Eucalyptus Online Book & Newsletter

Celsius Degree / Grau Celsius

Cálculos, Problemas e Balanços Aplicados ao Setor de Produção de Celulose e Papel de Eucalipto

Parte 02: Cinquenta Exemplos sobre Fabricação, Conversão, Utilização e Reciclagem do Papel

Celso Foelkel
http://www.celso-foelkel.com.br
http://www.eucalyptus.com.br
https://twitter.com/AVTCPEP
https://twitter.com/CFoelkel

Março 2015

Eucalyptus Online Book & Newsletter

EUCALYPTUS ONLINE BOOK

CAPÍTULO 39

Cálculos, Problemas e Balanços Aplicados ao Setor de Produção de Celulose e Papel de Eucalipto

Parte 02: Cinquenta Exemplos sobre Fabricação, Conversão, Utilização e Reciclagem do Papel

Uma realização:

º Celsius Degree / Grau Celsius
Negócios em Gestão do Conhecimento

Autoria: **Celso Foelkel**

==========

Organizações facilitadoras:

ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores

IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais

Empresas e organizações patrocinadoras:

Fibria

ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel

ArborGen Tecnologia Florestal

Celulose Irani

CENIBRA – Celulose Nipo Brasileira

CMPC Celulose Riograndense

Eldorado Brasil Celulose

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores

Klabin

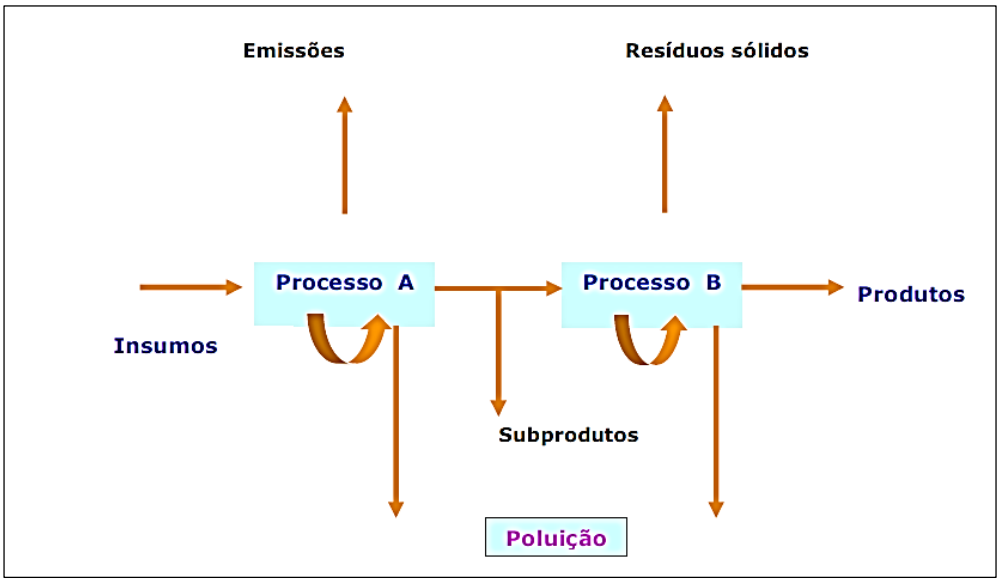
Lwarcel Celulose

Pöyry

Solenis

Stora Enso Brasil

Suzano Papel e Celulose



Cálculos, Problemas e Balanços Aplicados ao Setor de Produção de Celulose e Papel de Eucalipto

Parte 02: Cinquenta Exemplos sobre Fabricação, Conversão, Utilização e Reciclagem do Papel

CONTEÚDO DO CAPÍTULO

- INTRODUÇÃO E AGRADECIMENTOS
- OS CÁLCULOS FAZEM PARTE DA VIDA DOS TÉCNICOS
- CONCEITOS PRÁTICOS CONSAGRADOS E ASSUMIDOS
- SEÇÃO 01: PREPARAÇÃO E QUALIDADE DA MASSA
- SEÇÃO 02: REFINAÇÃO DA POLPA CELULÓSICA
- SEÇÃO 03: MÁQUINA DE PAPEL – PRODUÇÃO E PRODUTIVIDADE
- SEÇÃO 04: FORMAÇÃO DA FOLHA – SEÇÃO ÚMIDA
- SEÇÃO 05: SECAGEM DA FOLHA DE PAPEL
- SEÇÃO 06: ACABAMENTO E CONVERSÃO DO PAPEL
- SEÇÃO 07: REVESTIMENTO DO PAPEL
- SEÇÃO 08: PROPRIEDADES INTRÍNSECAS DO PAPEL
- SEÇÃO 09: PROBLEMAS ENVOLVENDO FLUXOS, DILUIÇÕES E CONSISTÊNCIAS
- SEÇÃO 10: CÁLCULOS COM AS FOLHAS DE PAPEL
- SEÇÃO 11: RECICLAGEM DO PAPEL
- SEÇÃO 12: TRABALHO DE CASA

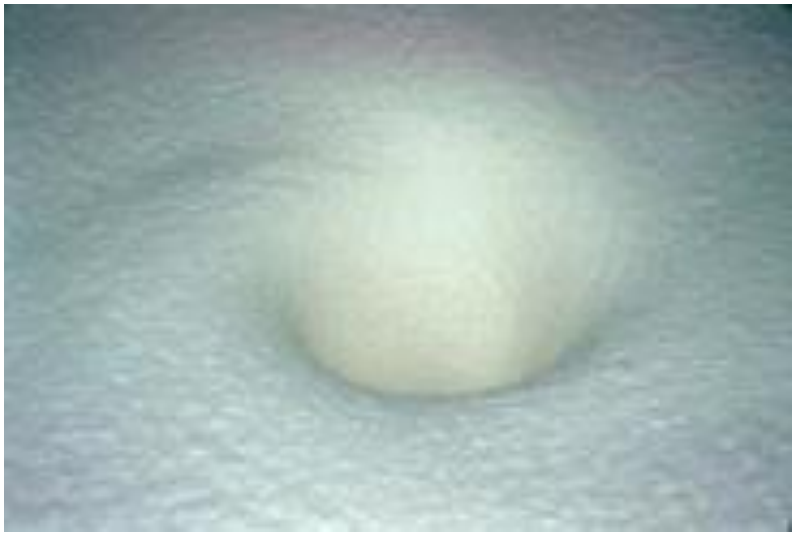
- CONSIDERAÇÕES FINAIS
- REFERÊNCIAS DA LITERATURA E SUGESTÕES PARA LEITURA

==========

==========

Cálculos, Problemas e Balanços Aplicados ao Setor de Produção de Celulose e Papel de Eucalipto

Parte 02: Cinquenta Exemplos sobre Fabricação, Conversão, Utilização e Reciclagem do Papel



Com esse capítulo, esperamos estar colaborando para um maior entendimento sobre inúmeras formas de se calcular e lidar com números nas áreas de produção, conversão, utilização e reciclagem do papel

==========

INTRODUÇÃO E AGRADECIMENTOS

Esse capítulo dá continuidade a uma pequena série de três capítulos sobre cálculos matemáticos e pequenos balanços de massa e/ou energia associados a conceitos fundamentais vitais no setor de produção de celulose e papel de eucalipto. Tenho notado um relativo desconhecimento em muitas pessoas de nosso setor sobre algumas coisas que classifico de vitais para que se possam realizar estudos mais profundos de otimização de processos e utilização de insumos. Em parte, esse problema está associado ao fato de que não existem no Brasil universidades com cursos de graduação, formando engenheiros especializados em tecnologia de celulose e papel. As universidades que oferecem cursos de graduação em engenharias florestal, química e industrial madeireira só possuem poucas disciplinas relacionadas a esse tema. Quem quiser se aperfeiçoar mais sobre esse setor vai ter que necessariamente realizar estudos de pós-graduação e de especialização, ou realizar trabalhos de conclusão de curso ou estágios durante a graduação.

Por essa razão, considero esses três capítulos muito mais direcionados a estudantes e jovens engenheiros iniciantes no setor do que um grande tratado orientado para cálculos aprofundados sobre esse setor. Tenho recebido muitos questionamentos através da web em minha seção "**Pergunte ao Euca Expert**" (http://www.eucalyptus.com.br/eucaexpert.html) e muitos deles podem ser respondidos de forma simples e direta, com alguns poucos e rápidos cálculos matemáticos. Por essas e outras razões, decidi criar

essa singela série de capítulos, cuja missão é integrar conceitos teóricos e aplicações práticas que possam ser de utilidade na vida rotineira para os profissionais de nossas fábricas, fornecedores, institutos de pesquisa e estudantes de cursos técnicos e universitários.

Os três capítulos procuração cobrir setores de nossas fábricas que se caracterizam por alguns cálculos típicos e muitas vezes diferenciados, sendo eles os seguintes:

CAPÍTULO 38: *Parte 01*: Qualidade e Suprimento de Madeira e Processos de Fabricação de Celulose (Linha de Fibras)

CAPÍTULO 39: *Parte 02*: Fabricação, Conversão, Utilização e Reciclagem do Papel

CAPÍTULO 40: *Parte 03*: Geração e Conservação de Energia, Recuperação do Licor Preto Kraft, Utilidades, Suprimentos e Logística

Existe muita pouca literatura disponível sobre cálculos e problemas em tecnologia de celulose e papel, que possam se constituir em fontes de aprendizado para os que querem se especializar em tecnologias de fabricação desses bens e produtos. Frente a essa realidade global para nosso setor, optei por disponibilizar um conjunto de dezenas de informações tecnológicas sobre essa temática, compondo com isso esses três capítulos, contendo nos mesmos diversos conceitos fundamentais amplos, e ao mesmo tempo, oferecendo a vocês algo simples, versátil, prático e mais que tudo - didático.

Evidentemente, não se tratam de capítulos para aqueles que são doutores no assunto. Nosso objetivo é exatamente outro – que estudantes, professores, engenheiros de processo, fornecedores de insumos ao setor, etc., enfim, algumas partes interessadas da sociedade, possam conhecer mais sobre formas de cálculos corriqueiros, que são típicos do setor. Em muitos casos, algumas pessoas do setor falam sobre muitos desses assuntos, mas não conseguem materializar e aplicar os conceitos na solução de problemas.

Em geral, muitos desses cálculos estão inseridos em livros, teses e artigos publicados em anais de eventos e revistas, porém raramente os autores se dedicam a explicar como os cálculos foram realizados. Muitas vezes, os leitores são obrigados a aceitar os números apresentados, mesmo sem os entender muito bem sobre como foram obtidos. Frente a isso, as nossas dezenas de exemplos com esses capítulos cuidarão de darem uma cuidadosa explicação de como os cálculos foram feitos e o que significam. Se as coisas não ficarem bem claras para algum dos leitores, entrem em contato com Celso Foelkel pelo endereço de e-mail foelkel@via-rs.net

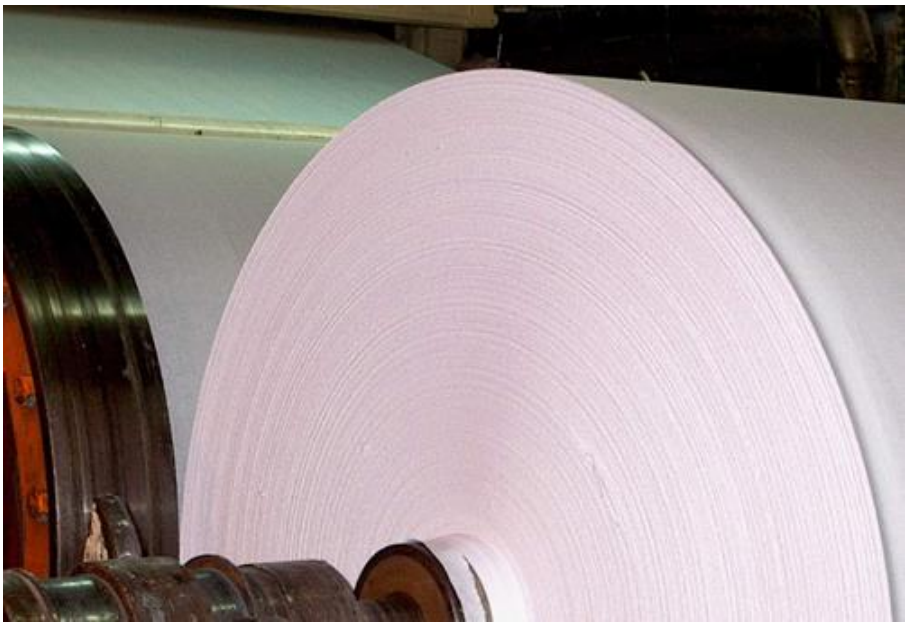
Antes de finalizar esse texto introdutório, eu gostaria de agradecer algumas das pessoas que me ajudaram muito a entender sobre esses cálculos papeleiros todos, e com isso, poder compartilhar alguns desses problemas com vocês. Em especial, meus agradecimentos sinceros aos meus grandes mestres: **Dr. Luiz Ernesto George Barrichelo**, que me guiou nesses cálculos no início de minha carreira no setor, ainda na década dos anos 60's, quando eu ainda era aluno da USP – Universidade de São Paulo; ao meu orientador e professor **Mr. Serge N. Gorbatsevich**, em Syracuse/New York, que conseguiu converter um engenheiro agrônomo silvicultor em um proto-engenheiro químico com seus ensinamentos em operações unitárias da engenharia química e ao professor **Dr. Roger Strauss**, também de Syracuse nos anos 70's, que conseguiu me tornar familiarizado com os cálculos em processos e máquinas de papel. Também não poderia me esquecer de meu estimado amigo e *doutor em tecnologia papeleira*, o **engenheiro Luiz Carlos Borges**, com o qual trabalhei alguns anos na nossa Riocell e conseguimos bons diálogos e desafios com os papéis da empresa. Também agradeço minhas centenas de alunos, orientados e estagiários de universidades e cursos técnicos, que sempre me incentivam a desafiá-los com problemas para seu aprendizado em minhas aulas e orientações.

A vocês leitores, eu gostaria de agradecer toda a atenção e o imenso apoio que sempre me têm oferecido. Todos vocês têm ajudado - e muito - a fazer do **Eucalyptus Online Book** algo muito útil para os técnicos e interessados por esse nosso setor de celulose e papel.

A todos, um abraço fraterno e um enorme muito obrigado.

==========

OS CÁLCULOS FAZEM PARTE DA VIDA DOS TÉCNICOS



Os técnicos do setor de celulose e papel são quase sempre requisitados a demonstrar suas habilidades em cálculos e na resolução de alguns problemas em suas atividades profissionais. A maioria dos problemas é constituída por cálculos simples, envolvendo pequenos balanços de massa com base em pesos secos e fluxos de polpa celulósica; de licores, efluentes e filtrados; de folhas de papel ou de cavacos de madeira. Talvez, em função desse tipo de problemas corriqueiros da vida diária, os profissionais do setor fazem isso automaticamente, tendo como referenciais teóricos alguns poucos conceitos. Eu mesmo sempre argumentei "na brincadeira", que para ser um bom técnico de celulose e papel temos que conhecer duas coisas vitais: o conceito de teor de secos ou de consistência e regra de três, do tipo direta. Nem regra de três do tipo inversa se faz necessário – basta ter uma pequena calculadora de mão, que grande parte das nossas exigências diárias de cálculos acaba se resolvendo.

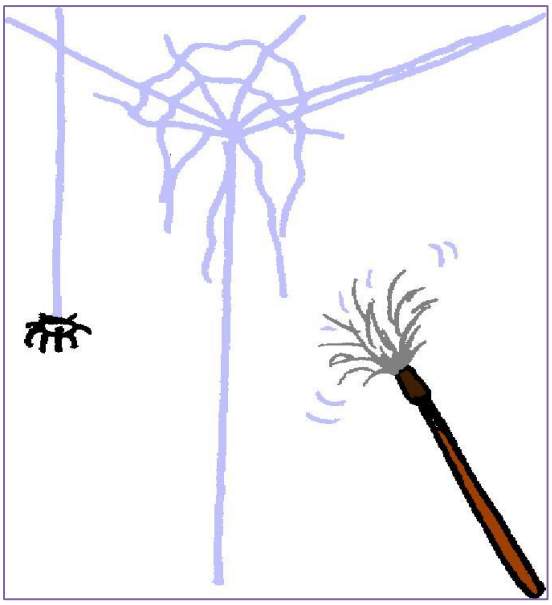
Talvez por isso, são raros os livros e manuais técnicos em qualquer idioma, mostrando ou demonstrando resolução de problemas, como o que estamos lançando agora no **Eucalyptus Online Book**. Parece até mesmo que os técnicos são obrigados a aprender esses cálculos na relação com outros técnicos, por osmose, ou por ajuda de alguém mais experiente. Apesar de muitos

problemas serem de fácil solução, a maioria requer conceitos teóricos e uso de dados que nem todos dispõem.

Mesmo nas escolas de engenharia, problemas e cálculos aplicados ao setor de celulose e papel não são comuns para se buscar para estudar em casa. Parece que existe um grande espaço escondido, onde os técnicos não encontram oportunidades para se exercitarem ou mesmo para aprenderem pela primeira vez.

Antigamente, ainda nos anos 70's, algumas revistas internacionais como o Tappi Journal, da TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry, costumava trazer em cada edição uma pequena seção que se denominava **"Continuing Education – Questions and Answers"**, sendo que em muitos exemplos estavam pequenos problemas técnicos com as soluções teóricas dos mesmos. Também existiam problemas a serem resolvidos para os que quisessem "trabalho de casa". O competente professor Michael Kocurek da University of Wisconsin era responsável pela maioria dos problemas, em uma sequência que ele intitulava de **"Review of Engineering Fundamentals"**. Uma preciosidade, uma entre poucas, que o setor dispunha e que mesmo com a internet acabou se perdendo. Afinal, para algo estar online, alguém precisa criar, editar e colocar o arquivo para acesso. Se não temos autores, não teremos publicações para serem encontradas. Infelizmente, não são muitas as publicações com problemas práticos, como eram tão bem disponibilizadas por alguns mestres no passado.

Muitos dos problemas que os nossos técnicos se deparam são pequenos balanços de massa ou alguns cálculos energéticos. A elaboração de balanços de fluxos mássicos e de transferência e utilização de energia faz parte das estratégias para minimizar ou eliminar as perdas e para encontrar as eficiências e as ineficiências em qualquer tipo de processo. Um balanço de materiais ou de fluxos de massa consiste na verdade na construção ordenada do caminho que os materiais (elementos, compostos, substâncias) tomam ao longo do processo de produção. Eles podem ser feitos de forma ampla ou restrita, envolvendo unidades de controle simples ou com escopo tão amplo como toda a fábrica, ou uma área da empresa. Podem também serem aplicados para pequenos processos, sistemas, ou até mesmo, para um simples equipamento.



Sempre há maneiras melhor de se fazerem as coisas nas fábricas

Um balanço de material ou de massa é baseado no princípio de conservação das massas, que propugna que tudo que entra em um processo ou sistema deve sair de alguma forma, descontadas as frações que ficam armazenadas no mesmo. Há, entretanto, situações onde ocorrem reações químicas com alterações dos materiais em pesos, estados físicos e volumes. Isso também precisa ser levado em conta. Dessa forma, para balanços mais complexos, é bom que tenhamos a participação de pessoas com qualificação técnica para aplicá-los e resolvê-los.

Balanços de massa são bastante comuns nas fábricas de celulose e papel, em praticamente todas as suas áreas operacionais. Eles são também os alicerces dos programas de modelagem e de simulações para os sistemas inteligentes de controle operacional e otimização de processos.

Não há mistérios em se construir balanços de massa, eles podem ser facilmente construídos e calculados a partir de planilhas digitais simples, como o caso do próprio programa Excel.

De uma maneira geral, os técnicos que trabalham em plantas industriais mais sofisticadas estão acostumados em operar as mesmas através sistemas inteligentes que são criados a partir de balanços de massa e de energia.

Muitas vezes, as fábricas mudam seus sistemas e redesenham seus projetos, por isso, nessas novas situações, os balanços de massa e de energia também demandam por atualizações para as otimizações e os controles de processo possam ser adequadamente realizados.

Essa é uma das razões que me fazem advogar veementemente para que os balanços de massa não sejam de forma alguma colocados como "caixas-pretas" em nossas fábricas – eles precisam estar completamente abertos e serem conferidos regularmente pelos técnicos. Nada difícil e que serve inclusive para treinamento e desenvolvimento dos técnicos e operadores. Por isso recomendo que mergulhem com vontade nesses tipos de balanços – vale a pena para todos: técnicos, dirigentes e empresa.

Em todos os casos onde se façam necessárias avaliações que demandem por balanços de massa ou de energia, siga com atenção as seguintes regras básicas:

1. Faça um desenho esquemático do processo em avaliação;

2. Crie nomes para cada um dos fluxos envolvidos, sejam os conhecidos (com seus valores e unidades) e os desconhecidos;

3. Escolha uma base referencial para os cálculos, que pode ser uma unidade de tempo, uma unidade de peso seco, o fluxo de um determinado componente do processo, etc.;

4. Desenhe os fluxos de materiais;

5. Escreva com atenção um balanço de massa para cada um dos componentes do sistema (Exemplo: água, polpa seca, elementos minerais, etc.)

Lembre-se ainda que um balanço de massa envolve:

- Entrada de material no sistema (+)

- Saída de material do sistema (-)

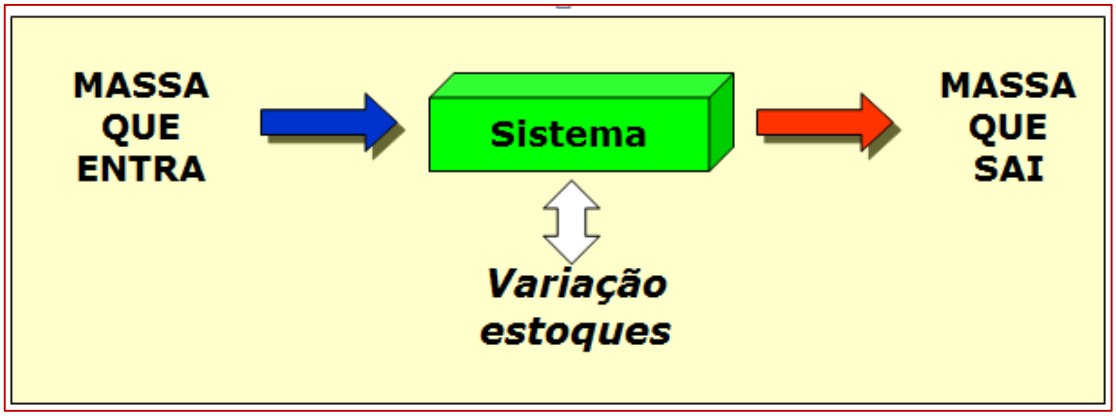
- Geração de material dentro do sistema (+)

- Consumo de material dentro do sistema (-)

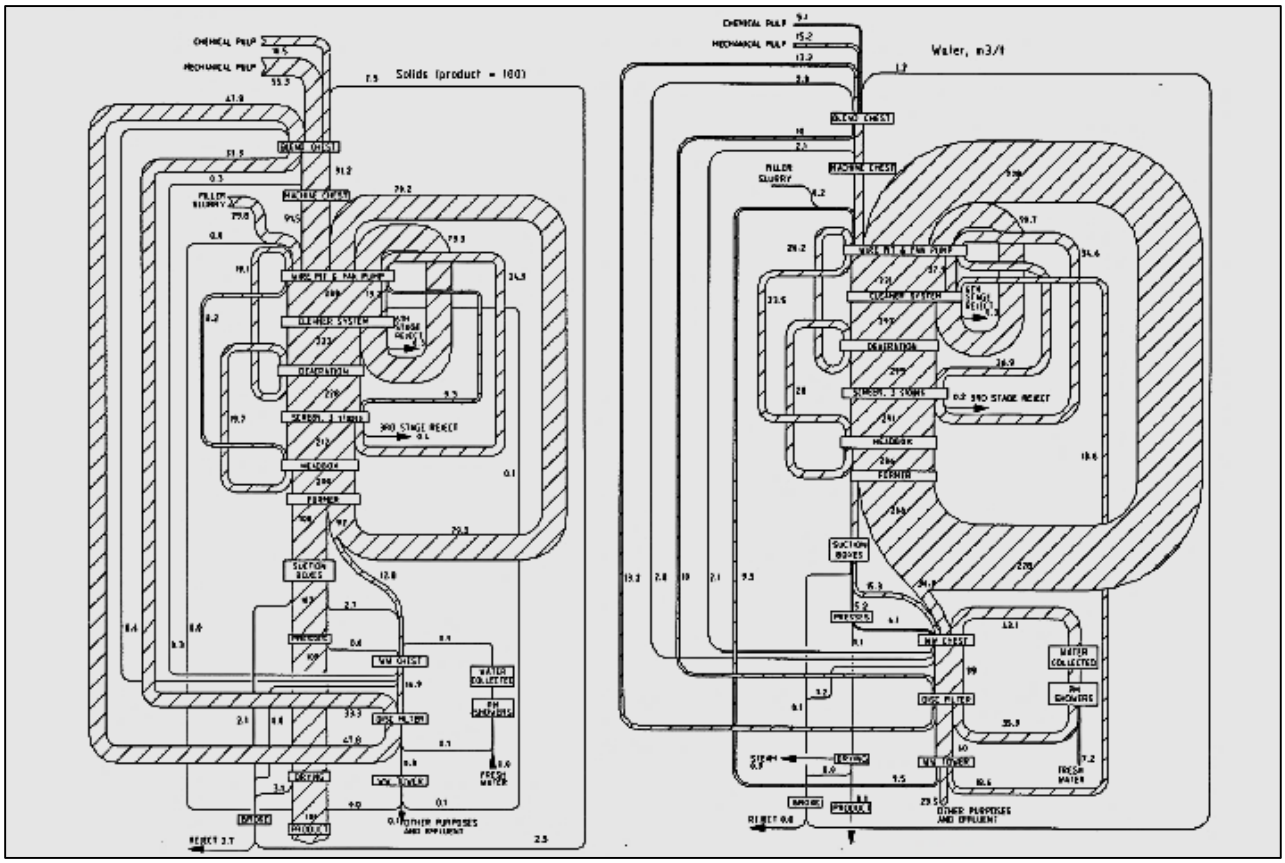
Já um balanço de energia, engloba:

- Transferência de energia para o sistema (+)
- Transferência de energia para fora do sistema (-)
- Geração de energia dentro do sistema (+)
- Consumo de energia dentro do sistema (-)

Ou simplificadamente, para balanços de massa:



Ou então, mais detalhadamente como realizado pelos professores do Pulp and Paper Centre da UBC – University of British Columbia no Canadá, ao apresentarem um balanço de massa de fluxos de massa e fluxos de águas para uma máquina de papel através do diagrama de Sankey:



Fluxos de massa e de águas respectivamente

Fonte: http://www.fibrelab.ubc.ca/files/2013/01/Topic-13-Papermaking-Forming-text.pdf

Considero que mesmo com a diminuta disponibilidade de textos para leitura complementar, com essa sequência de três de nossos capítulos do Eucalyptus Online Book, estaremos colocando esforços sobre as quatro raízes vitais para a educação continuada de nossos recursos humanos setoriais, quais sejam:

1. A aplicação de cálculos matemáticos simultaneamente ao desenvolvimento de qualificações e competências nos processos de produção do setor;

2. A associação íntima entre os conhecimentos teóricos requeridos para os processos e sua conversão a números e ações para gerenciamento desses processos;

3. A solução de problemas práticos para melhor atuação na gestão de processos;

4. A possibilidade de um enriquecimento contínuo em assuntos fundamentais da engenharia da celulose e papel.

Vamos então nos divertir juntos com as dezenas de exemplos desse capítulo. Aproveitem para exercitar a mente, o espírito e a criatividade.

