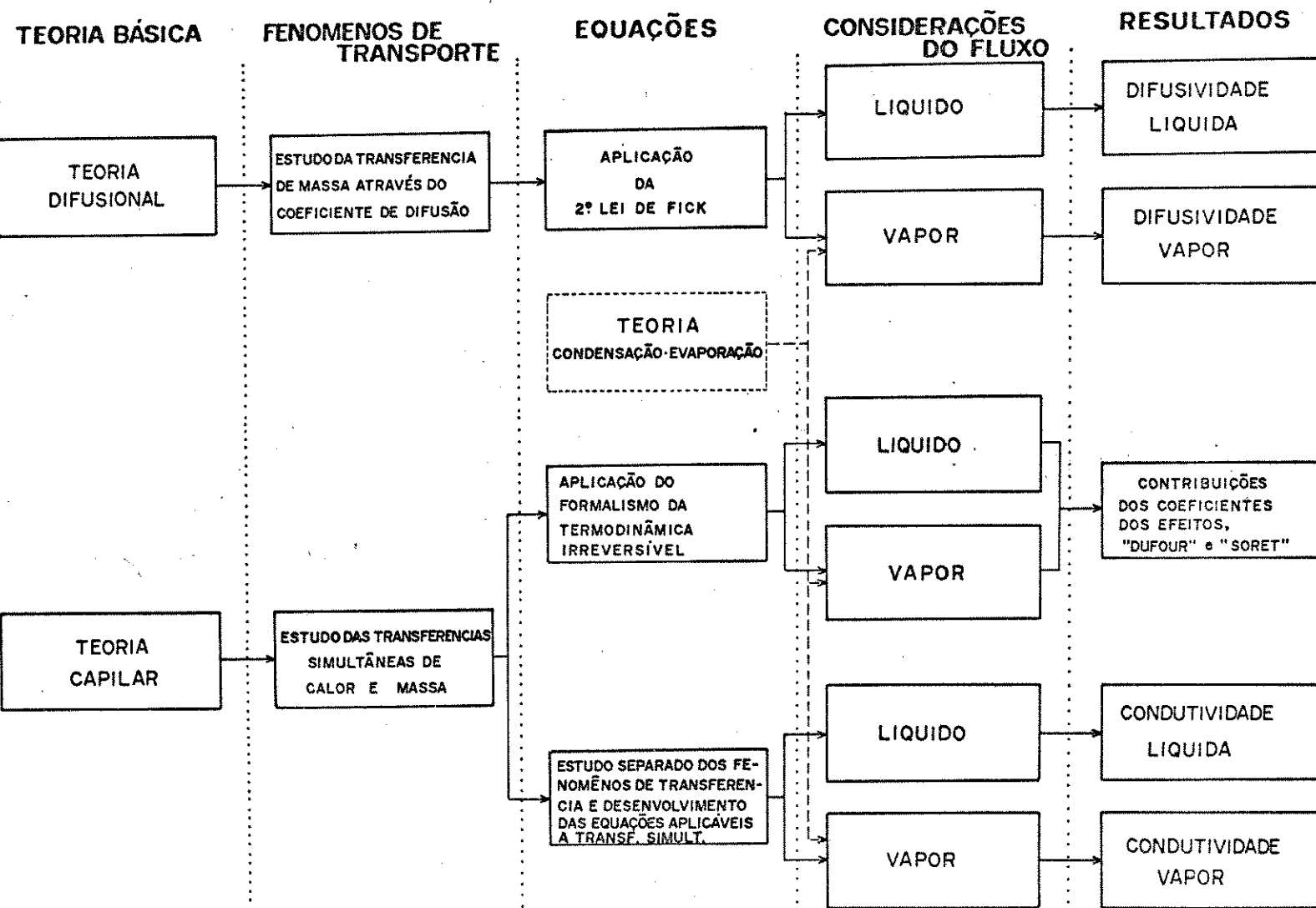
Conforme explicação de Park (1986/1987) temos as duas primeiras teorias básicas, conforme os quadros da primeira coluna Figura 7, que fundamentam as outras teorias.

Os fenômenos de transporte enfocados em cada teoria básica, estão colocados na segunda coluna da figura, ressaltando que a teoria difusional é uma simplificação da equação geral de transferência de calor e massa.

As equações pertinentes e as considerações do fluxo em cada teoria básica estimarão os coeficientes de transferência resultantes. Discriminando as teorias temos:

A. Teoria Difusional

A utilização da 2ª lei de Fick para descrever a secagem no período de taxa decrescente é feita por Lewis (1921) e Sherwood (1929).



A 2ª Lei de Fick para a transferência unidimensional é:

$$\frac{dx}{d\theta} = \frac{\partial (D \, dx/dz)}{\partial z}$$

onde: x - conteúdo de umidade (g.H₂O/g.matéria seca)

θ - tempo (segundos)

D - difusividade (m²/s)

z - direção da transferência (m)

As suposições básicas assumidas na resolução desta equação são:

- a difusividade é constante;
- material que está sendo seco é homogêneo;
- o material não encolhe durante a secagem;
- a superfície de secagem está em equilíbrio com o ar de secagem;
- o conteúdo de umidade do material tende para a umidade de equilíbrio;
- o movimento de água resulta do gradiente destas umidades, onde o perfil linear de concentração de umidade do material é assumido.

Devido a discrepância nos resultados apresentados das difusividades calculadas utilizando esta equação e considerando o escoamento de água no interior do sólido na forma líquida, os autores Van Arsdell (1947) & King (1968) tecem as considerações para sugerir a utilização desta equação para escoamento de água na fase vapor.

B. Teoria Capilar

Esta teoria é proposta para descrever o fluxo líquido do sólido, criado por Buckingham (1907), expressando o fluxo capilar como sendo:

$$J = -Kh \, \nabla \phi$$

onde: J - fluxo líquido ($\text{g/m}^2 \cdot \text{s}$)

K_h - condutividade hidráulica em função da fração volumétrica de água (m/s)

ϕ - potencial capilar (g/m^2)

Não sendo o material biológico um material capilar, esta teoria não pode ser aplicada para estes materiais no senso estrito. No entanto, não se pode esquecer que esta teoria fornece ferramentas poderosíssimas para fundamentar às equações fenomenológicas de transferências simultâneas de calor e massa.

Assumir o fluxo de transferência de massa como sendo função somente do gradiente de concentração é simplificar muito, apesar deste gradiente ser o mais importante contribuinte na transferência de massa, Bird, Stewart & Lightfoot (1960). De acordo com a termodinâmica de processos irreversíveis, uma força impulsora pode contribuir na outra força impulsora. Esta contribuição pode ocorrer, mas somente para o par de fluxo-força que sejam tensores de igual ordem ou que difiram em ordem de dois.

Assim, para o fluxo de energia temos o fluxo dependente do gradiente de temperatura (condução de calor) e dependente das forças impulsoras mecânicas (efeito "Dufour"). E para o fluxo de massa temos fluxo dependente das forças impulsoras mecânicas (ordinariamente pressão e difusão forçada) e dependente do gradiente de temperatura (efeito "Soret").

A teoria resultante da aplicação do formalismo de termodinâmicas irreversíveis é atribuída aos pesquisadores Luikov & Mikhaylov (1965) e Luikov (1966). Dentro das considerações a respeito do escoamento, o autor considera a difusão líquida ocorrendo em termos de gradiente de concentração e a difusão vapor ocorrendo em termos de gradientes de temperatura.

As teorias resultantes dos tratamentos, primeiro identificam os fenômenos das transferências separadamente e então desenvolvem equações de fluxo de calor e massa conforme os modelos físicos do sistema, teoria de Philip & DeVries (1957) e teoria de Krisher-Berger & Pei (1973). Estas teorias também analisam os movimentos na forma líquida e vapor.

De Vries (1975), atribui aos pesquisadores Krisher & Rohnalter (1940), como sendo os primeiros a sugerirem a influência do movimento de vapor na transferência de vapor no meio poroso.

A teoria de Philip & De Vries (1957) é amplamente utilizada para estudar os fenômenos de transferências no solo, não tendo sido ainda utilizada para a secagem de materiais biológicos.

Baseado nos tratamentos de Krisher (1940), Berger & Pei (1973), derivam uma teoria que leva em consideração as suposições de que o escoamento líquido (devido ao gradiente de concentração), escoamento vapor (gradiente de pressão) e o equilíbrio (isotermas) para estudar a cinética de secagem.

Como última teoria, a "teoria de condensação-evaporação" considera a migração de umidade ocorrendo somente na fase vapor. As equações desta teoria são derivadas dos balanços de massa e energia. Em termos de trabalhos existentes em secagem, a migração de umidade na fase líquida não pode ser desprezada assim esta teoria não encontrou aceitação nesta área.

Conforme a utilização das equações pertinentes a cada teoria nos dados experimentais de secagem, resulta-se numa avaliação dos coeficientes de transferência de acordo com as nomenclaturas colocadas nos quadros, no item resultados, da Figura 7.

3. Considerações para o pescado

O conteúdo de água no pescado magro e fresco é normalmente ao redor de 80% do peso total a diferentes temperaturas.

Tradicionalmente o conteúdo de água é expresso como porcentagem do peso do produto. Investigações mais recentes indicam que a propriedade conhecida como atividade de água poderá ser um guia mais preciso no estudo de desidratação pelo estudo do conteúdo de água a se retirar.

A atividade de água é a umidade relativa de equilíbrio, ou seja, uma medida de água livre ou disponível no alimento. Em outras palavras, aquela água que não está vinculada a outros componentes do alimento e por isso está livre para reagir quimicamente ou em caso de decomposição propiciará o crescimento de microorganismos. A atividade de água pura recebe um valor igual a 1 e a atividade de água em um alimento se expressa como uma fração relativa de água pura.

Labuza, Kaanane & Chen (1982), comentam que um importante fator que afeta a estabilidade dos alimentos desidratados é a atividade de água, concluindo que as reações químicas e a atividade microbiológica são diretamente controladas pela atividade de água.

Na desidratação do pescado, como em toda operação de secagem, a água da superfície do material se evapora e a água do interior do pescado migra para a superfície durante esta operação.

A eliminação da água ocorre durante a primeira fase em função da evaporação superficial, já que na superfície há um alto conteúdo de água livre. A secagem nesta fase depende somente das condições do ar de secagem (temperatura, umidade relativa e velocidade do ar).

Prosseguindo a secagem, a migração da umidade no interior à superfície é menor do que a taxa de secagem superficial causando diminuição na taxa de secagem, iniciando-se então o denominado período de taxa decrescente de secagem.

O ponto que separa estes dois períodos, isto é, o ponto de inflexão do período constante e decrescente, é comumente denominado de ponto crítico ou conteúdo de umidade crítica, conforme pode ser visto em livros de secagem, como por exemplo Nonhebel (1971). No entanto conforme as explicações fenomenológicas do Keey (1972), este primeiro ponto de inflexão é um ponto pseudo crítico, devido principalmente a dois fatores, a saber:

1. Este ponto não é uma propriedade física, isto é, depende inclusive do conteúdo de umidade inicial do material.
2. É difícil separar a fase de "indução" do material durante a secagem da taxa constante. O denominado período de "indução" é o período no qual o material deve se adaptar às condições de secagem.

Conseqüentemente o ponto crítico seria o segundo ponto de inflexão em diante, onde a explicação fenomenológica mais plausível de ponto crítico é mudança de estado fenicular para o pendular baseado nos estudos em meios capilares porosos.

O período de velocidade decrescente começa no ponto de umidade crítica ou pseudo crítica no qual se observa uma rápida diminuição na velocidade de secagem, diminuindo mais à medida em que o conteúdo de umidade do pescado se aproxima da umidade de equilíbrio. Ao evaporar-se a água da superfície, a velocidade de evaporação depende, a partir deste momento, da velocidade de difusão da água das camadas mais profundas até a superfície, ou seja, a velocidade de desidratação pouco depende da velocidade do ar que passa sobre o pescado e da sua umidade.

Indiscutivelmente, a teoria difusional tem sido utilizada

para descrever cinética de secagem do pescado, pois apresenta a grande vantagem da equação da 2ª Lei de Fick de ajustar bem os dados experimentais conforme Daudin (1983).

É atribuída a Lewis (1921), a primeira utilização da equação de Fick para analisar secagem. Posteriormente Sherwood (1929), trabalhando a equação de Lewis, propõe a utilização do termo difusional em secagem como referência somente à migração interna de umidade no sólido.

Conforme pode ser visto na equação e nas hipóteses assumidas na sua resolução, o encolhimento do material durante a secagem deve ser enfocado não só em termos de textura do material mas como no decréscimo de área para transferência simultânea de calor e massa. O tamanho do material a ser seco (espessura) também influi na análise dessa equação pela dimensão característica do passo difusional (semi-espessura no caso das duas superfícies expostas).

Dentro das mudanças estruturais, os materiais biológicos exibem o fenômeno conhecido como "*endurecimento superficial*" Van Arsdel & Copley (1963).

Para o fenômeno do endurecimento superficial na secagem, existem basicamente duas explicações:

1. a secagem superficial é muito rápida, não permitindo a reposição de água pelo interior do material na mesma velocidade da retirada superficial.
2. existe a formação da crosta superficial que impermeabiliza a superfície, impedindo a saída de água.

Do ponto de vista estritamente matemático e fenomenológico, a primeira suposição é rebatida pois, quanto mais rápida a secagem, mais rápida a promoção do gradiente de umidade no interior do sólido, causando e acelerando a transferência de massa. Portan-

to, a justificativa mais utilizada é a 2^a explicação, que inclui considerações tais como a existência de reação química ou presença de solutos que alteram as características da superfície de secagem, sendo a mais correta.

No entanto desconhecemos a quantificação do fenômeno de endurecimento superficial, deixando pois este efeito para ser avaliado através das experiências práticas.

A quantificação do fenômeno do encolhimento, torna-se importante na análise da cinética de secagem e conseqüentemente de forma global no fenômeno de secagem. Do ponto de vista matemático, o efeito do encolhimento causa mudança nas condições de contorno, para a resolução da equação de Fick.

Em certos materiais a taxa inicial de secagem pode não ter a região de taxa constante devido a influência do encolhimento, Gorling (1958).

A variação das dimensões lineares nos primeiros estágios de secagem é igual a variação da quantidade de água removida, sendo que nos estágios finais, a variação do volume (conseqüência da variação da dimensão linear) é menor que a variação da água removida, Kilpatrick & Col. (1955).

Suzuki & Col. (1976), trabalhando com alguns tipos de vegetais analisam o encolhimento, atribuindo três modelos: modelo de secagem uniforme, modelo de secagem central e o modelo de secagem semi-central.

Park & Cornejo (1987), estudaram o encolhimento do cação durante a secagem, obtendo correlação linear da variação das dimensões lineares em função do conteúdo de umidade, verificando-se um alto índice de correlação.

Um dos melhores trabalhos na área de secagem do pescado é

de Jason (1965), que considera o músculo de peixe como sendo gel, possuindo um meio isotrópico a qualquer conteúdo de umidade. Comentando a evaporação superficial, cita a influência da espessura da camada limite do ar que controla a difusão de água na superfície, sendo facilmente verificada no início do processo de secagem. No caso de músculo de peixe, inicialmente possuindo um teor de umidade de 400%, a taxa de secagem pode ser considerada constante até o conteúdo de umidade de 100% em relação ao peso seco. E ainda nos seus trabalhos o autor sugere a existência de dois períodos de taxa decrescente com difusividades efetivas diferentes nestes períodos.

Wirth & Col. (1975), citam a importância da temperatura crítica como o primeiro termo a ser estudado entre os parâmetros para secagem, sendo a máxima temperatura a que pode se submeter o pescado salgado sem que este sofra cozimento e que, quando submetido a reconstituição (reumidificação) não apresente defeitos em sua textura, nem modifique suas características organolépticas e reológicas, perdendo assim sua aceitação para o consumo humano. Este valor irá determinar o intervalo de temperatura em que se pode submeter o pescado salgado durante a operação de secagem.

Na secagem, o material biológico estará sujeito a esta temperatura crítica além dos outros parâmetros de secagem.

Os autores em seus experimentos consideram ser possível submeter a carne de cação salgado ("*Mustelus Shimitti*", "*Galeorhinus Vitaminius*" e "*Cynoscion Striatus*") a temperatura de até 35°C, obtendo-se em todos os experimentos produtos finais secos, não cozidos e de completa reconstituição, com uma velocidade do ar sobre o material entre 1 e 3m/s e uma umidade relativa ao redor de 50-55%. Ressaltam que a desidratação é mais lenta a menores velocidades e não muito mais rápidas a maiores velocidades, o que impli-

caria num maior custo de energia caso opte por velocidades maiores.

Peters (1966), menciona que a umidade relativa tem um efeito mais pronunciado quando a velocidade do ar está abaixo de 3m/s. O tempo de secagem com umidades relativas acima de 60% diminui consideravelmente, mesmo utilizando a velocidade do ar acima de 6m/s.

Utilizando blocos de pescado com dimensões de 50,8 x 25,4 x 5,1cm prensados (aprox. 0,07 a 0,11kg/cm²) durante 30 minutos e a seguir submetidos à salga mista durante 18 a 21 dias, obtinha-se 61% de água (base úmida) e 40% de sal (base seca). O autor conclui que a umidade relativa e a velocidade do ar exercem um considerável efeito sobre a secagem no pescado com salga leve e um efeito menor sobre o pescado com salga forte. Afirma ainda que, para a secagem, a velocidade do ar deve ser no mínimo 3m/s, no início para evitar deterioração. Ao se pretender instalar um secador, este deverá ter uma capacidade de ventilação do ar de no mínimo 4,6m/s, sendo que após às primeiras 8-12 horas de secagem, não há mais a necessidade de altas velocidades do ar, aumentando a área do secador para um maior acondicionamento de material a ser seco.

Bastos (1977), comenta que um pescado efetivamente seco é aquele em que o conteúdo de umidade é inferior a 25%, enquanto nos parcialmente desidratados, a umidade poderá estar ao redor de 50%. A umidade relativa do ar no secador deverá ter valores compreendidos entre 45-55%, a velocidade do ar 1,0-3,0m/s, a temperatura em dados experimentais na faixa de 30-40°C. O tempo de secagem variará em função de alguns fatores: umidade inicial do produto, tamanho e forma do peixe, espaçamento entre as amostras no secador e condições do ar de secagem.

