Eucalyptus Online Book & Newsletter

Celsius Degree / Grau Celsius

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

Parte 01: Uma Centena de Exemplos sobre Qualidade e Suprimento de Madeira e Processo de Fabricação de Celulose (Linha de Fibras)

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

Fevereiro 2015

EUCALYPTUS ONLINE BOOK

CAPÍTULO 38

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

Parte 01: Uma Centena de Exemplos sobre Qualidade e Suprimento de Madeira e Processo de Fabricação de Celulose (Linha de Fibras)

Uma realização:

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

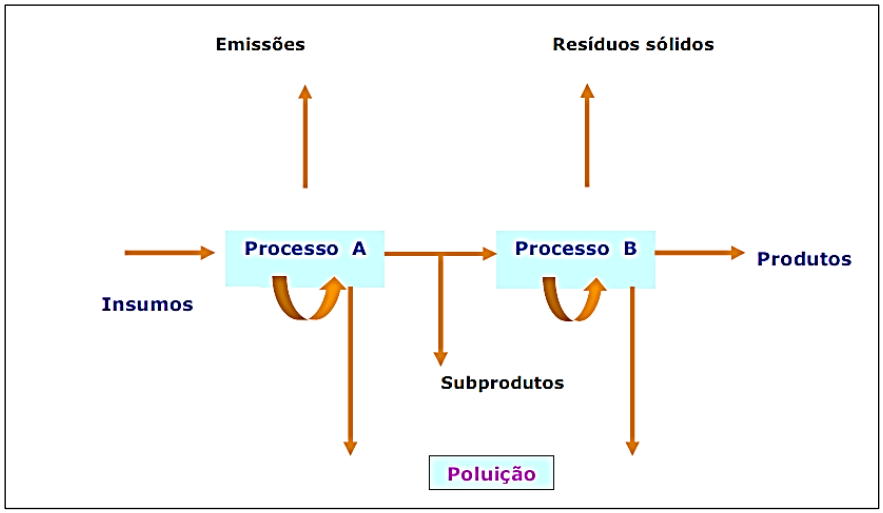
Lwarcel Celulose

Pöyry Silviconsult

Solenis

Stora Enso Brasil

Suzano Papel e Celulose



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

Parte 01: Uma Centena de Exemplos sobre Qualidade e Suprimento de Madeira e Processo de Fabricação de Celulose (Linha de Fibras)

CONTEÚDO DO CAPÍTULO

- INTRODUÇÃO E AGRADECIMENTOS
- OS CÁLCULOS FAZEM PARTE DA VIDA DOS TÉCNICOS
- CONCEITOS PRÁTICOS CONSAGRADOS E ASSUMIDOS
- SEÇÃO 01: QUALIDADE DA MADEIRA
- SEÇÃO 02: SUPRIMENTO DE MADEIRA PARA AS FÁBRICAS
- SEÇÃO 03: BIOMASSA ENERGÉTICA
- SEÇÃO 04: CONSUMOS ESPECÍFICOS DE MADEIRA
- SEÇÃO 05: PRODUÇÃO DE CELULOSE – DIGESTÃO KRAFT
- SEÇÃO 06: PRODUÇÃO DE CELULOSE – LAVAGEM E DEPURAÇÃO DA POLPA
- SEÇÃO 07: PRODUÇÃO DE CELULOSE – DESLIGNIFICAÇÃO COM OXIGÊNIO E BRANQUEAMENTO DA CELULOSE
- SEÇÃO 08: PRODUÇÃO DE CELULOSE – FORMAÇÃO E SECAGEM DA FOLHA
- SEÇÃO 09: PROBLEMAS ENVOLVENDO FLUXOS, DILUIÇÕES E CONSISTÊNCIAS
- SEÇÃO 10: COMERCIALIZANDO A CELULOSE COM BASE EM PESO SECO AO AR

- SEÇÃO 11: UM EXEMPLO VISUAL DE UM BALANÇO DE MASSA SIMPLES PARA ENTENDIMENTO DE CONCEITOS

- 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 01: Uma Centena de Exemplos sobre Qualidade e Suprimento de Madeira e Processo de Fabricação de Celulose (Linha de Fibras)

Com esse capítulo, esperamos estar colaborando para um maior entendimento sobre inúmeras formas de se calcular e lidar com números no setor de base florestal, em especial para a produção de celulose kraft de eucalipto

==========

INTRODUÇÃO E AGRADECIMENTOS

Esse capítulo inicia 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 base florestal, com ênfase na 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 possa fazer 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 técnicos de nossas fábricas, fornecedores, universidades e institutos de pesquisa.