Tenho esperanças de que esses três capítulos possam vir a se constituir em uma espécie de fonte de desafios e de enriquecimento em conhecimentos, principalmente para os iniciantes no setor, ou para os estudantes de cursos técnicos de química e de celulose e papel e para os universitários em engenharia florestal, engenharia química e engenharia industrial madeireira.

Também, por favor, não se esqueçam que um mesmo problema pode ser visto ou resolvido de formas diferentes, dando origem a novos e inusitados avanços ao setor.

==========

==========

CONCEITOS PRÁTICOS CONSAGRADOS E ASSUMIDOS

Nos cálculos realizados no setor de celulose e papel, existe uma série de particularidades típicas e consagradas, as quais foram seguidas para se manter dentro da linguagem desse setor. Evidentemente, se quiséssemos maior rigor científico, teríamos que realizar alguns ajustes, mas optamos por manter o idioma falado e praticado por todos os técnicos do setor.

Dentre essas peculiaridades do setor, destacamos três:

1. Os técnicos estão acostumados a se referir a peso de insumos e não à sua massa. Por isso, em geral, os resultados de pesagens são referidos como peso e expressos em miligramas, gramas, quilogramas ou toneladas. Raramente se fala em massa de um produto ou insumo.

2. Para consistências de massa até 10 a 12% costuma-se admitir que a densidade dessa suspensão de fibras é igual à densidade da água, ou seja, igual a 1 g/cm³ ou 1 t/m³.

3. Para concentrações de sólidos secos de até 16% em líquidos diluídos e filtrados também se costuma admitir que a densidade desse líquido contaminado com material orgânico ou sais seja igual à densidade da água, ou seja, igual a 1 g/cm³ ou 1 t/m³.

E assim tem sido e será feito em relação às nossas dezenas de problemas. Em condições excepcionais, serão atribuídos valores diferentes para alguns itens, mas isso estará fazendo parte do enunciado do problema.

==========

SEÇÃO 01: PREPARAÇÃO E QUALIDADE DA MASSA

Problema 01:

Um operador de área de preparo de massa tem como incumbência preparar duas cargas de massa de 10 metros cúbicos cada uma: a primeira com 3% de consistência, usando para isso aparas brancas com 15% de umidade; a segunda com 4% de consistência, utilizando pasta de alto rendimento comprada em folhas úmidas a 45% de consistência. Dois *hydrapulpers* são utilizados, sendo que cada um deles comporta o volume de massa desejado para cada situação. Quanto de peso úmido de cada material deve ser colocado em cada *hydrapulper* e qual a quantidade de água em cada caso para os devidos ajustes nas consistências almejadas?

Solução:

Dados para carga 01 (aparas brancas) no primeiro *hydrapulper*:

Volume: 10 m³ ou 10 toneladas de massa úmida a 3% consistência
Consistência da massa a preparar: 3%
Umidade das aparas brancas: 15%
Consistência das aparas brancas: 85%

Cálculo do peso absolutamente seco de aparas que se vai necessitar:

(Volume ou peso da massa fibrosa a preparar) . (Consistência desejada nessa massa) =

(10 t úmidas) . {(3 toneladas a.s.)/(100 toneladas úmidas)} =
(10 t úmidas) . (0,03 toneladas a.s./tonelada úmida)
0,3 t a.s. = 300 kg a.s. de aparas brancas, ou melhor:

300 kg absolutamente secos de aparas brancas

(Peso absolutamente seco corresponde ao peso de material isento de umidade, o que é por definição obtido por secagem em estufa a 105±3ºC)

Cálculo do peso de aparas a 15% de umidade que se vai necessitar:

(Peso a.s. de aparas) : (Consistência das aparas) =

(300 kg a.s.) : {(85 kg a.s.)/(100 kg úmidos)} =
(300 kg a.s.) : {(0,85 kg a.s.)/(kg úmido)}

= **353 kg de aparas a 15% de umidade**

Água presente nas aparas:

(Peso úmido aparas) – (Peso a.s. aparas) =
353 – 300 =
53 kg de água presente nas aparas

Cálculo da água a adicionar no *hydrapulper 1*:

(Peso total de massa a preparar) – (Peso de aparas absolutamente secas) – (Peso de água presente nas aparas) =

(10.000 kg) – (300 kg a.s. de aparas) – (53 kg água nas aparas) =

9.647 kg de água ou 9,647 m³ de água

Dados para carga 02 (pasta de alto rendimento) no segundo *hydrapulper*:

Volume: 10 m³ ou 10 toneladas de massa úmida a 4% consistência
Consistência da massa a preparar: 4%
Consistência das folhas da pasta de alto rendimento: 45%

Cálculo do peso absolutamente seco de pasta de alto rendimento que se vai necessitar:

(Volume ou peso da massa fibrosa a preparar) . (Consistência desejada nessa massa) =

(10 t úmidas) . {(4 toneladas a.s.)/(100 toneladas úmidas)} =
(10 t úmidas) . (0,04 toneladas a.s./tonelada úmida) =
0,4 t a.s. =
400 kg a.s. de pasta de alto rendimento

Cálculo do peso de pasta de alto rendimento a 45% de consistência que se vai necessitar:

(Peso a.s. de pasta de alto rendimento) : (Consistência das folhas de pasta de alto rendimento) =

(400 kg a.s.) : 0,45 = **889 kg de pasta de alto rendimento a 45% de consistência**

Água presente nas folhas da pasta de alto rendimento:

(Peso úmido pasta alto rendimento) – (Peso a.s. dessa pasta) =
889 – 400 =

489 kg de água presente nas aparas

Cálculo da água a adicionar no *hydrapulper 2*:

(Peso total de massa a preparar) – (Peso de folhas de pasta absolutamente seca) – (Peso de água presente na pasta de alto rendimento) =

(10.000 kg) – (400 kg a.s.) – (489 kg de água nas folhas da pasta) =

9.111 kg de água ou 9,111 m³ de água

Problema 02:

Uma massa celulósica a 5% de consistência entra em um aquecedor indireto a vapor com 20ºC para ser aquecida até 55ºC antes de ser enviada para o processo de fabricação. O fluxo dessa massa equivale a 300 toneladas absolutamente secas por dia. Qual a quantidade de vapor com 12 Bar de pressão manométrica que deverá ser oferecida por hora, sabendo que existem perdas de calor nesse processo que equivalem a 10% do calor requerido? Admitir que o poder calorífico da massa a 5% seja igual ao da água. Admitir que o calor total do vapor saturado nessas condições é de 664 Mcal/tonelada e que o calor da água a 55°C seja de 55 Mcal/tonelada.
Caso o aquecimento fosse feito de forma direta pela mistura de vapor na massa, qual seria a nova consistência da massa após o aquecimento?

Solução:

Base referencial: Uma hora de operações

Dados:
Fluxo de massa: 300 t a.s. por dia
Fluxo de massa: 12,5 t a.s./hora
Consistência da massa: 5%

Cálculo da quantidade de polpa a 5% de consistência por hora de operações:

(Peso a.s. de polpa) : (Consistência) =
(12,5 t a.s.) : {(0,05 t a.s.)/(tonelada úmida)} =

250 toneladas úmidas

Quantidade requerida de calor para aquecer a massa de 20ºC até 55ºC:

Quantidade de calor = m.c.(ΔT) =
(Peso) . (Calor específico) . (Diferencial de temperatura)

(250 toneladas) . (1 Mcal/t.ºC) . (55 – 20) =
8.750 Mcal

Calor total requerido em função de 10% de perdas:

8.750 Mcal/0,90 = 9.722 Mcal

Quantidade de calor oferecido pelo vapor de 12 Bar para terminar o processo de aquecimento indireto a 55ºC:

Calor total do vapor de 12 Bar = 664 Mcal/tonelada
Calor da água a 55ºC = 55 Mcal/tonelada

Calor oferecido pelo vapor por tonelada = (664 – 55) = 609 Mcal/tonelada de vapor

Quantidade de vapor requerido por hora de operação:

(9.722 Mcal) : (609 Mcal/tonelada) = **15,965 t vapor/hora**

Cálculo da nova consistência da massa caso o vapor se condensasse em um processo de adição direta do mesmo na massa:

Peso absolutamente seco de fibras celulósicas: 12,5 t a.s.
Peso úmido original: 250 toneladas úmidas
Novo peso úmido com a condensação do vapor: 250 + 15,965=
Novo peso úmido com a condensação do vapor: 265,965 toneladas úmidas

Consistência = 100 . {(Peso a.s.) / (Peso úmido)} =
Consistência = 100 {(12,5 t a.s.) / (265,965 t úmidas) =
Consistência = **4,7%**

Problema 03:

Um operador de preparo de massa consegue colocar em seu *hydrapulper* uma quantidade máxima de 550 kg de folhas retiradas de fardos de celulose. Em uma das operações, ele recebe a indicação de que a celulose possuía uma umidade de 8% e o peso bruto de dois fardinhos sem arames e com as capas de folhas de celulose era de 508 kg. Qual deve ser a quantidade de água a ser colocada no *pulper* para que a massa ao ficar pronta possua uma consistência de 2,5%?

Solução:

Base referencial: Uma carga de preparação

Dados:
Peso úmido de celulose: 508 kg úmidos
Umidade: 8%
Consistência: 92%
Consistência da massa a ser preparada: 2,5%

Cálculo do peso seco equivalente aos 508 kg úmidos:

(Peso úmido) . (Consistência) =

(508 kg úmidos) . {(0,92 kg a.s.)/(kg úmido)} = 467,36 kg a.s.

Cálculo da água contida nos dois fardinhos de celulose:

(Peso úmido) – (Peso a.s.) =
508 – 467,36 =
40,64 kg de água contida nos fardinhos

Cálculo do peso úmido da massa a ser preparada:

(Peso a.s.) : (Consistência desejada na massa a ser preparada) =
(467,36 kg a.s.) : {(0,025 kg a.s.)/(kg úmido)} =
18.694,4 kg úmidos = **18,69 m³ de massa a 2,5% consistência**

Cálculo da água a adicionar:

(Peso total) – (Peso a.s.) – (Peso de água contida na polpa) =

18.694,4 – 467,36 – 40,64 = 18.186,4 kg de água =

18,186 m³ de água para essa carga do *pulper*

Problema 04:

Um teste muito usual na avaliação de polpas celulósicas é a contagem de fibras (número de fibras por grama de celulose absolutamente seca), referindo-se o resultado como "população fibrosa". O método de análise consiste em se produzir uma suspensão de fibras com baixíssima consistência e depois, através de um sensor ótico, contar o número de fibras que passa circulando por um capilar onde é injetado um fluxo dessa suspensão. Um laboratorista pesou o equivalente a 0,1 gramas absolutamente secas para ser ensaiada e diluiu essa amostra para atingir 10 litros com água. Qual foi a consistência obtida? Dessa suspensão ele separou uma alíquota de 50 mililitros e a injetou no contador de fibras, obtendo uma mensagem do aparelho que tinham sido contadas 11.200 fibras. Qual seria a população fibrosa dessa polpa?

Solução:

Dados do problema:

Peso seco inicial de celulose: 0,1 gramas a.s. = 100 mg a.s.
Volume final da diluição: 10 litros
Alíquota retirada: 50 mililitros
Objetivo: Número de fibras por grama a.s.

Cálculo da consistência da alíquota de fibras:

Consistência = 100 . {(Peso a.s.) / (Peso úmido)} =
Consistência = 100 . {(0,1 g a.s.) / (10.000 g úmidas)} =
Consistência = **0,001%**

Cálculo da quantidade amostrada de fibras:

100 mg a.s. ---------- 10.000 ml
X ---------- 50 ml

X = 0,5 mg de fibras

Cálculo do número de fibras por grama a.s.:

0,5 mg de celulose ---------- 11.200 fibras
1.000 mg de celulose ---------- Y

Y = **22,4 milhões de fibras/grama a.s. de celulose**

Problema 05:

Um *hydrapulper* de 25 m³ é alimentado com 0,5 toneladas de celulose de fibra curta branqueada com 89,5% de consistência; 0,5 toneladas de refugos de papel branco com 6% de umidade e 0,5 toneladas de fibra longa branqueada com 88% de consistência. O volume final é acertado para 25 m³ com água e o *pulper* é acionado até que a suspensão de fibras esteja bem dispersa e desagregada. A

polpa assim produzida é então encaminhada para um tanque de massa de 500 m³. Nesse tanque, com agitação intensa, essa quantidade de massa recebe a seguir a adição de um volume de água de 350 m³, sendo essa água isenta de fibras e de sólidos. A seguir a massa segue para a depuração hidrociclônica. Qual será a consistência com que a massa estará sendo depurada nos *cleaners*?

Solução:

Base referencial: Uma carga do *hydrapulper*

Dados da alimentação de uma carga:

- 0,5 t úmida de polpa de fibra curta branqueada com 89,5% consistência
- 0,5 t úmida de refugos de papel branco com 6% umidade (94% consistência)
- 0,5 t úmida de polpa de fibra longa com 88% consistência
- Volume final da massa: 25 m³

Cálculo do peso seco absoluto adicionado ao *pulper*:

Peso a.s. = (Peso úmido) . (Consistência)

Peso a.s. fibra curta branqueada = 0,5 . 0,895 = 0,4475 t a.s.
Peso a.s. refugos papel = 0,5 . 0,94 = 0,47 t a.s.
Peso a.s. fibra longa branqueada = 0,5 . 0,88 = 0,44 t a.s.

Peso seco absoluto total =
0,4475 + 0,47 + 0,44 = 1,3575 t a.s.

Cálculo da consistência da carga do *pulper*:

Peso úmido total: 25 toneladas ou 25 m³ de volume total
Peso a.s. = 1,3575 t a.s.

Consistência saída do *pulper* = 100 . {(Peso a.s.) / (Peso úmido)} =

100 . (1,3575/25) = **5,43% de consistência**

Acerto final da consistência no tanque de massa:

Peso a.s. enviado: 1,3575 t a.s.
Peso úmido total enviado ao tanque: 25 toneladas a 5,43% de consistência

Peso de água adicionado para acerto da consistência: 350 m³

Cálculo do novo peso úmido:

25 + 350 = 375 m³ ou 375 t úmidas

Cálculo da nova consistência da massa para alimentar os hidrociclones:

Consistência = 100 . {(Peso a.s.)/(Peso úmido)}
Consistência = 100. (1,3575/375) =

0,362% de consistência para a depuração fina nos hidrociclones ou "cleaners"

Problema 06:

Uma determinada polpa celulósica possui um valor de "coarseness" de 9 mg/100 metros lineares de fibras. Caso o comprimento médio dessas fibras seja de 0,7 mm, qual o peso médio de cada fibra? Qual seria a equivalente população fibrosa dessa polpa, expressa em número de fibras por grama absolutamente seca de celulose?

Solução:

Dados do problema:
Coarseness da polpa: 9 mg/100 metros de fibras
100 metros = 100.000 mm
Comprimento médio das fibras: 0,7 mm

Cálculo do peso médio de cada fibra:

9 mg de polpa ---------- 100.000 mm lineares de fibras
X ---------- 0,7 mm

X = **0,063 microgramas é o peso médio de uma fibra**

Cálculo da população fibrosa aproximada:

1 fibra ---------- 0,063 µg a.s.

1 fibra ---------- $0,063 \cdot 10^{-6}$ gramas a.s.
W ---------- 1 grama a.s.

W = $15,87 \cdot 10^{6}$ fibras =

15,87 milhões de fibras por grama a.s. de polpa

Problema 07:

Um técnico do setor de preparação de massa está preocupado com a quantidade de extrativos causadores de "pitch" da polpa de eucalipto que está utilizando. Lendo a literatura, ele descobriu que a fração de finos (principalmente as células de parênquima) possuía 10 vezes mais extrativos do que a fração fibrosa (incluindo os elementos de vaso). Se o teor de extrativos da polpa integral é de 0,3% e o teor de finos na polpa é de 8%, qual seria o teor de extrativos da polpa isenta de finos? O que o técnico poderia fazer com essa informação para tentar melhorar a qualidade de seu processo?

Solução:

Dados do problema:
Teor de extrativos da polpa: 0,3% base polpa a.s.
Teor de finos na polpa: 8% base polpa absolutamente seca

Dai:
Teor de fibras e vasos na polpa: 100 – 8 = 92% base polpa absolutamente seca

Sejam:
X = teor de extrativos na fração fibrosa (fibras e elementos de vaso)
Y = teor de extrativos na fração "finos"

Do enunciado se tem:

$Y = 10 . X$

Na polpa integral o teor de extrativos é uma composição ponderal entre os extrativos presentes nas fibras+vasos e nos finos, cuja equação que permitiria expressar isso seria:

$0,92 . X + 0,08 . Y =$ Teor de finos na polpa integral

Ou então:

$0,92 . X + 0,08 . (10.X) = 0,3$

$1,72 . X = 0,3$

X = 0,1744 % e Y = 1,744 %

Onde:
X = teor de extrativos na fração fibrosa (fibras e elementos de vaso)
Y = teor de extrativos na fração "finos"

Conhecendo esses valores e proporções, a técnico poderia tentar estabelecer um sistema de gestão interna de finos no processo, retirando os finos onde for possível, como nas águas brancas onde eles são abundantes e destinando esse material para papéis que exigem especificações menos rigorosas em grau de limpeza.

Algumas considerações sobre esse tipo de gestão podem ser obtidas pela leitura do capítulo 17 do Eucalyptus Online Book:

Diferenciando polpas de mercado e papéis de eucalipto através da gestão dos finos celulósicos da polpa. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 17. 87 pp. (2009)

http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT17_Finoscelulosicos.pdf

---

Problema 08:

Uma prensa de rosca tem a função de engrossar os refugos de fibras contaminadas do processo de reciclagem de aparas e fabricação de papel e de converter esse material em um lodo orgânico para venda com 40% de consistência. Essa prensa é alimentada com o decantado do clarificador primário com uma consistência de 2% em um fluxo de 5.000 litros por minuto. A eficiência de aproveitamento dessas fibras é de 90%. Qual a quantidade de lodo a 40% de consistência que se produz e quanto de fibras retorna ao processo para novo tratamento de remoção de fibras?

Solução:

Base referencial: Uma hora de operação

Dados do problema:
Fluxo de massa diluída: 5.000 litros/minuto
Consistência: 2%
Consistência do lodo primário após prensa: 40%
Eficiência de aproveitamento de fibras: 90%

Cálculo do fluxo de material seco enviado às prensas desaguadoras:

(Fluxo úmido) . (Consistência) =

(5.000 kg/minuto) . {(0,02 kg a.s.)/(kg úmido)} =
5.000 . 0,02 = 100 kg a.s./minuto

Sólidos efetivamente removidos pelo sistema de desaguamento e prensagem:

90% de 100 kg a.s./minuto = 90 kg a.s./minuto

Cálculo do logo orgânico gerado a 40% de consistência por minuto:

(Peso a.s. de fibras/minuto) : (Consistência do lodo) =

(90 kg a.s./minuto) : (0,40 kg a.s./kg úmido de lodo) =
225 kg úmido por minuto
ou

13,5 toneladas úmidas de lodo orgânico fibroso por hora

Cálculo das fibras e águas retornadas ao processo:

Do total de fibras bombeadas para a prensa desaguadora, 90% são removidas como lodo fibroso úmido a 40% de consistência (13,5 t úmidas/hora) e 10% retornam para novo processamento em um *loop* fechado de recirculação (0,01 toneladas a.s./minuto ou 0,6 t a.s. por hora)

Total de material recirculado:

Polpa a.s.: 0,01 t a.s./minuto
ou
Polpa a.s.: 0,6 t a.s./hora

Água extraída do material que é efetivamente removido para venda (90% do total fibroso):

Cálculo do peso úmido inicial = (0,09 t a.s./min) : (0,02) =
4,5 t a.s./min = 270 t a.s./hora

Peso úmido final extraído = 13,5 t úmidas/hora

Água extraída = 270 – 13,5 =

256,5 t água/hora de operação da prensa

Problema 09:

Um depurador de massa objetiva a remoção de feixes de fibras ("shives") da pasta mecânica que será utilizada na fabricação de papel. A alimentação desse depurador se faz com uma suspensão de fibras com 1% de consistência com fluxo diário de 5.000 m³. Os "shives" saem no fluxo rejeitado pelo depurador em um fluxo diário de 1.000 m³ e com consistência de 0,1%. Qual a percentagem de "shives" removidos base pasta mecânica absolutamente seca alimentada ao depurador?

Solução:

Base referencial: Um dia de operações

Dados do problema:
Fluxo de alimentação depurador: 5.000 m³/dia ou 5.000 t úmidas/dia
Consistência do fluxo de alimentação do depurador: 1%
Fluxo de saída de "shives": 1.000 m³/dia ou 1.000 t úmidas/dia
Consistência na saída dos "shives": 0,1%

Alimentação de massa ao depurador em base de secos absolutos:

(Fluxo úmido) . (Consistência) =
(5.000 t úmidas/dia) . {(0,01 t a.s.)/(tonelada úmida)} =
50 t a.s./dia de alimentação do depurador

Saída de "shives" rejeitados pelo depurador:

(Fluxo úmido) . (Consistência) =
(1.000 t úmidas/dia) . {(0,001 t a.s.)/(tonelada úmida)} =
1 t a.s./dia de alimentação do depurador

Cálculo da percentagem de "shives" refugados base polpa a.s. alimentada:

%"Shives" = 100 {(Peso a.s. "shives"/dia) / (Peso total a.s. de pasta alimentada ao depurador)/dia}

%"Shives" = 100 . {(1 t a.s.) / (50 t a.s.)} =

2% de "shives" removidos para reprocessamento (possivelmente refinação para desfibramento e retorno ao processo)

==========

==========

SEÇÃO 02 – REFINAÇÃO DA POLPA CELULÓSICA

Problema 10:

Para a refinação laboratorial da polpa celulósica em um moinho tipo Jokro são requeridas 16 gramas absolutamente secas por panela ou recipiente de refino e a consistência é acertada em 6%. Ao se dispor de uma celulose com 20% de consistência, quais devem ser as quantidades de polpa úmida e de água que devem ser colocadas por panela para se executar um teste de refinação dessa polpa?