Madrid & Copriva (1984), descrevem que a secagem poderá

ser realizada, se as condições ambientais permitirem, diretamente sob a ação dos raios solares e do vento ou através de secadores artificiais. Técnicas europeias recomendam que a temperatura não ultrapasse 28°C; já peixes tropicais, segundo trabalhos práticos realizados no Brasil, permitem temperatura de 40°C e umidade relativa entre 35-60%. Argumentam os autores que as condições ambientais brasileiras não são às vezes adequadas para obter os valores acima mencionados, sendo necessário recorrer a sistemas artificiais de secagem.

Chupakhin & Dormenko, citam através de dados experimentais que para secagem de pescado a temperatura não deve exceder 40°C e efetuam cálculos de dimensionamento de secadores utilizando 1m/s para a velocidade do ar para secagem (secador artificial para sardinha "*Gíprorybprom*").

Waterman (1978), afirma que para zonas temperadas são conhecidas as condições ótimas de secagem. A velocidade do ar deverá ser de 1-2m/s, comentando que uma velocidade maior melhora o grau de secagem inicial, mas reduz o período de velocidade constante, não influenciando no tempo de secagem total. A temperatura do ar deverá ser fixada entre 25-30°C, sendo ao redor de 27°C. A umidade relativa deverá estar entre 45-55% na entrada do secador. Uma umidade relativa menor poderá resultar em um endurecimento superficial do pescado e um aumento da umidade relativa reduz o grau de secagem.

Comenta ainda que em alguns países tropicais geralmente não é possível manter a temperatura inicial do ar abaixo de 30°C sem se introduzir alguma forma de refrigeração, e que em algumas zonas tropicais, ensaios efetuados em secadores de túnel com temperaturas maiores que 30°C, resultaram em um produto de aceitação local. No Brasil, por exemplo, verificou-se bons resultados em um

secador de túnel que operava com temperaturas ao redor de 35-400C.

Conclui o autor que os experimentos realizados no Brasil, ainda que efetuados há alguns anos, devem ser examinados mais a fundo.

4. Critérios e procedimentos para dimensionamento ou escolha

Conforme descrito por Nonhebel (1971), os parâmetros envolvidos na secagem são:

4.1. Transferência de calor

1. Transferência de calor desde o meio de aquecimento até a superfície líquida;
2. Transferência de calor no filme de líquido aderido no sólido;
3. Transferência de calor direta do sólido para o líquido;
4. Transferência de calor do sólido para o líquido através do filme superficial e dentro dos interstícios e poros de massa sólida;
5. Transferência de calor desde o meio de aquecimento até a do sólido seco;
6. Condutividade térmica do líquido;
7. Condutividade térmica do sólido úmido;
8. Condutividade térmica da zona perto do sólido seco;
9. Calor latente do líquido;
10. Calor de hidratação, quando se elimina água combinada ao finalizar o processo de secagem.

4.2. Atmosfera de secagem

1. Pressão e temperatura da atmosfera de secagem;
2. Composição da atmosfera de secagem, incluindo mudanças na pressão parcial do líquido através do processo de secagem;
3. Velocidade relativa da atmosfera de secagem com respeito a superfície seca.
4. Pressão de vapor efetiva do líquido, por exemplo, influência de solutos.
5. Grau de saturação da atmosfera de secagem dentro do leito sólido.

4.3. Propriedades físicas gerais do sistema sólido-líquido

1. Tensão interfacial entre o sólido e o líquido;
2. Espessura do filme aderido ao sólido;
3. Relação entre a área superficial e o volume do líquido contido nos poros;
4. Coeficiente de difusão do vapor nos poros;
5. Sucção capilar de líquidos dentro dos poros;
6. Gradientes de concentração de líquidos nos poros;
7. Presença de materiais fibrosos ou cavidades no meio dos sólidos;
8. Conteúdo máximo de impurezas solúveis no líquido residual presente no material úmido.

4.4. Propriedades do sólido

1. Tamanho das partículas;
2. Área efetiva do sólido;

3. Porosidade; significa, tamanho e longitude dos poros e a extensão em que estão ramificados;
4. Solubilidade do sólido no líquido quando o líquido é parte da estrutura do sólido úmido;
5. Resistência do material seco à fricção;
6. Máximo conteúdo de líquido tolerável no produto seco.

Além de observar a importância destes parâmetros para o dimensionamento, ressaltamos algumas considerações adicionais:

Dentro da secagem por convecção, a forma em que o ar passa sobre o sólido, pode ser subdividida em: passagem de uma corrente paralela sobre o sólido, passagem do ar rodeando o sólido (o ar chega perpendicularmente e logo se espalha sobre o sólido), passagem do ar através do material (fluxo cruzado, leito fixo) e arraste do material pela corrente (fluidização, leito agitado).

A secagem descontínua é uma operação custosa e consequentemente fica limitada à pequena escala. A secagem contínua oferece vantagens devido ao conjunto de equipamentos necessários ser pequeno e o produto apresentar um conteúdo de umidade mais uniforme, implicando no custo de secagem por unidade do produto ser relativamente pequeno, o que já não ocorre com a secagem descontínua, pois depende da substância a secar.

Nonhebel (1971), cita ainda em seu livro que para o dimensionamento de um sistema de secagem é necessário que se faça determinações das características de secagem do material num secador em escala de laboratório e as medidas físicas. Avaliando o seu desempenho em tipos diferentes de secadores, conclui que pesquisas nesse sentido poderão diminuir os custos de operação e promover melhoramentos nas condições de secagem, além do melhoramento do produto final.

No momento em que se seleciona ou se projeta um tipo de

secador devemos tomar em conta algumas características, como:

- propriedades do material, quanto às suas características físicas do composto úmido (forma, tamanho, tipo de superfície), corrosividade, toxidade, inflamabilidade, tamanho de partículas e abrasividade.
- características de secagem do material, quanto ao conteúdo de umidade inicial, conteúdo de umidade máxima final admitida e processos posteriores à secagem.
- quanto à qualidade do produto no que se refere ao encolhimento, contaminação uniformidade da umidade do produto final, temperatura do produto e densidade do sólido.
- quanto à produtividade do processo, em termos de quantidade que se pode manipular por hora, trabalho contínuo ou descontínuo, tratamentos antes e depois da secagem.
- características do projeto, ou seja, características do ar de secagem, combustíveis disponíveis, energia elétrica disponível, fonte de origem do material úmido e outros.

Depois desta análise preliminar e escolhidos os tipos de secadores faz-se um estudo aproximado quanto ao tamanho e os custos, eliminando aqueles que diferem muitos dos propostos através de comparações críticas.

Para a escolha final, exige-se ensaios em secadores modelos que simulem cada um dos tipos. Destes ensaios estabelecem-se as condições ótimas de trabalho, qualidade do produto e o tamanho do secador, Wirth & Col. (1975).

Daudin (1983), descreve que a cinética de secagem rege o funcionamento de um secador industrial. No momento em que não se leva a sério a complexidade dos fenômenos envolvidos na secagem, as equações de modelos teóricos deverão ser resolvidas através dos dados experimentais. Comenta que a escolha de um tipo de secador e suas dimensões é atualmente empírica, dimensionando-se ou escolhendo-se em função da experiência do construtor sobre o material

considerado ou em função de um material semelhante através dos resultados obtidos de um secador piloto ou industrial, incorporando-se um elevado coeficiente de segurança.

Em se tratando de materiais biológicos, aumentam as dificuldades. Este espírito é traduzido nas palavras de Daudin que diz: "*A construção do secador tem mais de arte do que conhecimento do produto ou do material*".

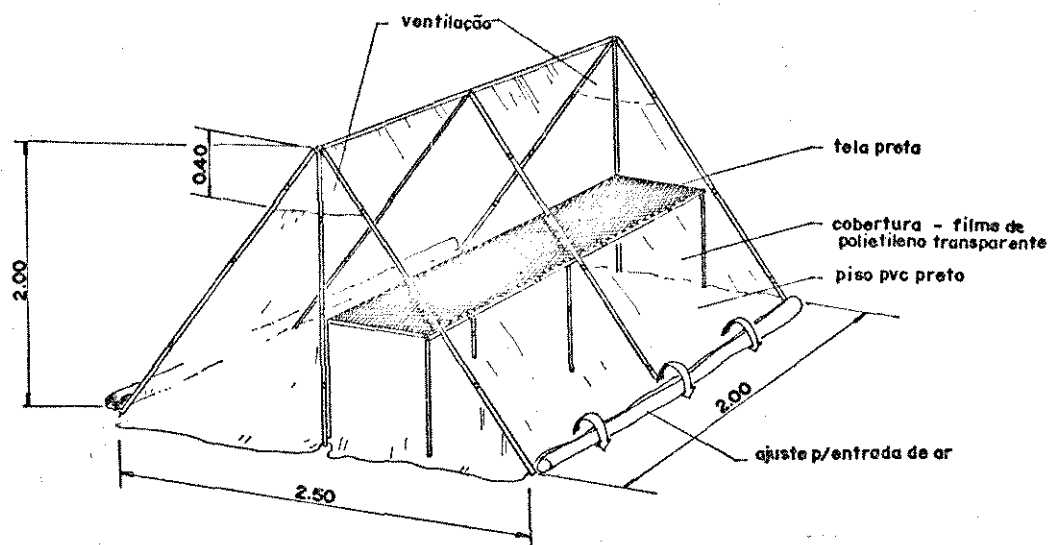
As medidas de constantes físicas indispensáveis para o cálculo são longas, delicadas e em consequência custoso, onde estes valores são tomados da literatura ou avaliados através da analogia das equações de transferência de calor.

4.5. Tipos de secadores dimensionado para pescado

Curran & Trim (1975), citam em suas investigações dois secadores solares para pescado a saber: o secador tipo tenda "*Solar Tent dryer*", desenvolvido por Doe, P.E. (1979) e o "*SDC solar dryer*" desenvolvido por Exell, R.H.B. (1980).

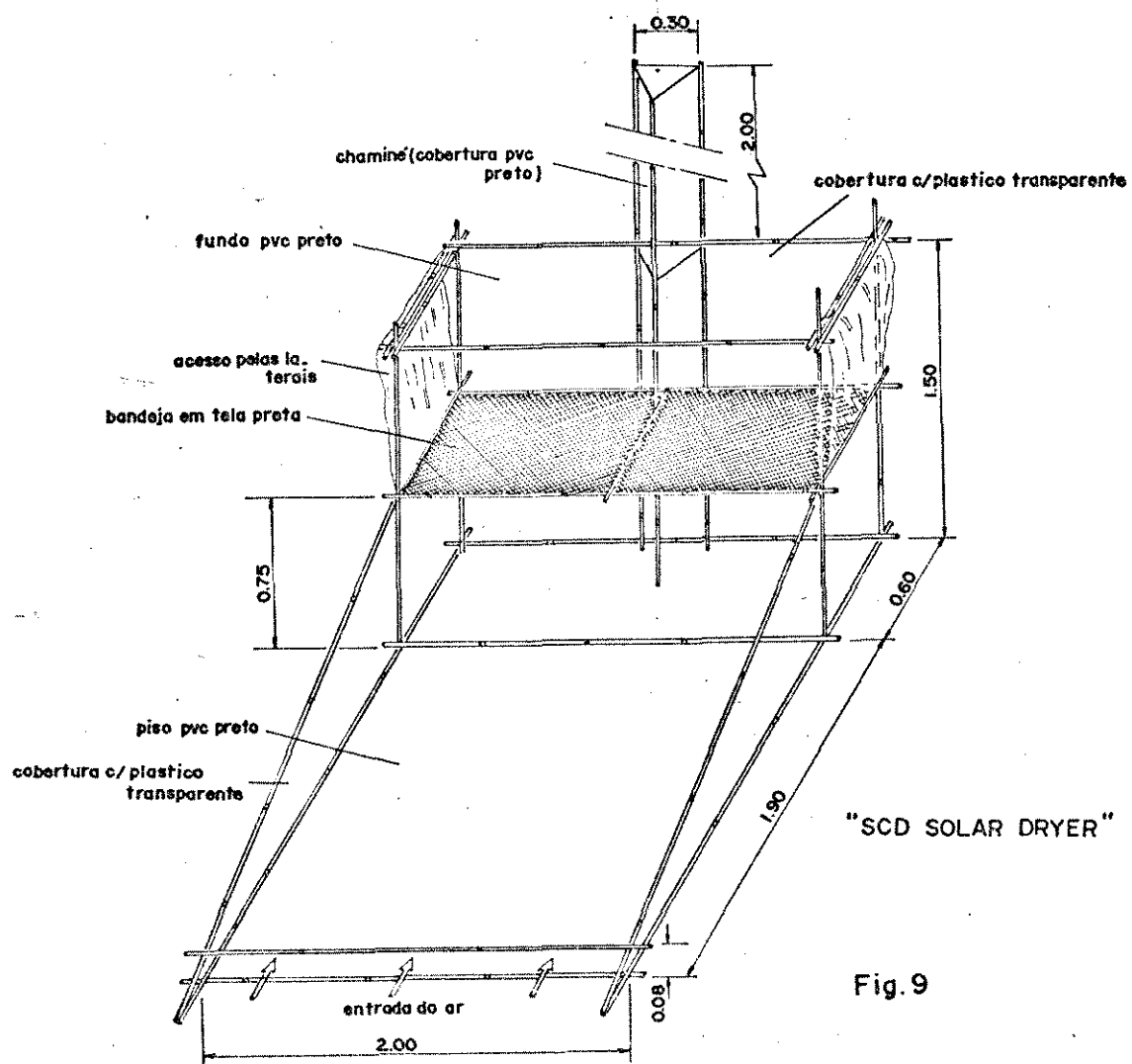
Conforme demonstrado nas Figuras 8 e 9, tratam-se de secadores alternativos construídos basicamente de bambu e filme de polietileno, diferenciam-se pelo tipo de aproveitamento das condições do ar de secagem. O da Figura 8, construído em forma de tenda, o ar entra pela parte inferior, sendo a abertura regulável. O segundo modelo tem como características: um coletor solar e uma chaminé, que permite um melhor desempenho do ar quente.

Sison & Col. (1977), referenciam a utilização de um secador artificial. Através da queima de resíduos vegetais em um pequeno forno, aquece-se o ar que será insuflado por meio de um ventilador em uma câmara de secagem provida de bandejas. Conforme demonstrado na Figura 10, as condições de secagem apresentadas pelos auto-



"SOLAR TENT DRYER"

Fig. 8



"SCD SOLAR DRYER"

Fig. 9

Estrutura em bambu e cobertura em filme de polietileno

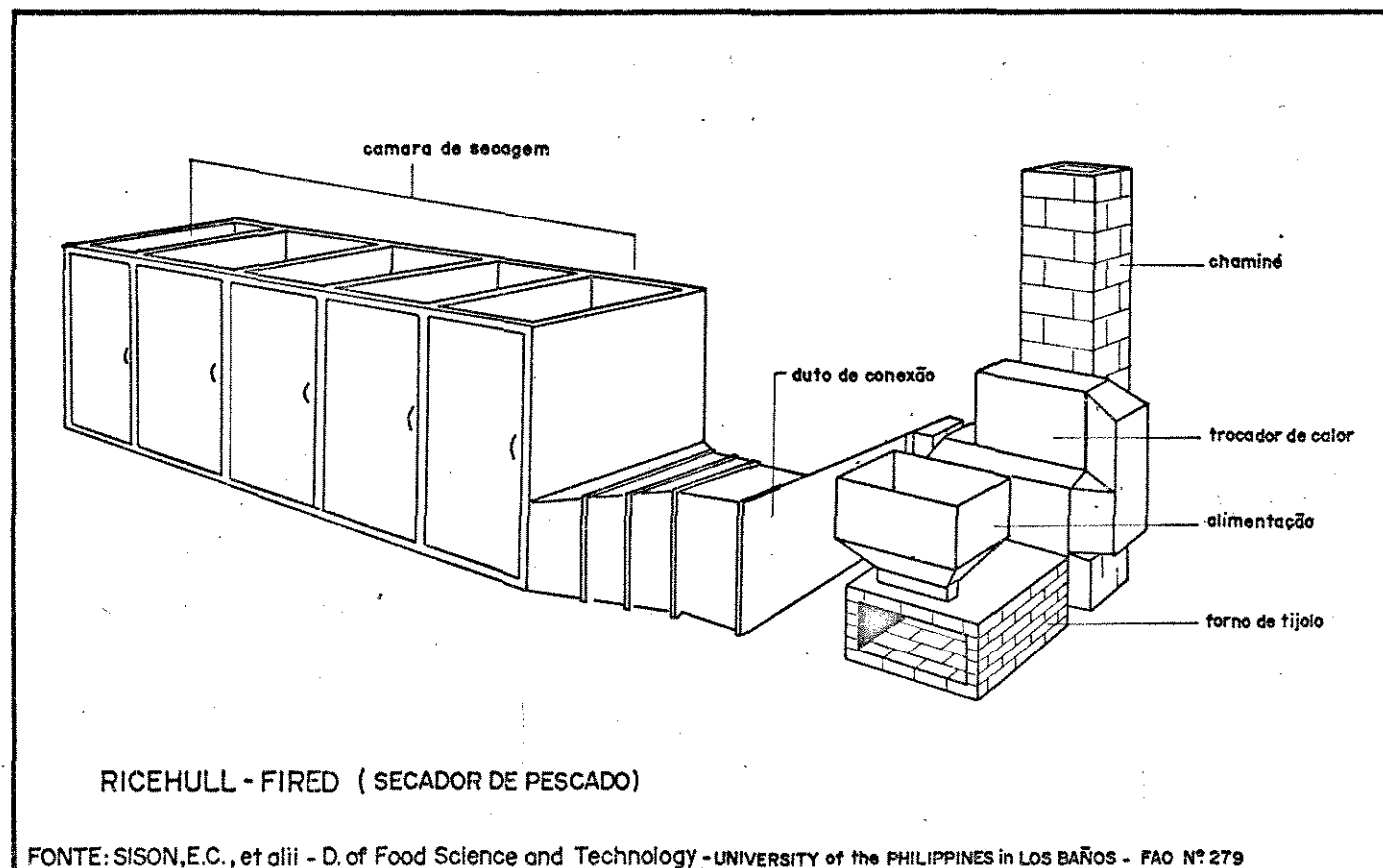


Fig. 10

res quanto à sua economicidade são válidas, apenas faltando um controle para que este sistema ofereça um ar de secagem tecnicamente mais adequado para pescado, já que as temperaturas são superiores a 50°C e vazões de 153m³/min, o que tecnicamente não está de acordo com a literatura para secagem de pescado.