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

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

Parte 02: Fabricação, Conversão, Comercialização, Utilização e Reciclagem do Papel

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 produção de celulose e papel. 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, as pessoas 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 livros 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 são 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 todos e a poder compartilhar alguns desses problemas com vocês. Em especial, meus agradecimentos sinceros aos meus dois 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; e 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. 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

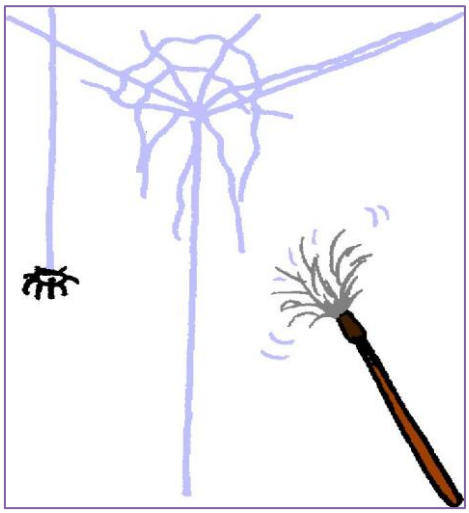
Os técnicos do setor de celulose e papel são quase sempre requisitados a demonstrar suas habilidades em cálculos e na resolução de alguns problemas em suas atividades profissionais. A maioria dos problemas é constituída por cálculos simples, envolvendo pequenos balanços de massa com base em pesos secos e fluxos de polpa celulósica 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, envolvendo unidades de controle 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.

Considero que mesmo com a diminuta disponibilidade de textos para leitura complementar, com essa sequência de três de nossos capítulos, 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 a nossa centena 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 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 no licor preto ou em filtrados de até 16% também se costuma admitir que a densidade desse líquido contaminado com material orgânico e sais de sódio é igual à densidade da água, ou seja, igual a 1 g/cm³ ou 1 t/m³.

E assim foi feito em relação à nossa primeira centena de problemas. Em condições excepcionais, foram atribuídos valores diferentes para alguns itens, mas isso estará fazendo parte do enunciado do problema.

==========

SEÇÃO 01: QUALIDADE DA MADEIRA

Problema 01:

Uma amostra de cavacos de madeira tem seu peso úmido registrado como sendo 150 gramas. Essa amostra é levada à secagem em estufa a 105±3ºC até peso constante. O peso registrado após secagem foi de 90 gramas a.s. (peso absolutamente seco ou peso seco em estufa).
Qual a umidade dessa madeira expressada base madeira úmida? E base madeira seca?
Estabelecer uma equação que permita relacionar as umidades base madeira úmida e base madeira seca.

Solução:

Pas = Peso absolutamente seco = 90 gramas
Peso úmido tal qual da amostra = 150 gramas
Peso de água = 150 – 90 = 60 gramas

Umidade base madeira úmida = {Págua/Peso úmido} . 100
Umidade base madeira úmida = {60/150} . 100 = **40%**

Umidade base madeira seca = {Págua/Peso seco} . 100
Umidade base madeira seca = {60/90) . 100 = **66,67%**

A relação entre essas duas medições de umidade pode ser obtida através da relação entre as fórmulas que definem os seus cálculos:

Umidade base madeira úmida = Ubu = {Págua/Peso úmido} . 100
Umidade base madeira seca = Ubs = {Págua/Peso seco} . 100

Ubu/Ubs = {Págua/Peso úmido} / {Págua/Peso seco}

Ubu/Ubs = Peso seco/Peso úmido = Pseco/Púmido

Ubs = Ubu x {Púmido/Pseco}

Problema 02:

Com base na equação relacionando as umidades base úmida e base seca, estabelecer uma fórmula que permita calcular o peso seco de uma carga de madeira a partir de seu peso úmido e de sua umidade base seca.