Solução:

Moinho Jokro – Fonte: Elof Hansson
http://www.elofhansson.com.br/P40120_Jokro.pdf

Base referencial: 16 gramas absolutamente secas de celulose

Dados:
Polpa úmida original com 20% de consistência
Consistência desejada na panela de refinação: 6%

Cálculo da quantidade de celulose com 20% de consistência para se obter 16 gramas a.s.:

(Peso seco desejado) : (Consistência da polpa) =
(16 gramas a.s.) : (20 gramas a.s./100 gramas úmidas) =
(16 gramas a.s.) : 0,2 =

80 gramas úmidas de polpa a 20%

Cálculo do peso úmido das 16 gramas a.s. quando com 6% de consistência:

(Peso a.s.) : (Consistência da polpa) =
(16 gramas a.s.) : (6 gramas a.s./100 gramas úmidas) =
(16 gramas a.s.) : 0,06 =

266,7 gramas úmidas de polpa a 6%

Cálculo da quantidade de água para ajuste da consistência para 6%:

Basicamente é a diferença entre o peso a amostrar de polpa com 20% de consistência e o peso dessa polpa com 6% de consistência:

Água a adicionar = 266,7 gramas – 80 gramas =

186,7 gramas de água a ser adicionada para ajustar a consistência a 6%

Problema 11:

Uma massa de celulose a 3% de consistência circula em um passe único por um refinador de discos e a temperatura da massa na entrada do refinador é de 30ºC. Após uma aplicação de carga total e energia de 180 kWh/t a.s. de celulose, a massa sai do refinador a 32ºC. Qual foi a percentagem dessa energia aplicada que se converteu em calor na suspensão de fibras? Admitir que o calor específico da massa celulósica a 3% seja igual ao da água.

Solução:

Base referencial = Uma tonelada a.s. de celulose sendo refinada

Aumento de temperatura da massa celulósica:

Δ Temperatura = (32 – 30) = 2ºC

Quantidade de polpa úmida para 3% de consistência:

(1 t a.s.) : Consistência =
(1 t a.s.) : (0,03 t a.s./t úmida) = **33,33 t úmidas**

Calor requerido para esse aumento de temperatura (equivalente para 1 t a.s. de polpa):

(Quantidade de calor) = m.c.(ΔT)

m= peso de polpa equivalente a 1 t a.s. circulando = 33,33 t
c = calor específico da polpa úmida a 3% de consistência =
c = 1 kcal/kg.ºC = 1 Mcal/t.ºC
ΔT = 2ºC

Calor ou energia requerida = (33,33 t) . (1 Mcal/t.ºC) . (2ºC) = 66,66 Mcal

1 kWh = 0,85985 Mcal
ou
1 Mcal = 1,163 kWh
(http://www.convertworld.com/pt/energia/kcal.html)

Logo, o calor que foi consumido pela polpa úmida para se aquecer em 2ºC equivale a 77,52 KWh

Portanto, da energia total aplicada, que foi de 180 kWh, ocorreu um consumo de 77,52 kWh apenas para aquecimento em 2ºC da polpa úmida a 3% de consistência, ou seja, **43% da carga aplicada.** São desperdícios inerentes ao refino a baixa consistência, onde muita energia se perde para aquecer e circular a polpa repleta de água.

Em geral, as temperaturas das polpas sendo refinadas são bem mais altas em função da constante reciclagem das águas quentes internas no processo de refinação.

Problema 12:

Um refinador de discos para refino de massa celulósica está sendo operado com uma potência total efetiva de 400 kW. Caso esse motor fique funcionando o dia todo nesse mesmo nível de potência, qual será o consumo diário de energia pelo mesmo? Caso se esteja refinando 100 toneladas de celulose absolutamente secas por dia, qual será a carga de energia específica total aplicada no refino por tonelada seca de celulose?

Solução:

Dados:
Potência total: 400 kW
Tempo: 24 horas
Fluxo de polpa: 100 t a.s./dia

Energia consumida no dia = (Potência) . (Tempo)
Energia consumida no dia = (400 kW) . (24 horas) = 9.600 kWh

Energia específica total consumida na refinação da massa:

Energia específica total = (Energia medida) / (Quantidade de celulose absolutamente seca passando pelo refinador)

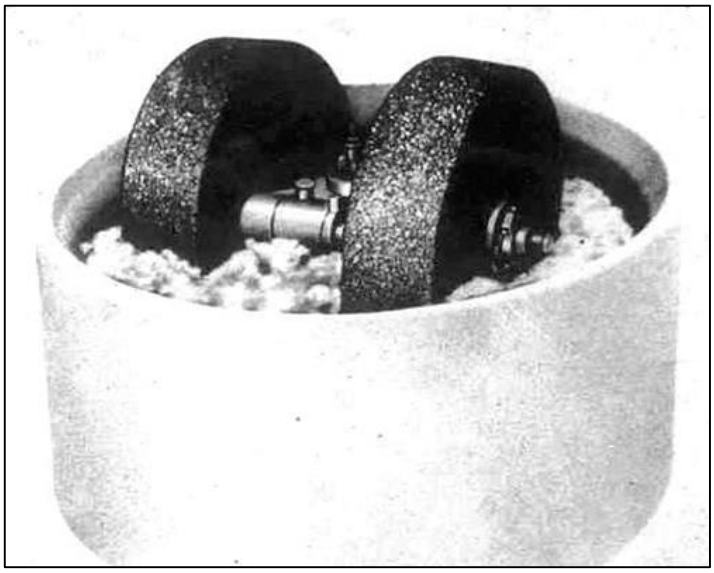
Ou então:

Energia específica total = (Potência) / (Fluxo em base seca)

Energia específica total = (400 kW) / (100 t a.s./24 horas)
Energia específica total = (400 kW) . (24 horas) / (100 t a.s.)

Energia específica total = 9.600 kWh / 100 t a.s.

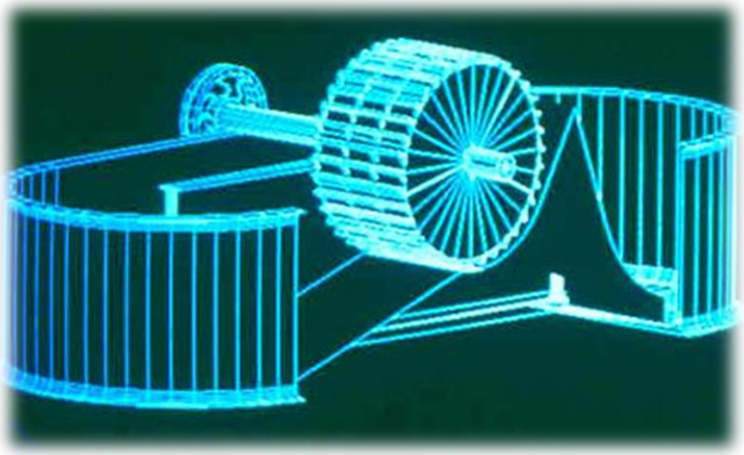
Energia específica total = 96 kWh/t a.s.



Problema 13:

Uma antiga fábrica de papéis especiais ainda se vale de moinhos do tipo holandesa para refinar sua polpa. Cada carga da holandesa se faz com o equivalente a 500 kg de polpa absolutamente seca e em uma consistência de 4%. A potência determinada em vazio para mover a polpa no circuito da holandesa com esse nível de consistência (com o rolo da holandesa levantado) foi medida como sendo de 50 kW e com a carga aplicada foi de 120 kW. O refino da massa aconteceu mantendo o equipamento funcionando com carga aplicada sobre a massa durante 90 minutos até atingir o grau de refino desejado que era de 55ºSR (Schopper Riegler). Qual a energia líquida aplicada para refinar a polpa expressa em kWh/tonelada absolutamente seca de celulose? Sendo o grau de refino inicial da celulose de 21 ºSR, qual foi o consumo específico de energia líquida por cada grau de refino aumentado?

Solução:



Dados:
Carga de celulose seca por operação da holandesa: 500 kg a.s.
Carga de celulose seca por operação da holandesa: 0,5 t a.s.
Consistência: 4%

Carga de celulose úmida por operação da holandesa:
(500 kg a.s.) : 0,04 = 12.500 kg úmidas ou 12,5 m³ de massa úmida

Outros dados:
Potência total durante refinação: 120 kW
Potência em vazio: 50 kW
Tempo de refinação: 90 minutos = 1,5 horas

A potência total é obtida quando o refinador está em plena operação, refinando, circulando e aquecendo a massa de celulose. Já a potência líquida, efetiva ou útil se obtém através do desconto da chamada potência em vazio ("no load power") do valor da potência total.

A potência em vazio é aquela obtida, quando a massa de celulose apenas circula através do refinador, sem aplicação de carga para efetivo refino. Trata-se então do consumo energético apenas para movimentar a massa no refinador. Isso se consegue com os discos abertos em refinadores de discos, ou com os rolos ou cilindros de refinação levantados, no caso dos antigos moinhos, como as holandesas.

Cálculo da energia líquida aplicada sobre a celulose:
Energia líquida = (Δ Potência) . Tempo
Energia líquida = (120 - 50) . 1,5 = 105 kWh

Cálculo da Energia Específica Líquida ou Útil de refino:

Energia específica útil = (Energia medida) / (Quantidade de celulose absolutamente seca sendo refinada)

Energia específica útil = 105 kWh / 0,5 t a.s.

Energia específica útil = 210 kWh/t a.s.

Cálculo do consumo de energia por ºSR aumentado com a refinação:

Δ ºSR = (55 – 21) = 34 ºSR

Consumo específico útil de energia por ºSR:
(Energia específica útil por tonelada a.s. de celulose) / (Δ ºSR)

(210 kWh/t a.s) / 34 ºSR = 6,18 kWh/t .ºSR

Consumo específico de energia útil por ºSR = **6,18 kWh/t .ºSR**

Problema 14:

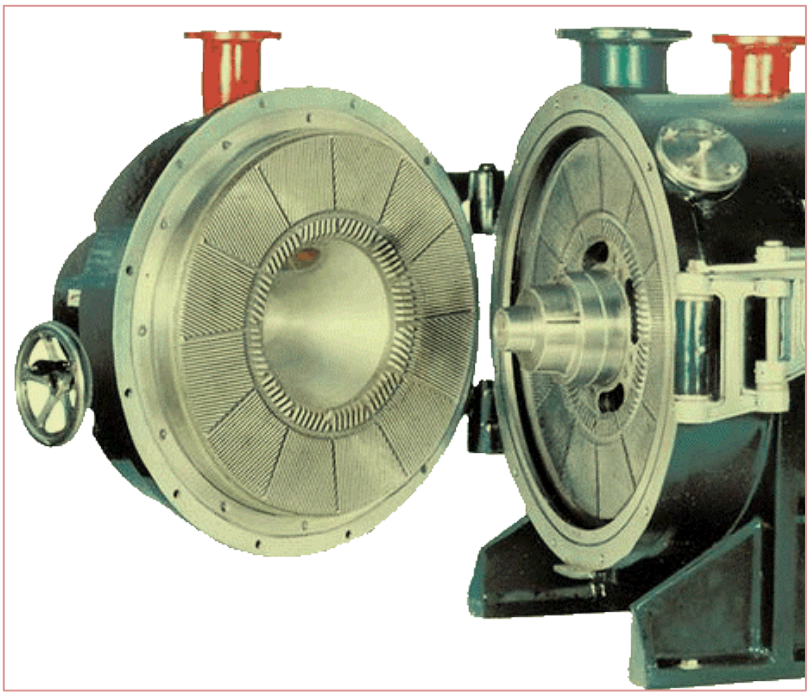
Um refinador de discos de uma fábrica de papel indica os seguintes dados técnicos:

- Consumo de energia total por cada 15 minutos de operação, medido em "relógio de força": 150 kWh
- Fluxo de polpa úmida: 120 m³/hora

Calcular:

- Fluxo de polpa a.s. com a consistência mantida em 4%;
- Carga de energia líquida efetivamente aplicada na polpa em kWh/tonelada a.s. de polpa, sabendo que a potencia em vazio corresponde a 20% da potencia total.

Solução:



Base referencial: Uma hora de operação

Dados:
Consumo de energia medido para 15 minutos: 150 kWh
Tempo: 15 minutos = 0,25 horas
Fluxo de polpa úmida: 120 m³ ou t úmidas/hora
Consistência: 4%

Cálculo da potência total:

Energia = (Potência) . (Tempo)
(kWh) kW horas

150 = Potência . 0,25
Potência total = 600 kW

Dado: Potência em vazio = 20% da potência total

Potência em vazio = 600 . 0,2 = 120 kW

Cálculo da potência efetiva ou útil aplicada sobre a celulose:

Potência efetiva útil = (Δ Potência) = (600 – 120) = **480 kW**

Cálculo do fluxo base polpa absolutamente seca:

Fluxo base seca = (120 t úmidas/hora) . (Consistência)
Fluxo base seca = (120 t úmidas/hora) . (4 t a.s./100 t úmidas)
Fluxo base seca = (120 t úmidas/hora) . 0,04 = **4,8 t a.s./hora**

Cálculo da energia efetiva útil base polpa a.s.:

Energia específica útil = (Potência efetiva útil) / (Fluxo em base seca)

Energia específica útil = (480 kW) / (4,8 t a.s./hora)
Energia específica útil = (480 kW) . (1 hora) / (4,8 t a.s.)

Energia específica útil = **100 kWh/t a.s.**

Problema 15:

Uma massa de celulose úmida e a 4,8% de consistência alimenta um refinador de discos. O fluxo de alimentação é de 200 metros cúbicos de polpa por hora. O refinador quando em carga nominal de operação trabalha com uma potência de 600 kW, sendo que a potência em vazio ("no load") desse refinador costuma ser de 200 kW para a massa circulando nessa consistência e nesses níveis de alimentação do refinador. Calcular a energia líquida aplicada por tonelada a.s. de polpa. Caso o incremento de grau de refino expresso em ºSR (Schopper Riegler) seja de 7 graus para essa energia líquida aplicada sobre a polpa, indicar qual o consumo de energia por cada grau de refino elevado na massa.

Solução:

Base referencial: Uma hora de operações

Cálculo da potência efetiva útil aplicada:

Potência efetiva útil = (Potência total) – (Potência "no load")

Potência efetiva útil = 600 – 200 = **400 kW**

Cálculo do fluxo em base a.s. de celulose:

(Fluxo a.s./hora) = (200 m³/h) . (Consistência) =
(Fluxo a.s./hora) = (200 t úmidas/hora) . (4,8 toneladas a.s./100 toneladas úmidas) = 200 . 0,048 = **9,6 t a.s./hora**

Energia efetiva útil consumida na refinação da massa:

Energia efetiva útil = (Potência efetiva útil) / (Fluxo em base seca)
Energia efetiva útil = 400 kW/ (9,6 t a.s./hora)
Energia efetiva útil = **41,66 kWh/t a.s.**

Cálculo do consumo de energia por ºSR aumentado pela refinação:

Δ ºSR = 7 ºSR

Consumo específico útil de energia por ºSR:

(Energia efetiva útil por tonelada a.s. de celulose) / (Δ ºSR)

(41,66 kWh/t a.s) / 7 ºSR = 5,95 kWh/t .ºSR

Consumo específico de energia por ºSR = **5,95 kWh/t .ºSR**

==========

Molassa ou pedra mó – Um antigo processo de preparação de massa

==========

SEÇÃO 03: MÁQUINA DE PAPEL
PRODUÇÃO E PRODUTIVIDADE

Problema 16:

Uma máquina de papel típica é constituída de cinco seções: Tanque de massa para alimentação da caixa de entrada da máquina; Mesa plana, Seção de prensagem a úmido; Secadores e Seção de enrolamento da bobina. As consistências na saída de cada uma dessas seções são as seguintes:

Tanque de massa para alimentação da caixa de entrada da máquina = 0,5%

Mesa plana = 20%

Seção de prensagem úmida = 40%

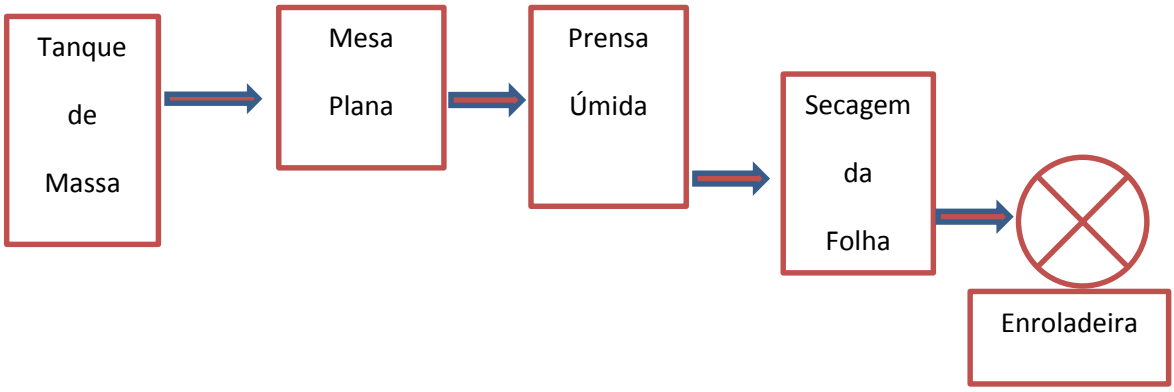
Secadores = 95%

Seção de enrolamento da bobina= 95%

A produção de uma máquina com essas características técnicas foi programada ser de 20 toneladas de papel a 95% de consistência por hora. Qual o peso úmido a cada mudança de seção, admitindo que o sistema é fechado e só se remova água sem fibras e cargas minerais do sistema?

Solução:

Base referencial: Uma hora de operação



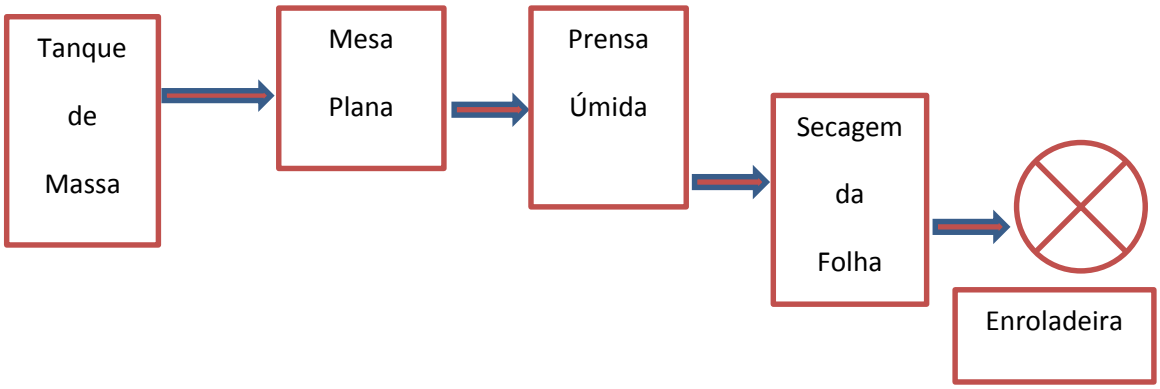
Consistências:

0,5%	20%	40%	95%

Base referencial mássica: 20 toneladas de papel a 95% de consistência por hora

Ou 20 . 0,95 = 19 toneladas de papel absolutamente seco por hora

Admitindo-se que não ocorram perdas de fibras ou remoção de refugos ou refilos, teríamos os seguintes pesos equivalentes ao papel final nas diversas seções:



Pesos equivalentes de massa úmida

19 /0,005	19/0.2	19/0,4	19/0.95
3.800 t úmidas	**95 t úmidas**	**47,5 t úmidas**	**20 t úmidas**

Problema 17:

Uma máquina fabrica um papel que possui 120 gramas absolutamente secas por metro quadrado de gramatura. A máquina possui uma largura útil de folha após a mesa plana de 5 metros. A consistência da folha após o rolo "couch" é de 22% e a composição base absolutamente seca do papel é aproximadamente 80% fibras celulósicas, 16% carga mineral e 4% aditivos como colas, amido, ligantes, retentores, etc. A velocidade da máquina é de 800 metros por minuto e as perdas de produção diária por quebras de folhas e de paradas da máquina é em média de 0,5 hora. Admitindo que dessa largura útil de folha a empresa só aproveita 90%, sendo o restante recirculado na forma de refugos úmidos ou refilos secos, estimar a quantidade diária fibras celulósicas base peso seco ao ar que a fábrica costuma comprar para esse tipo de produto.

Solução:

Base referencial: Um dia de operações

Dados iniciais de processo:
Gramatura do papel: 120 gramas a.s./m²
Largura útil após rolo "couch": 5 metros
Consistência após mesa plana: 22%
Velocidade da máquina: 800 metros/minuto
Saída da folha na enroladeira: 90% do que sai da mesa plana
Perda de produção devido quebras de folhas e paradas: 0,5 hora/dia

Composição do papel base seca:

- 80% fibras celulósicas;
- 16% carga mineral;
- 4% aditivos como colas, amido, ligantes, retentores, etc.

Cálculo da produção horária e potencial de papel base a.s. na saída da mesa plana:

Produção = (Velocidade; m/min) . (Largura; m) . (Gramatura; g/m²) =

(800 m/min) . (5 m) . (120 g/m²) = 480.000 g a.s./minuto =
480 kg a.s./minuto

28,8 toneladas a.s./hora

Cálculo da produção diária potencial na saída da mesa plana admitindo 0,5 horas de paradas por dia:

(23,5 horas/dia) . (28,8 toneladas a.s./dia) =
676,8 toneladas/dia

Cálculo da produção diária na enroladeira, admitindo 90% da produção da mesa plana:

O,9 . (676,8 toneladas/dia) = **609,12 t a.s./dia**

Essa é a real estimativa de papel que sai da máquina levando insumos para fora da fábrica. O restante da massa e do refugo de papel fica em recirculações dentro do sistema.

Cálculo da quantidade de fibras celulósicas que precisam ser compradas para atendimento dessa produção, considerando que o teor de fibras celulósicas é de 80% na composição do papel:

0,8 . (609,12 t a.s./dia) = **487,3 t a.s. de polpa celulósica/dia**

Já expresso em toneladas secas ao ar (90% de secos por definição) a compra de celulose para suprir um dia de produção desse papel deve ser:

(487,3 t a.s. de polpa celulósica) : Consistência
(487,3 t a.s.) : 0,9 = **541,44 t secas ao ar/dia**

Problema 18:

Em uma máquina de fabricar papel sanitário com 100% de fibras virgens ocorre uma perda de fibras através de uma parte da água branca, que é despejada para efluente em uma taxa de 10 kg a.s. por hora. Sendo essa a única perda de fibras da máquina, determinar a

percentagem de fibras perdidas base celulose consumida e a quantidade de água branca lançada ao efluente, conhecendo:

- Consistência da água branca: 0,08%
- Velocidade da máquina: 400 m/minutos
- Gramatura do papel sanitário: 20 g/m² base a.s.
- Largura útil do rolo jumbo: 2,75 metros

Solução:

Base referencial: Uma hora de operações

Cálculo da produção de papel base absolutamente seco por hora:

Produção = (Velocidade; m/min) . (Largura; m) . (Gramatura; g/m²) =

(400 m/min) . (2,75 m) . (20 g/m²) = 22.000 g a.s./minuto =
22 kg a.s./minuto

1,32 toneladas a.s./hora

Perda percentual de fibras via água branca:

Perda de fibras por hora = 10 kg a.s./hora
Produção de papel: 1,32 t a.s./hora = 1.320 kg a.s./hora

Perda percentual = 100 . {(Fibras perdidas)/(Papel seco produzido)}

Perda percentual = 100 . {(10 kg a.s.) / (1.320 kg a.s.)} =

Perda percentual = **0,76% de fibras descartadas para efluente via água branca perdida**

Fluxo de água branca perdida para efluente:

Fluxo base seca: 10 kg a.s./hora
Consistência da água branca = 0,08%

Fluxo de água branca em volume de massa úmida por hora:

Fluxo úmido = (Fluxo base seca) / (Consistência)

Fluxo úmido = (10 kg a.s./hora) / (0,08 kg a.s./100 kg úmidos)
Fluxo úmido = 12.500 kg úmidos/hora
Fluxo úmido = **12,5 m³/hora de água branca descartada para efluente**

Problema 19:

Uma máquina de fabricar papel apresenta as seguintes características técnicas:

- 4,10 metros de largura de lábio
- Fluxo de alimentação de massa: 10.000 litros/minuto
- Consistência na caixa de entrada: 0,5%
- Remoção de 5 cm de refilo úmido de cada lado da mesa plana formadora
- Velocidade da tela: 500 m/minuto
- Retenção de massa na mesa plana: 85%
- Perda de 1% de peso seco na prensagem úmida
- Contração transversal da folha de 4% na bateria de secadores
- Esticamento de 1% na direção longitudinal devido efeito de tração da enroladeira
- Umidade do papel: 5%

Calcular:

- Produção da máquina na saída da mesa plana
- Gramatura final da folha de papel (base absolutamente seca e base tal qual)

Solução:

Base referencial: Um minuto de operações

Produção da mesa plana =

(Fluxo; m³/min) . (Consistência) . (Retenção massa) . (Relação de larguras)

Dados do processo:
Velocidade: 500 m/min
Largura na entrada da mesa: 4,10 m

Largura na saída da mesa: 4 m
Fluxo: 10,0 m³/min
Consistência na caixa de entrada: 0,5%
Retenção na mesa plana: 85%

Produção na saída da mesa plana =
(Fluxo; m³/min) . (Consistência) . (Retenção massa) . (Relação de larguras)
(10 m³/min) . (0,005) . (0,85) . (4/4,10)=

0,041464 t a.s./min

Produção = **0,041464 t a.s./min = 41.464 gramas a.s./minuto**
ou
59,71 t a.s./dia

Entretanto, a produção também pode ser calculada com base em outra fórmula já vista anteriormente nesse capítulo:

Produção = (Velocidade; m/min) . (Largura; m) . (Gramatura; g/m²)
Produção = (500 m/min) . (4 m) . (Gramatura; g/m²) =

Produção = **0,041464 t a.s./min = 41.464 gramas a.s./minuto**

41.464 g a.s./min = (500 m/min) . (4 m) . (Gramatura) =
41.464 g a.s./min = (2.000 m²/min). (Gramatura)

(Gramatura; g/m²) = **20,73 g a.s./m² de folha de papel na saída da mesa plana**

<u>Outros dados do problema</u>:

- Perda de 1% de peso a.s. na prensagem úmida
- Contração transversal da folha de 4% na bateria de secadores
- Esticamento de 1% na direção longitudinal devido efeito de tração da enroladeira
- Umidade do papel: 5%

Ou seja, a folha perde peso, contrai-se lateralmente e se estica longitudinalmente. Tudo isso vai afetar a gramatura e a produção da máquina na enroladeira.