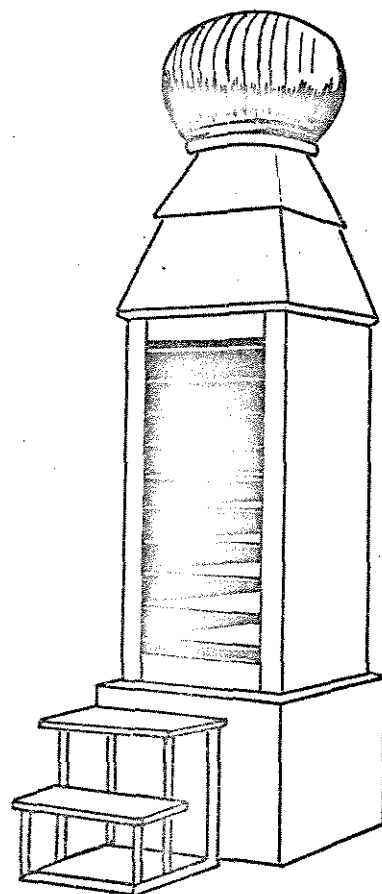
Villadsen & Flores (1982), através de uma patente norte-americana, desenvolveram um secador vertical de bandejas com a utilização de uma "Windturbine/Ventillator" **Figura 11**. Este sistema permite através de ventilação ambiente promover a rotação. Devido a configuração de suas aletas, este sistema, funciona como um cata-vento e ao mesmo tempo como um exaustor, succionando o ar do interior do secador. Na parte inferior do secador foi montado um sistema de aquecimento onde este ar aquecido é succionado através de bandejas.

O sistema foi dimensionado para secar 100kg de pescado, a uma temperatura entre 50°C e 60°C e uma velocidade do ar de secagem de 0,9m/s.

Apesar do sistema ter um significativo potencial científico, apresenta uma temperatura que compromete a qualidade do produto seco.

Orejana & Embuscado (1982), descrevem dois tipos de secadores: "o secador solar tipo cadeira" e o "Agrowaste Multipurpose dryer/smoker".

O secador solar **Figura 12**, é construído em madeira e filme de polietileno, secando pescado com a utilização de três bandejas. Este modelo utiliza uma chaminé para o escoamento do ar para o ambiente.



Primeiro secador prototipo utilizando
WINDTURBINE / VENTILLATOR

FONTE: VILLADSEN, A. & FLORES, F.

Fig. 11

SECADOR SOLAR (chair type)

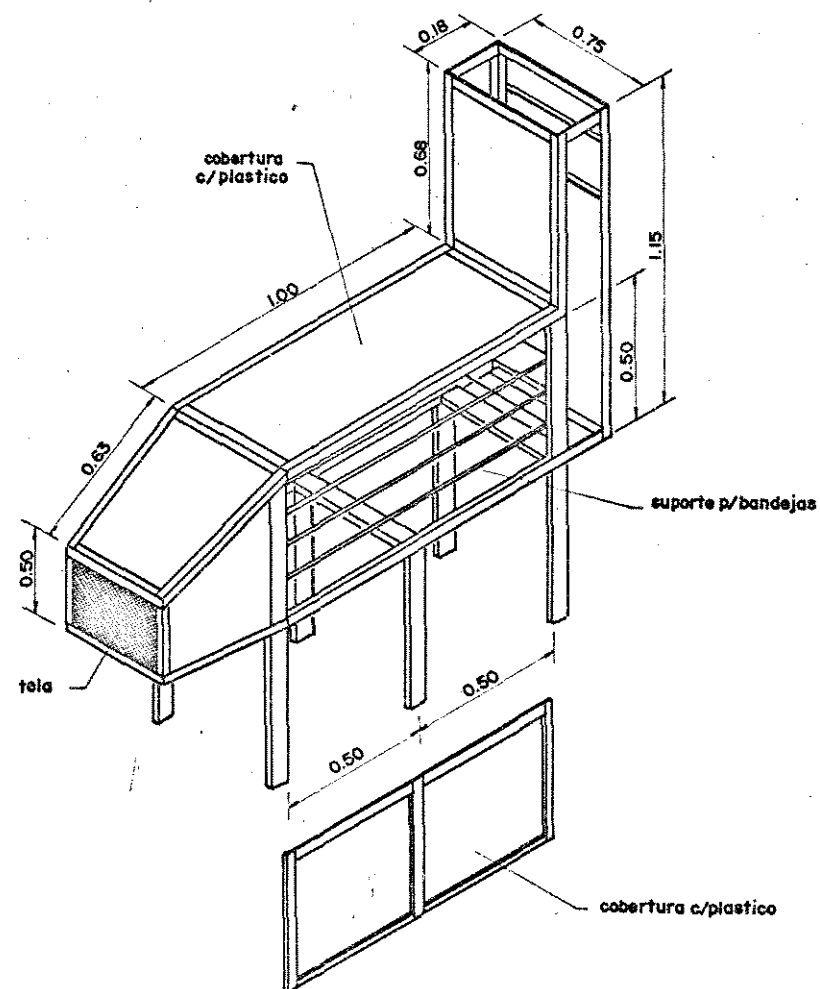


Fig. 12

FONTE: OREJANA, F.M. & EMBUSCADO, M.E. - UNIVERSITY of the PHILIPPINES - VISAYAS - FAO Nº 279

O secador "Agrowaste Multipurpose dryer/smokes", como o próprio nome o referencia, possibilita tanto a secagem como a defumação de pescado, **Figura 13**. Construído em estrutura metálica, com queima de resíduo vegetal, há na parte superior um ventilador que entra em funcionamento quando se efetua a secagem e uma chaminé quando utilizado para defumação. Para defumação tem-se um sistema separado acoplado à câmara quando se deseja a injeção de fumaça.

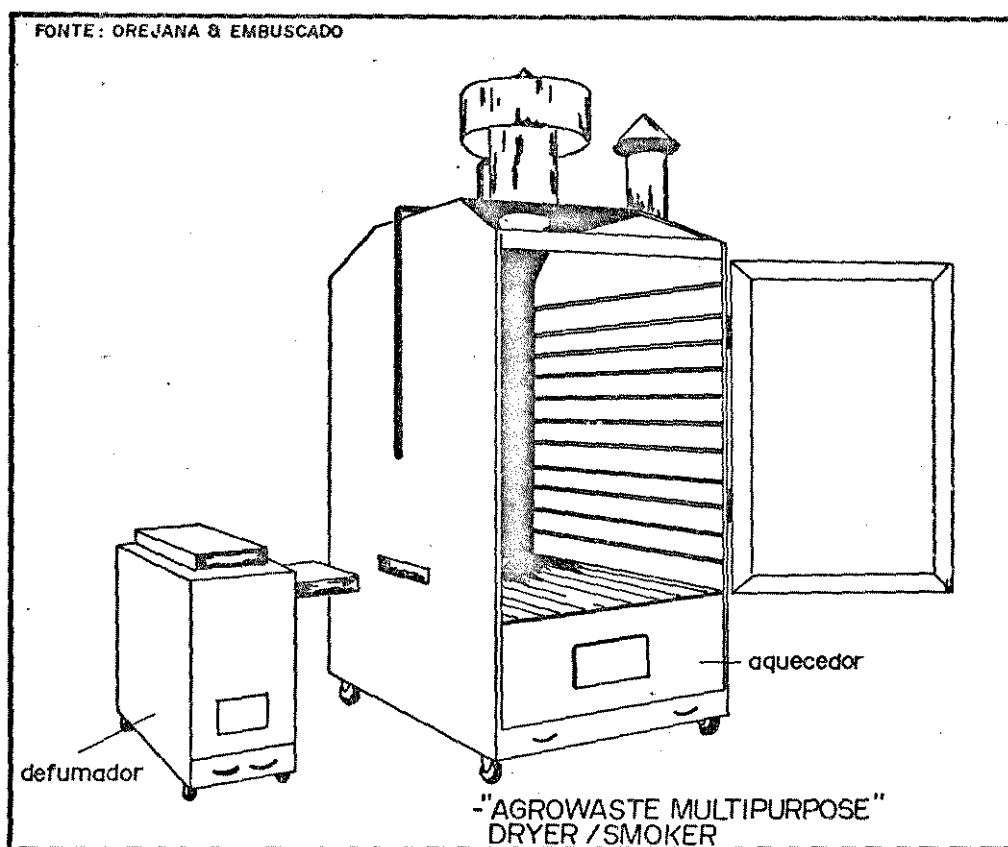


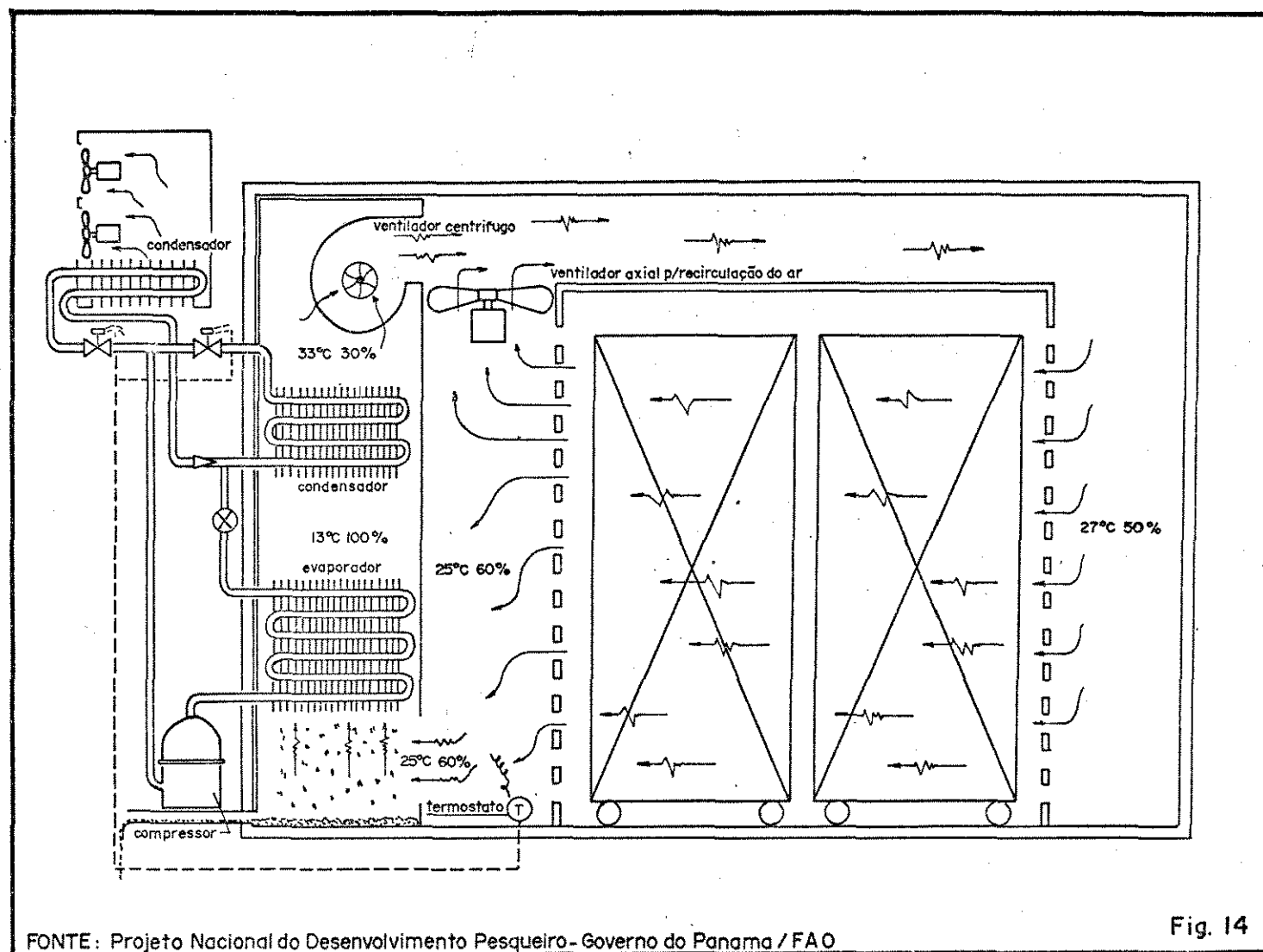
Fig. 13

O governo do Panamá/FAO (1973), através do "Projeto Nacional do Desenvolvimento Pesqueiro", solicitou ao mercado a construção de um secador mecânico para a desidratação de pescado salgado, com capacidade de processar 200kg aproximadamente.

De acordo com a Figura 14, tem-se uma idéia geral do sistema, composto de: compressor com capacidade de 25020Kcal/h; um evaporador com circuitos para o refrigerante onde pode-se obter um ambiente resfriado saturado; um condensador no interior do circuito onde parte da carga térmica se libera, aquecendo o ar resfriado pelo evaporador, abaixando a umidade relativa. Este ar com características para secagem é então introduzido por um ventilador centrífugo num compartimento onde está a matéria-prima a ser seca (pescado); parte deste ar que entrou em contato com a matéria-prima ainda é aproveitado por um sistema de recirculação, devido ao fato de ainda estar dentro das características ideais para a secagem, sendo que a outra parte deste ar atravessa o circuito de resfriamento e aquecimento; a carga térmica excedente do ciclo frigorífico é rejeitada por um condensador no exterior do circuito por intermédio de ventiladores axiais.

Neste trabalho, apesar de ter sido dimensionado um sistema de secagem que através do ciclo frigorífico mantivesse os parâmetros de secagem, os autores afirmam ter este sistema apresentado algumas falhas; não dispondo de meios para controlar a velocidade do ar estimado em 3m/s e tendo a temperatura e umidade relativa fixada em função do sistema, observam que mesmo com estes problemas pode-se constatar, pelo que foi descrito, ter o ar de secagem condições aceitáveis para a secagem de pescado, em especial para cação salgado.

Wirth & Col. (1975), utilizaram-se de um secador convencional de bandejas para secagem de pescado Figura 15. Neste secador os autores realizaram estudos com "cação" de forma a obter os parâmetros de secagem.



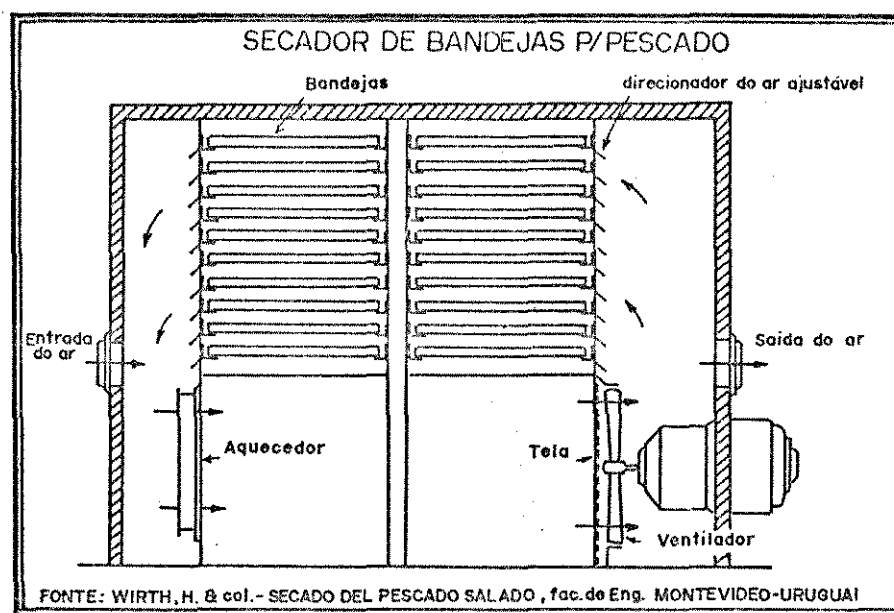
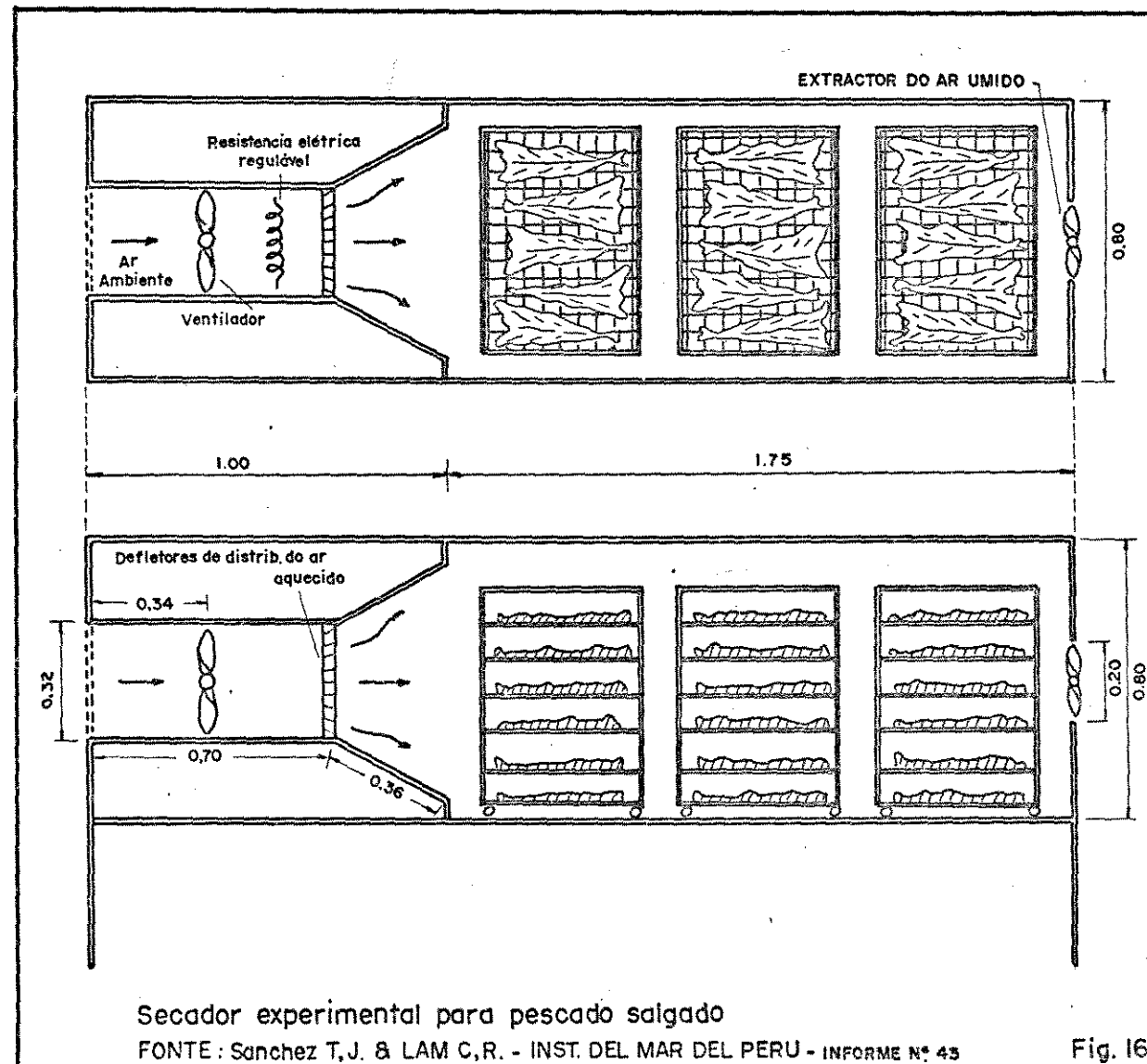


Fig. 15

Sanchez & Lam (1973), desenvolveram um secador artificial, modelo experimental conforme Figura 16, constituído de duas partes: uma câmara de madeira para o aquecimento do ar do meio ambiente e outra para secagem do pescado. Por intermédio de uma válvula reguladora estipulava-se a quantidade do fluxo do ar para a secagem.