Solução:

Continuando conforme o problema anterior:

Ubu/Ubs = Pseco/Peso úmido

Púmido – Pseco
---------- = Ubs . { Pseco/Púmido}
Púmido

Púmido – Pseco = Púmido . Ubs . {Pseco/Púmido}

Púmido = Pseco + Ubs . Pseco
Púmido = Pseco . {1 + Ubs}

Pseco = Púmido / (1+Ubs)

Valores de umidade em números inteiros e não em percentagem

Observação: o setor de celulose e papel no Brasil em geral trabalha com umidades calculadas base peso úmido da madeira ou celulose. Já alguns setores de produtos florestais, como painéis de madeira e madeira serrada, trabalham mais frequentemente com umidade calculada base madeira absolutamente seca.

Problema 03:

A densidade básica de uma madeira de eucalipto é de 0,5 g/cm³. Em condições de máxima saturação em água, qual seria o volume de vazios dessa madeira, que estaria preenchido por água, ao qual poderíamos chamar de porosidade da madeira? Admitir a densidade da substância madeira como sendo 1,53 g/cm³.

Solução:

A densidade básica da madeira é aquela em que se relaciona o peso absolutamente seco de uma amostra ou carga de madeira com o volume sólido saturado dessa mesma madeira.

O volume saturado corresponde àquele de árvores ainda vivas e úmidas, antes de terem sido colhidas e colocadas para secagem no campo, antes do transporte, para perder peso devido à secagem natural. Na máxima saturação com água, a umidade das toras é ligeiramente maior do que a umidade ao abate das árvores, porém o volume da madeira úmida não se altera acima do ponto de saturação das fibras.

Podemos calcular a densidade básica tanto da madeira como da casca, sendo que esses valores costumam ser diferentes, em geral mais altos para a madeira do que para a casca da árvore do eucalipto.

A "substância madeira" corresponde à parte totalmente sólida da madeira, 100% paredes celulares. Já a densidade básica da madeira é medida com o peso da parte sólida, mas dividido pelo volume contendo a porosidade.

Esse tema sempre gera dúvidas nas pessoas. Quando eu dava aulas de química da madeira, tinha o seguinte exemplo: Imaginemos que um tijolo totalmente sólido (100% massa de tijolo) tenha uma densidade de 1,8 g/cm³. Um tijolo com furos, desses que se usam muito hoje em dia, tem na parte sólida uma densidade de tijolo sólido (1,8 g/cm³), mas o tijolo em si, por ser poroso, com furações e poros, tem densidade mais baixa, talvez 1,2 g/cm³.

A madeira seria assim também. Ela é muito porosa. Por exemplo, a madeira do eucalipto tem porosidades que variam entre 50 a 75% do seu volume total. São espaços vazios dos lúmens das células e até mesmo espaços microscópicos nas paredes (pontuações, micro-fraturas, etc.).

Voltando à substância madeira: a forma de se medir a sua densidade é transformando a madeira em pó e pesando o seu peso (ou massa) absolutamente seca (sem umidade alguma). Mas como achar o volume de sólidos, só de paredes, desse peso de substância madeira? Precisamos desse volume para calcular a "densidade da substância madeira". Para isso, usa-se um picnômetro, que é um vaso de vidro muito calibrado e com seu volume absolutamente conhecido. Põe-se um dado peso seco de madeira em pó dentro do picnômetro e se completa o volume até o menisco, na completa impregnação do pó com um líquido que molhe completamente a madeira, ocupando todos os espaços vazios desse pó. Pode ser água, mas pode ser preferencialmente acetona, éter, álcool, etc. Por diferenças de peso ou por leis hidrostáticas (tipo empuxo do volume de líquido deslocado) pode-se calcular o volume de paredes celulares desse pó de madeira (que está dentro do picnômetro).