Fazendo-se então os ajustes para essas informações:

Perda de peso na prensagem:
(20,73 g a.s./m² na saída da mesa plana) . 0,99 = **20,52 g a.s./m²**

Variações dimensionais da folha:
Contração da folha em 4% na direção transversal e esticamento de 1% na direção longitudinal.
Ou seja, um quadrado de lado 1 metro passaria a ter nessas novas condições um lado de 0,96m e o outro de 1,01 metros, convertendo-se em um ligeiro retângulo de área **0,9696 m²**

Isso significa que o peso por metro quadrado original de 20,52 gramas a.s., agora se distribui em 0,9696 m²

Gramatura absolutamente seca corrigida =
(20,52 gramas a.s.) : (0,9696 m²) = **21,16 g a.s./m²**

Gramatura úmida do papel a 4% de umidade ou 96% de consistência:

Gramatura úmida = (Gramatura a.s.) : (Consistência)
Gramatura úmida = (21,16 g a.s./m²) : 0,96

Gramatura úmida = **22,04 g/m² de gramatura tal qual**

Problema 20:

Uma máquina de papel com largura útil de folha de 4 metros opera na produção de 250 toneladas por dia de papel cópia branco com gramatura de 75 g/m² tal qual, sendo o teor de umidade do papel na saída da máquina de 5%. Admitindo que não ocorram perdas de material seco na seção de secagem e que a folha após a prensagem úmida possuía 50% de umidade, pergunta-se:

- Qual a gramatura úmida do papel após a prensagem úmida?
- Qual deve ser a velocidade média da máquina para garantir essa produção diária de 250 toneladas desse papel na forma de bobinas no rolo jumbo da enroladeira?

Solução:

Base referencial: Um dia de operações

Dados do processo:
Produção diária: 250 toneladas de papel na gramatura de 75 g/m²
Umidade do papel: 5%
Consistência do papel: 95%
Largura útil do papel: 4 m

Cálculo da gramatura absolutamente seca:

Gramatura a.s. = (Gramatura tal qual) . (Consistência)
Gramatura a.s. = 75 . 0,95 = **71,25 gramas a.s./m²**

Cálculo da gramatura após prensagem e antes dos secadores:

Gramatura úmida antes dos secadores =
(Gramatura a.s.) : (Consistência de 50%)
(71,25) : (0,50) = **142,5 gramas úmidas por m²**

Cálculo da área de papel produzida por dia:

Produção diária base a.s. = (250 toneladas) . 0,95 =
237,50 toneladas a.s.

Área de papel produzido =
(Produção em gramas a.s.) : (Gramatura a.s.; g/m²)

Área de papel produzido = (237.500.000 g) : (71,25 g a.s./m²)

Área de papel produzido = 3.333.333 m²

Cálculo do comprimento total da folha produzida em um dia de 24 horas de produção:

Largura da folha = 4 metros
Comprimento da folha = (Área de papel) : (Largura)

Comprimento da folha = (3.333.333 m²) : (4 metros) =
833.333 metros por dia
Ou
34.722 metros por hora
Ou
578,7 metros por minuto que é a velocidade de máquina

Problema 21:

Uma máquina de papel tem uma produção diária de 550 toneladas de papel kraft natural com 5% de umidade na bobina ao final da secagem. Esse tipo de papel é fabricado com 100% de seu peso seco constituído de fibras de celulose. A recirculação de refugos secos atinge 8% com base na entrada de massa absolutamente seca no sistema e a retenção de material fibroso na seção úmida é de 85%, sendo a água branca toda retornada com suas fibras e demais conteúdo. Qual deve ser a alimentação de massa virgem para o processo? E de massa para a caixa de entrada, sabendo que a consistência na caixa de entrada é de 0,6%?

Solução:

Base referencial: Um dia de operações

Dados do problema:
Produção de papel kraft natural da máquina: 550 t/dia com 5% de umidade

Produção base papel absolutamente seco: 550 . 0.95 =
522,5 toneladas a.s. de papel por dia de operações

Constituição fibrosa do papel a.s. produzido: 100%
Quantidade de material fibroso consumido por dia: **522,5 t a.s. de material fibroso/dia**

Seja Q a quantidade de massa fibrosa celulósica base a.s. enviada ao sistema da máquina para se produzir 522,5 t a.s. de papel na enroladeira

Dados adicionais de processo:
Quantidade de refugos secos: 8% de Q
Quantidade de finos e fibras não retidas na mesa plana: 15% de Q

Material que recircula e volta à massa celulósica que adentra na mesa plana: 23% de Q

Logo, o que efetivamente se converte em papel na enroladeira consiste em:
(100 – 23)% de Q = 77% de Q

Esses 77% de Q correspondem às 522,5 toneladas a.s. efetivamente produzidas de papel na enroladeira.

Logo:

Q = (522,5 toneladas a.s.) : 0,77 = **678,6 toneladas a.s. de massa entrando pela caixa de entrada**, sendo que desse total, 23% reciclam no sistema

Portanto, o fluxo diário de massa entrando na caixa de entrada, com 0,6% de consistência, corresponde a:

Fluxo à caixa de entrada: (Fluxo a.s.) : (Consistência) =
Fluxo à caixa de entrada=
(678,6 t a.s./dia) : {(0,6 t a.s.)/(100 toneladas úmida)} =

113.100 t /dia = 113.100 m³/dia ou 78,5 m³/minuto

Problema 22:

A perda de fibras totais em uma máquina de papel offset corresponde a 0,8% do total de celulose utilizada. O papel em sua base seca possui 15% de carga mineral e 3% de outros aditivos não fibrosos (amido, colas, ligantes, etc.). A produção diária de papel é de 500 toneladas de papel com 5% de umidade. Qual a quantidade de fibras perdidas como lodo, base absolutamente seca. E em base úmida, considerando que o lodo primário removido tenha 20% de consistência?

Solução:

Base referencial: Um dia de operações

Dados do problema:
Produção diária de papel com 5% de umidade: 500 toneladas
Produção de papel base absolutamente seca: 500 . 0,95 =
475 toneladas a.s. de papel

Outros dados:
Teor de carga mineral do papel: 15% base peso a.s.
Teor de outros aditivos: 3% base peso a.s.
Cargas e aditivos = 18% do peso a.s. do papel
Teor de fibras celulósicas base a.s.: 100 – 18 = 82%

Cálculo da quantidade de fibras celulósicas consumidas efetivamente nesse papel:
0,82 . (475 toneladas a.s./dia) = **389,5 toneladas a.s. de fibras celulósicas**

Perda de fibras: 0,8% do valor inicialmente colocado no sistema
Fibras efetivamente consumidas no sistema: (100 – 0,8)%
Fibras efetivamente consumidas no sistema: 99,2%

Cálculo da quantidade total de fibras que é colocada no sistema:
(389,5 t a.s.) : 0,992 = 392,65 t a.s.

Fibras descartadas para efluente: 392,65 – 389,5 =
3,14 t a.s. de fibras perdidas base seca/dia

Peso de fibras descartadas para efluente na forma de lodo primário a 20% de consistência

(3,14 t a.s. fibras perdidas base seca/dia) : (20 t a.s./100 t úmidas)

Perda de fibras como lodo úmido: **15,7 toneladas úmidas/dia**

Problema 23:

Uma máquina de papel cartão opera produzindo 1.000 toneladas por dia de cartão base para ser revestido. Em condições normais de operação a máquina operava com a folha úmida entrando na seção de secadores com 40% de consistência e saia com 94%. Diversas alternativas foram realizadas para se aumentar a produção da máquina, o que foi conseguido em 10%, porém às custas de algumas ineficiências na secagem para se obter o mesmo nível de umidade no cartão. A quantidade de energia térmica requerida que era 1.110 kcal/kg de papel acabou se alterando para 1.350 em função do aumento de água na folha que entra nos secadores. Detectou-se um aumento de quantidade de água a ser evaporada de 10% por tonelada de massa absolutamente seca. Qual foi a nova consistência da folha úmida chegando aos secadores? Qual foi o real aumento de água a ser evaporada em toneladas de água por tonelada a.s. de papel?

Solução:

Base referencial: Uma tonelada a.s. de folha seca

Dados do problema:
Produção diária original da máquina: 1.000 t de cartão por dia
Consistência original na entrada dos secadores: 40%
Consistência de saída do papel cartão pronto: 94%
Nova produção da máquina: 1.100 t/dia
Consistência do papel cartão pronto após alterações técnicas: 94%

Calor original requerido para secagem: 1.110 kcal/kg de papel
Novo calor requerido para secagem: 1.350 kcal/kg de papel
Aumento na quantidade de água a ser evaporada por tonelada de massa seca: 10%

Cálculo da quantidade original de água na folha úmida entrando nos secadores:

Peso úmido de 1 tonelada de massa seca entrando nos secadores = (1 t a.s.) : (Consistência) = 1 : 0,4 = 2,5 t úmidas

Água na folha = (2,5 t úmidas) – (1 t a.s.) = 1,5 t água

Cálculo da quantidade de água na folha pronta do papel cartão saindo dos secadores:

Peso úmido de 1 tonelada de massa seca entrando nos secadores = (1 t a.s.) : (Consistência) = 1 : 0,94 = 1,0638 t úmidas

Água na folha = (1.0638 t úmidas) – (1 t a.s.) = 0,0638 t água

Cálculo da quantidade de água evaporada nas condições originais por tonelada de folha a.s. de papel:

1,5 t água – 0,0638 t água = **1,4362 t água originalmente presente para ser evaporada**

Nova quantidade de água para ser evaporada por tonelada a.s. de folha de papel:

(1,4362 t água) . 1,10 = **1,5798 t água a ser evaporada nas novas condições/t a.s. de cartão**

Cálculo da quantidade de água na folha de papel na entrada dos secadores nas novas condições da máquina:
(1,5798 t água evaporada) + (Água residual no papel a 94% de consistência)
(1,5798 t água evaporada) + (0,0638 t água) =

1,6436 t água na folha úmida antes dos secadores por tonelada a.s. de folha seca

Cálculo da nova consistência da folha na entrada dos secadores:

Novo peso úmido: (1 t a.s.) + (1,6436 t água) = 2,6436 t úmidas

Consistência nova = 100 . {(1 t a.s.) / (2,6436 t úmidas)} =

37,83 % de consistência da folha na entrada dos secadores

Cálculo do real aumento na quantidade de água para ser evaporada nas novas condições da máquina:

Nova quantidade de água para ser evaporada por tonelada a.s. de folha de papel=

(1,5798 t água evaporada nas novas condições) – (1,4362 t água originalmente presente para ser evaporada) =
0,1436 t adicionais de água a evaporar por t a.s. de papel cartão

==========

Fonte da foto:
http://www.fibrelab.ubc.ca/files/2013/01/Topic-11-Papermaking-Introduction-text.pdf

==========

SEÇÃO 04: FORMAÇÃO DA FOLHA – SEÇÃO ÚMIDA

Problema 24:

São dadas as seguintes características de uma máquina de papel:

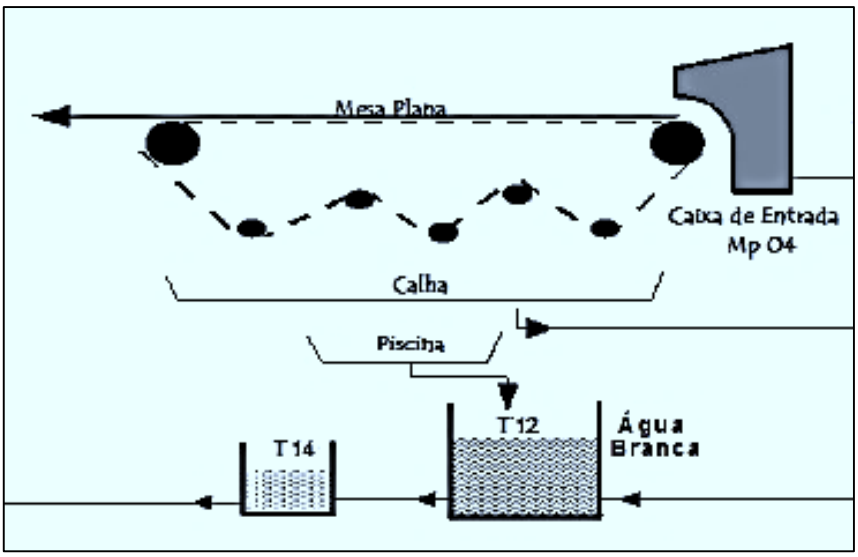
- Fluxo de alimentação da mesa plana: 35.000 litros/minuto
- Consistência da massa na caixa de entrada: 0,6%
- Largura da mesa plana na formação da folha: 2 metros
- Velocidade da máquina: 450 metros por minuto
- Teor de carga mineral na massa base seca: 15%
- Consistência na saída da mesa plana: 20%
- Perda de fibras para a água branca: 10% do total de fibras secas alimentadas
- Perda de cargas minerais para a água branca: 15% da quantidade de cargas minerais alimentadas base seca

Calcular:

- Retenção total na mesa plana ("total retention")
- Fluxo de massa na forma de folha úmida e folha absolutamente seca saindo da mesa plana
- Gramatura aproximada da folha base absolutamente seca (em gramas por metro quadrado)

Solução:

Base referencial: Uma hora de operações



Fonte do desenho:
http://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/5840556/434/apostila4papelecelulose.pdf

<u>Dados do problema</u>:
Fluxo de alimentação da caixa de entrada: 35.000 litros/minuto
Fluxo de alimentação da caixa de entrada: 35 m³ /minuto
Consistência da massa na caixa de entrada: 0,6%
Largura da mesa plana na formação da folha: 4 metros
Velocidade da máquina: 450 metros por minuto
Teor de carga mineral na massa base seca: 20%
Consistência na saída da mesa plana: 20%
Perda de fibras para a água branca: 10% do total de fibras secas alimentadas
Perda de cargas minerais para a água branca: 15% da quantidade de cargas minerais alimentadas base seca

<u>Cálculo da *"Produção"* na entrada da mesa plana</u> =
(Fluxo; m³/min) . (Consistência)
(35 m³/min) . (0,006) =

0,21 t/minuto = **12,6 t a.s./hora** = 302,4 t a.s./dia

Acontece que existem perdas nesse processo, em especial na mesa plana, onde ocorrem saídas de fibras e finos que passam pela tela formadora, refilos úmidos (quando referidos), etc.

Cálculo da carga mineral na massa de alimentação da mesa plana base peso absolutamente seco:

20% da massa a.s. alimentada = 0,2 . 12,6 t/hora =
2,52 t cargas minerais por hora de operação

Cálculo da perda de cargas minerais para a água branca:

15% da quantidade de cargas minerais alimentadas base seca

0,15 . 2,52 = **0,378 t cargas minerais que seguem para a água branca por hora de operação**

Cálculo da quantidade de fibras celulósicas alimentada para a mesa plana:

Fibras celulósicas = (Alimentação total) – (Cargas minerais)=
(12,6 t a.s./hora) – (2,52 t cargas minerais) =
10,08 t a.s. de fibras celulósicas /hora

Cálculo da quantidade de fibras celulósicas que saem com a água branca:
10% do total de fibras secas alimentadas

0,10 . (10,08 t a.s. de fibras celulósicas /hora) =
1,008 t a.s. fibras celulósicas que seguem para a água branca por hora de operação

Produção efetiva da mesa plana após saída de materiais com a água branca:

Entrada (t a.s./hora) – Saídas (t a.s./hora)

(12,6 t totais) - (0,378 t cargas minerais) – (1,008 t fibras celulósicas) =

11,214 toneladas a.s. de produção efetiva por hora de operação da mesa plana
Ou em gramas por minuto = **186.900 gramas a.s./minuto**

Entretanto, a produção também pode ser calculada com base em outra fórmula já vista anteriormente nesse capítulo:

Produção = (Velocidade; m/min) . (Largura; m) . (Gramatura; g/m²)
Produção = (450 m/min) . (4 m) . (Gramatura) =

Produção =
186.900 g a.s./minuto = (450 m/min) . (4 m) . (Gramatura) =
186.900 = 1.800 . (Gramatura)

Gramatura = **103,83 g/m² base peso absolutamente seco**

<u>Cálculo do fluxo de massa na forma de folha úmida e folha absolutamente seca saindo da mesa plana com 20% de consistência</u>

Fluxo de massa base a.s.= **11,214 toneladas a.s. de produção efetiva por hora de operação da mesa plana**

Fluxo de massa base 20% de consistência (folha úmida saída mesa plana) =
(11,214 t a.s.) : (Consistência) =
(11,214 t a.s.) : (0,2) = **56,07 t úmidas a 20% consistência/hora**

<u>Cálculo da retenção total da máquina de papel:</u>

A retenção total da máquina de papel é definida como a relação percentual entre o peso de material absolutamente seco deixando a mesa plana como folha úmida de papel e o peso absolutamente seco de material alimentado na caixa de entrada.

Essa retenção total é sempre maior que a retenção de primeiro passe porque ela considera o exato balanço entre as entradas e saídas na mesa plana.

<u>No caso da presente máquina em estudo:</u>

Peso a.s. de material ingressando na mesa plana através da caixa de entrada = **12,6 t a.s./hora**

Peso a.s. de material saindo da mesa plana como folha úmida de papel = **11,214 t a.s./hora**

% Retenção total = 100 . (11,214/12,6) = **89% de retenção total**

Mais adiante nesse mesmo capítulo, no **Problema 28** se detalhará um pouco mais sobre a retenção de primeiro passe ou "first pass retention" e sobre a retenção verdadeira de cinzas ou "true ash retention". Esses dois tipos de retenção e a retenção total de material seco consistem nos três mecanismos mais usuais de se controlar a passagem de sólidos (fibras celulósicas e cinzas) através da tela e com isso a migração de material sólido que deveria entrar na composição do papel, mas que acaba sendo direcionado para a água branca na tina ou piscina da máquina, em função dos conceitos tecnológicos vigentes.

Problema 25:

Uma antiga máquina de papel sanitário é alimentada com 1.000 kg absolutamente secos de massa por hora. Os rolinhos desaguadores da mesa plana originam um fluxo de água branca de 100 m³/hora com uma consistência de 0,14%. As caixas de vácuo dão origem a uma remoção de água branca de 5 m³/hora e a consistência dessa água é de 0,1%. Admitindo serem esses os dois únicos pontos de retirada de água branca, quanto de massa absolutamente seca deixa a mesa plana por hora? Se a consistência na saída da mesa plana for 22%, qual será o fluxo de folha úmida nesse ponto da máquina?

Solução:

Base referencial: Uma hora de operações

Dados do problema:
Alimentação da mesa plana: 1 t a.s./hora

Água branca retirada pelos rolinhos desaguadores: 100 m³/hora
Água branca retirada pelos rolinhos desaguadores: 100 t/hora
Consistência da água branca dos rolinhos: 0,14%
Água branca retirada pelas caixas de vácuo: 5 m³/hora = 5 t/hora
Consistência da água branca das caixas de vácuo: 0,1%
Consistência da folha úmida na saída da mesa plana: 22%

Retirada de sólidos absolutamente secos pelas águas brancas:

Água branca dos rolinhos = (100 t/h) . {(0,14 t a.s.)/(100 t úmidas)}
Água branca dos rolinhos = 0,14 t a.s./hora

Água branca caixas de vácuo = (5 t/h) . {(0,1 t a.s.)/(100 t úmidas)}
Água branca caixas de vácuo = 0,005 t a.s./hora

Sólidos totais removidos via água branca= 0,14 + 0,005 =
0,145 t a.s./hora

Cálculo dos sólidos a.s. deixando a mesa plana:

(Peso de sólidos secos na entrada) – (Peso de sólidos removidos através da água branca)
(1 t a.s./hora) – (0,145 t a.s./hora) =

0,855 t a.s./hora de peso a.s. na folha úmida deixando a mesa plana

Cálculo do peso de folha úmida a 22% de consistência deixando a mesa plana por hora de operações:

Peso úmido/hora = (Peso a.s./hora) : (Consistência)

Peso úmido/hora = (0,855) : (0,22) = **3,8864 t úmidas/hora**

Problema 26:

Se no caso da máquina acima, a largura inicial da folha fosse 3 metros e após as caixas de vácuo fossem ainda retirados dois refilos úmidos de 5 cm de cada lado, qual seria a nova produção de folha úmida em base seca saindo dessa mesa plana? Caso a velocidade dessa pequena máquina fosse de 250 metros/minuto, qual seria a gramatura a.s. do papel produzido?

Solução:

Base referencial: Uma hora de operações

Velocidade da máquina: 250 m/minuto
Largura inicial da folha: 3 metros
Largura efetiva da folha de papel saindo da mesa plana: 2,90 metros

Perda percentual de massa seca pela retirada dos refilos=
100 . {(0,10 m) / (3m)}

3,333% de perda de massa a.s.

Permanência de massa seca na mesa plana:
96,667% do valor alimentado

Nova produção de folha a.s. na saída da mesa plana:
0,96667 . (0,855 t a.s./hora) = **0,8265 t a.s./hora**

Nova produção de folha úmida na saída da mesa plana:
0,96667 . (3,8864 t úmidas/hora) = **3,75687 t úmidas/hora**

Cálculo do fluxo de massa a.s. por minuto de operação:

(0,8265 t a.s./hora) : (60 minutos/hora) = 0,013775 t a.s./minuto
13.775 gramas a.s./minuto

Cálculo da área de folha produzida por minuto:
Área/minuto = (Largura útil; m) . (Velocidade; m/min)
Área/minuto = 2,90 . 250 = **725 m²/minuto**

Cálculo da gramatura a.s. da folha sendo fabricada (base: um minuto de fabricação):

Gramatura (g a.s./m²) = (Peso a.s.; gramas) : (Área; m²)
Gramatura (g a.s./m²) = (13.775 g a.s.) : (725 m²) =

Gramatura (g a.s./m²) = **19 gramas a.s./m²**

Problema 27:

Uma máquina de papel apresenta as seguintes características técnicas:
Fluxo de alimentação da caixa de entrada: 160 t a.s./dia
Consistência na caixa de entrada: 0,5%
Consistência da água branca: 0,12%
Perda de sólidos para a água branca: 20% da quantidade alimentada
Calcular:

- Quantidade de sólidos perdidos para a água branca;
- Fluxo de água branca;
- Retenção total de sólidos na mesa plana.