O secador experimental opera da seguinte maneira: ar ambiente (18°C e 90% de umidade relativa no inverno e 22°C e 75% de U.R., no verão) por resistência elétrica sofre aquecimento até 28°C e em consequência baixa sua umidade relativa para 60% aproximadamente, sendo assim condicionado e orientado por defletores de forma a entrar em contato com o pescado salgado colocado em bandeja de tela sobre rodas.

Como pode se observar neste secador, as condições ambientais modificam as condições de secagem, mas assim mesmo os parâmetros de secagem colocados pelos autores são aceitáveis na secagem de pescado.



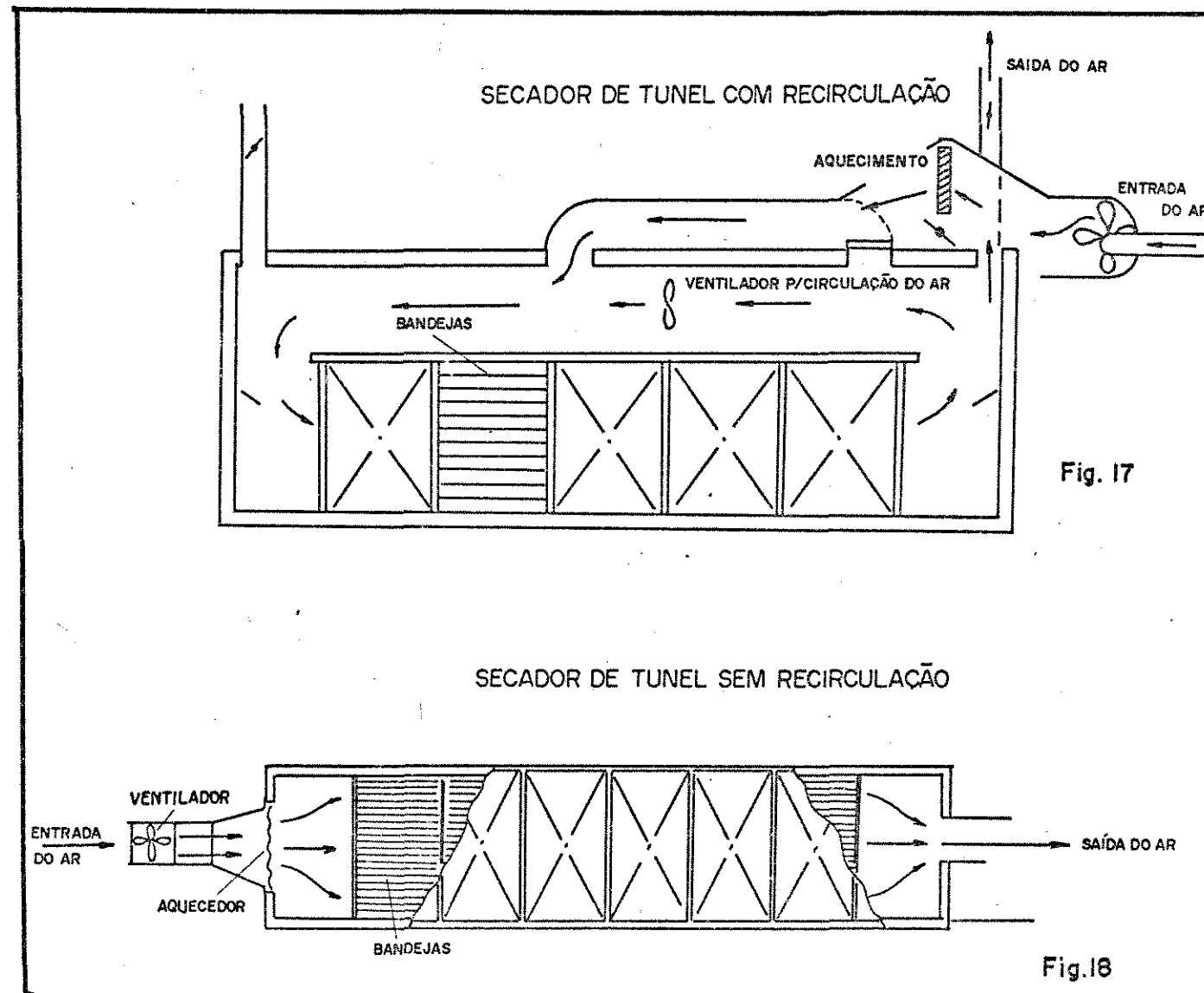
Waterman (1978), descreve dois tipos de secadores utilizados por ele para a secagem de pescado, um secador de túnel com recirculação e outro sem recirculação.

O secador de túnel com recirculação **Figura 17**, foi construído inteiramente de madeira, com cinco seções, cada uma com porta para carga do material. Este secador foi construído e testado no Brasil, encontrando dificuldade na escolha do material a ser utilizado em virtude das condições ambientais existentes, pois ao usar um arame galvanizado para apoiar as bandejas este se oxidou em três meses, sendo substituído por bambu. Utilizou $200\text{m}^3/\text{min.}$ de ar por intermédio de um ventilador de 2hp instalado no duto de retorno do ar. Um ventilador centrífugo de 3/4hp capaz de produzir $600\text{m}^3/\text{min.}$, para introduzir ar fresco.

O autor não recomenda o projeto deste túnel de secagem sem modificação para utilizá-lo em outro lugar, mas garante seu bom desempenho pelos experimentos efetuados.

No secador de túnel sem recirculação **Figura 18**, utilizado na Índia, argumenta que ao utilizar uma temperatura de 43°C , não se obteve prejuízos ao produto e escolheu uma umidade relativa constante de 50-55% como média, durante o período de secagem com velocidade ao redor de $1,8\text{m/s}$.

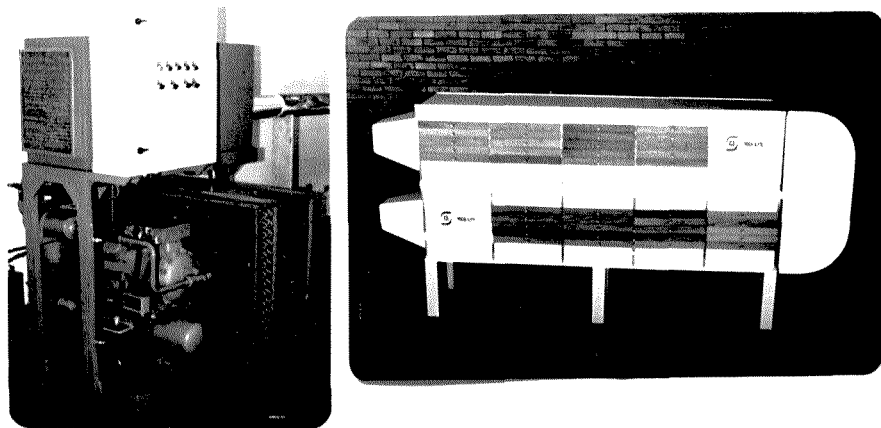
O secador era constituído de 20 bandejas por seção com dimensões de $2 \times 1,3\text{m}$ e estimou-se que cada bandeja poderia suportar uma carga de 16kg de pescado, com uma capacidade total de 2 toneladas. As bandejas são posicionadas em intervalos verticais de 10cm, dando assim uma altura ao redor de 2,1m. Os cálculos mostram que o volume de ar necessário situa-se ao redor de $370\text{m}^3/\text{min.}$, empregando-se um ventilador de 0,75kw e aquecimento a vapor de 103.000kcal/hora .



Park & Col. (1984), desenvolveram um sistema de secagem com a utilização de um ciclo frigorífico convencional, **Figura 19**. Este sistema denominou-se "*bomba de calor*" dotado de câmara com temperatura, umidade relativa e velocidade do ar de secagem controlados.

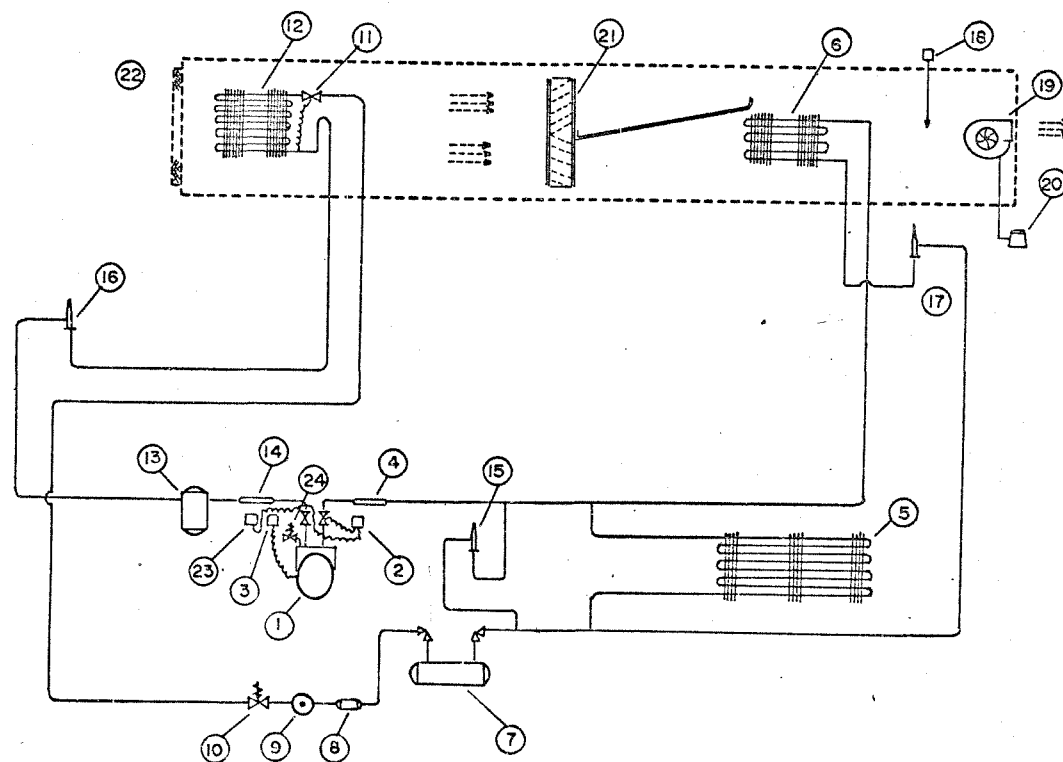
Através de uma unidade evaporadora, o ar ambiente é resfriado e desumidificado. Por intermédio de convecção forçada o ar passa por um segundo ambiente onde é aquecido pela carga térmica rejeitada por um condensador, a quantidade do ar que passa pelo condensador é regulada por um defletor movido mecanicamente através de um sinal elétrico proveniente de um sensor de temperatura.

O ventilador centrífugo além de promover a convecção forçada do evaporador/condensador é regulado através de um reostato, ajustando assim a quantidade de ar injetado em um túnel de secagem horizontal, provido de bandejas.



Unidade frigorífica e Secador de bandejas

ESQUEMA DA BOMBA DE CALOR



- 1 Compressor semi-hermético
- 2 Pressostato de alta e baixa
- 3 Pressostato de óleo
- 4 Tubo flexível
- 5 Condensador
- 6 Condensador
- 7 Tanque de líquido
- 8 Filtro secador
- 9 Visor de líquido
- 10 Válvula solenóide
- 11 Válvula de expansão
- 12 Evaporador
- 13 Separador de líquido
- 14 Tubo flexível
- 15 Válvula reguladora
- 16 Válvula reguladora
- 17 Válvula reguladora
- 18 Termostato
- 19 Ventilador centrífugo
- 20 Reostato
- 21 Damper de alumínio
- 22 Filtro metálico
- 23 Pressostato de baixa
- 24 Válvula solenóide

Fig.19

III. MATERIAL E MÉTODOS

1. Material

Dentro das propostas do presente trabalho, a escolha de matéria-prima foi a carne de cação.

Adquiriu-se no mercado, parte de um cação tipo Galha preta *Carcharhinus Limbatus*, congelado em câmaras frigoríficas a temperatura de -37°C , pesando aproximadamente 40kg, padronizando-o em filês com dimensões aproximadas de 13cm de comprimento, 6cm de largura e 2cm de espessura. Os filês foram obtidos cortando a manta do cação ainda congelado e mantido em câmara frigorífica a -17°C , até a data de sua utilização.

Antes do início de cada corrida experimental, os filês eram descongelados e submetidos a salga. Através da revisão bibliográfica, chegou-se a conclusão de que o melhor tipo de salga seria o de salga mista, por um período de quatro dias, Geromel & Forster (1982).

1.1. Equipamentos e controles utilizados para condução experimental

- Condicionador de ar marca "Amínco Aire", modelo 4.546 OA de fabricação americana.
- Termo-higrômetro digital, modelo "Rífran TED 150 A", com a escala de -50 a $+150^{\circ}\text{C}$, com precisão de $\pm 0,4^{\circ}\text{C}$, com sensor de umidade relativa.
- Termômetro digital com sensor de bulbo seco e úmido, marca "Cole Parmer", modelo Digi-sense 8520.50.

- Velômetro, marca Alnor, modelo 6000-P com acessórios para medição da velocidade do ar na escala 0-1,5m/s e 0-6,0m/s.
- Regulador de temperatura, marca "Engko", para ajuste fino de temperatura no aquecimento ao ar, escala de ajuste de 0-200°C.
- Variador de voltagem, marca "AUJE", 110V/5A.
- Balança semi-analítica, marca "Mettler", modelo P1210N com duas casas decimais em gramas.
- Balança analítica, marca "Mettler", modelo H34 com quatro casas decimais em gramas.
- Estufa, marca "Fanem", modelo 315SE.
- Máquina fotográfica, marca "Minolta", modelo SRT 100X, lente 1:2 com 50mm de foco.
- Planímetro da marca "Compensating Polar Planimeter"

De posse desses equipamentos de medição e controle, procedeu-se a montagem do laboratório no sentido de garantir um bom andamento do trabalho.

1.2. Utilização dos equipamentos e controles

Com o objetivo de se obter condições constantes de secagem, utilizou-se o condicionador de ar "Amincô Aire" que trata do ar ambiente com aspersão de água com dois controles de temperatura, controle na água e no ar. Através desta aspersão, o ar é saturado numa temperatura próxima à da água sendo aquecido por resistências elétricas para se obter o ar de secagem nas temperaturas e umidades relativas requeridas nos experimentos.

A temperatura da água requerida para aspersão é obtida através do resfriamento e/ou aquecimento. O resfriamento é obtido através de um sistema frigorífico e o aquecimento através do aquecimento elétrico.

O ambiente de tratamento do ar é isolado termicamente para que não existam grandes flutuações na temperatura.