Os estudos mostram que a densidade da substância madeira (Dsm) varia muito pouco de uma madeira para outra, entre 1,51 a 1,55 g/cm³ - preferindo-se usar o valor mais comum que é 1,53 e que se aplica muito bem tanto aos *Pinus*, como aos *Eucalyptus*.

Retornando ao nosso problema:

Db = 0,5 gramas absolutamente secas/cm³ de volume saturado
Essas 0,5 gramas secas em substância madeira correspondem ao seguinte volume de paredes celulares:

Dsm = 1,53 g/cm³ = Pseco/Vsm

Vsm = Pseco/1,53 = 0,5/1,53 = **0,327 cm³ de substância madeira**

Logo, nesse mesmo centímetro cúbico teremos 0,5 gramas secas que ocupam em substância madeira um volume de 0,327 cm³. A diferença entre o volume de paredes e o restante do volume total (1 cm³) seria o volume de poros que estaria ocupado por água.

Volume de poros em 1 cm³ de madeira = 1 – 0,327 = **0,673 cm³**

Pode-se então dizer que a percentagem em poros dessa madeira corresponde a:

Porosidade = {Volume poros/Vsaturado} . 100 = {0,673/1} . 100

Porosidade = **67,3 %**

Madeiras mais porosas podem ser mais facilmente impregnadas pelo licor de cozimento e também têm maior facilidade para o transporte de agentes ativos de deslignificação para dentro da madeira. Em função dessa característica, costumam consumir ligeiramente menores cargas de álcali ativo no cozimento kraft e chegam a resultar em rendimentos levemente superiores, mas isso depende de outros fatores também, como teor de extrativos, teor de lignina, etc.

Problema 04:

Duas madeiras de eucalipto possuem densidades básicas de 0,4 e 0,6 g/cm³. Qual dessas duas madeiras é a mais úmida em plena saturação, quais as umidades base úmida nessa condição de

saturação plena e porque isso acontece assim? Admitir a densidade da substância madeira igual a 1,53 g/cm³.

Solução:

São dados:

Db1 = 0,4 g/cm³

Db2 = 0,6 g/cm³

Dsm = 1,53 g/cm³

Os volumes de paredes celulares secas por centímetro cúbico de madeira em plena saturação são os seguintes:

Vsm1 = 0,4 / 1,53 = 0,261 cm³

Vsm2 = 0,6 / 1,53 = 0,392 cm³

Os volumes de vazios que podem ser totalmente preenchidos por água em cada centímetro cúbico dessas duas madeiras são os seguintes:

Vporos1 = 1 – 0,261 = 0,739 cm³

Vporos2 = 1 – 0,392 = 0,608 cm³

O peso de água que estaria contido nesses poros seria então os seguintes, admitindo-se densidade da água igual a 1 g/cm³:

Págua1 = 0,739 g

Págua2 = 0,608 g

O peso úmido de cada bloco de 1 cm³ dessas madeiras seria a soma entre peso seco e peso de água correspondente ao bloco em questão:

Púmido1 = 0,4 + 0,739 = 1,139 gramas úmidas

Púmido2 = 0,6 + 0,608 = 1,208 gramas úmidas

Logo, as umidades base úmida seriam respectivamente:

Ubu1 = {0,739 / 1,139} . 100 = **64,9%**

Ubu2 = {0,608 / 1,208} . 100 = **50,3%**

A madeira mais leve e de menor densidade é que tem a maior umidade, já que ela possui muito maior porosidade livre para ser ocupada por moléculas de água.

Apesar das madeiras mais densas conterem menores umidades, elas possuem maiores dificuldades para secagem natural no campo. Isso se deve às dificuldades da água migrar através das paredes celulares para deixar o corpo da madeira. Já as madeiras leves perdem água com mais facilidade e secam muito rapidamente.

Problema 05:

Uma madeira de *Corymbia citriodora* com densidade básica de 0,7 g/cm³ teria condições de apresentar uma umidade base úmida de 55%? Admitir a densidade da substância madeira como sendo 1,53 g/cm³.