Solução:

Base referencial: Um dia de operações

Dados do problema:
Fluxo de alimentação da caixa de entrada: 160 t a.s./dia
Consistência na caixa de entrada: 0,5%
Consistência da água branca: 0,12%
Perda de sólidos para a água branca: 20% da quantidade alimentada

Cálculo da quantidade de sólidos secos perdidos para a água branca:

0,20 . (160 t a.s./dia) = **32 t a.s./dia**

Cálculo da quantidade de sólidos secos retidos na mesa plana:

0,8 .(160 t a.s.)/dia = **128 t a.s./dia** (80% de retenção dos sólidos totais, conforme enunciado)

Cálculo do fluxo da água branca:
(Peso a.s./dia) : (Consistência)
(32 t a.s./dia) : (0,0012) = **26.667 t úmidas/dia =**
1.111 m³/hora =
18,52 m³/minuto

Problema 28:

Em uma operação de máquina de papel se determinaram os teores de cinzas no papel e na massa presente na caixa de entrada dessa mesma máquina. Os valores encontrados base material absolutamente seco foram:

- Consistência na caixa de entrada: 0,45%
- Consistência na água branca; 0,15%
- Cinzas no papel pronto: 12% do peso seco de papel
- Cinzas na massa da caixa de entrada: 30% do peso seco da massa adicionada
- Cinzas na água branca: 18% base massa seca adicionada

Calcular a retenção de primeiro passe ("First pass retention") e retenção verdadeira de cinzas ("true ash retention") para essa situação prática.

Solução:

Cálculo da "first pass retention":

A retenção de primeiro passe ou "first pass retention" é uma forma simples de se determinar a retenção da massa seca na tela da mesa plana. Ela se baseia na pressuposição de que *praticamente toda* a água que entra na máquina através do bombeamento da massa da caixa de entrada acaba saindo como água branca.

A formula para a retenção de primeiro passe é então a seguinte:

Retenção de Primeiro Passe =

$$100 \cdot \left\{ \frac{(\text{Consistência Caixa Entrada}) - (\text{Consistência Água Branca})}{(\text{Consistência Caixa de Entrada})} \right\}$$

Retenção Primeiro Passe =

$$100 \cdot \left\{ \frac{(0.45\%) - (0,15\%)}{(0,45\%)} \right\} = \mathbf{66,66\%}$$

Cálculo da "true ash retention":

A formula para a "true ash retention" ou retenção verdadeira de cinzas é a seguinte:

Retenção verdadeira de cinzas =

$$100 \cdot \left\{ \frac{(\text{Quantidade de cinzas na bobina de papel pronto})}{(\text{Quantidade de cinzas descarregadas pela caixa de entrada})} \right\}$$

A quantidade de cinzas no papel pronto equivale aproximadamente às cinzas na caixa de entrada menos as cinzas na água branca:

Retenção verdadeira de cinzas (ou simplificadamente, da mesma forma que para a retenção de primeiro passe) =

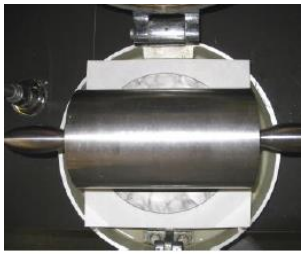
$$100 \cdot \left\{ \frac{0,30 - 0,18}{0,30} \right\} = \quad \mathbf{40\% \text{ de retenção de cinzas}}$$

Problema 29:

Um operador de laboratório em uma fábrica de papel tem como uma de suas tarefas produzir folhas laboratoriais de testes para pré-avaliações da qualidade das receitas de massa e do refino das fibras celulósicas. A área de cada folha laboratorial é de 200 cm² e ele

trabalha com suspensões diluídas de fibras com 0,2% de consistência. Quais devem ser os volumes dessa suspensão de fibras a serem medidos para se produzirem folhas de papel com gramaturas de 60 e de 100 gramas absolutamente secas por metro quadrado?

Solução:



Fonte: UBC - University of British Columbia
http://fibrelab-mech.sites.olt.ubc.ca/files/2012/07/PPC-Handsheet-Making-Manual-Rev-2.pdf (em Inglês)

Cálculo do peso a.s. de cada tipo de folhinha laboratorial de celulose, com 200 cm² de área:

Folhinhas de 60 g a.s./m²

60 g a.s. ---------- 1 m² ---------- 10.000cm²
X ---------- 200 cm²

X = **1,2 g a.s./folhinha de 60 g a.s. para ensaio laboratorial**

Folhinhas de 100 g a.s./m²

100 g a.s. ---------- 1 m² ---------- 10.000cm²
Y ---------- 200 cm²

Y = **2 g a.s./folhinha de 100 g a.s. para ensaio laboratorial**

Volume a amostrar da suspensão de fibras a 0,2% de consistência para formar cada folhinha:

Folhinhas de 60 g a.s./m²

0,2 g a.s. ---------- 100 ml de suspensão de polpa
1,2 g a.s. ---------- W

W = **600 ml de alíquota por folhinha de 60 g a.s./m²**

Folhinhas de 100 g a.s./m²

0,2 g a.s. ---------- 100 ml de suspensão de polpa
2 g a.s. ---------- Z

Z = **1.000 ml de alíquota por folhinha de 100 g a.s./m²**

==========

Amigo eterno Gastão Estevão Campanaro admirando a formação de folhas de papel artesanal em Portugal

==========

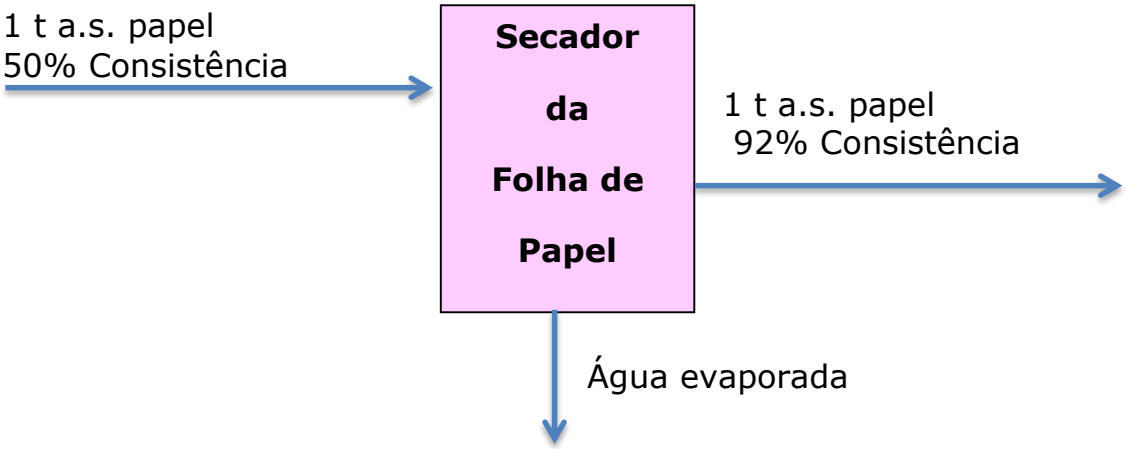
SEÇÃO 05: SECAGEM DA FOLHA DE PAPEL

Problema 30:

Qual a quantidade de água que é removida por tonelada absolutamente seca de folha de papel na seção de secagem da máquina de papel entre a prensa úmida e a saída dos rolos ou bobinas na enroladeira, sabendo que a consistência na saída das prensas é de 50% e no papel de 92%? Quanto de água permanece no papel em termos de quilogramas de água por tonelada absolutamente seca de papel?

Solução:

Base referencial: Uma tonelada absolutamente seca de papel



Entrada do papel na secagem das folhas:

1 t a.s. papel
50% Consistência
Peso úmido = (1 t a.s. papel) : 0,50 = 2 toneladas úmidas de folha de papel
Sendo:

1 t a.s. de papel absolutamente seco
+
1 t de água

Saída do papel após a secagem das folhas:

1 t a.s. papel
92% Consistência
Peso úmido = (1 t a.s. papel) : 0,92 = 1,087 toneladas úmidas de folha seca de papel
Sendo:

1 t a.s. de papel seco
+
0,087 t de água

87 kg de água que permanecem nas folhas após a secagem do papel

Balanço de massa da água no sistema:

1 t água entrando
=
0,087 t água saindo com o papel seco
+
Água evaporada

Água evaporada = 1 – 0,087 = **0,913 t água evaporada pela secagem de cada tonelada absolutamente seca de folhas de papel**

Problema 31:

Uma fábrica de papel está em processo de melhoria de desempenho de sua máquina. O objetivo é a melhoria da seção de prensagem úmida da folha de papel para com isso economizar vapor nos secadores. Qual a possível percentagem de vapor que poderá ser economizada em relação ao consumo atual caso com os ajustes tecnológicos a seção de prensagem úmida passar a entregar aos secadores uma folha com 50% de consistência ao invés dos atuais 45%?

Solução:

Base referencial: Uma tonelada absolutamente seca de papel

Cálculo do peso úmido de uma tonelada a.s. de papel a 45 e 50% de consistência:

Peso úmido a 45% de consistência = (Peso a.s.) : (Consistência)
(1 t a.s.) : (0,45) = 2,222 t úmidas

Peso úmido a 50% de consistência = (Peso a.s.) : (Consistência)
(1 t a.s.) : (0,50) = 2,0 t úmidas

A quantidade de peso seco em ambos os casos é a mesma, logo a diferença de peso entre um caso e outro é exatamente a quantidade de água.
A folha com 50% de consistência possui menos água do que a folha a 45% de consistência e a diferença entre ambas é de:

(2,222 t úmidas/t a.s.) – (2 t úmidas/t a.s.) = **0,222 t água/t a.s.**

Cálculo das quantidades reais de água nas folhas em ambos os casos:

Água na folha a 45% de consistência =
(2,222 t úmidas/t a.s.) – (1 t a.s./t a.s.) = 1,222 t água/t a.s.

Água na folha a 50% de consistência =
(2 t úmidas/t a.s.) - (1 t a.s./t a.s.) = 1 t água/t a.s.

Cálculo da redução percentual da água a ser evaporada e consequentemente do percentual de vapor que será economizado:

$$\% \text{ Economia Vapor} = 100 \cdot \left\{ \frac{\text{(Quantidade a menor de água)}}{\text{(Água original)}} \right\}$$

$$\% \text{ Economia Vapor} = 100 \cdot \left\{ \frac{0{,}222 \text{ t água/t a.s.}}{1{,}222 \text{ t água/t a.s.}} \right\} =$$

= **18,17% de economia potencial de vapor** ou de redução de água nas folhas de papel entrando nos secadores

---

Problema 32:

A folha úmida de papel entra no sistema de cilindros secadores de uma máquina fabricadora de papel a 40% de consistência. O papel deixa a secagem com 94% de consistência. Calcular a quantidade em percentual de água que é removida pela secagem em relação à quantidade de água que entra nesse sistema.

Solução:

Base referencial: Uma tonelada absolutamente seca de papel

Cálculo da quantidade de água na folha úmida a 40% consistência entrando no sistema de secadores:

Peso úmido = (Peso a.s.) : Consistência = (1 t a.s.) : 0,40 =
2,5 toneladas úmidas

Peso água = (2,5 t úmidas) – 1 t a.s. = 1,5 toneladas de água

Cálculo da quantidade de água na folha de papel a 94% consistência saindo do sistema de secadores:

Peso úmido = (Peso a.s.) : Consistência = (1 t a.s.) : 0,95 = 1,0526 toneladas úmidas

Peso água = (1,0526 t úmidas) – 1 t a.s. = 0,0526 toneladas de água

Cálculo da quantidade de água removida na secagem:

(Peso água entrando secadores/t a.s.) – (Peso água saindo secadores/t a.s.)

(1.5 t água/t a.s.) – (0,0526 t água/t a.s.) = 1,4474 t água/t a.s.

% Água removida em relação ao que entra nos secadores:

% Remoção Água = 100 . {(1.4474) : (1,5)} =

96,49% de remoção pela secagem das folhas de papel com aquecimento a vapor nos secadores

---

Problema 33:

Uma folha de papel que está projetada para ser produzida com uma gramatura de 80 g/m² e umidade de 8% deixa a seção de prensa úmida com uma consistência de 43%. Qual a quantidade de água que deverá ser evaporada por tonelada de papel produzido? Caso a quantidade de vapor consumido na secagem seja de 2 toneladas de vapor por tonelada de papel, qual a relação entre vapor utilizado e água removida?

Solução:

Base referencial: Um metro quadrado de papel

Gramatura úmida do papel: 80 g/m²
Umidade do papel: 8%

Consistência do papel: 92%

Cálculo da gramatura seca do papel:
(80 g/m²) . 0,92 = 73,6 g a.s./m²

Cálculo da quantidade de água no papel:
(80 g úmidas/m²) – (73,6 g a.s./m²) =
6,4 g água/m² de papel pronto

Cálculo da quantidade de água no papel após prensagem úmida e com 43% de consistência:

Peso úmido = (Peso a.s.) : (Consistência) = (73,6 g a.s.) : (0,43) = 171,163 gramas úmidas/m²

Peso água na folha úmida após prensagem = 171,163 – 73,6 =
97,56 g água/m² de folha úmida a 43% consistência

Cálculo da quantidade de água evaporada:

(Água antes dos secadores) – (Água após secadores)

(97,56 g água/m²) – (6,4 g água/m²) =
91,16 gramas de água evaporada por m² de papel

Relações entre vapor aplicado e água removida:

Dado do problema:
Consumo vapor: 2 vapor/t papel

Uma tonelada de papel com 80 gramas por metro quadrado possui uma área total de:

1 t = 1.000 kg = 1.000.000 gramas
(1.000.000 gramas) : (80 g/m²) =

12.500 m² de papel – que consomem 2 toneladas de vapor

Vimos que a quantidade de água removida por metro quadrado de papel era de **91,16 gramas de água evaporada por m² de papel**

Em 12.500 m² de papel a quantidade de água que se evaporará será de:

(91,16 gramas água/m²) . (12.500 m² de papel) =
1.139.500 gramas de água por tonelada de papel =
1,1395 t água evaporada por tonelada de papel

Que por sua vez consomem 2 toneladas de vapor para sua evaporação.

Logo:

Cálculo da quantidade de vapor por tonelada de água evaporada:

(2 t vapor/t papel) : (1,1395 t água evaporada/tonelada de papel) =

1,755 t vapor/t água efetivamente evaporada da folha de papel nos secadores

---

Problema 34:

Vapor com 650 kcal/kg de entalpia é utilizado para evaporar a água que acompanha um papel que entra no setor de secagem com 40% de consistência e sai com 5% de umidade. Todo o vapor se condensa e a entalpia do vapor condensado a 100ºC é de 100 kcal/kg de água quente condensada. A relação de consumo de vapor por tonelada de água evaporada é de 1,65 toneladas de vapor por tonelada de água evaporada. Quantas toneladas de vapor serão necessárias por tonelada a.s. de papel produzido? Qual a quantidade de calor efetivamente consumido através da aplicação do vapor? Qual a produção de condensado virgem produzido admitindo que não existam perdas de vapor e calor no processo?

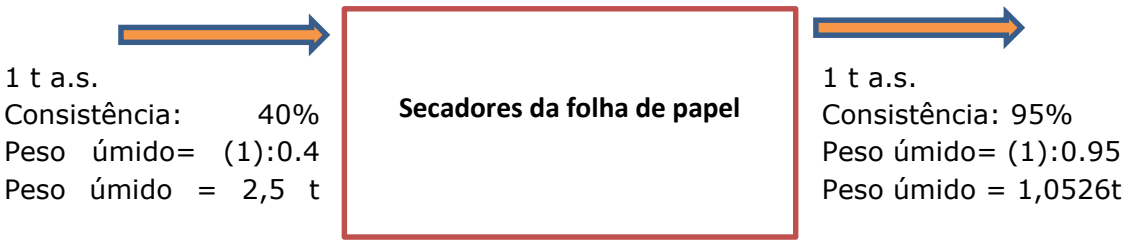
Solução:

Base referencial: Uma tonelada absolutamente seca de papel

Dados do problema:
Entalpia do vapor utilizado: 650 kcal/kg = 650 Mcal/t

Entalpia do condensado: 100 kcal/kg = 100 Mcal/t
Consumo de vapor: 1,65 t vapor/t água evaporada
Consistência da folha úmida entrando nos secadores: 40%
Consistência do papel saindo dos secadores: 95%
Umidade do papel saindo dos secadores: 5%

Cálculo dos valores de água acompanhando a folha de papel



Água evaporada = 2,5 – 1,0526 = 1,4474 t água/t a.s. papel

Consumo específico de vapor: 1,65 t vapor/t água evaporada

<u>Cálculo do consumo de vapor por tonelada a.s. de papel</u>:
(1,4474 t água/t a.s. papel) . (1,65 t vapor/t água) =

2,3882 t vapor / t a.s. de papel

Todo esse vapor acabará se condensando, já que não foram admitidas perdas de vapor e de condensado:

Geração de condensado = **2,3882 toneladas de condensado/t a.s. papel**

<u>Quantidade de calor aplicado pelo vapor</u>:

(Entalpia do vapor) – (Entalpia do condensado) = 650 – 100=
550 Mcal/t de vapor para efetivo uso

Quantidade de energia suprida pelo vapor e consumida para secagem por tonelada a.s. de papel:

(2,3882 t vapor / t a.s. de papel) . (550 Mcal/t vapor) =
1.313,51 Mcal supridas pelo vapor/t a.s. papel

Problema 35:

Uma máquina de papel utiliza como ar de insuflação à máquina para absorver o vapor liberado na secagem das folhas úmidas um ar seco e quente colhido inicialmente da atmosfera exterior da fábrica e pré-aquecido em instalações especiais que se valem de calor reciclado. Na saída do sistema, o ar quente e úmido está com aproximadamente 45ºC de temperatura. A quantidade de água evaporada por tonelada de papel absolutamente seco é de 1,9 tonelada/tonelada. Qual a quantidade mínima de ar seco que deve ser injetado no sistema por tonelada de papel a.s. para capturar essa água evaporada e a remover do sistema sem que ocorram condensações indesejáveis no mesmo?
É dado:

- Capacidade de absorção de água do ar seco e quente: 0,015 kg água/kg de ar seco.

Solução:

Base referencial: Uma tonelada de papel absolutamente seco

A água evaporada deve ser absorvida pelo ar quente e seco, convertendo o mesmo em um ar quente e úmido. Chega um momento em que o ar úmido não tem mais capacidade de absorver e reter a umidade e ela acaba se condensado na folha de papel e na própria máquina de papel, causando inúmeros problemas operacionais e de qualidade do produto. Esse momento deve ser evitado de duas maneiras: insuflando um ar quente e seco para

efetiva reposição e removendo o ar úmido e quente, para tratar o mesmo e reciclar o seu calor para aquecer o ar seco.

No caso em questão, cada kg de ar quente e seco está tendo a capacidade de absorver 0,015 kg de água. Teremos 1,9 toneladas de água a ser evaporada por tonelada de papel que precisam ser capturadas por esse ar quente e seco.

Portanto:

1 kg de ar seco e quente ---------- 0,015 kg de água
X ---------- 1,9 t de água

X = **126,67 t de ar quente e seco por tonelada de papel absolutamente seco**

Problema 36:

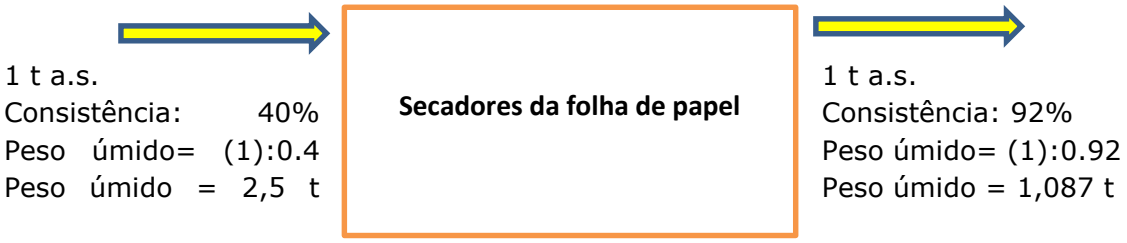
Calcular o custo horário com o vapor usado na secagem do papel, em uma máquina de acordo com as seguintes condições técnicas:

- Velocidade da máquina: 1.000 metros por minuto;
- Largura da máquina: 10 metros
- Umidade do papel na bobina pronta: 8%
- Consistência do papel na bobina pronta: 92%
- Consistência na entrada dos secadores: 40%
- Gramatura do papel base 8% de umidade: 40 g/m²
- Consumo de vapor: 1,5 kg de vapor/kg de água evaporada
- Custo do vapor utilizado: 60 reais por tonelada

Solução:

Base referencial: Uma hora de operação

Cálculo dos valores de água acompanhando a folha de papel



Água evaporada = 2,5 – 1,087 = 1,413 t água/t a.s. papel

Cálculo da produção da máquina de papel:

Produção = (Velocidade; m/min) . (Largura; m) . (Gramatura; g/m²)
Produção = (1.000 m/min) . (10 m) . (40 g/m²) =

Produção = 400.000 g/min = 400 kg/min = 24 t/hora = 576 t/dia

Produção base papel absolutamente seco por hora de operação:

(24 t úmidas/hora) . (Consistência) = 24 . 0,92 = 22,08 t a.s./hora

Cálculo da água a evaporar por hora de secagem pela máquina de papel:

(Produção em t a.s./hora) . (Água a evaporar por t a.s. papel)

(22,08 t a.s./hora) . (1,413 t água/t a.s. papel) =

31,20 t água a evaporar por hora de operação

Outros dados do problema:
Consumo de vapor: 1,5 kg de vapor/kg de água evaporada
Consumo de vapor: 1,5 t de vapor/t de água evaporada
Custo do vapor utilizado: 60 reais por tonelada

Cálculo do consumo horário de vapor para secagem da folha de papel:

(1,5 t vapor/t água evaporada) . (31,20 t água a evaporar por hora operação)

46,8 toneladas de vapor por hora de operação

Cálculo do custo horário com vapor para secagem da folha de papel:

(60 R$/t vapor) . (46,8 toneladas de vapor por hora de operação) =

2.808 R$ em vapor de secagem/hora de operação da máquina de papel

---

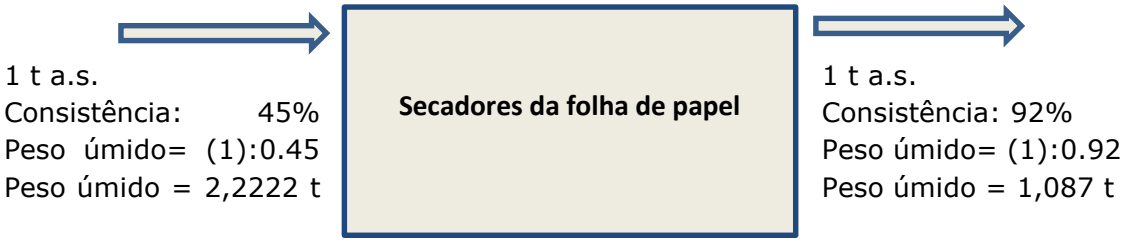
Problema 37:

No problema anterior, se a consistência após a prensagem for elevada para 45% através de modernizações tecnológicas, qual será a economia anual apenas em consumo de vapor?

Solução:

Base referencial: Uma hora de operação

Cálculo dos valores de água acompanhando a folha de papel nas novas condições



Água evaporada = 2,2222 – 1,087 = 1,1352 t água/t a.s. papel

Dados para o novo problema:

Produção de papel = 24 t/hora

Produção de papel base a.s. = 22,08 t a.s./hora

Cálculo da água a evaporar por hora de secagem pela máquina de papel:

(Produção em t a.s./hora) . (Água a evaporar por t a.s. papel)

(22,08 t a.s./hora) . (1,1352 t água/t a.s. papel) =

25,0652 t água a evaporar por hora de operação

Quando anteriormente eram:
31,20 t água a evaporar por hora de operação

Cálculo da redução em água a evaporar

31,20 – 25,0652 = **6,1348 t água a menos para evaporar**

Outros dados do problema:
Consumo de vapor: 1,5 kg de vapor/kg de água evaporada
Consumo de vapor: 1,5 t de vapor/t de água evaporada
Custo do vapor utilizado: 60 reais por tonelada

Cálculo da redução do consumo de vapor para secagem da folha de papel:

(1,5 t vapor/t água evaporada) . (6,1348 t água que não mais se vai evaporar por hora operação)

9,202 toneladas de vapor economizado por hora de operação

Cálculo da redução do custo horário com vapor para secagem da folha em função da melhor prensagem da folha úmida de papel:

(60 R$/t vapor) . (9,202 toneladas de vapor economizado por hora de operação) =

552,13 R$ em vapor de secagem economizado/hora de operação da máquina de papel

---

Problema 38:

Uma máquina de papel tem um consumo de 5 toneladas de vapor por hora de operação. A folha úmida entra nos secadores com 1,3 kg de água por quilograma absolutamente seco de folha de papel e sai com 0,075. A produção média na enroladeira é de 40 kg de papel por minuto, numa largura útil no rolo de 2,5 metros, tendo sido descartados 5 cm de cada lado da folha na saída dos secadores como refilo seco, antes da bobina ser produzida. Qual a quantidade de água que é evaporada por hora nessa máquina? Qual o consumo de vapor por tonelada de papel sendo produzido na saída da seção de

secagem? Expressar a produção de papel na saída dos secadores em duas bases: peso tal qual e peso absolutamente seco.