O condicionador foi acoplado em em uma câmara de teste. O ar com características específicas para secagem, escoar através de um duto ligado à saída do condicionador e este subdivide-se em dois dentro da câmara de teste, desta forma podendo-se controlar em cada duto o fluxo de ar através de válvulas borboletas instaladas na saída de cada duto. Nos dispositivos adaptados aos dutos as amostras permanecem em sentido longitudinal ao fluxo de ar de secagem, **Figura 20.**

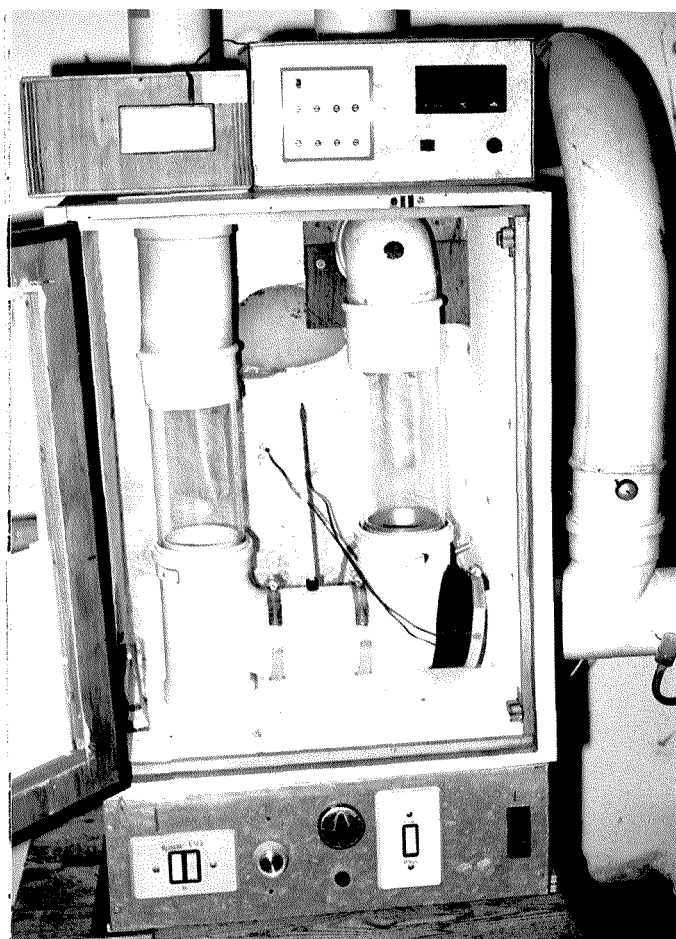


Fig.20

Para permitir a visualização das amostras durante cada experimento, os dispositivos adaptados aos dutos foram confeccionados em acrílico transparente, desconectáveis, facilitando assim as retiradas regulares das amostras para as pesagens, **Figura 21.**

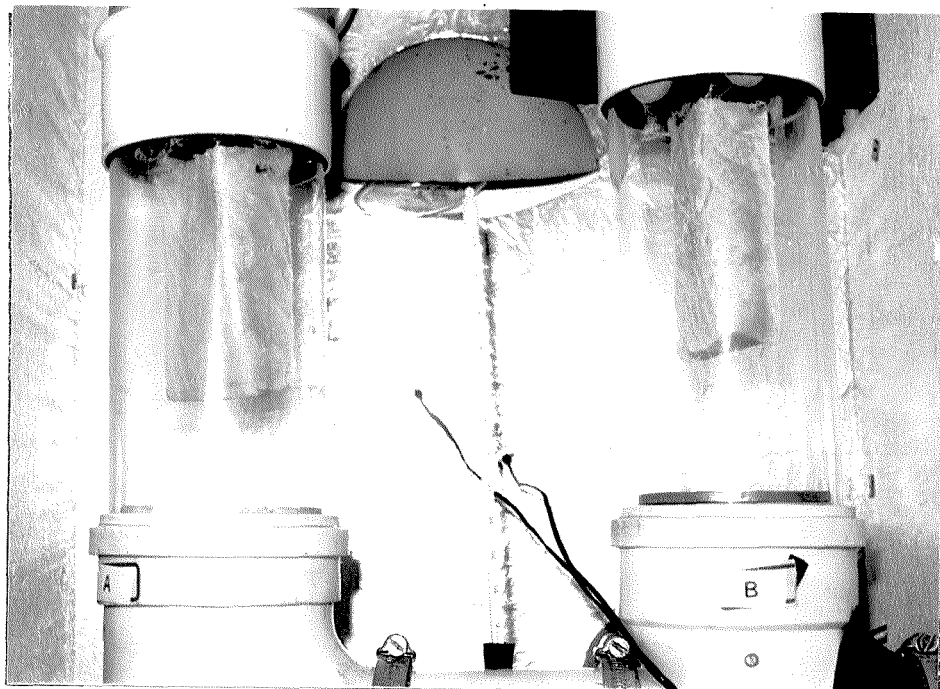


Fig.21

Visando obter os dados de secagem do filê salgado, efetuaram-se testes preliminares para determinar o tempo de secagem necessária na obtenção do peso final constante. Os testes preliminares indicaram a duração de 14 dias para cada corrida, fornecendo o intervalo de medidas experimentais.

2. Metodologias

Paralelamente, buscando um método para verificar a variação do volume da amostra no decorrer da secagem, experimentaram-se técnicas utilizadas em outros materiais, uma das quais consistindo de imersão da amostra em um recipiente com volume do material conhecido, onde pelo deslocamento do volume obtinha-se o volume da amostra. Experimentaram-se materiais como o "painço" e "sagu", pois estes não interfeririam nas medidas de umidade da amostra durante secagem. No entanto, os valores dos volumes obtidos na amostra com estes materiais não coincidiam com as medidas efetuadas, utilizando água como padrão na determinação.

Buscando outra metodologia, testou-se fotos (slide), onde

o material foi fotografado em conjunto com uma área padrão referencial. Deste modo evitariam-se erros provenientes da focalização sendo a área referencial ajustada em relação a altura e largura das amostras dos filês.

As fotos foram projetadas, sendo delineadas para papel juntamente com sua área referencial. A utilização de papel para o delineamento poderia parecer no início inadequado pois este se deforma em função das condições ambientais que é exposto, mas a correção deste inconveniente é sanada através da área referencial.

2.1. Levantamento experimental

De posse do delineamento no papel, efetuou-se a planimetria, obtendo-se assim as áreas das três dimensões fotografadas.

Para este estudo foram utilizadas as seguintes condições de secagem: velocidade do ar de 0,5 a 3,0 m/s em cada duto e temperaturas e umidades relativas de: 30°C-30%; 20°C-40%; 30°C-45% e 40°C-45%, respectivamente.

A variação do peso da amostra era obtida em balança semi-analítica. No final de cada corrida experimental amostras em triplicata foram pesadas em balança analítica e levadas à estufa à 105°C durante 24 horas, obtendo-se conteúdo final de umidade. De posse dessas medidas, obteve-se a variação do conteúdo de umidade durante a secagem.

A condução deste experimento requereu um trabalho de equipe envolvendo 5 elementos, pois foram necessárias medidas experimentais regulares e ininterruptas neste trabalho.

2.2. Avaliação de um secador alternativo

Através dos dados experimentais levantados, com a utilização do condicionador de ar "*Amínco Aire*", estabeleceram-se parâmetros de secagem que juntamente com a revisão bibliográfica, permitiram a construção de um secador alternativo para pescado, em especial cação salgado, Figuras 22 e 23.

O presente sistema visa obter um processo econômico e utilizável pelos pequenos proprietários (pescadores individuais ou em grupos), ou seja, uma tecnologia apropriada, composta pela técnica eficiente aliada a baixo custo.

Com a utilização do processo de desumidificação por asperção de água, obtidos através de bicos pulverizadores introduzidos em um primeiro compartimento, consegue-se resfriar e desumidificar o ar ambiente. Este ar ao passar por um segundo compartimento será aquecido, tendo sua umidade relativa diminuída através de um conjunto de resistências elétricas (utilizada para aquecimento residencial). O ar é succionado por intermédio de um ventilador centrífugo com velocidade ajustada e injetado com características ideais em um túnel de secagem provido de bandejas.

A água utilizada para a pulverização no primeiro compartimento será utilizada para resfriar e desumidificar o ar ambiente devendo ser proveniente de um poço ou cisterna para garantir que a sua temperatura esteja em torno de 20°C.



Fig. 22

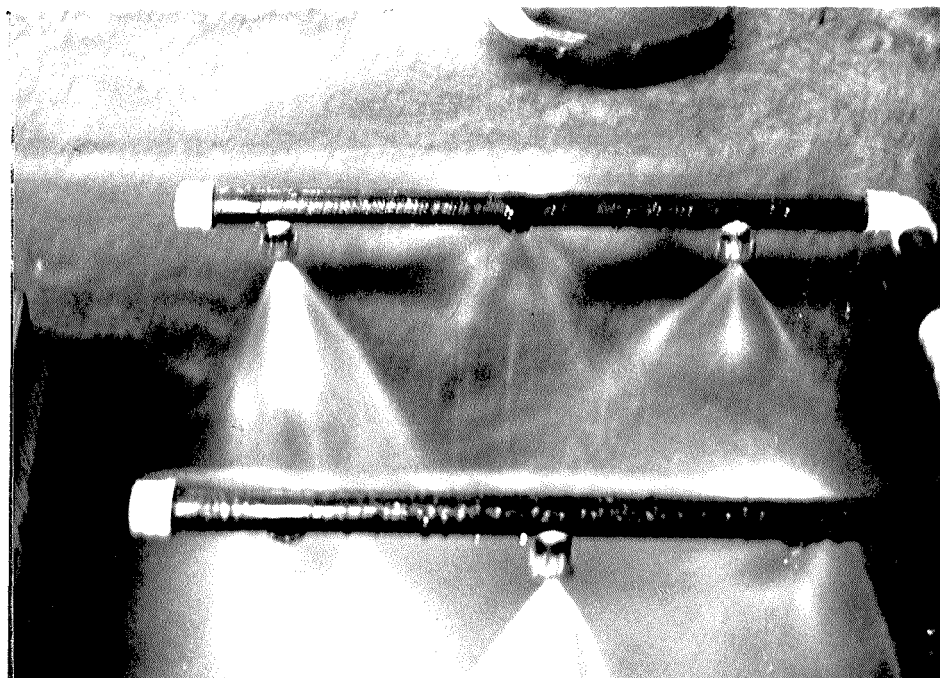


Fig. 23

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

1. Avaliação experimental

1.1. Encolhimento

A composição centesimal média do cação salgado utilizado foi: umidade (55,92%); gordura (0,38%), proteína (25,67%); cloreto de sódio (16,97%) e cinzas (18,35%).

Através dos dados de variação das dimensões (comprimento, largura e espessura), obtiveram-se gráficos destes em função do conteúdo de umidade na base seca. Verificou-se que estes são lineares, procedendo-se a obtenção da reta, através da regressão linear, Figuras 24ab.

As áreas e os volumes podem ser obtidos através das multiplicações

$$\text{área} = L_1 \times L_2$$

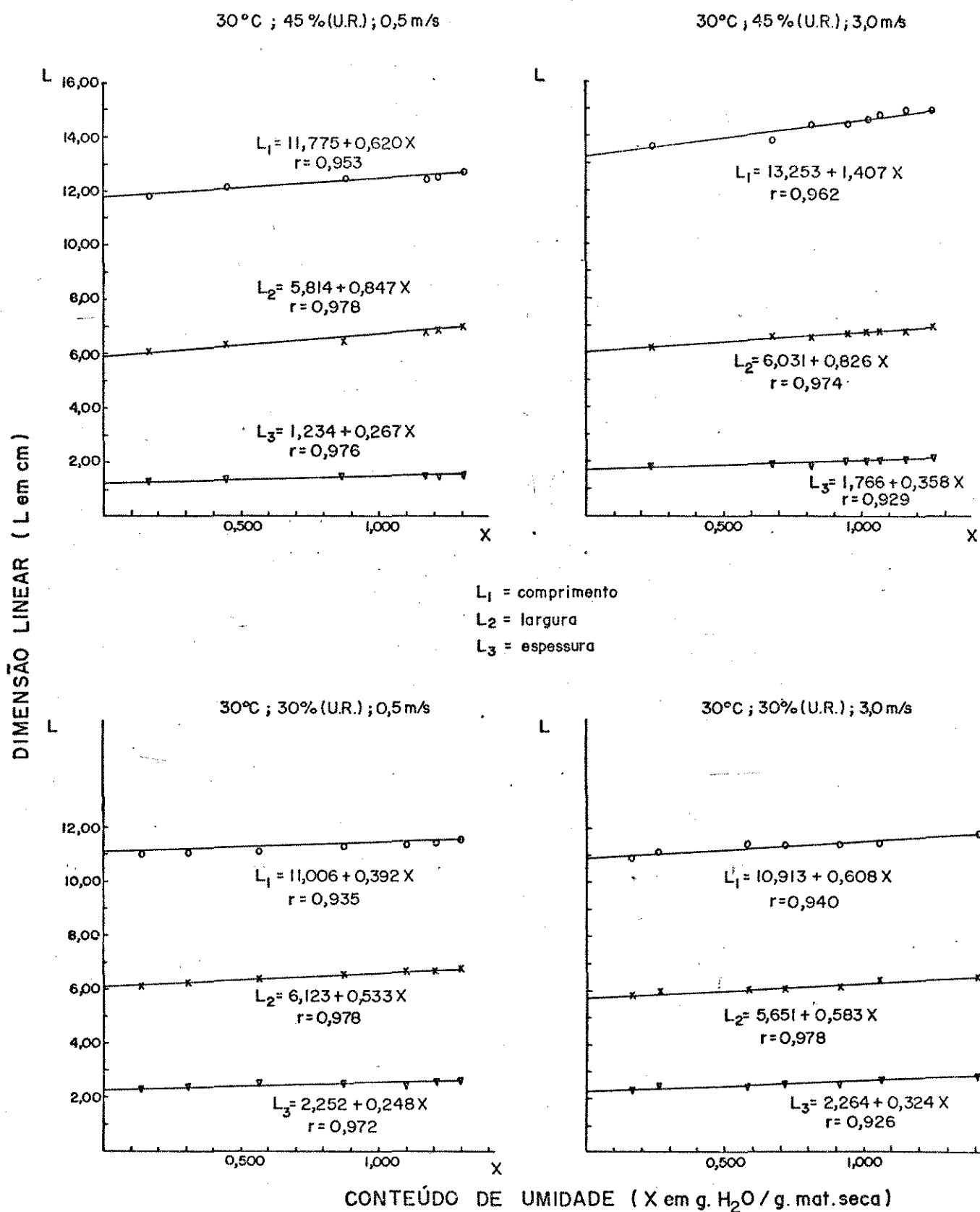
$$\text{volume} = L_1 \times L_2 \times L_3$$

Park & Cornejo (1987), concluem no presente estudo que a correlação mais simples pode ser obtida tomando volume por volume inicial versus umidade por umidade inicial, Figura 25.

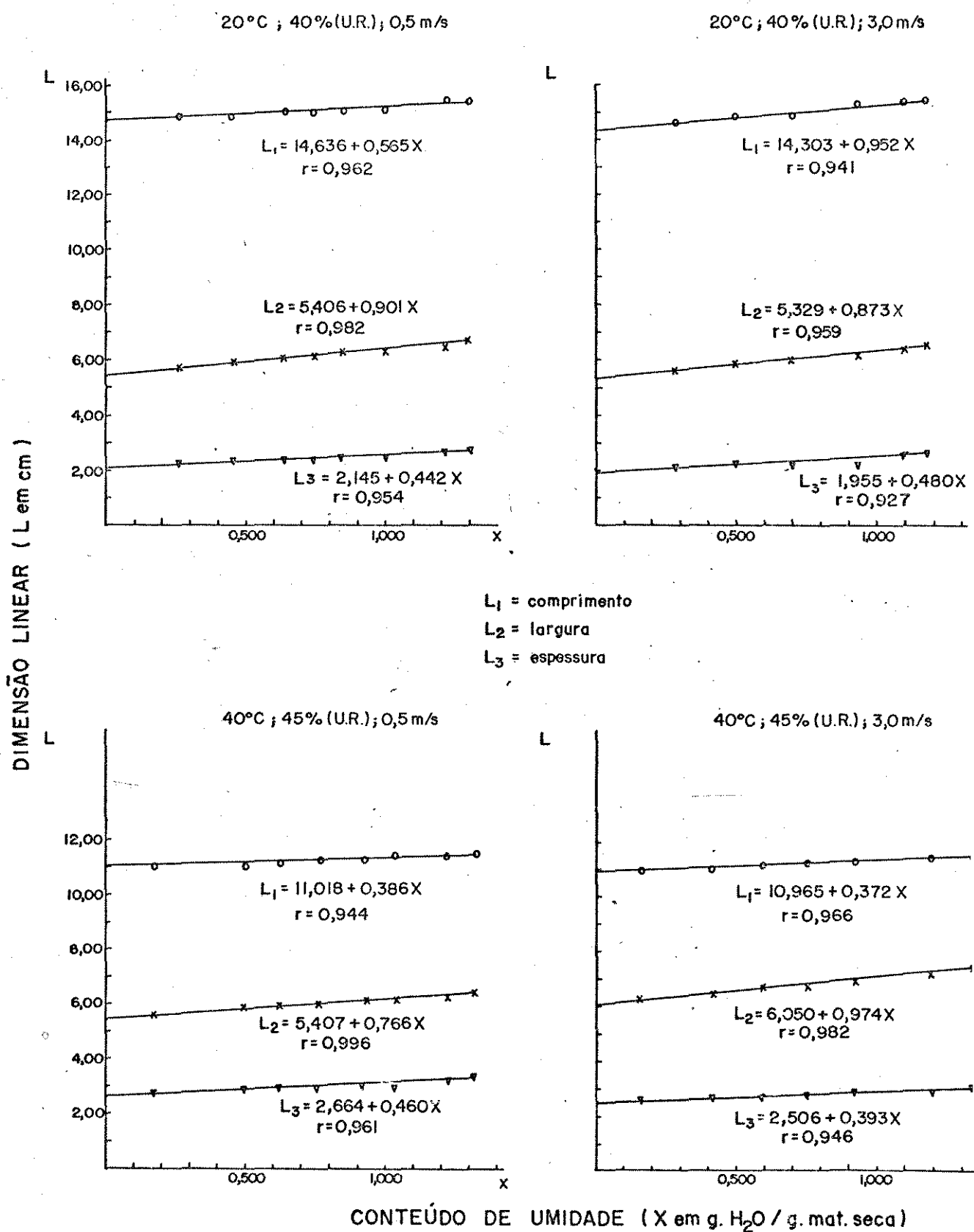
As equações obtidas são do tipo:

$$L_i = a_i + b_i X; \quad A_i = c_i + d_i X; \quad (V/V_0)_i = e_i + f_i (X/X_0) + g_i (X/X_0)^2$$

a_i , b_i , c_i , d_i , e_i , f_i e g_i - coeficientes das equações

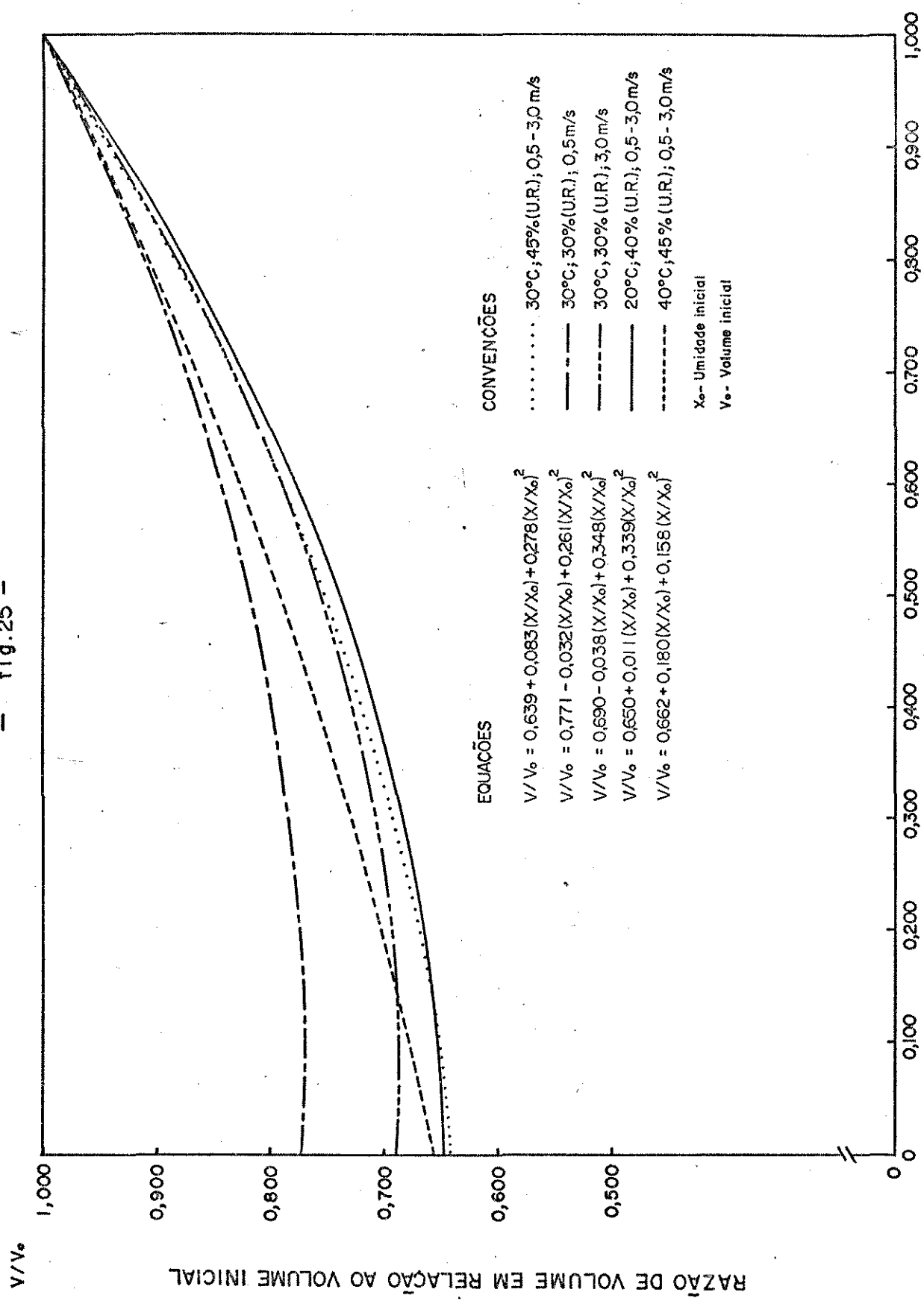


— fig. 24 a



— fig. 24 b

- fig.25 -



- Li - dimensão linear (cm)
- X - conteúdo de umidade (g.H₂O)/g.massa seca)
- Ai - área de secagem (cm²)
- V - volume do material (cm³)
- i - representa a corrida experimental

Estes resultados foram submetidos e aceitos para publicação nos anais do V Congresso Brasileiro de Engenharia de Pesca, Park & Cornejo (1987).