Solução:

Inicialmente vamos calcular o volume máximo de poros que podem ser preenchidos com água e que essa madeira de *Corymbia citriodora* poderia ter na sua máxima saturação.

Peso de substância madeira em 1 cm³ de madeira: 0,7 gramas

Volume de substância madeira em 1 cm³ de madeira:
Vsm = (0,7 g) : (1,53 g/cm³) = 0,458 cm³

Quantidade máxima de água contida = 0,458 gramas

Peso de um bloco de 1 cm³ totalmente saturado com água:

Psat = 0,7 gramas substância madeira + 0,458 gramas água

Psat = 1,158 gramas

Umidade máxima base úmida da madeira de *C. citriodora*:
Umidade = (Págua/Psaturado) . 100 = (0,458/1,158) . 100 =
Umidade máxima= **39,6 %**

Portanto, a madeira não conseguirá ter 55% de umidade base úmida em função de muito de seu volume ser ocupado por substância madeira e não sobrar espaço suficiente para a água ocupar de forma a resultar em umidade de 55%.

Problema 06:

Ao se impregnar completamente um cavaco com água, seu peso úmido total foi medido como sendo 5,7 gramas. Pela técnica da balança hidrostática encontrou-se um volume saturado de 5 cm³. Após secagem em estufa a 105±C até peso constante se obteve um peso absolutamente seco de 2 gramas.

- Qual a densidade básica do cavaco?
- Qual o volume ocupado pela substância madeira?
- Qual o teor de umidade no máximo teor de umidade?

Solução:

São dados:

Psaturado cavaco = 5,7 gramas
Pseco cavaco = 2 gramas
Volume saturado cavaco = 5 cm³

Cálculos:

Densidade básica = (Pseco) : (Volume saturado) = 2 / 5 = **0,4 g/cm³**

Volume de substância madeira = (Pseco) : (Densidade substância madeira)
Volume de substância madeira = 2 / 1,53 = **1,30 cm³**

Peso de água contida no cavaco:
Págua = 5,7 – 2 = 3,7 gramas água
Volume água no cavaco saturado = 3,7 cm³

Umidade na saturação: (Págua/Psaturado) . 100 = (3,7/5,7) . 100 =

Umidade na saturação = **64,9%**

Problema 07:

Uma tora recém-abatida de eucalipto possui 90% de seu volume em madeira e 10% em casca. A densidade básica da madeira é de 0,55 t a.s./m³ e a da casca é 0,35 t a.s./cm³. Qual a densidade básica média dessa tora?

Solução:

Base referencial: Um metro cúbico de tora recém-abatida

Dbmadeira = 0,55 t a.s./m³
Dbcasca = 0,35 t a.s./m³

Dbtora = 0,9 . 0,55 + 0,1 . 0,35 = **0,530 t a.s./m³**

Problema 08:

Um disco de madeira eucalipto foi pesado tal qual se encontrava e o valor encontrado foi de 280 gramas. Esse disco foi colocado a secar em estufa a 105ºC e na estabilização do peso se mediram 200 gramas absolutamente secas. Qual a umidade dessa madeira base úmida e base seca?

Solução:

Umidade base úmida = {Págua/Púmido} . 100 =
Umidade base úmida = {(Púmido – Pseco)/Púmido} . 100 =
Umidade base úmida = {(280 – 200)/280} . 100 =
Umidade base úmida = **28,57%**

Umidade base seca = {Págua/Pseco} . 100 =
Umidade base seca = {(Púmido – Pseco)/Pseco} . 100 =
Umidade base seca = {(280 – 200)/200} . 100 =
Umidade base úmida = **40%**

Problema 09:

Uma tora descascada e recém-abatida de *Eucalyptus grandis* tinha 1,5 metros cúbicos de volume e possuía: densidade básica de 0,40 t a.s./m³ e teor de umidade de 50%. Outra tora de madeira nas mesmas condições de colheita, essa de *Eucalyptus urophylla* e com 1,2 metros cúbicos, possuía densidade básica de 0,52 t a.s./m³ e umidade de 40%. Qual das duas toras no momento da colheita foi a mais pesada?