Solução:

Base referencial: Uma hora de operações

Dados do problema:
Produção de papel na enroladeira: 40 kg/minuto
Produção de papel na enroladeira: 2,4 toneladas por hora
Largura do rolo de papel pronto: 2,5 metros
Largura no final dos secadores: Adicionar 5 cm de refilo de cada lado
Largura no final dos secadores: 2,60 metros
Consumo de vapor: 5 toneladas por hora
Água no papel na entrada dos secadores: 1,3 kg água/kg a.s. papel
Água no papel no final da secagem: 0,075 kg água/kg a.s. papel

Cálculo da água evaporada por kg a.s. de papel:

Água evaporada = (Água antes secadores) – (Água depois secadores)

Água evaporada = (1,3 kg água/kg a.s.) – (0,075 kg água/kg a.s.)
1,225 kg água/kg a.s. papel =
1,225 t água evaporada/t a.s. papel

Cálculo da produção de papel no final dos secadores:

Produção será função das larguras da máquina (útil e total de folha)
Logo:
Produção = (2,4 toneladas papel na enroladeira/hora) . (2,6 m/2,5 m)
Produção papel nos secadores = **2,496 toneladas a.s./hora**

Cálculo da água evaporada por hora na máquina de papel:

Água evaporada/h = (Produção papel a.s./h) . (Água evaporada/t a.s papel)

Água evaporada/hora = (2,496 t a.s./h) . (1,225 t água/t a.s. papel)
Água evaporada/hora =**3,0576 t água evaporada/hora**

Cálculo do consumo específico de vapor (t vapor/t água evaporada):

Consumo de vapor = 5 toneladas/hora de produção
Produção de papel nos secadores: 2,496 t a.s./hora
Água evaporada/hora =3,0576 t água evaporada/hora

Consumo específico vapor = (5 t vapor/h) : (3,0576 t água/h)
Consumo específico vapor = **1,635 t vapor/t água evaporada**

Cálculo do consumo específico de vapor (t vapor/t a.s. papel):

Consumo de vapor = 5 toneladas/hora de produção
Produção de papel nos secadores: 2,496 t a.s./hora

Consumo específico vapor = (5 t vapor/h) : (2,496 t a.s. papel/h)
Consumo específico vapor = **2,003 t vapor/t a.s. papel**

Cálculo da consistência e umidade do papel final produzido:

Água no papel no final da secagem: 0,075 t água/t a.s. papel

Logo:
Consistência do papel = 100 . {(Peso a.s. papel) : (Peso úmido papel)}
Consistência do papel = 100 . {(1 t a.s.)/[(1 t a.s.) + (0,075 t água)]}
Consistência do papel = 100 . { 1 / 1.075 } =
Consistência do papel = **93%**

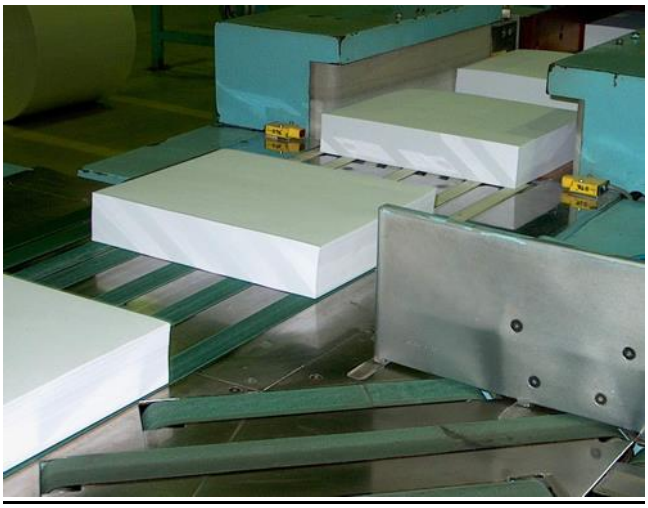
Umidade do papel = **7%**

Cálculo da produção de papel base papel com 7% de umidade na saída dos secadores da máquina:

Produção tal qual = (Produção a.s./hora) : (Consistência)
Produção tal qual = (2,496 t a.s./hora) : (0,93) =
Produção tal qual = **2,684 t úmidas tais quais/hora de operação**

==========

SEÇÃO 06: ACABAMENTO E CONVERSÃO DO PAPEL



Problema 39:

Qual a geração mínima de refugos secos de papel higiênico sanitário em uma fábrica que apresenta as seguintes características técnicas:

- Comprimento do rolo tipo "log": 2,73 metros
- Gramatura do papel: 22 g/m²
- Extensão de cada folha no "log": 35 metros
- Refilos laterais no "log": 3 cm de cada lado
- Perda em corte dos rolos: 3 cm do comprimento do "log"
- Largura de cada rolo de papel higiênico: 11 cm
- Perdas de papel cortado em rolinhos por desclassificações: 2%

Solução:

Processadora de "logs" de papel higiênico

Base referencial: Um "log" ou rolo mestre de papel destinado ao corte dos rolinhos de papel higiênico

Dados do problema:

Comprimento do rolo tipo "log": 2,73 metros
Gramatura: 22 g/m²
Comprimento de cada folha no "log": 35 metros
Refilos laterais no "log": 3 cm de cada lado = 0,03 m
Perda em corte dos rolos: 3 cm do comprimento do "log" = 0,03 m
Largura de cada rolo de papel higiênico: 11 cm = 0,11 m
Perdas de papel cortado em rolinhos por desclassificações: 2%

Cálculo das perdas de papel:
Refilos laterais no "log": 3 cm de cada lado = 6 cm = 0,06 m
Perda em corte dos rolos: 3 cm do comprimento do "log" = 0,03 m

Sobra no "log" após refilos e cortes = 2,73 – 0,06 – 0,03 = **2,64 m**

Cálculo do número de rolinhos que se pode obter em 2.64 metros de "log":

Nº Rolinhos = (2,64 m) : 0,11 m = 24 rolinhos de papel higiênico

Totalização dos refugos por unidade de "log":

Um "log" = 2,73 m
Perdas por refilos laterais = 0,06 m
Perdas nos cortes dos rolinhos = 0,03 m
Desclassificações = 2% dos rolinhos ou 2% de 2,64 m = 0,02 . (2,64) = 0,0528 m

Total de refugos = (0,06 m de refilos) + (0,03 m de cortes) + (0,0528 m de desclassificações de rolinhos) =

0,1428 metros do "log" de 2,73 metros se perde como refugo

Cálculo da percentagem de refugos em relação ao "log" (ou ao papel):

% Refugo = 100 . {(0,1428 m refugos) : (2,73 m comprimento "log")}

% Refugo = **5,23% de refugos gerados na conversão de cada "log"**

Não há necessidade alguma de serem usados dados de gramaturas e de comprimentos de folhas dos rolinhos, pois os valores de refugo seriam exatamente os mesmos.

Problema 40:

Na seção de acabamento do papel offset com gramatura de 75 g/m² a maior preocupação dos operadores é reduzir a desclassificação de pacotes já prontos de papel devido à má embalagem e à desqualificação do papel pelas suas propriedades intrínsecas, após a avaliação do laboratório de controle de qualidade. A fábrica produz 100 toneladas úteis e efetivas por dia desse tipo de papel na forma de resmas de dimensões 66x96 cm e 500 folhas por pacote. Qual a quantidade estimada de pacotes desclassificados por essas razões e que devem ser desmanchados se a taxa de desclassificação por esses motivos estiver em 0,6% da produção?

Solução:

Base referencial: Um dia de produção de pacotes de papel 66x96 cm

Dados do problema:
Gramatura do papel: 75 g tal qual/m²
Dimensões do papel: 66 cm x 96 cm

Área de cada folha de papel = (0,66 m) . (0,96 m) = 0,6336 m²

Cálculo do peso de uma folha de papel:

1 m² de papel 66x96 ---------- 75 gramas
0,6336 m³ ---------- X

X = 47,52 gramas tais quais

Cálculo do peso de papel em um pacote ou resma de 500 folhas:

Peso total = (500 folhas/resma) . (Peso de uma folha)
Peso total = 500 . 47,52 = 23.760 gramas =
Peso total = **23,76 kg de papel 66x96/resma**

Cálculo da quantidade de pacotes produzidos por dia de operação:

Produção diária de papel: 100 t papel/dia =
100.000 kg de papel empacotado (sem peso embalagem)/dia

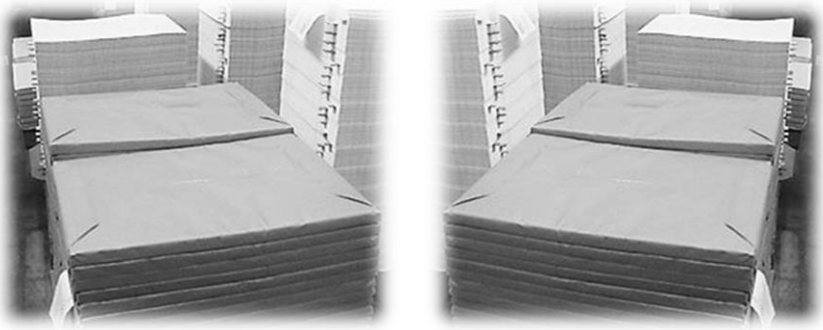
1 pacote de 500 folhas ------- 23,76 kg de papel sem a embalagem
Z ---------- 100.000 kg de papel/dia

Z = **4.209 pacotes de papel/dia**

Cálculo da quantidade de pacotes desclassificados:

Taxa de desclassificação = 0.6%

Logo:
Nº de pacotes desclassificados = (4.209 pacotes) . 0,006 =
25,25 pacotes desclassificados por dia de produção



==========

SEÇÃO 07: REVESTIMENTO DO PAPEL

Problema 41:

Qual deve ser a gramatura de um papel base para revestimento a ser fabricado por uma fábrica, sabendo-se que:

- O papel final deverá ter gramatura tal qual de 90 gramas por metro quadrado com 5% de umidade
- Será realizada uma aplicação de colagem superficial prévia com amido de 2 g a.s./m² por face do papel
- O revestimento será feito fora da máquina de papel em "coater off-machine" específico para aplicação de uma camada de 12,5 gramas por metro quadrado de tinta de revestimento, base peso absolutamente seco, de um lado da folha e de outra camada de 5 gramas a.s. por metro quadrado na outra face do papel.

Solução:

Base referencial: Um metro quadrado de papel base para revestimento

Dados do problema:
Gramatura do papel revestido: 90 g/m²
Umidade do papel revestido e pronto: 5%

Consistência do papel revestido: 95%
Colagem superficial com amido: 2 g a.s./m² por face do papel
Revestimento *off-machine* com 12,5 g a.s./m² em uma face e 5 gramas a.s. por metro quadrado na outra face

Cálculo da gramatura a.s. do papel revestido:

(Gramatura tal qual) . (Consistência) = (90 g/m²) . 0.95 =

85,5 g a.s./m² de gramatura seca

Cálculo da gramatura a.s. do papel base:

Gramatura a.s. do papel base = (85,5 g a.s./m²) – (Camadas de colagem superficial e de revestimentos nas duas faces do papel)

Gramatura papel base = (85,5 g a.s./m²) – 2 . (2 g a.s. amido/m²) – (12,5 g a.s./m² de revestimento em uma face) – (5 g a.s./m² de revestimento na outra face do papel)

Gramatura papel base = **64 g a.s./m²**

Gramatura tal qual do papel base = (64 g a.s./m²) : 0,95 =

67,37 g/m² para a gramatura do papel base para revestimento

Problema 42:

Um papel revestido com 170 gramas a.s. por metro quadrado de gramatura apresenta um papel base contendo 16% de carbonato de cálcio precipitado como carga mineral de enchimento em base do peso absolutamente seco desse papel base. Sobre o papel base foram aplicadas duas camadas de 10 gramas a.s. de tinta por metro quadrado de folha (uma camada em cada face) contendo 40% de carbonato de cálcio base peso seco de tinta. Em um metro quadrado desse papel, quantas gramas de carbonato de cálcio estarão presentes?

Solução:

Base referencial: Um metro quadrado de papel revestido com gramatura 170 g a.s./m²

Cálculo da aplicação de tinta de revestimento e de seu conteúdo em carbonato de cálcio:

Aplicação de tinta de revestimento: 10 g a.s./m² de face da folha

Como são duas faces no papel:

2 x 10 g a.s./m² = 20 g a.s./m²

Carbonato na tinta revestimento = 40% peso a.s. do revestimento =
Carbonato na tinta revestimento = 0,40 x (20 g a.s./m²) =

8 g a.s. de carbonato de cálcio no revestimento/m² de papel

Cálculo da gramatura de papel base na folha revestida:

Gramatura do papel base = (Gramatura final) – (Adições de camadas de revestimento)

Gramatura do papel base = (170 g a.s./m²) – 2 . (10 g a.s./m²)

Gramatura do papel base = 150 g a.s./m²

Cálculo do carbonato de cálcio na massa do papel base:

Carbonato na massa papel base = 16% peso a.s. do papel base =
Carbonato na massa papel base = 0,16 . (150 g a.s./m²) =

24 g a.s. carbonato de cálcio/m² de papel base

Cálculo do carbonato de cálcio total na gramatura do papel revestido:

Carbonato de cálcio total em g a.s./m² =
(Carbonato na tinta revestimento) + (Carbonato no papel base)

8 g a.s./m² + 24 g a.s./m² =

32 g a.s. carbonato de cálcio por metro quadrado papel revestido

Percentualmente:

32 g a.s. de $CaCO_3$ em 170 g a.s./m² equivalem a:

100 . {(32 g a.s. $CaCO_3$) / (170 g a.s. papel revestido)}

18,82% do peso a.s. do papel revestido é $CaCO_3$

==========

==========

SEÇÃO 08: PROPRIEDADES INTRÍNSECAS DO PAPEL

Problema 43:

Usando a teoria de Kubelka & Munk, determinar as percentagens de duas amostras de polpas, A (alvura 90% ISO) e B (alvura 82% ISO) que comporão uma amostra C, cuja alvura deverá ser de 85% ISO para a fabricação de um tipo de papel para fins sanitários isento de cargas e de alvejante ótico.

Solução:

Base referencial: 100 gramas absolutamente secas de mistura de polpas A e B

A teoria de Kubelka & Munck determina que as refletâncias apresentam-se proporcionais às percentagens em peso dos materiais presentes na folha de papel, sejam polpas celulósicas ou cargas e pigmentos. Com isso, pode-se escrever de forma resumida com base nas refletâncias e concentrações de cada material no papel do problema em questão, o seguinte:

$$0{,}90 \times A + 0{,}82 \times B = 0{,}85 \times C$$

...que correspondem às ponderações entre alvuras (um tipo de refletância à luz com comprimento de onda igual a 457 nm) e percentuais de cada tipo de polpa.

Se consideramos uma relação percentual em que A+B resultarão no todo, teremos que:

$$A+B = C = 100$$

ou então que $A = 100 - B$

Basta sair substituindo e teremos as respectivas quantidades das polpas A e B em percentuais da mistura.

$$0{,}90 \cdot (100 - B) + 0{,}82 \cdot B = 0{,}85 \times 100$$

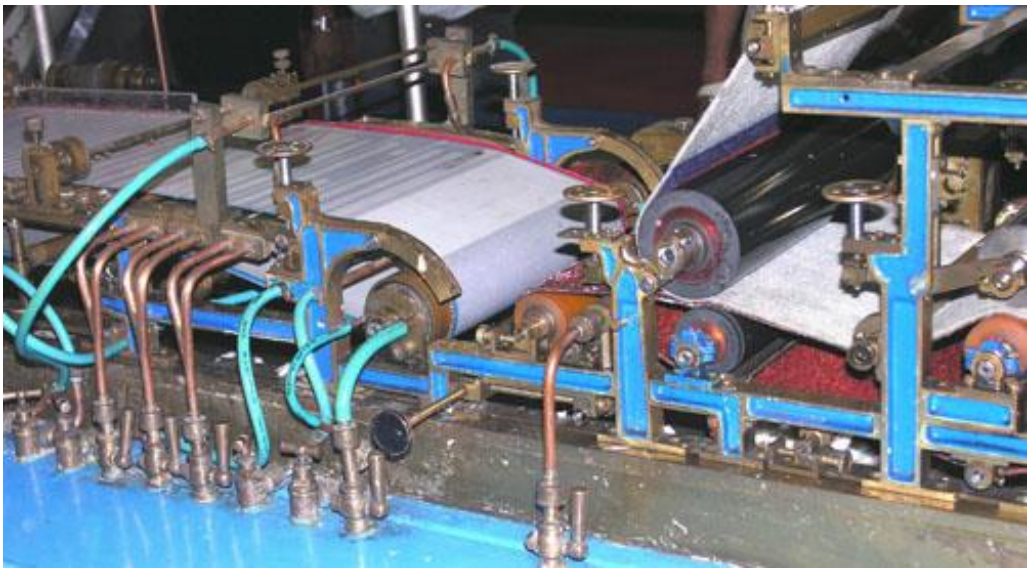
$$90 - 0{,}9.B + 0{,}82.B = 85$$
$$0{,}08.B = 5$$

A= 37,5%
B= 62,5%
C = 100%

==========

==========

SEÇÃO 09: PROBLEMAS ENVOLVENDO FLUXOS, DILUIÇÕES E CONSISTÊNCIAS



A consistência, teor de secos, percento de secos ou simplesmente percento ou porcento seco consiste em um dos conceitos mais utilizados em cálculos no setor de celulose e papel. A razão para isso é simples: é através desse parâmetro de fácil cálculo que se consegue converter uma base volátil e mutável que é o peso úmido da polpa celulósica, do papel ou da madeira em uma base constante que é o peso seco.

Consistência e teor de umidade são coisas que navegam em paralelo: quando se define uma a outra é também definida, pois uma complementa a outra.

O cálculo da consistência é definitivamente simples, como já vimos anteriormente:

$$\textbf{Consistência (em percentagem)} = 100 \cdot \left\{ \frac{\text{(Peso absolutamente seco)}}{\text{(Peso úmido)}} \right\}$$

E o cálculo do teor de umidade também é simplíssimo:

$$\textbf{Umidade (em percentagem)} = 100 \cdot \left\{ \frac{\text{(Peso de água)}}{\text{(Peso úmido)}} \right\}$$

Tanto a consistência como a umidade também podem ser expressas, não em percentagem, mas em base unitária, portanto, como uma simples relação entre peso absolutamente seco e peso úmido ou peso de água e peso úmido.

O cálculo do peso de água é quase sempre obtido pela diferença entre Peso Úmido e Peso Absolutamente Seco.

Define-se Peso Absolutamente Seco ao peso que se obtém após secagem em estufa a 105±3ºC por um tempo tal que pesagens sucessivas mostrem o mesmo resultado (também mencionado como peso constante após secagem em estufa).

A grande vantagem da consistência nos cálculos da vida rotineira do setor é que com apenas uma operação de cálculo se pode converter peso úmido em peso seco e vice-versa.

Por exemplo: se temos um fluxo de cavacos de madeira úmida de 500 toneladas por hora e a consistência dos cavacos é de 70%, com facilidade se determina que o fluxo de cavacos base madeira seca é:

500 x 0,7 = 350 toneladas de madeira absolutamente seca por hora

Por outro lado, se precisamos de uma alimentação de polpa base seca de 100 toneladas absolutamente secas em um tanque de massa de uma fábrica de papel, sendo a consistência da massa celulósica de 5%, vamos necessitar de um volume de massa na forma úmida de:

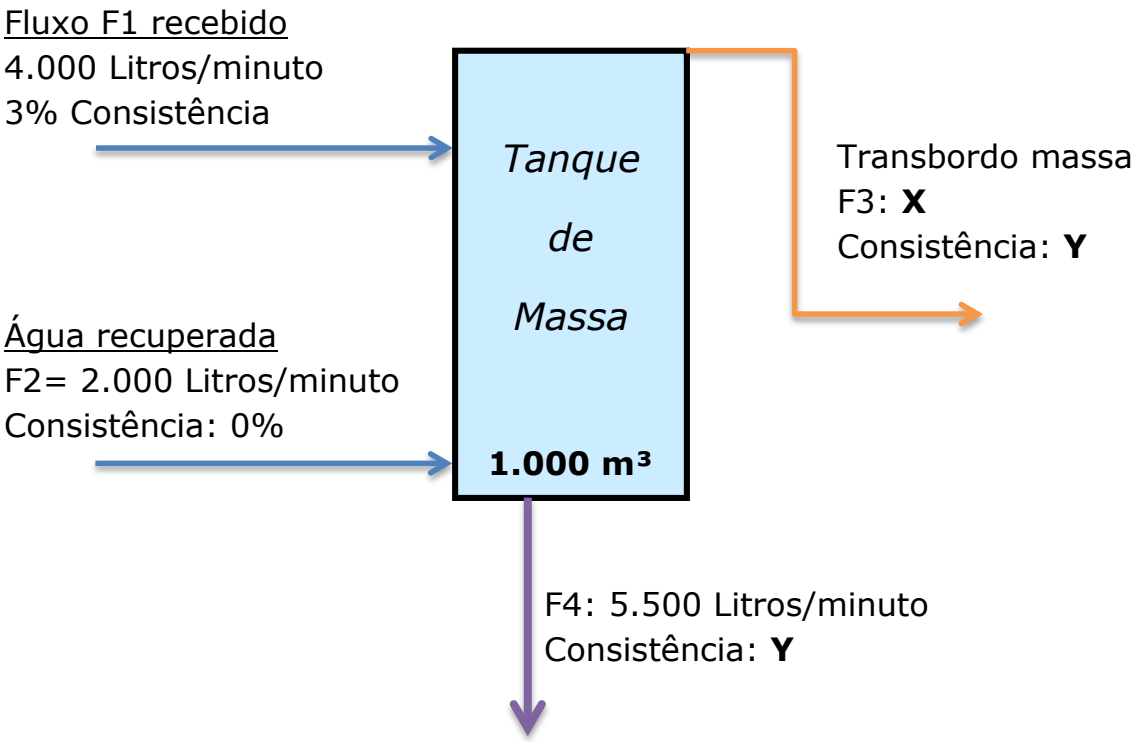
(100 t a.s.) : 0,05 = 2.000 toneladas de massa celulósica úmida

ou 2.000 m³ pela nossa regra consagrada de adotar a densidade desse tipo de material como sendo igual à densidade da água, ou seja 1 g/cm³ ou 1 t/m³.

Problema 44:

Um determinado tanque de uma fábrica de papel com 1.000 m³ é abastecido com massa de refugos de papel desagregados resultantes da área da cortadeira (Fluxo F1). Recentemente, esse tanque passou a receber também um fluxo de água recuperada (Fluxo F2), que foi resultado das atividades de melhoria no fechamento dos circuitos da fábrica. Em pouco tempo, o tanque passou a transbordar e o transbordo (F3) segue direto para o tratamento de efluentes. Quais as consequências desse tipo de "melhoria operacional" ao sistema da fábrica?