1.2. Secagem

Os dados experimentais de secagem são apresentados na Tabela II e graficados na Figura 26. Utilizando estes dados, Park (1987), procedeu o tratamento dos mesmos como segue:

Para obter valores de difusividades efetivas supondo que não exista encolhimento, utilizou-se a equação I, Lewis (1921) e Sherwood (1929a), série de Fourier.

$$RE = \frac{\bar{X} - X_e}{X_0 - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[\frac{-D(2n+1)^2 \pi^2 \theta}{4a^2} \right] \quad (I)$$

onde: $\bar{X}$ - conteúdo de umidade média da amostra (g.H₂O/g.ms);

X_e - conteúdo de umidade de equilíbrio (g.H₂O/g.ms); no presente estudo, assumiu-se como sendo o menor valor obtido para cada binômio: temperatura e umidade relativa;

X - conteúdo de umidade inicial (g.H₂O/g.ms);

a - semi-espessura (cm);

θ - tempo (horas)

Para obter valores de difusividade efetiva, considerando que existe encolhimento, utilizou-se a equação II.

TABELA II - Dados experimentais de secagem

Corrida a		Corrida b		Corrida c		Corrida d	
TEMPO (h)	UMIDADE (g H ₂ O/g ms)	TEMPO (h)	UMIDADE (g H ₂ O/g ms)	TEMPO (h)	UMIDADE (g H ₂ O/g ms)	TEMPO (h)	UMIDADE (g H ₂ O/g ms)
0	1.2005	0	1.2595	0	1.3150	0	1.4159
2	1.2126	2	1.1547	2	1.2076	2	1.2758
4	1.1437	4	1.1092	4	0.0000	4	0.0000
6	1.0883	6	1.0706	6	1.1051	6	1.1712
8	1.0391	8	1.0416	8	1.0699	8	1.1316
10	1.0026	10	1.0151	10	1.0303	10	1.0887
12	0.9652	12	0.9902	12	1.0074	12	1.0636
14	0.9373	14	0.9699	14	0.9794	14	1.0334
16	0.9093	16	0.9505	16	0.9544	16	1.0053
18	0.8826	18	0.9310	19	0.9224	19	0.9707
20	0.8580	20	0.9129	20	0.9113	20	0.9536
24	0.8138	24	0.8797	24	0.8738	24	0.9168
28	0.7727	28	0.8485	28	0.8384	28	0.8739
32	0.7350	32	0.8176	32	0.8078	32	0.8462
36	0.6989	36	0.7881	36	0.7766	36	0.8112
40	0.6700	40	0.7643	40	0.7504	40	0.7825
44	0.6409	44	0.7393	42	0.7382	42	0.7682
48	0.6162	48	0.7166	46	0.7098	46	0.7377
52	0.5911	52	0.6938	50	0.6893	50	0.7170
56	0.5693	56	0.6741	54	0.6667	54	0.6931
60	0.5474	60	0.6548	58	0.6453	58	0.6709
68	0.5076	68	0.6187	62	0.6238	62	0.6482
76	0.4752	76	0.5898	69	0.5910	69	0.6151
80	0.4590	80	0.5739	74	0.5692	74	0.5926
101	0.4221	101	0.5119	80	0.5511	80	0.5748
175	0.2854	175	0.3834	86	0.5232	86	0.5478
191	0.2620	191	0.3546	93	0.5023	93	0.5249
199	0.2529	191	0.3546	98	0.4838	98	0.5065
214	0.2355	199	0.3431	104	0.4647	104	0.4877
230	0.2271	214	0.3214	110	0.4457	110	0.4632
238	0.2150	230	0.3098	119	0.4209	119	0.4436
247	0.2098	238	0.2925	126	0.4030	126	0.4257
262	0.2006	247	0.2837	134	0.3824	134	0.4046
272	0.1963	262	0.2631	143	0.3626	143	0.3842
278	0.1916	272	0.2509	150	0.3468	150	0.3677
286	0.1882	278	0.2347	158	0.3311	158	0.3518
295	0.1848	286	0.2484	166	0.3156	166	0.3368
314	0.1782	295	0.2418	174	0.3022	174	0.3227
326	0.1754	314	0.2291	181	0.2908	181	0.3112
334	0.1731	326	0.2220	190	0.2766	190	0.2975
335	0.1728	334	0.2165	198	0.2659	198	0.2872
		335	0.2165	214	0.2440	214	0.2669
				231	0.2236	231	0.2471
				238	0.2156	238	0.2402
				246	0.2074	246	0.2321
				254	0.2000	254	0.2259
				267	0.1879	267	0.2150
				293	0.1673	293	0.1966
				312	0.1540	312	0.1845
				335	0.1410	335	0.1744

TABELA II- (Continuação)

Corrida e		Corrida f		Corrida g		Corrida h	
TEMPO (h)	UMIDADE (g H ₂ O/g ms)	TEMPO (h)	UMIDADE (g H ₂ O/g ms)	TEMPO (h)	UMIDADE (g H ₂ O/g ms)	TEMPO (h)	UMIDADE (g H ₂ O/g ms)
0	1.3035	0	1.1827	0	1.3317	0	1.3235
2	1.2170	2	1.1002	2	1.2385	2	1.1990
4	1.1803	4	1.0714	4	1.1737	4	1.1465
6	1.1392	6	1.0413	6	1.1274	6	1.1054
8	1.1137	8	1.0211	8	1.0972	8	1.0813
10	1.0906	10	1.0039	11	1.0535	11	1.0414
12	1.0679	12	0.9854	12	1.0398	12	1.0278
14	1.0490	14	0.9699	14	1.0162	14	1.0042
16	1.0304	16	0.9545	16	0.9956	16	0.9829
18	1.0098	18	0.9381	18	0.9783	18	0.9675
20	0.9959	20	0.9259	20	0.9590	20	0.9488
22	0.9706	22	0.9046	22	0.9394	22	0.9301
24	0.9575	24	0.8932	26	0.9086	26	0.8985
30	0.9169	30	0.8585	30	0.8812	30	0.8720
34	0.8964	34	0.8408	34	0.8507	34	0.8403
38	0.8738	38	0.8210	38	0.8269	38	0.8171
43	0.8509	43	0.8009	42	0.8036	42	0.7922
46	0.8338	46	0.7859	47	0.7762	47	0.7616
50	0.8166	50	0.7708	50	0.7618	50	0.7448
54	0.7972	54	0.7535	54	0.7422	54	0.7224
58	0.7801	58	0.7382	58	0.7223	58	0.6986
65	0.7519	65	0.7121	62	0.7064	62	0.6737
70	0.7308	70	0.6933	66	0.6866	66	0.6542
74	0.7157	74	0.6804	70	0.6702	70	0.6345
80	0.6922	80	0.6582	76	0.6435	76	0.6025
89	0.6613	89	0.6303	78	0.6401	78	0.5983
95	0.6515	95	0.6214	79	0.6360	79	0.5939
101	0.6334	101	0.6047	97	0.6319	97	0.5887
116	0.5841	116	0.5605	104	0.5810	104	0.5305
123	0.5689	123	0.5469	120	0.5073	120	0.4551
131	0.5480	131	0.5288	130	0.4994	130	0.4217
140	0.5260	140	0.5094	151	0.4171	151	0.3643
142	0.5213	142	0.5058	170	0.3700	170	0.2841
148	0.5087	148	0.4946	194	0.3241	194	0.2757
155	0.4964	155	0.4837	215	0.2913	215	0.2453
163	0.4784	163	0.4679	222	0.2810	222	0.2362
171	0.4643	171	0.4557	241	0.2787	241	0.2359
179	0.4498	179	0.4430	248	0.2647	248	0.2225
187	0.4356	187	0.4305	270	0.2403	270	0.2021
195	0.4224	195	0.4194	279	0.2328	279	0.1959
203	0.4103	203	0.4089	296	0.2192	296	0.1843
212	0.3966	212	0.3973	317	0.2063	317	0.1740
219	0.3868	219	0.3892	335	0.1953	335	0.1649
227	0.3751	227	0.3792	345	0.1906	345	0.1610
235	0.3641	235	0.3698	358	0.1870	358	0.1539
244	0.3535	244	0.3610				
251	0.3457	251	0.3541				
259	0.3361	259	0.3466				
267	0.3298	267	0.3396				
275	0.3205	275	0.3326				
283	0.3123	283	0.3256				
291	0.3051	291	0.3185				
299	0.2974	299	0.3118				
315	0.2836	315	0.2993				
323	0.2719	323	0.2940				
332	0.2697	332	0.2871				

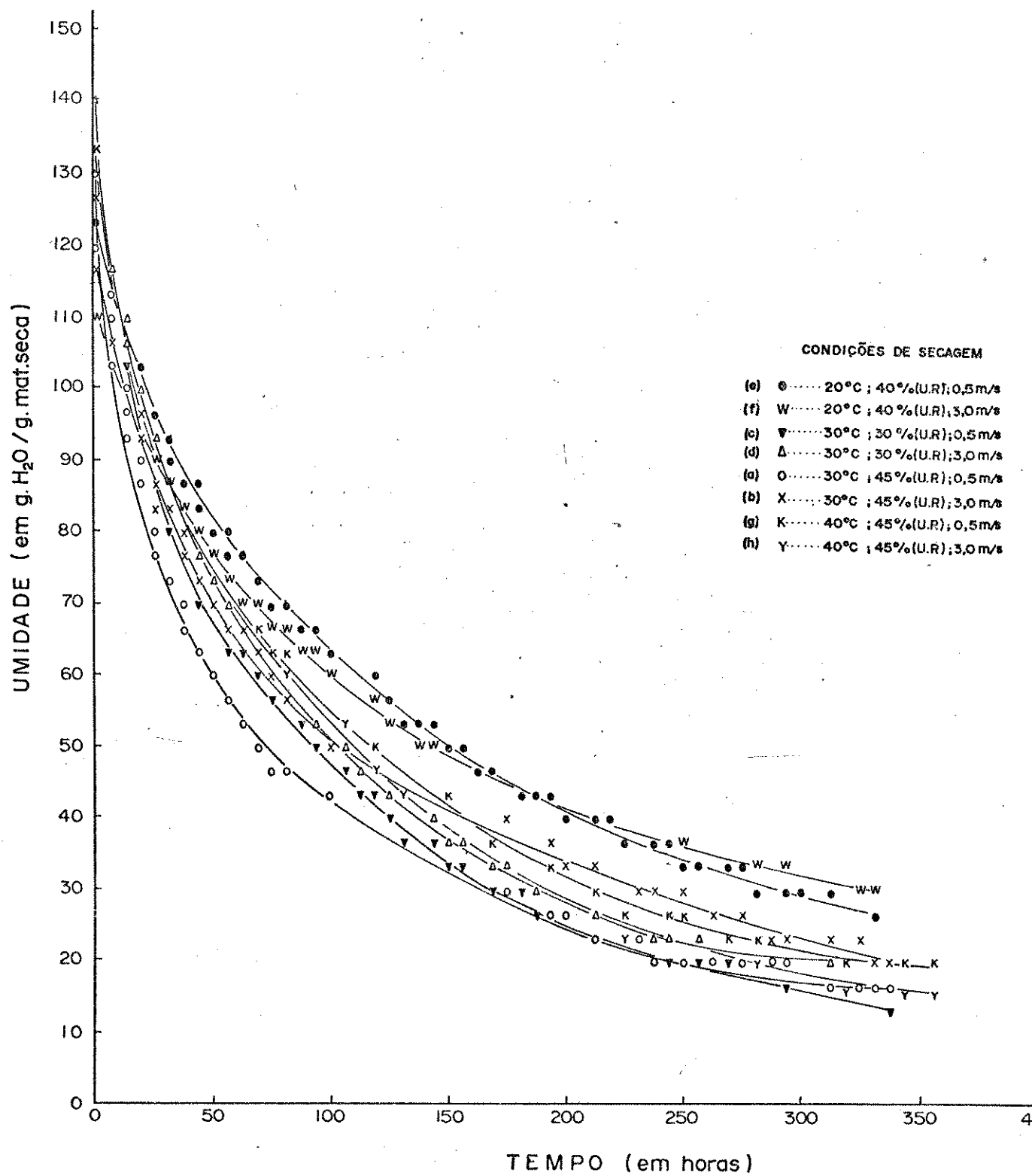


Fig. 2

$$WE = \frac{\bar{Y} - Y_e}{Y_0 - Y_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[\frac{D(2n+1)^2 \pi^2 \theta}{4a^2} \right] \quad (II)$$

onde: $\bar{Y}$ - conteúdo de umidade média por volume por massa seca ($\text{g.H}_2\text{O/g.ms/cm}^3$), o volume em função do conteúdo de umidade é obtido através de $L_1 \times L_2 \times L_3$.

Y_e - conteúdo de umidade de equilíbrio por volume de massa seca ($\text{g.H}_2\text{O/g.ms/cm}^3$).

Y_0 - conteúdo de umidade inicial por volume por massa seca ($\text{g.H}_2\text{O/g.ms/cm}^3$)

D - difusividade de transferência de massa (cm^2/h)

a - semi-espessura (cm).

θ - tempo (horas).

As difusividades assim calculadas estão reunidas nas Table las III e IV.

Baseados nos resultados o autor afirma que a influência do encolhimento na difusividade mostra que as difusividades efetivas calculadas sem considerar o encolhimento super-estima a transferência de massa por difusão. Isto traz inclusive erros na avaliação da resistência da transferência de massa do material (resistência interna) para outros tipos de análise na secagem.

Utilizando valores médios de difusividade, calculou-se a energia de ativação do tipo Arrhenius:

$$D = A \exp(-E_a/RT)$$

onde: E_a - energia de ativação

R - constante universal de gases

T - temperatura absoluta

O autor conclui que a utilização da 2ª Lei de Fick para secagem de filé salgado de cação apresenta ajuste dos dados expe-

TABELA III - Dados sobre difusividade, considerando que não existe encolhimento

CORRIDA EXP.	DIFUSIVIDADE (10^{+7} cm ² /s)	CORRIDA EXP.	DIFUSIVIDADE (10^{+7} cm ² /s)
a	10,40 $\pm$ 0,14	e	19,15 $\pm$ 0,17
b	12,96 $\pm$ 0,18	f	15,80 $\pm$ 0,11
c	21,28 $\pm$ 1,94	g	28,33 $\pm$ 0,32
d	24,82 $\pm$ 2,25	h	27,30 $\pm$ 0,33

TABELA IV - Dados sobre difusividade, considerando encolhimento.

CORRIDA EXP.	DIFUSIVIDADE (10^{+7} cm ² /s) baseado na espessura inicial	DIFUSIVIDADE (10^{+7} cm ² /s) baseado na espessura média	DIFUSIVIDADE (10^{+7} cm ² /s) baseado na espessura final
a	7,14 $\pm$ 0,16	5,60 $\pm$ 0,13	4,24 $\pm$ 0,10
b	8,81 $\pm$ 0,17	7,10 $\pm$ 0,14	5,58 $\pm$ 0,11
c	17,31 $\pm$ 1,62	14,97 $\pm$ 1,40	12,79 $\pm$ 1,20
d	18,31 $\pm$ 1,71	14,97 $\pm$ 1,40	11,97 $\pm$ 1,12
e	14,54 $\pm$ 0,35	11,38 $\pm$ 0,27	8,60 $\pm$ 0,21
f	11,83 $\pm$ 0,28	9,02 $\pm$ 0,22	6,59 $\pm$ 0,16
g	20,73 $\pm$ 0,46	16,61 $\pm$ 0,37	12,95 $\pm$ 0,29
h	20,28 $\pm$ 0,59	16,58 $\pm$ 0,48	13,25 $\pm$ 0,39

mentais considerando-se ou não o fenômeno de encolhimento. Ressalta que para este material salgado não existe o período de taxa constante de secagem, sendo que para o efeito de dimensionamento a utilização da equação proposta por Lewis & Sherwood é excelente pelo ajuste de dados experimentais.

Portanto, para o dimensionamento podemos utilizar a equação (I), sem considerar o efeito do encolhimento. O autor sugere a utilização dos cinco primeiros termos da série para prever o tempo de secagem.

1.3. Comparação dos sistemas de secagem

Conforme pode ser notado na revisão bibliográfica (mais especificamente) no item parâmetros de secagem, as condições do ar de secagem, a saber: temperatura, umidade relativa e velocidade do ar, são citados na maioria dos trabalhos encontrados sem a necessária fundamentação no sentido de mostrar como podem ser obtidos ou porque utilizaram-se estes valores.

Dentre estes trabalhos referenciados, encontramos cinco que apresentam o trinômio temperatura, umidade relativa e velocidade com valores bem especificados:

	Temperatura(°C)	Umidade Relativa(%)	Velocidade (m/s)
Park & Col. (1987)	30-35°	50-55	1-2
Governo do Panama/FAO (1973)	27°	50	3
Waterman (1978)	27°	45-55	1-2
Wirth & Col. (1975)	35°	50-55	1-3
Bastos (1977)	30-40°	45-55	1-3

Por outro lado, além da recomendação da temperatura crítica do ar de secagem para o pescado de zona tropical como sendo

400C, estes trabalhos também não fundamentam a indicação da faixa de temperatura do ar de secagem.

Durante o acompanhamento do levantamento experimental de dados para o encolhimento (Park e Cornejo) e da cinética de secagem (Park, 1987), pode-se detectar visualmente que os filês secos a 400C apresentam coloração amarelada na superfície, mostrando que a recomendação de temperatura crítica de secagem do cação salgado coincide com os valores da literatura.

Do ponto de vista do dimensionamento de secagem, o questionamento mais importante é a avaliação do tempo necessário para se obter um produto com um conteúdo de umidade pré-determinado para garantir as condições de comercialização e conservação.

Esta avaliação pode ser feita utilizando a equação proposta por Lewis (1921) e Sherwood (1929) com o valor numérico da difusividade efetiva calculado por Park (1987), ressaltando que não há necessidade de utilizar mais do que os cinco primeiros termos da série.

No tocante à umidade relativa, os dados experimentais encontrados demonstram que deverá situar-se abaixo de 50% e que a velocidade do ar de secagem tem pouca influência na faixa de 0,5 a 3,0m/s, portanto dentro da faixa de segurança assumida no dimensionamento podemos fixar as condições do ar de secagem como sendo ao redor de 35-400C, 40-50%UR e 0,5-1,0m/s.

O sistema denominado "*Bomba de Calor*" Park & Col. (1984) foi dimensionado e construído a partir de dois objetivos; utilizar uma energia térmica ainda pouco aproveitada em um ciclo frigorífico e determinar as condições ótimas para a secagem de cação salgado.

Para analisar o dimensionamento do sistema foram consideradas as seguintes condições:

vazão do ar:

350m³/hora

condições iniciais do ar:

temperatura de bulbo seco: +40°C

umidade relativa: 80%

condições do ar resfriado:

temperatura de bulbo seco: +5°C

umidade relativa: 90%

condições finais do ar

temperatura de bulbo seco: ajustável entre +20°C e +40°C

umidade absoluta: 5,3 gramas de H₂O por kg de ar seco

A partir destas condições deu-se início ao dimensionamento, efetuando-se os cálculos básicos:

1ª Fase: Resfriamento e desumidificação do ar (evaporador)

a. Carga Térmica Sensível

$$Q_s = M.C.\Delta T$$

$$M = 350 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times 0,968 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 339 \text{ kg/hora}$$

$$C = 0,24 \text{ Kcal/kg.}^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 40 - 5 = 35^\circ\text{C}$$

$$Q_s = 339 \times 0,24 \times 35 = 2848 \frac{\text{kcal}}{\text{hora}}$$

onde: M - vazão massica (kg/hora)

C - calor específico do ar (Kcal/kg°C)

ΔT - variação da temperatura (°C)

b. Carga Térmica Latente

$$Q_l = M.L.\Delta W$$

$$M = 339 \text{ kg/hora}$$

$$L = 600 \text{ Kcal/kg}$$

$$\Delta W = W_i - W_f = 42 - 5,3 = 36,7 \text{ g.H}_2\text{O/kg ar seco}$$

onde: L - calor latente de vaporização da água aprox. (Kcal/kg)

ΔW - variação de umidade absoluta do ar (g.H₂O/kg ar seco)

Obs.: Os valores de umidade absoluta foram extraídos do diagrama psicrométrico do ar, considerando-se o nível do mar como referência.

$$Q_1 = 250 \times 600 \times 36,7 \times \frac{1}{1000} = 5,505 \text{ Kcal/hora}$$

c. Carga Térmica Total

$$Q_t = 2848 + 7465 = 10313 \text{ Kcal/hora}$$

2ª Fase: Aquecimento do ar desumidificado

Finalidade: aquecer o ar desumidificado, propiciando ao mesmo condições finais de temperatura ajustáveis entre +20°C e +40°C. Como fonte de aquecimento será utilizado parte do calor a ser rejeitado pelo sistema frigorífico nos condensadores.

$$Q_a = M.C.\Delta T$$

$$M = 350 \text{ m}^3/\text{hora} \times 1,15 \text{ kg/m}^3 = 402,5 \text{ kg/hora}$$

$$C = 0,24 \text{ Kcal/kg.}^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 40 - 5 = 35^\circ\text{C} \quad (\text{tomado como temperatura final do ar o valor de } 40^\circ\text{C que no caso é o mais crítico})$$

$$Q_a = 402,5 \times 0,24 \times 35 = 3381 \text{ Kcal/hora}$$

Obs.: O valor 3381 Kcal/hora representa apenas uma parte da quantidade total de calor a ser rejeitado pelo condensador do sistema frigorífico, por esse motivo o sistema prevê a utilização de dois condensadores, um para aquecimento do ar desumidificado e um segundo condensador adicional visando completar a troca de calor com o ar ambiente propiciando a condensação do agente frigorífico.

Calor total a ser rejeitado pelo sistema frigorífico

$$Q_r = Q + WCP$$

$$Q_r = 9870 + 4214 = 14.084 \frac{\text{Kcal}}{\text{hora}}$$

$Q = 9870 \text{Kcal/hora}$ (capacidade produzida pelo compressor)

$WCP = 4,9 \text{KW}$ (consumo do compressor operando em regime de 0°C de temperatura de evaporação utilizando $\text{R12} + 45^\circ\text{C}$ de temperatura de condensação R12)

onde: Q = capacidade frigorífica ou carga térmica a ser retirada pela instalação frigorífica (Kcal/hora)

WCP = consumo do compressor (Kcal/hora)

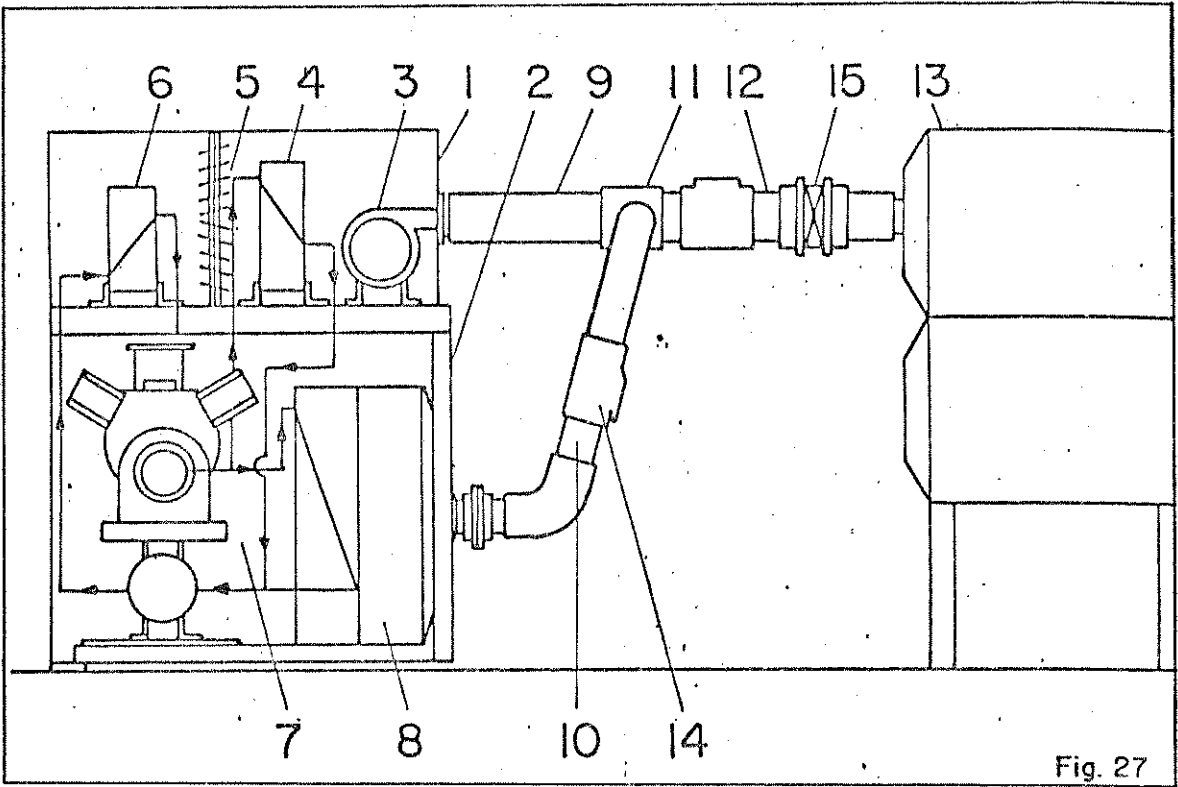
Concluindo o dimensionamento procedeu a descrição do sistema. Patente industrial, Brasil (1984).

O sistema denominado "*Bomba de Calor*" refere-se a um processo e equipamento para secagem de materiais biológicos, utilizando-se uma corrente turbilhonada de ar secagente com umidade, temperatura e vazão variáveis, **Figura 27**.

O equipamento de secagem é composto por um conjunto frigorífico, com uma unidade de tratamento de ar (1) e uma unidade de aquecimento (2) do ar ambiente, sendo primeiro instalado um ventilador (3) de velocidade variável, um condensador (4) primário, um direcionador (5) regulável e um evaporador (6) e na outra unidade instalados um compressor (7) e um condensador (8) secundário.

Estas unidades são ligadas ao secador (13) pelas tubulações (9), (10) e (12) e o secador (13) constituído de compartimentos dotados de suportes para bandejas.

Efetuados alguns experimentos, como conseguiu-se obter parâmetros ótimos indicativos para a secagem de cação salgado.



Sem esquecer as vantagens do sistema denominado "Bomba de Calor", principalmente no que diz respeito à segurança no controle operacional, pudemos notar a possibilidade da utilização de um sistema menos sofisticado para obter o ar ambiental para secagem.

É sabido que uma das formas mais econômicas de se verificar um ambiente é utilizando o processo de resfriamento evaporativo.

Este processo ocorre quando o ar úmido escoar através de um lavador de ar onde a água é constantemente recirculada sem sofrer processos de aquecimento ou resfriamento, Figura 28.

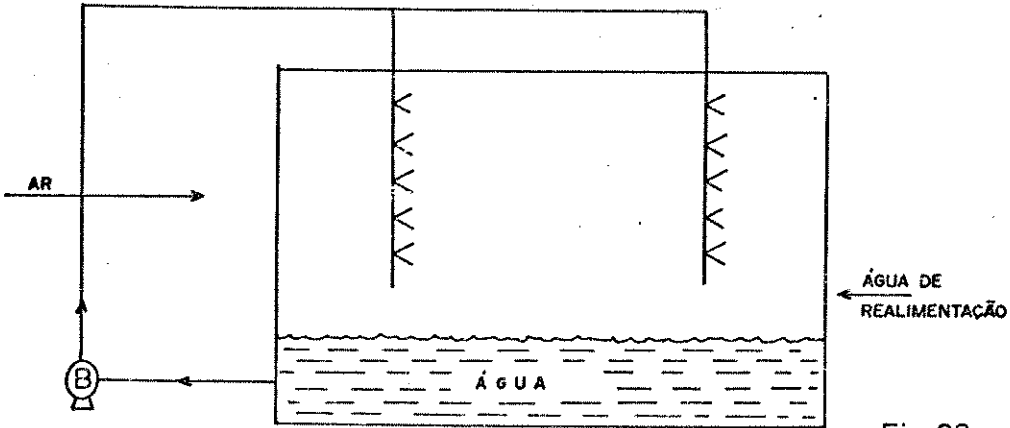


Fig.28

O processo é idêntico ao de saturação adiabática e pode ser considerado isoentalpico, Figura 29.

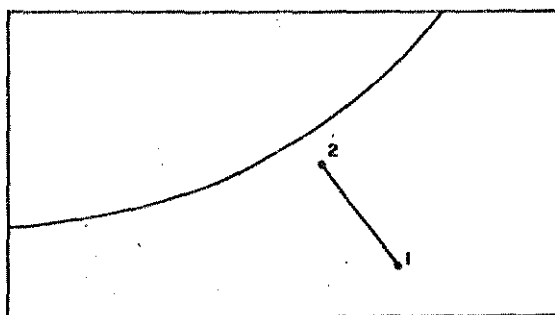


Fig. 29

O processo de resfriamento evaporativo sô é realmente efetivo quando as condições ambientais locais apresentam alta temperatura de bulbo seco e baixa temperatura de bulbo úmido. Normalmente tal sistema resfria o ar insuficientemente e umidifica o ar.

No entanto quando se utiliza água fria para lavagem do ar, o sistema é denominado de "spray desumidificador". Em outras palavras é possível desumidificar bem como resfriar o ar ambiente através de um contato direto com água fria; esquematizando na carta psicrométrica temos, Threlkeld (1970), Figura 30.

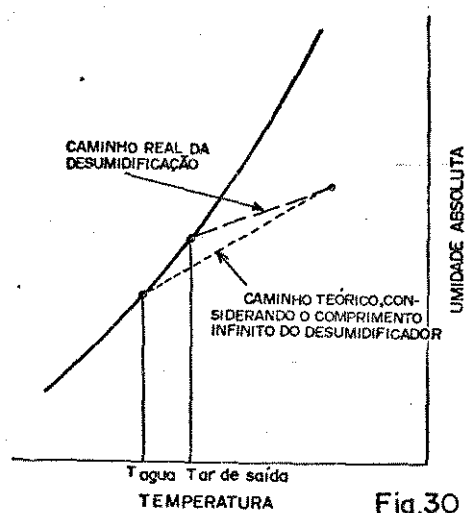
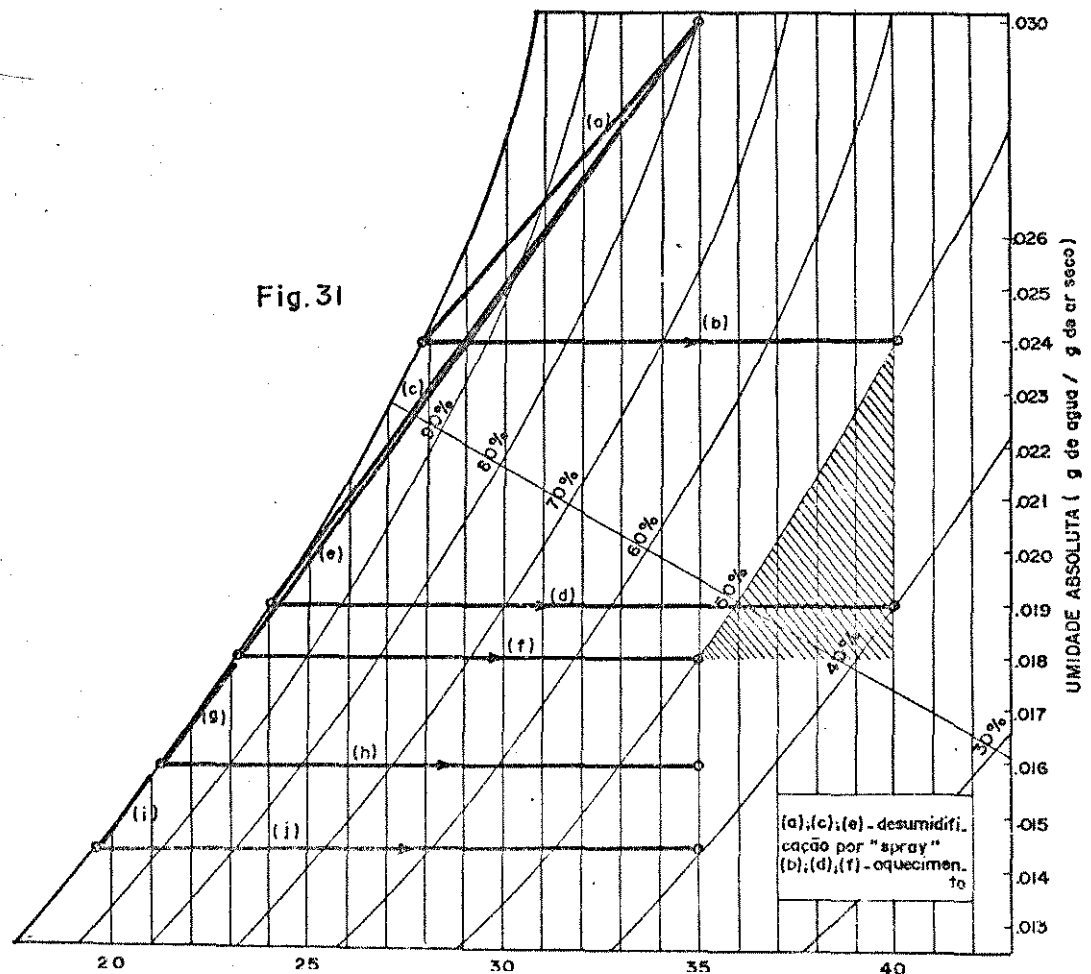


Fig. 30

Consideramos condição crítica as características do ar ambiental do litoral norte do Brasil, onde se encontra um grande potencial de captura de cação, supondo a temperatura média 35°C e umidade relativa de 80%.