Solução:



Base referencial: Um minuto de operações

Balanço de massa para fluxos úmidos:

Fluxos de entrada no tanque de massa: F1 + Água recuperada = F1 + (Água recuperada) = 4.000 + 2.000 litros/minuto = **6.000 L/minuto**

Fluxos de saída do tanque de massa:
F3(Transbordo) + F4 =

(X + 5.500) litros por minuto

Entradas = Saídas

6.000 L/min = (X + 5.500) L/min

X = F3 = **500 L/min de transbordo do tanque**

Balanço de materiais absolutamente secos:

Entradas de materiais a.s. no tanque de massa:
F1 . (Consistência) = 4.000 . 0,03 = **120 kg a.s./min**

Saídas de materiais a.s. do tanque de massa:

F3 . Y + F4 . Y = 500 . Y + 5.500 . Y =
6.000 . Y

Sendo Y a consistência dos dois tipos de saídas de materiais

Entradas = Saídas

120 kg a.s./minuto = 6.000 Y

Y = 0,02 ou 2% de consistência

Cálculo da perda de material fibroso a.s.:

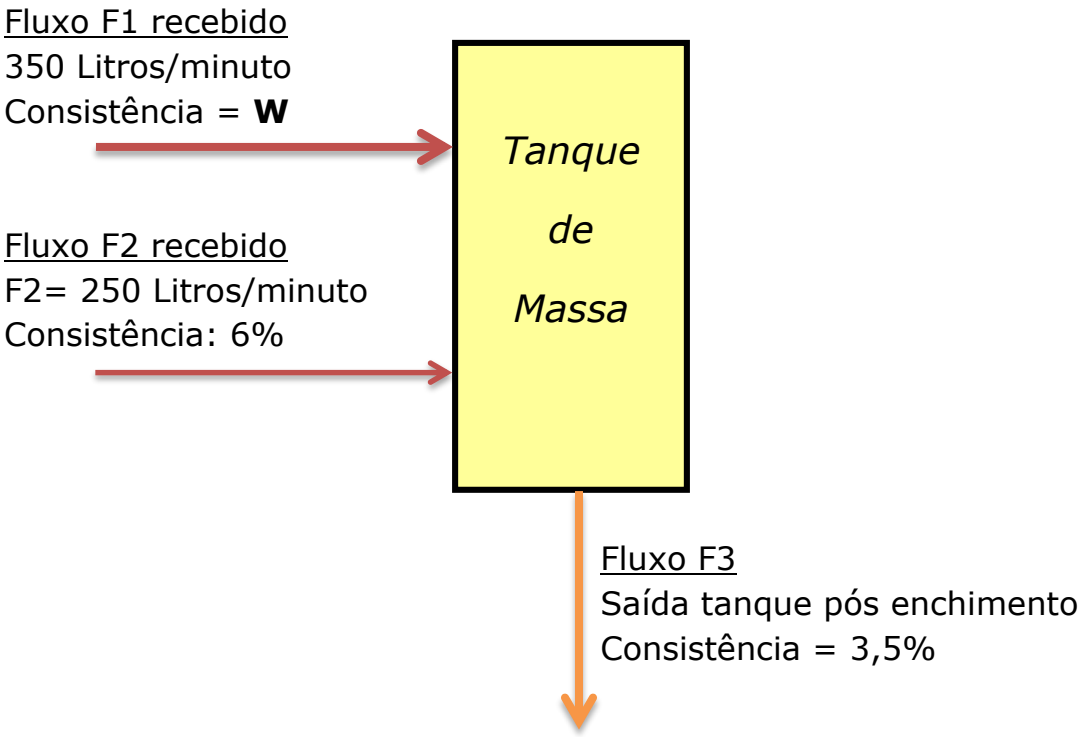
X . Y = (500 L/min) . 0,02 = 10 kg a.s./minuto =

14,4 t a.s./dia de massa celulósica colocada para drenagem ao efluente, representando desperdícios e aumento de custos para tratar efluentes e dispor o lodo primário resultante.

Problema 45:

Duas tubulações estão alimentando concomitantemente massa celulósica para enchimento de um tanque de polpa em uma fábrica de papel. Os fluxos são respectivamente F1 = 350 litros/minuto e F2 = 250 litros/minuto. Se a consistência do tanque ao final do enchimento for de 3,5% e na tubulação 2 for de 6%, qual a consistência da massa na tubulação 1?

Solução:



Base referencial: Um minuto de operações

Balanço de massa para fluxos úmidos:

Fluxos de entrada no tanque de massa: F1 + F2 =
350 + 250 litros/minuto =
600 L/minuto

Fluxo de saída do tanque de massa: F3

Entradas = Saídas

600 L/min = F3

F3= **600 L/min de saída do tanque**

Balanço de materiais absolutamente secos:

Entradas de materiais a.s. no tanque de massa:
F1 . (Consistência) = 350 . W
+
F2 . (Consistência) = 250 . 0,06 = 15

Saídas de materiais a.s. do tanque de massa:

F3 . (Consistência) = 600 . 0,035 =
21 kg a.s./minuto

Entradas = Saídas

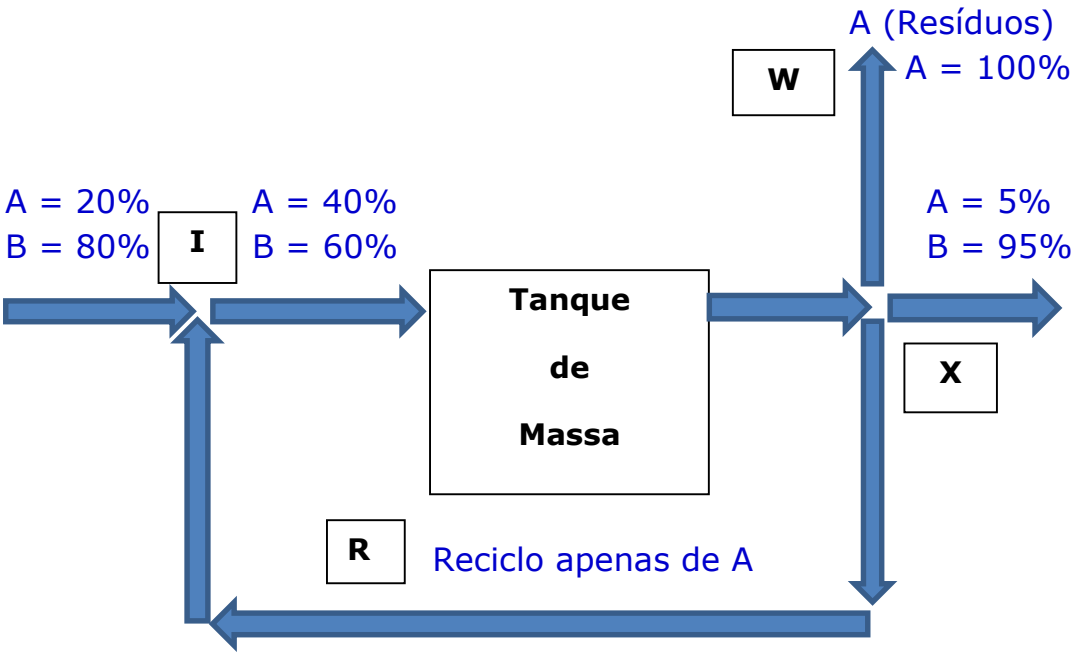
(350 . W) + 15 = 21 kg a.s./minuto
350 . W = 6
W = 0,01714

W = 1,714% de consistência

Problema 46:

Qual é a relação entre os fluxos de reciclo R e de alimentação I no diagrama a seguir?
Qual a relação entre o fluxo de resíduos W e o fluxo de aceitação X?

Solução:



Sejam os seguintes os fluxos úmidos de materiais nos diversos pontos

Em I entram I e R e sai (I+R)

Em X entra I+R

De X saem: X, W e R

Balanços de fluxos no ponto X:

I+R = X + W + R

$$\mathbf{I = X + W} \quad \text{(Equação 1)}$$

Balanços de massa para o constituinte A no ponto I:

O,20 . I + 1 . R = 0,40 . (I + R)
0,20 . I + R = 0,40 . I + 0,40 . R

0,60 . R = 0,20 . I

$$\mathbf{I = 3 \cdot R}$$

Alimentação = 3 x Reciclo

Balanços de massa para o constituinte B no ponto I:

O,80 . I = 0,60 . (I + R)

0,80 . I = 0,60 . I + 0,60 . R
0,20 . I = 0,60 . R

Logo, confirma-se que **I = 3 . R**

Balanços de massa para o constituinte A no ponto X:

0,40 . (I + R) = 1. R + 0,05 . X + 1 . W

Substituindo I por 3.R

0,40 . (3 . R + R) = R + 0.05 . X + W

1,60 R = R + 0.05 . X + W

$$\mathbf{0{,}60 \cdot R = 0{,}05 \cdot X + W} \quad \text{(Equação 2)}$$

Balanços de massa para o constituinte B no ponto X:

0,60 . (I + R) = 0,95 . X

Substituindo I por 3.R

0,6 . (3 . R + R) = 0,95 . X

2,4 . R = 0,95 . X (Equação 3)

Ainda temos a equação 4 que é derivada da equação 1:

I = X + W = 3. R

X + W = 3. R (Equação 4)

Interessa uma relação entre W e X, que é a pergunta do problema.

Podemos obter o valor de R em função de X e W em quaisquer das equações e substituir na equação 4.

Por exemplo:

2,4 . R = 0,95 . X (Equação 3)

R = (0,95 . X) : 2,4

R = 0,396 . X

Substituindo na equação 4:

X + W = 3 . 0,396 . X = 1,188 . X

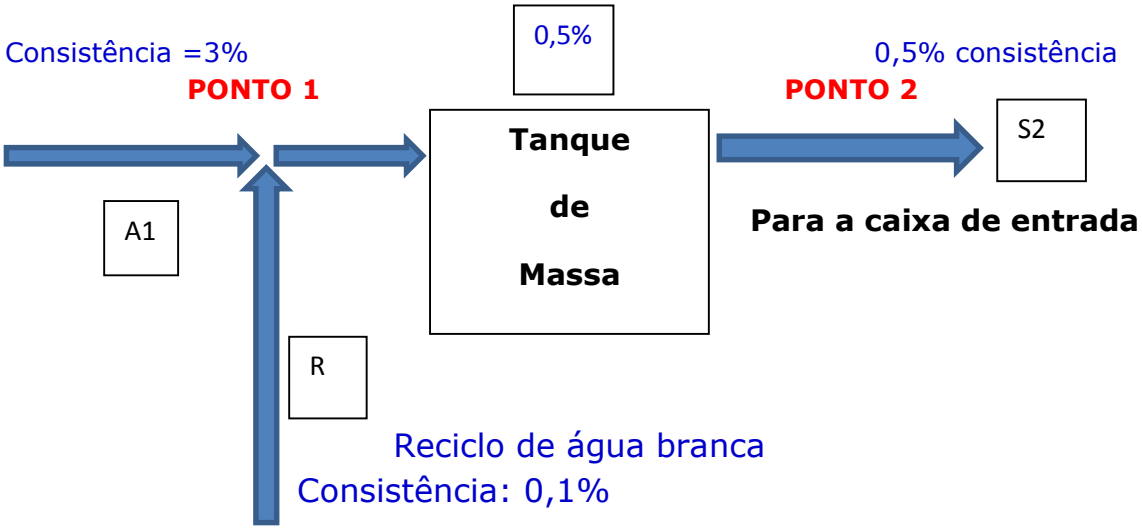
0,188 . X = W

Resíduo = 0,188 x Aceitação

Problema 47:

Uma massa celulósica recém refinada e a 3% de consistência é diluída com água branca com 0,1% de sólidos secos. A consistência desejada a ser obtida para que essa nova massa alimente a caixa de entrada da máquina de papel é de 0,5%. Calcular a relação entre os dois fluxos para alimentação do tanque de massa com agitador misturador e que supre a caixa de entrada da máquina de papel.

Solução:



Balanço de massa geral

Seja A1 o fluxo de alimentação de massa refinada no PONTO 1
Seja R o fluxo de água branca no PONTO 1
Seja S2 o fluxo de saída de massa a 0,5% de consistência do tanque no PONTO 2

Balanço de massa a.s. no PONTO 1:

Peso de polpa a.s. entrando com A1 = A1 . 0,03
Peso a.s. polpa entrando com a reciclagem de água branca = R . 0,001

Entrada de massa a.s. no tanque de massa = A1 . 0,03 + R . 0,001

Saída de massa no PONTO 2 = S2. 0,005

Logo:

Entradas = Saídas

0,03 . A1 + 0,001 . R = 0,005 . S2 (Equação 1)

<u>Balanço de fluxos úmidos</u>:

Entrada no tanque = Saída do tanque

A1 + R = S2 (Equação 2)

O problema questiona qual deve ser a relação entre os dois fluxos no PONTO 1 – ou seja, entre A1 e R

Portanto, vamos substituir o valor de S2 da equação 2 na equação 1, para ficarmos apenas com os fluxos A1 e R:

0,03 . A1 + 0,001 . R = 0,005 . (A1 + R)

0,03 . A1 + 0,001 . R = 0,005 . A1 + 0,005 . R

0,03 . A1 – 0,005 . A1 = 0,005 . R – 0,001 . R

0,025 . A1 = 0,004 . R

A1 = 0,16 . R

Apenas para confirmar a veracidade do resultado encontrado, vamos considerar **A1 = 100** o que dará **R = 625**

Logo, **S2 = 725**

Colocando esses valores na equação 1, devemos ter igualdade entre os dois lados da equação para confirmar a resolução correta do problema:

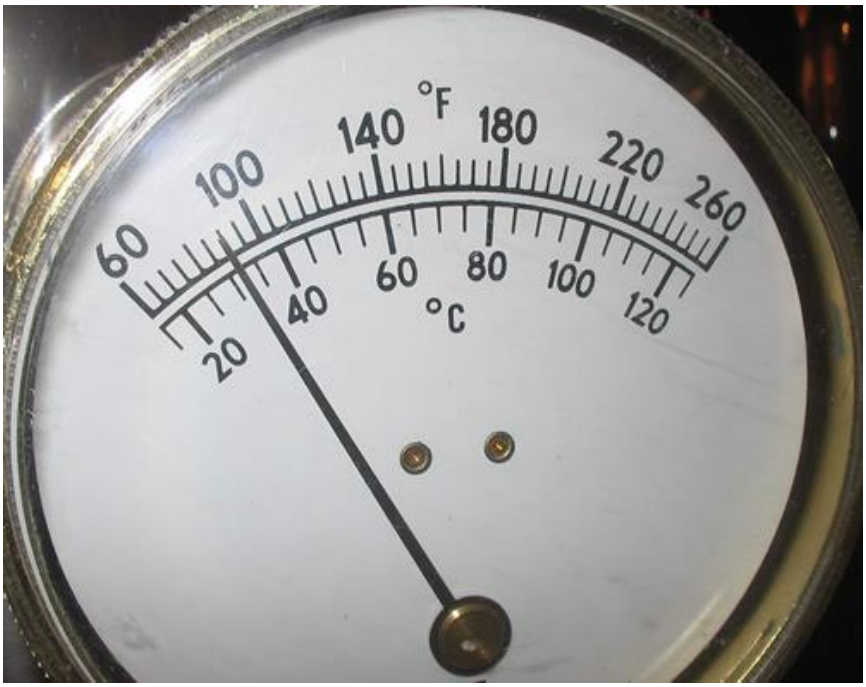
0,03 . A1 + 0,001 . R = 0,005 . S2 (Equação 1)

0,03 . 100 + 0,001 . 625= 0,005 . 725

3 + 0,625 = 3,625 = 3,625

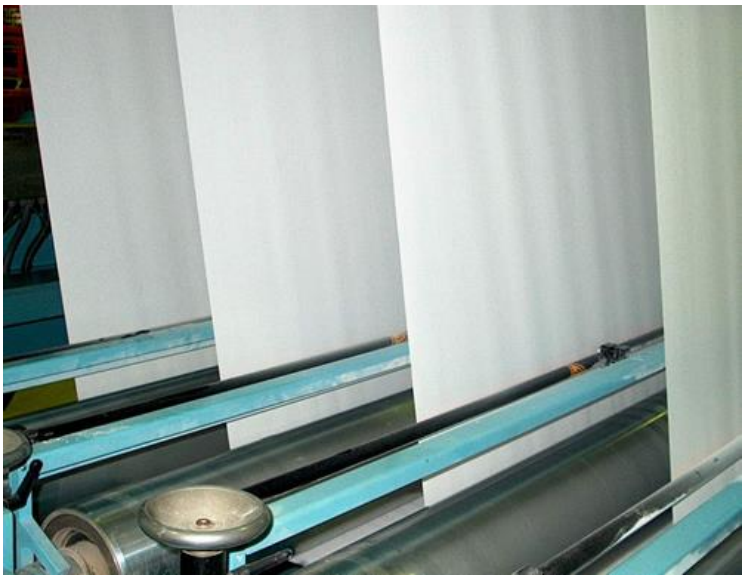
CQD – Como se Queria Demonstrar

==========



==========

SEÇÃO 10: CÁLCULOS COM AS FOLHAS DE PAPEL



Problema 48:

Quanto deve pesar uma folha de papel A4 com gramatura 75 g/m² e com dimensões de 21x30 cm. Se essa folha contiver 14% de cinzas, 5% de umidade e 3% de amido, cola e outros aditivos, se ela fosse reciclada, quanto geraria de fibras para serem reusadas em nova fabricação de papel? Você acredita que essas fibras recicladas seriam suficientes para refazer uma folha exatamente idêntica a essa que estamos enviando para reciclagem?

Solução:

Base referencial: Uma folha de papel A4 de 75 g/m²

Dados do problema:
Gramatura do papel: 75 g tal qual/m²
Dimensões do papel: 21 cm x 30 cm

Área de cada folha de papel = (0,21 m) . (0,30 m) =

0,063 m² por folha de papel

Cálculo do peso de uma folha de papel:

1 m² de papel A4 ---------- 75 gramas
0,063 m³ ---------- X

X = 4,725 gramas

Peso de massa fibrosa celulósica na constituição da folha:

Constituição do papel:
Cinzas: 14%
Umidade: 5%
Aditivos: 3%

Fibras celulósicas = (100%) – (14 + 5 + 3)% = 78% do peso bruto

Logo, 78% de 4,725 gramas = 0,78 . 4,725 =

Fibras celulósicas = **3,6855 gramas fibras celulósicas/folha A4**

Dificilmente se conseguiria fazer mesmo tipo de folha de papel pela reciclagem dessa folha exemplo, mesmo em condições laboratoriais. Isso acontece porque existem perdas de fibras e fibrilas ao longo dos processos de reciclagem e de fabricação do papel. Entretanto, essa folha pode perfeitamente ser reciclada e conseguir produzir a partir dela uma folha de papel com gramatura um pouco menor.

Problema 49:

Quanto de área de papel possui um pacote de 500 folhas de papel A4 com gramatura 80 g/m², sendo que cada folha possui 21 x 30 cm. Qual o peso em papel desse pacote?

Solução:

Base referencial: Um pacote ou resma de papel A4 com 500 folhas

Dados do problema:
Gramatura do papel: 80 g tal qual/m²
Dimensões do papel: 21 cm x 30 cm

Área de cada folha de papel = (0,21 m) . (0,30 m) = 0,063 m²

Cálculo do peso de uma folha de papel:

1 m² de papel A4 ---------- 80 gramas
0,063 m³ ---------- X

X = 5,04 gramas/folha

Cálculo da área de papel em uma resma de 500 folhas:

Área total = (500 folhas/resma) . (0,063 m²/folha) =
31,5 m² de papel com 80 g/m²

Cálculo do peso de papel em uma resma de 500 folhas:

Peso total = (Área total; m²) . (Gramatura; g/m²)
Peso total = (31,5 m²) . (80 g/m²)
Peso total = **2.520 gramas = 2,52 kg de papel/resma**

Ou ainda:

Peso total = (Peso de cada folha) . 500 folhas/resma

Peso total = (5,04 g/folha) . 500 folhas/resma

Peso total = **2.520 gramas = 2,52 kg de papel/resma**

==========

==========

Corte do papel na direção Z
Fonte: http://www.fibrelab.ubc.ca/files/2013/01/Topic-1-Intro-and-overview.pdf

Superfície de papel saco kraft
Fonte: http://www.fibrelab.ubc.ca/files/2013/01/Topic-1-Intro-and-overview.pdf

==========

SEÇÃO 11: RECICLAGEM DO PAPEL

Problema 50:

Uma fábrica de papel reciclado decide vender as fibras residuais do sistema de preparação de massa, em geral rejeitadas no sistema de fracionamento fibroso devido alto teor de finos e de fibras de menores dimensões. Para isso comprou uma unidade de formação de folhas úmidas ("wet lap system") que tem capacidade de formar 50 toneladas por dia de folhas a 45% de consistência. Para que essa unidade possa trabalhar em plena capacidade, qual deve ser a quantidade de fibras rejeitadas pela unidade de fracionamento de fibras e refugos de processo? Essa rejeição corresponde a 15% do total do peso a.s. de aparas de sacos kraft, que são compradas com 12% de umidade. Qual seria então a quantidade diária de consumo desse tipo de aparas pela fábrica de papel reciclado?

Solução:

Base referencial: Um dia de operações

Dados do problema:
Consistência das folhas úmidas: 45%
Produção de folhas úmidas: 50 toneladas úmidas

Cálculo do peso absolutamente seco de fardos de fibras desclassificadas para venda a terceiros:

Peso a.s./dia = (50 t úmidas/dia) . (Consistência) =
Peso a.s./dia = 50 . 0,45 =

22,5 t a.s./dia de produção de folhas úmidas prensadas que correspondem à quantidade de refugos e fibras rejeitadas no processo para serem convertidas em folhas úmidas a comercializar

Cálculo da necessidade diária de aparas a.s. de sacos kraft:

Índice de rejeição do fracionamento de fibras+refugos = 15% do peso absolutamente seco

1 t a.s. aparas ---------- 0,15 t fibras desclassificadas
X ---------- 22,5 t a.s.

X = 150 toneladas a.s. de aparas/dia

Teor de umidade das aparas = 12%
Consistência das aparas = 88%

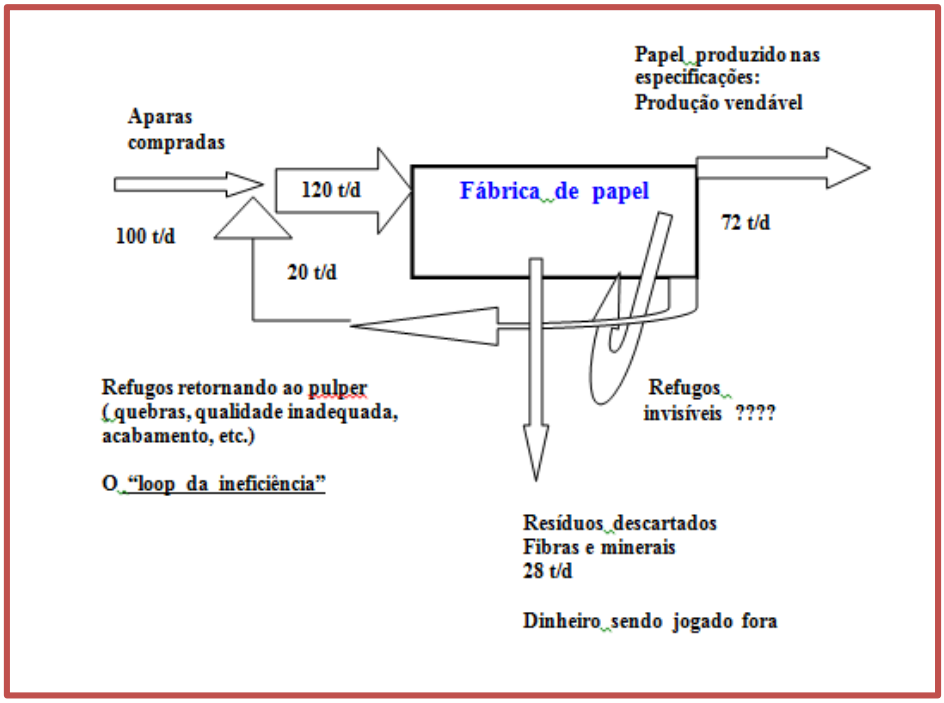
Necessidade diária de aparas base 88% de consistência:

Peso úmido com 88% consistência = (Peso a.s.) : (Consistência)
Peso úmido com 88% consistência = (150 ta.s.) : (0,88) =

170,45 t aparas úmidas/dia

==========

==========



A "perversidade" do refugo na fabricação de papel reciclado
Sugestão de leitura:
http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT06_fibras_refugos.pdf

SEÇÃO 12: TRABALHO DE CASA

Caso alguns de vocês queiram realizar esse exercício e enviar em formato digital (com clareza, ortografia adequada, tecnologias e dados corretos e qualidade gráfica e de digitação) para Celso Foelkel, os melhores serão disponibilizados no site www.eucalyptus.com.br como anexos do capítulo 39 do **Eucalyptus Online Book**.

Endereço para envio: foelkel@via-rs.net

Projeto de suprimento de matérias-primas fibrosas para uma fábrica de toalhas de papel "tissue"

Uma fábrica brasileira que produz papéis sanitários decide ingressar na produção de papel toalha branco, uma especialidade que considera promissora em função do crescimento dessa utilização no País.

Um grupo de engenheiros está sendo contratado para estabelecer um plano de suprimento de matérias-primas fibrosas, em função das possíveis disponibilidades de materiais na região.