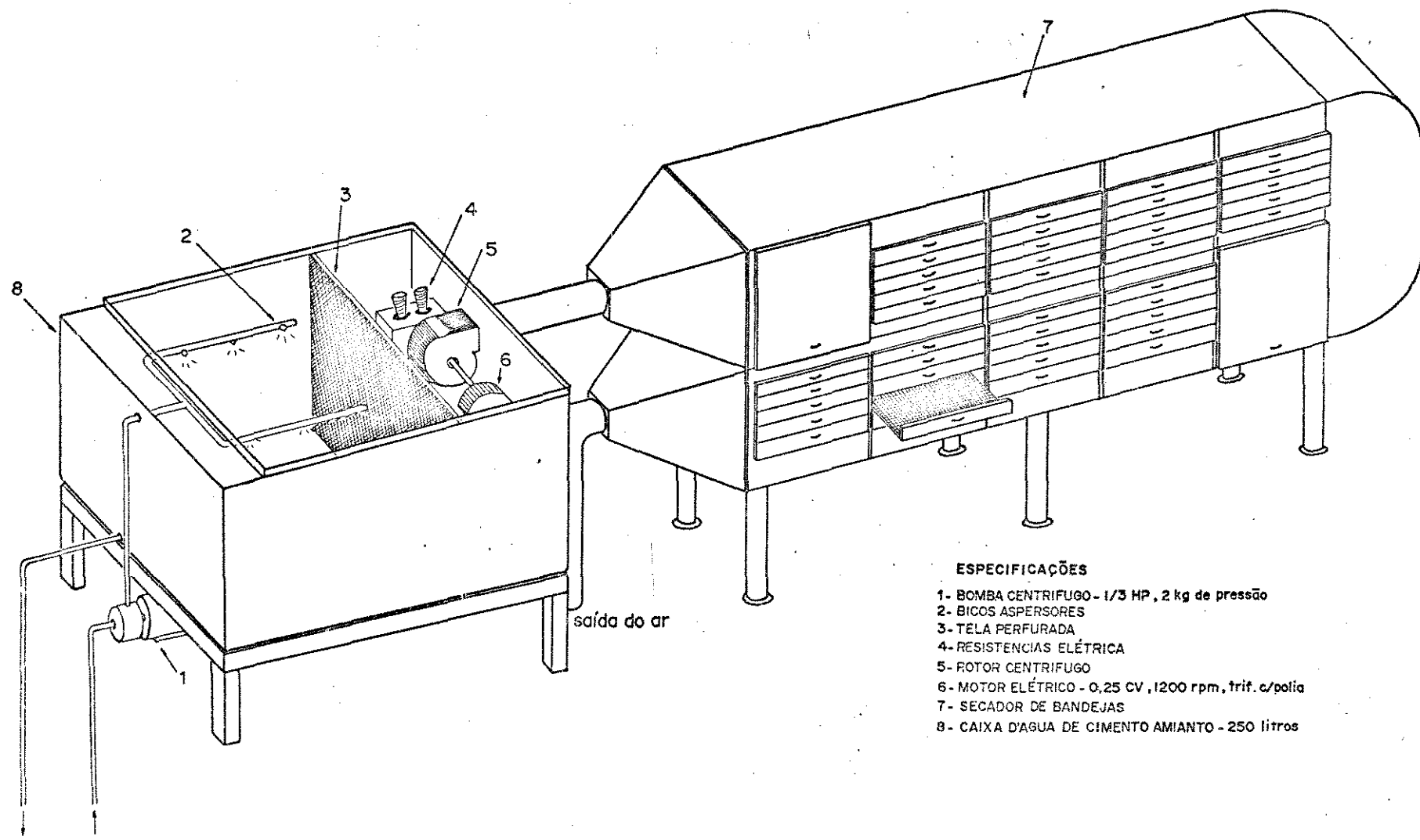
Exemplificando, temos: (Conforme a Figura 31).

- O ar ambiente com temperatura de 35°C e 80% de umidade relativa, sofrendo resfriamento e desumidificação por spray (caminho a), atinge 28°C e 100% de umidade relativa. Através de aquecimento (caminho b), obtêm-se condições do ar de secagem de 40°C e 50% de umidade relativa.
- O ar ambiente com temperatura de 35°C e 80% de umidade relativa, sofrendo resfriamento e desumidificação por spray (caminho c), atinge 24°C e 100% de umidade relativa. Através de aquecimento (caminho d), obtêm-se condições do ar de secagem de 40°C e 40% de umidade relativa.
- O ar ambiente com temperatura de 35°C e 80% de umidade relativa, sofrendo um resfriamento e desumidificação por spray (caminho e), atinge 23°C e 100% de umidade relativa. Através de aquecimento (caminho f), obtêm-se 35°C e 50% de umidade relativa.
- O ar ambiente com temperatura de 35°C e 80% de umidade relativa, sofrendo um resfriamento e desumidificação por spray (caminho g), atinge 21,5°C e 100% de umidade relativa. Através de aquecimento (caminho h), obtêm-se 35°C e 45% de umidade relativa.
- O ar ambiente com temperatura de 35°C e 80% de umidade relativa, sofrendo um resfriamento e desumidificação por spray (caminho i), atinge 19,5°C e 100% de umidade relativa. Através de aquecimento (caminho j), obtêm-se 35°C e 40% de umidade relativa.



Conforme demonstrado nesta explanação numérica, para a utilização deste princípio é necessário uma fonte de água fria. Sabemos que no norte do país a água depositada em cisterna ou poço apresenta uma temperatura ao redor de 20°C, portanto torna-se possível utilizar desumidificação por spray e posterior aquecimento para obter o ar de secagem com características do ar nas regiões hachuradas na carta psicrométrica.

Baseado nestas considerações foi possível contruir um sistema apropriado de secagem de baixo custo conforme mostra a Figura 32.



ESPECIFICAÇÕES

- 1- BOMBA CENTRIFUGO - 1/3 HP, 2 kg de pressão
- 2- BICOS ASPERSORES
- 3- TELA PERFURADA
- 4- RESISTENCIAS ELÉTRICA
- 5- ROTOR CENTRIFUGO
- 6- MOTOR ELÉTRICO - 0,25 CV, 1200 rpm, trif. c/polia
- 7- SECADOR DE BANDEJAS
- 8- CAIXA D'AGUA DE CIMENTO AMIANTO - 250 litros

1.4. Comparação de custos

Para se ter uma visão comparativa do custo do equipamento que utiliza "Bomba de Calor" e "Secador apropriado" descriminaremos a seguir os itens importantes de material permanente que compõem cada sistema.

Memorial descritivo do sistema denominado "Bomba de Calor"

Componente	Valor Cz\$ (julho/87)
. Unidade compressorã, composta de compressor semi hermético, modelo BHS 590S (coldexfrigor), 4,0HP (nominal).	120.000,00
. Acessórios	80.000,00
. Serpentina evaporadora, confeccionada com tubo de cobre e aletas planas de alumínio, circulação forçada de ar por intermédio de ventilador centrífugo	60.000,00
. Ventilador centrífugo, acionado por motor elétrico de dupla velocidade, 3 fases, 0,75CV, 1700rpm, 60Hz	15.000,00
. Quadro elétrico de comando de controle, contendo dispositivo de acionamento para motores elétricos, contatôres, botoeiras de comando automático	10.000,00
. Secador horizontal com 24 bandejas (estrutura de cantoneira de ferro e forração em madeira	20.000,00
. Montagem mecânica	213.500,00
TOTAL	518.500,00

Memorial descritivo do "Secador apropriado"

Componente	Valor Cz\$ (julho/87)
. Bomba d'água centrífuga, 1/3HP; 2kg de pressão; 20m de col. H ₂ O	7.500,00
. Ventilador centrífugo, acionado por motor elétrico, 0,25CV; 1200rpm; tri-fásico	5.000,00
. Caixa d'água de cimento amianto, cap. 250 litros	400,00
. Bicos pulverizadores (6 unidades) .	330,00
. Tubo de PVC, 1/2" com rosca e acessórios (6 metros)	270,00
. Resistência elétrica para aquecimento residencial 450 Watts (2 unidades)	200,00
. Tela de Nylon (1m ²)	150,00
. Secador horizontal com 24 bandejas, estrutura de cantoneira de ferro e forração em madeira	20.000,00
. Gastos adicionais	5.125,00
Total	39.000,00

V. CONCLUSÕES

- O encolhimento do filê salgado de cação durante a secagem pode ser expresso como dimensão linear sendo função linear do conteúdo de umidade;

- A secagem do filê salgado de cação não apresenta período de taxa constante de secagem, onde a cinética de secagem é perfeitamente previsível através da equação (série de Fourier) proposta por Lewis-Sherwood utilizando os cinco primeiros termos da série. Para o dimensionamento do secador, não há necessidade de considerar o efeito de encolhimento.

- As características do ar de secagem para filê salgado de cação são: 350 a 400°C de temperatura; 40 a 50% de umidade relativa e 0,5 a 1,0m/s de velocidade;

- É possível construir um secador apropriado para pequenos produtores com custo baixo de construção, utilizando o princípio de desumidificação do ar por "spray" e posterior aquecimento, atendendo as considerações do ar de secagem descritas no item anterior, independente das adversidades das condições ambientais.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- ALVARENGA, L.C.; FORSTER, M.; PINHEIRO FILHO, J.B. & HORA, T. Transporte de umidade no interior de grãos de feijão preto sob condições de secagem. *Rev. Bras. de Armaz.* 5(1):5-18, 1980.
- BASTOS, J.R. *Influência da secagem sobre algumas propriedades físico-químicas do músculo de cação branco, Carcharias porosus Ranzani.* Campinas, FEA, 1977. p.1-49. Tese (mestr.). Univ. Estadual de Campinas.
- BERGER, D. & PEI, D.C.T. Drying of higroscopic capillary porous solids. A theoretical approach. *J. Heat Mass Transfer*, 16:293-302, 1973.
- BIRD, R.B.; STEWART, W.R. & LIGHTFOOT, E.N. *Transport phenomena.* New York, Wiley, 1960. 780p.
- BOERI, R.L.; MOSCHIAR, S.M. & LUPIN, H.M. Estudo comparativo de los procesos de salado humedo y seco de merluza (*Merluccius hubbsi*). *Rev. Agroquím. Technol. Aliment.*, 22(1):139-145, 1982.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. *Projeto tubarão, processamento e mercado de produtos oriundos do tubarão*; por R.M. Madrid & M.A. Copriva. Brasília, SUDEPE, 1984. p.11-107.
- BRASIL. P.I. nº 8403163. *Processo e equipamento para secagem de materiais biológicos.* EMBRAPA-UNICAMP, Brasília, D.F., 1984. PARK, K.J., CORNEJO, F.E.P., MADRID, R. & JARDINI, J.G.

- BUCKINGHAM, E. Apud, DEVRIES, D.A. & AFGAN, N.H. *Heat and mass transfer in the biosphere*, Washington, Scirfa, 1975. p.29-45.
- CHUPAKHIN, V. & DORMENKO, V. *Fish processing equipament*; translated from the russian by ANNE de MERINSOL. Moscow, Mir Publishers, s.d. Chap. 5, p.340-386.
- CURRAN, C.A. & TRIM, D.S. Comparative study of solar and sun drying of fish. Apud, JAMES, P. *The production and storage of dried fish*; Proceedings of the workshop on the production and storage of dried fish. Roma, 1983. p.69-79.
- DAUDIN, J.D. Calcul des cinétiques de sêchage par L'air chaud des produits biologiques solides. *Sci. Alim.*, 3(1):1-38, 1983.
- DEVRIES, D.A. & AFGAN, N.H. *Heat and mass transfer in the biosphere*. Washington, D.C., Scripta, 1975. p.1-47.
- GEROMEL, E.J. & FORSTER, R.J. *Princípios fundamentais em tecnologia de pescados*. São Paulo, Secretaria de Estado da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia, 1982. p.77-89. (Série tecnologia agroindustrial, 11).
- GORDIEVSKAYA, V.S. *Shark flesh in the industry*. Jerusalem, 1973. Apud, TORRANO, A.D.M. & MENEZES, H.C. *Caracterização do cação como matéria-prima para processamento*. *Bol. ITAL* (54):153-166, 1977.
- GÖRLING, P. *Physical phenomena during the drying of foodstuffs*. New York, 1958. Apud, CHARM, S.E. *Fundamentals of food engineering*, Westport, AVI, 1971. p.252-358.
- KEEY, R.B. *Drying: principles and practice*. Oxford, Pergamon Press, 1972. 358p.

- KILPATRICK, P.W.; LOWE, E. & VAN ARSDEL, W.B. Tunnel dehydrators for fruit and vegetables. *Advances in Food Research* 6, 1955.
- Apud, CHARM, S.E. *Fundamentals of food engineering*, Westport, AVI, 1971. p.252-358.
- KING, C.J. Rates of moisture sorption and desorption in porous, dried foodstuffs. *Food Technol.* 22(4):165-171, 1968.
- KNEULE, F. *El secado*; trad. por E. Chueca, rev. por. M.A.Montemayor. Madrid, 1966. p.27-174.
- KRISHER, O. Apud, BERGER, D. & PEI, D.C.T. Drying of higroscopic capillary porous solids. A theoritical approach. *J. Heat Mass Transfer*, 16:293-302, 1973.
- LABUZA, T.P.; KAAANANE, A. & CHEN, J.Y. Effect of temperature on the moisture sorption isotherms and water activity shift of two dehydrated foods. *J. Food Sci.*, 50:385-391, 1982.
- LEITÃO, M.F.F. Microbiologia do pescado salgado. *Bol. ITAL*, 16 (2):123-147, 1979.
- LEWIS, W.K. The rate drying of solid material. *J. Ind. & Eng. Chem.* 13(5):427-432, 1921.
- LOZANO, J.E.; ROTSTEIN, E. & URBISCAIN, M.J. Shrinkage, porosity and bulk density of foodstuffs at changing moisture contents. *J. Food Sci.* 48(5):1497-1553, 1983.
- LUIKOV, A.V. & MIKHAILOV, Yu, A. *Theory of energy and mass transfer*. Oxford, Pergamom Press, 1965. 329p.
- LUIKOV, A.V. *Heat and mass transfer in capillary, porous bodies*. Oxford, Pergamoim Press, 1966. 523p.

- NONHEBEL, G. *Drying of solids in the chemical industry*. London, Butterworth & Co., 1971. p.33-43.
- OREJANA, F.M. & EMBUSCADO, M.E. A new agrowaste smoker-drier for fish. *Apud*, JAMES, D. *The production and storage of dried fish*; Proceedings of the workshop on the production and storage of dried fish, Roma, 1983. p.133-146.
- ORTIZ, S.A.; CABRAL, A.C.D. & ALVIM, D.D. Embalagem para pescado salgado. *Bol. ITAL*, 17(4):349-369, 1980.
- PARK, K.J. *Fundamentos de secagem*; apontamentos de aula. Campinas, FEA/UNICAMP, 1987. p.1-50.
- PARK, K.J. & CORNEJO, F.E.P. Estudo do encolhimento durante a secagem. In: ——— CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 10, São Paulo, 1987. Resumos... Campinas, SBCTA, 1987. p.13.
- PARK, K.J. & CORNEJO, F.E.P. Estudo de encolhimento do filê salgado de tubarão durante a secagem. In: ——— CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PESCA, 5, Fortaleza, 1987. AEP/CE. FAEP, in press.
- PARK, K.J. *Estudo comparativo de coeficiente de difusão sem e com encolhimento durante a secagem*. Campinas, FEA, 1987. Tese (livre - Docência) - UNICAMP. in press.
- PERNA, A. & PERRICONE, F. Correlation between taste and content of malonic dialdehyde in stored frozen fillets of sole and coel. *Atti Soc. Ital. Sic. Vet.*, 23:795-800, 1971.
- PETERS, G.R. *Experiments in mechanical drying of salted cold*. Ottawa, Industrial Development Service - Department of fisheries of Canada, 1968. p.1-86.

- PHILIP, J.R. & DEVRIES, D.A. *Apud*, DEVRIES, D.A. & AFGAN, N.H., *Heat and mass transfer in the biosphere*. Washington, D.C. Scripta, 1975, p.1-47.
- SANCHEZ, T.J. & LAM, C.R. *Tecnologia del salado y secado artificial de la merluza*. Callao, Instituto del Mar del Peru, 1973. p.1-33. (Informe, nº 43).
- SHERWOOD, T.K. The drying of solids. I. *Ind. Eng. Chem.* 21(1):12-16, 1929a.
- SHERWOOD, T.K. The drying of solids. II. *Ind. Eng. Chem.* 21(10):976-980, 1929b.
- SISON, E.C. *et alii*. Adaptation of artificial fish drying technology in the Philippines. *Apud*, JAMES, D. *The production and storage of dried fish*; Proceedings of the workshop on the production and storage of dried fish, Roma, 1983. p.109-122.
- SUZUKI, K.; KUBOTA, K.; HASEGAWA, T. & HOSAKA, H. Shrinkage in dehydration of root vegetables. *J. Food Sci.* 41(5):1189-1193, 1976.
- THRELKELD, J.L. *Thermal environment engineering*. 2.ed. New Jersey, Printace Hall, 1970. p.215-234.
- TORRANO, A.D.M. & MENEZES, H.C. Caracterização do cação como a matéria-prima para processamento. *Col. ITAL*, 8:199-215, 1977.
- TORRANO, A.D.M. & OKADA, M. Processamento de cação salgado e seco. *Bol. ITAL*, (54):153-166, 1977.
- TORREJON, E. *Utilização industrial del tiburón*. Montevideo, FAO/OEA, 1975. p.1-21.

VAN ARSDEL, W.B. Approximate diffusion calculations for the falling-rate phase of drying. *Trans. Am. Inst. Chem. Eng.* 43 (1):13-24, 1947.

VAN ARSDEL, W.B. & COPLEY, M.J. Characteristics of food substances related to drying behavior. In: ——— *Food dehydration*. Connecticut, AVI, 1963. p.66-89.

VILLADSEN, A. & FLORES, F. Low cost, agro-waste fish drier development. Apud, JAMES, D. *The production and storage of dried fish*; Proceedings of the workshop on the production and storage of dried fish. Roma, 1983, p.123-132.

WATERMAM, J.J. *La production de pescado seco*. Roma, Organizacion de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentacion, 1978. p.1-52. (FAO. Doc. técnico de pesca nº 160).

WIRTH, H.G.F.; GARCIA, C.; LEPRATTI, E.; NACHMANN, M.; NEUSCHUL, F. & RIVERO, J. *Secado del pescado salado*. Montevideo, Facultad de Ingenieria de la Republica, 1975. 3v.