A fábrica está adquirindo uma nova máquina para dedicação exclusiva com esse tipo de produto. A nova máquina possui conceitos modernos de manufatura e possui as seguintes características:

- Largura útil de produto na tela antes do refilo seco: 6 metros
- Largura do rolo jumbo produzido: 5,75 metros
- Velocidade: 1.000 m/minuto
- Gramatura do papel toalha na máquina: 28 g/m² com 6% de umidade incluído na gramatura
- Rolos prontos de toalhas: folhas simples com 22 cm de largura e 18 metros de comprimento cada rolo
- Refugo do acabamento: 12%
- Refugo seco da máquina: 10%
- Composição da massa: 100% fibras celulósicas na base seca
- *Mix* de fibras base seca: 40% pasta de alto rendimento de eucalipto; 50% fibras recicladas de aparas brancas e 10% de fibras longas branqueadas
- O papel toalha precisará ter certificação de cadeia-de-custódia através dos sistemas CERFLOR ou FSC.

Você foi contratado para liderar esse projeto de abastecimento e suprimento de fibras celulósicas, estando sob sua responsabilidade calcular:

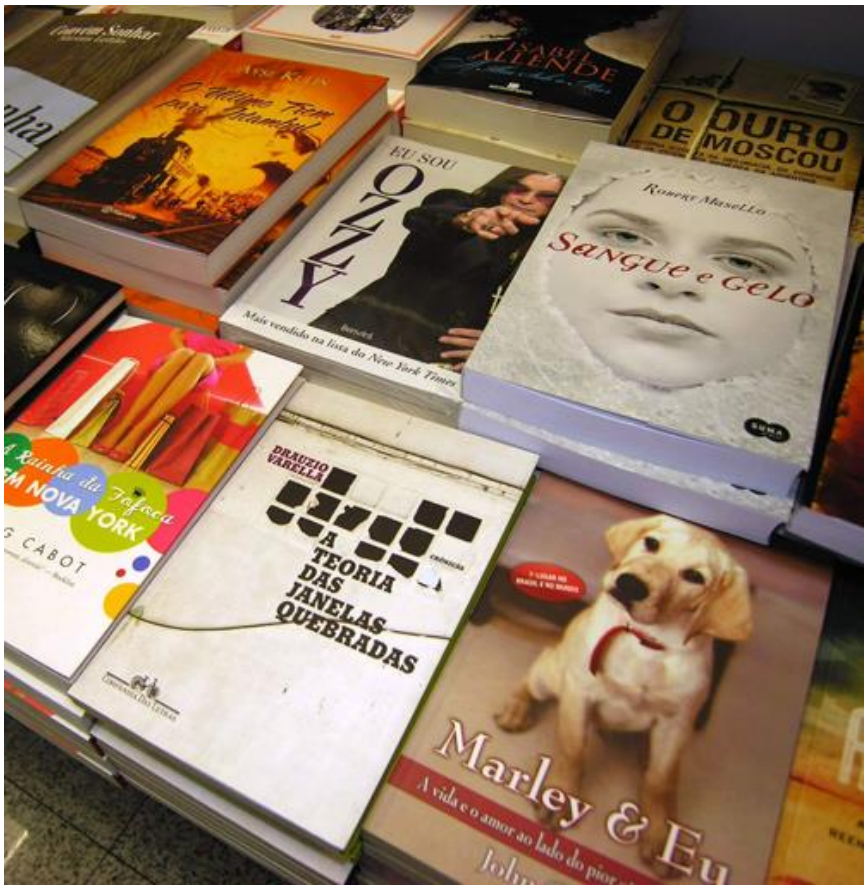
- Estimativa da produção anual da fábrica em toneladas e em área total e comercializada de papel e em número de pacotes com 2 rolos de toalhas por pacote;
- Dimensionar as necessidades de fibras por tipo;
- Consumo diário e anual de polpas;
- Especificação da qualidade das fibras celulósicas a serem compradas;
- Sugestão de fornecedores potenciais;
- Estoques de materiais fibrosos a serem mantidos;
- Número de cargas diárias por tipo de fibra a abastecer a fábrica e estimativa de número de caminhões;
- Estimativa de dimensões e capacidades dos depósitos de fibras;
- Projetar a rotação do depósito por matéria-prima;
- Estimativa de geração e destinação dos refugos e lodos não aproveitados;

- Consumos específicos das celuloses virgens e de aparas (admitindo que as aparas possuem cerca de 15% de cargas minerais).

Todos os parâmetros utilizados no memorial de cálculos devem compor uma tabela denominada de itens de especificação, com os valores e razões para serem adotados (referências da literatura).

Conto com seu esforço e sua determinação em realizar um bom projeto.

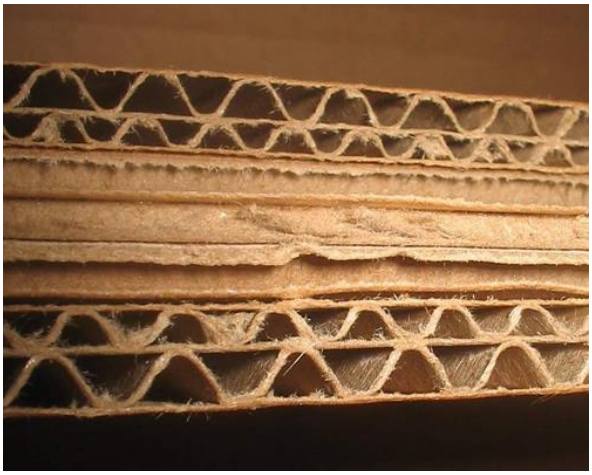
==========



==========

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para mim, foi um privilégio ter podido escrever e lhes oferecer mais um dos meus capítulos do **Eucalyptus Online Book**. Esse capítulo em especial foi criado com a finalidade de trazer e consolidar entre os mais jovens alguns conceitos de cálculos que são normalmente requeridos para os técnicos que atuam no setor papeleiro. Procurei integrar diversos fundamentos e conceitos tecnológicos com inúmeras situações de aplicações práticas operacionais. Trata-se de um condensado autêntico de tudo que classifiquei de importante para aqueles que estão interessados em conhecer e aprender mais sobre alguns dos tipos de cálculos mais importantes no setor de fabricação de papel e também em suas propriedades e utilizações. Espero que o que escrevi possa lhes ser de utilidade, estimados amigos leitores.



Boa sorte com suas calculeiras futuras na área papeleira

==========

REFERÊNCIAS DA LITERATURA E SUGESTÕES PARA LEITURA

Apesar de serem relativamente escassas as publicações sobre esse tema, selecionamos algumas referências que podem ser adequadamente trabalhadas por vocês, algumas até mesmo desafiadoras, por inserirem problemas a serem resolvidos. Algumas dessas referências são materiais de professores universitários, ou provas aplicadas a seus alunos, ou mesmo rascunhos para serem estudados pelos estudantes universitários.

É muito importante que vocês naveguem logo e façam os devidos *downloading's* dos materiais de seu interesse das nossas referências. Muitas vezes, as instituições disponibilizam esses valiosos materiais por curto espaço de tempo; outras vezes, alteram o endereço de referência em seu website. De qualquer maneira, toda vez que ao tentarem acessar um link referenciado e ele não funcionar, sugiro que copiem o título do artigo ou evento e o coloquem entre aspas, para procurar o mesmo em um buscador de qualidade como Google, Bing, Yahoo, etc. Às vezes, a entidade que abriga a referência remodela seu website e os endereços de URL são modificados. Outras vezes, o material é retirado do website referenciado, mas pode eventualmente ser localizado em algum outro endereço, desde que buscado de forma correta.

Espero sinceramente que essa seleção de textos e websites referenciados possa lhes ser útil.

Glossário do papel. International Paper do Brasil. 74 pp. Acesso em 10.03.2015:

http://www.internationalpaper.com.br/downloads/marketing/glossario_IP_eletr%C3%B4nico.pdf

Blog do Papeleiro. Website empresarial. Acesso em 05.03.2015:

http://www.blogdopapeleiro.com.br/

http://www.blogdopapeleiro.com.br/?page_id=35 (Biblioteca)

http://www.blogdopapeleiro.com.br/biblioteca/Cient_pap.html (Biblioteca - Artigos sobre Papel)

http://www.blogdopapeleiro.com.br/biblioteca/Cient_energ.html (Biblioteca - Artigos sobre Energia)

Tecnologia de produção de polpa celulósica e papel. U. Klock. Curso Engenharia Industrial Madeireira. UFPR – Universidade Federal do Paraná. Acesso em 03.03.2015:

http://www.madeira.ufpr.br/ceim/index.php?option=com_content&view=article&id=141:polpa-e-papel&catid=20:polpa-e-papel&Itemid=81

Papermaking. Papermachine forming. Pulp and Paper Centre. UBC - University of British Columbia. 34 pp. Acesso em 03.03.2015:

http://www.fibrelab.ubc.ca/files/2013/01/Topic-13-Papermaking-Forming-text.pdf (em Inglês)

Pulping and papermaking. Introduction and overview. J.A. Olson. Pulp and Paper Centre. UBC - University of British Columbia. Apresentação em PowerPoint: 66 slides. (2013)

http://www.fibrelab.ubc.ca/files/2013/01/Topic-1-Intro-and-overview.pdf (em Inglês)

RESENHA: Basic principles and calculations in chemical engineering. D.M. Himmelblau; J.B. Riggs. Prentice Hall. 8ª Edição. (2012)

http://ptgmedia.pearsoncmg.com/images/9780132346603/samplepages/0132346605.pdf (em Inglês)

The handsheet making manual – Revision 02. G. Soong. Pulp and Paper Centre. UBC - University of British Columbia. 24 pp. (2012)

http://fibrelab-mech.sites.olt.ubc.ca/files/2012/07/PPC-Handsheet-Making-Manual-Rev-2.pdf (em Inglês)

Redução do material orgânico do lodo final na fabricação de papel *tissue* através de otimização do processo. G. Alexandre. Dissertação de Mestrado. UFPR – Universidade Federal do Paraná. 84 pp. (2012)

http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/handle/1884/28577/R%20-%20D%20-%20GILSON%20ALEXANDRE.pdf?sequence=1

Estágio curricular obrigatório: ABBASPEL Indústria & Comércio de Papéis Ltda. F.S. Jorge. FURB - Universidade Regional de Blumenau. 27 pp. (2011)

http://www.bc.furb.br/docs/RE/2011/348144_1_1.pdf

Redução do efluente de água branca em uma máquina de papel. L.M. Dolny. Dissertação de Mestrado. UFPR – Universidade Federal do Paraná. 139 pp. (2011)

http://dspace.c3sl.ufpr.br:8080/dspace/bitstream/handle/1884/27615/R%20-%20D%20-%20DOLNY,%20LIDIO%20MIGUEL.pdf?sequence=1

Waste heat potentials in the drying section of the paper machine in UMKA cardboard mil. G.G. Jankes; N.D. Tanasic. Thermal Science 15(3): 735 – 747. (2011)

http://www.doiserbia.nb.rs/img/doi/0354-9836/2011/0354-98361100066J.pdf (em Inglês)

Stock and water systems of the paper machine. U. Weise; J. Terho; H. Paulapuro. Curso Mestrado em Celulose e Papel. Faculdade de Engenharia – UDELAR – Universidad de La Republica - Uruguay. 64 pp. (2010)

http://www.fing.edu.uy/iq/maestrias/icp/materiales/2010/06_Papermaking/book8chapter5Stock%20and%20water%20systems%20of%20the%20paper%20machine.pdf (em Inglês)

Estágio curricular obrigatório: Klabin Papéis S.A. – Unidade de Correia Pinto / SC. A.G. Gerent Júnior. FURB - Universidade Regional de Blumenau. 43 pp. (2010)

http://www.bc.furb.br/docs/RE/2010/348086_1_1.pdf

Optimization of water removal in the press section of a paper machine. D.M.D. Drummond; M.T.M. Rodrigues; I.E. Grossmann; R. Guirardello. Brazilian Journal of Chemical Engineering 27(2): 275 - 288. (2010)

http://www.scielo.br/pdf/bjce/v27n2/v27n2a06.pdf (em Inglês)

Um guia referencial sobre ecoeficiência energética para a indústria de papel e celulose kraft de eucalipto no Brasil. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 19. 140 pp. (2010)

http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT19_EcoeficienciaEnerg.pdf

Análise energética em refinação de baixa consistência de celulose de madeira de conífera. (*Energy analysis in low consistency refining of softwood pulp*). T. Lundin; F. Wurlitzer; S.W. Park; P. Fardim. O Papel 70(10): 41-60. (2009)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/02_an%E1lise%20refina%E7%E3o%20polpa%20softwood.pdf

Otimização energética no processo de secagem máquina de papel. G.L. Romano; R.R. Arantes; G.G. Bezerra. 42º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 12 pp. (2009)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/22_otimiza%E7%E3o%20energ%E9tica%20m%E1quina%20secagem.pdf

Processos químicos industriais II. Apostila 04 – Papel e celulose. H.F. Castro. EEL – Escola de Engenharia de Lorena. USP – Universidade de São Paulo. 30 pp. (2009)

http://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/5840556/434/apostila4papelecelulose.pdf

Estágio supervisionado em engenharia de produção. Relatório de estágio realizado na Rigesa Celulose, Papel e Embalagens Ltda. D.W. Son. FURB - Universidade Regional de Blumenau. 45 pp. (2009)

http://www.bc.furb.br/docs/RE/2009/337970_1_1.PDF

Diferenciando polpas de mercado e papéis de eucalipto através da gestão dos finos celulósicos da polpa. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 17. 87 pp. (2009)

http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT17_Finoscelulosicos.pdf

Ecoeficiência e produção mais limpa para a indústria de celulose e papel de eucalipto. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 09. 85 pp. (2008)

http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT09_ecoeficiencia.pdf

Oportunidades para ecoeficácia, ecoeficiência e produção mais limpa na fabricação de celulose kraft de eucalipto. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 10. 92 pp. (2008)

http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT10_ecoeficiencia.pdf

Balanço de carbono das indústrias de celulose e papel do Brasil. K.S. Ueoka. Monografia de Conclusão de Curso. UFRRJ – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 39 pp. (2008)

http://www.if.ufrrj.br/inst/monografia/2007II/Katia%20de%20Souza%20Ueoka.pdf

Balanço de carbono na produção de papel e celulose – estudo de uma empresa da região sudeste. E.L. Negri. Dissertação de Mestrado. UNIMEP – Universidade Metodista de Piracicaba. 106 pp. (2008)

https://www.unimep.br/phpg/bibdig/pdfs/docs/19092012_165801_edson_luiz_negri.pdf

Modeling and simulation of the pressing section of a paper machine. S. Rief. Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik. Berichte des Fraunhofer ITWM nº 113. 40 pp. (2007)

http://www.itwm.fraunhofer.de/fileadmin/ITWM-Media/Abteilungen/SMS/Pdf/bericht113.pdf (em Inglês)

Ecoeficiência na gestão da perda de fibras e do refugo gerado na fabricação do papel. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 06. 97 pp. (2007)

http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT06_fibras_refugos.pdf

Análise do circuito de água em processo de fabricação de papel imprensa integrada com produção de pastas termomecânicas. M. Hamaguchi. Dissertação de Mestrado. USP – Universidade de São Paulo. 164 pp. (2007)

http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-09012008-175600/publico/Marcelo_Hamaguchi_Dissertacao_Edicao_Revisada_FINAL.pdf

Inventário do ciclo de vida do papel offset produzido no Brasil. G.P. Galdiano. Dissertação de Mestrado. USP – Universidade de São Paulo. 303 pp. (2006)

http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-13122006-163035/publico/GuilhermeDePaulaGaldiano.pdf

Stock flow calculator reduces loss during multiple basis weight changes. J. Keech. Pulp and Paper Magazine. (2005)

http://www.risiinfo.com/magazines/February/2005/PP/Stock-flow-calculator-reduces-loss-during-multiple-basis-weight-changes.html (em Inglês)

Stability evaluation of a paper machine wet end. J. Lahti. Dissertação de Mestrado. Lappeenranta University of Technology. 141 pp. (2005)

https://www.doria.fi/xmlui/bitstream/handle/10024/30397/TMP.objres.130.pdf?sequence=1 (em Inglês)

Otimização para o posicionamento dos equipamentos do circuito de massa na fabricação de papel *tissue*. D.M.D. Drummond. Dissertação de Mestrado. UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas. 180 pp. (2004)

http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000321919

Estágio supervisionado em Engenharia de Produção. IPEL – Indaial Papel & Embalagens Ltda. F.R. Bona. FURB - Universidade Regional de Blumenau. 75 pp. (2004)

http://www.bc.furb.br/docs/re/2009/334363_1_1.pdf

Parâmetros de otimização no processo de fabricação de celulose e papel. E. Bittencourt. Dissertação de Mestrado. UFPR – Universidade Federal do Paraná. 73 pp. (2004)

http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao/defesas/pdf_ms/2004/d392_0580-M.pdf

Improvements in boardmaking applications through better wet-end control and understanding. S. Renaud; B. Olsson. Pulp and Paper Canada. (2003)

http://www.pulpandpapercanada.com/news/improvements-in-boardmaking-applications-through-better-wet-end-control-and-understanding/1000153304/?&er=NA (em Inglês)

Eco-eficiência na indústria de celulose e papel - Estudo de caso. Z.C. Piotto. Tese de Doutorado. USP – Universidade de São Paulo. 379 pp. (2003)

http://www.restaurabr.org/siterestaurabr/CICRAD2011/M3%20Aulas/tese_zeila_c_piotto.pdf

Retention of fibers, fillers and fiber fines at individual dewatering elements of the gap former. M. Kosonen; J. Muhonen; J.S. Kinnunen. TAPPI Paper Summit. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. 19 pp. (2002)

http://xa.yimg.com/kq/groups/23232477/612770028/name/Retention.pdf (em Inglês)

Apostilas Curso de Mestrado UFSM – Programa das Disciplinas e Provas. C. Foelkel. Grau Celsius. 56 pp. (2000/1999)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ufsm/1.%20Apostilas%20UFSM.pdf

Método numérico para cálculo de balanço de massa em hidrociclones operando em três estágios. F.L. Neves. O Papel (Julho): 44 – 49. (1999)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1999_Balanzo_massa_hidrociclones.pdf

Otimização do uso de energia em fábricas de pequeno e médio porte. M. Molina. ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 75 pp. (1996)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/20_%20otimiza%E7%E3o%20consumo%20energia%20f%E1bricas%20pequenas%20m%E9dias.pdf

Waste and energy audit in a paper mil. L.A.K. Perera. Dissertação de Mestrado. Asian Institute of Technology. 123 pp. (1996)

http://www.faculty.ait.ac.th/visu/Data/AIT-Thesis/Master%20Thesis%20final/Perera%20pdf%2096.pdf (em Inglês)

A influência da formação nas características físicas e mecânicas do papel. D.A. Garcia. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 15 pp. (1995)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Arquivo%2005_forma%E7%E3o%20papel.pdf

Diagnóstico energético. Y.B.S. Gerschkovitch; V.R. Hilbert; V. Klein; C.A.D. Lueska. O Papel (Setembro): 30-33. (1994)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/14_diagn%F3stico%20energ%E9tico%20revista%20o%20papel.pdf

Otimização energética e ambiental aplicando processos de reciclagem. P. Correia; M. Berni; M. Athayde. 26º Congresso Anual. ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 12 pp. (1993)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/21_otimiza%E7%E3o%20energ%E9tica%20via%20reciclagem%20papel.pdf

Uso racional de energia em plantas de papel e celulose. S.S. Gomes. 25º Congresso Anual de Celulose e Papel. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 11 pp. (1992)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1992_Uso_Racional_Energia.pdf

Redução de perdas de calor secundário no secador *yankee*. W.Z. Tarnawski. O Papel (Janeiro): 37 - 42. (1992)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1992_Perdas_calor_secador_yankee.pdf

Análise técnica da seção de secagem. M.E. Bressani. 24º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. p. 667-684. (1991)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/03_an%E1lise%20t%E9cnica%20secagem%20folha.pdf

Secagem do papel pelo processo de alta intensidade e alta temperatura. H.C. Pocovi. 21º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 16 pp. (1988)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1988_Secagem_papel.pdf

Economia térmica na máquina de papel. C. Martins. 17º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. Volume 2: 741 – 756. (1984)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/15_economia%20t%E9rmica%20m%E1quina%20papel.pdf

Considerações sobre o uso de energia em projetos de máquinas de papel. D.A. Ely. 13º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. p. 125-132. (1980)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/11_conserva%E7%E3o%20energia%20em%20m%E1quinas%20papel.pdf

Introduction to process engineering calculations: mass and energy balances. R.H. Rouda. TAPPI Annual Meeting Seminar. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. 70 pp. (1978)

https://books.google.com.br/books?id=otsoPAAACAAJ&dq=%22Introduction+to+process+engineering+calculations:+mass+and+energy+balances%22&hl=pt-BR&sa=X&ei=QCoAVcrlDcPjsASjq4HIAg&ved=0CBwQ6AEwAA (em Inglês)

Estequiometria industrial. R. Gomide. CENPRO – Editora da Universidade de São Paulo. 430 pp. (1968)

http://books.google.com.br/books/about/Estequiometria_industrial.html?id=vfdiAAAAMAAJ

Balanços de massa com reconciliação e certificação de dados. A.G. Barbosa; M. Coghi. CBTA – Consultoria Brasileira e Treinamento Aplicado. 06 pp. (S/D = Sem referência de data)

http://www.cbta.com.br/artigos/BalancoMassaReconciliacaoCertificacaoDados_2.pdf

Introdução aos processos de produção de celulose e papel. Tecnicelpa - Associação Portuguesa dos Técnicos das Indústrias de Celulose e Papel. 34 pp. (S/D = Sem referência de data)

http://www.tecnicelpa.com/files/CelulosePapel.doc

Indicadores para máquinas de papel – Uma referência de desempenho. E.C. Ebeling; D.L. Bachmann. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 09 pp. (S/D = Sem referência de data)

http://www.abtcp.org.br/wp-content/uploads/2014/02/indicadores_maquinas_papel.pdf

Introdução à Engenharia Química. F. Moura. PUC-Rio. Apresentação em PowerPoint: 20 slides. (S/D = Sem referência de data)

http://www.ctc.puc-rio.br/ccpe/wp-content/uploads/2013/08/Parte-2-Int-aEng-Quimica.ppt

Balanço de massa e energia. D. Ganghis. IFBA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia. Apresentação em PowerPoint: 14 slides. (S/D = Sem referência de data)

http://www.ifba.edu.br/professores/diogenesgaghis/EBOP_Elementos%20B%C3%A1sicos%20de%20Opera%C3%A7%C3%A3oes%20e%20Processos/EBO-BME.ppt

Capítulo 2 – Balanços de massa. Universidade da Beira Interior. 12 pp. (S/D = Sem referência de data)

https://moodle.ubi.pt/pluginfile.php/21842/mod_resource/content/1/Folhas%20Cap%202.pdf

Chemical engineering principles. A.A. Khadom. University of Diyala. Iraque. 132 pp**.** (S/D = Sem referência de data)

http://www.engineering.uodiyala.edu.iq/uploads/depts/chemical/%D9%85%D8%A8%D8%A7%D8%AF%D8%A6%201/%D9%85%D8%A8%D8%A7%D8%AF%D8%A61.pdf (em Inglês)

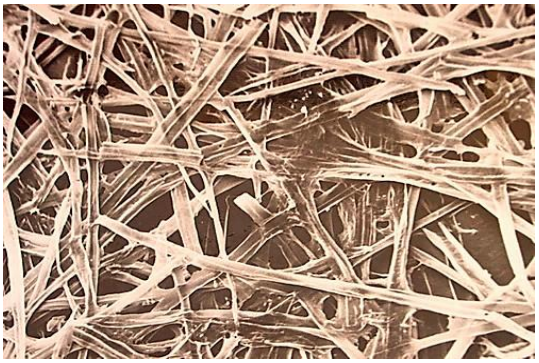
Mass balance. Paper machine, 550mm, 80g/m². Varaoke International. 21 pp. (S/D = Sem referência de data)

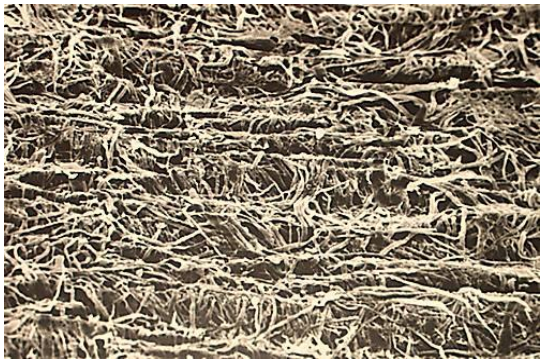
http://www.varaoke.eu/pdf/product/VAK10630 (em Inglês)

Otimização do controle de velocidade em bomba de mistura na caixa de entrada para processo de fabricação de papel. C.C. Moraes; P.H. Pescio. 06 pp. (S/D = Sem referência de data)

http://disciplinas.stoa.usp.br/pluginfile.php/170029/mod_folder/content/0/Otimiza%C3%A7%C3%A3o%20do%20controle%20de%20velocidade.pdf?forcedownload=1

==========





Papéis e suas estruturas mágicas