Solução:

Peso seco da tora de *E. grandis*: Volume . Dbásica
Peso seco da tora de *E. grandis*: 1,5 m³ . 0,4 t a.s./m³ =
Peso seco da tora de *E. grandis*: **0,6 t absolutamente secas**
Peso úmido da tora de *E. grandis*: 0,6 t a.s. / Consistência
Peso úmido da tora de *E. grandis*: 0,6 / (1 – 0,50)
Peso úmido da tora de *E. grandis*: **1,2 toneladas úmidas**

Peso seco da tora de *E. urophylla*: Volume . Dbásica
Peso seco da tora de *E. urophylla*: 1,2 m³ . 0,52 t/m³ =
Peso seco tora de *E. urophylla*: **0,624 t absolutamente secas**
Peso úmido da tora de *E. urophylla*: 0,624 t a.s. secas / Consistência
Peso úmido da tora de *E. urophylla*: 0,624 / (1 – 0,4)
Peso úmido da tora de *E. urophylla*: **1,04 toneladas úmidas**

Apesar da tora de *E. grandis* ter peso seco ligeiramente menor, na forma úmida do abate, ela se mostrou mais pesada que a tora de *E. urophylla* em função de seu maior teor de umidade.

Problema 10:

Uma madeira de uma árvore recém-colhida possuía teor de umidade de 55% e densidade básica de 0,5 toneladas absolutamente secas/metro cúbico de madeira sólida e úmida. Essa madeira, ao ser convertida em cavacos ainda na floresta, em picadores móveis, apresenta uma taxa de conversão equivalente a 3 metros cúbicos de cavacos por metro cúbico de madeira sólida na forma de toras. Quais seriam o peso seco correspondente e o peso úmido de cada metro cúbico de cavacos assim obtidos?

Solução:

Base referencial de cálculos: 1 metro cúbico de madeira sólida

Peso seco de 1 m³ de madeira sólida: 0,5 toneladas a.s.
Peso úmido de 1 m³ de madeira sólida: 0,5 t secas / Consistência
Peso úmido de 1 m³ de madeira sólida: 0,5 t secas / (1 – 0,55)
Peso úmido de 1 m³ de madeira sólida: 0,5 t secas / 0,45
Peso úmido de 1 m³ de madeira sólida: 1,111 toneladas úmidas

Peso do metro cúbico de cavacos, admitindo razão de conversão de 3 m³ cavacos por m³ de madeira sólida:

Peso seco cavacos = 0,5 t secas : 3 = **0,1667 t a.s./m³ cavacos**
Peso úmido cavacos = 1,111 t úmidas : 3 =
Peso úmido cavacos: **0,370 t úmidas/m³ cavacos**

Problema 11:

Uma tora de madeira teve seu volume medido logo após o abate e os resultados foram os seguintes:
Volume de madeira = 0, 025 m³
Volume de casca = 0,003 m³
A seguir, retiraram-se amostras de madeira e casca para se determinar as respectivas densidades básicas, que foram as seguintes:
Dbmadeira = 0,5 g a.s./cm³ = 0,5 t a.s./m³

Dbcasca = 0,3 g a.s./cm³ = 0,3 t a.s./m³
A tora foi deixada secando naturalmente. Após 30 dias, novas determinações foram realizadas e se notou que o volume de madeira sofrera uma contração de 5% e o de casca de 10%. Perdas de peso seco durante a secagem foram estimadas como sendo de 2% para a madeira e 5% para a casca.
Determinar a densidade básica inicial média da tora úmida e a densidade aparente da tora após secagem natural.

Solução:

Em geral, as toras de madeira quando abatidas e deixadas a secar para perder umidade sofrem uma contração volumétrica da casca e da madeira. Dessa forma, os dados de inventário para volumes de árvores verdes em pé não deverão corresponder ao volume de madeira das mesmas árvores que entrarem nas fábricas, independentemente das perdas de madeira que acontecem na colheita florestal, que aumentam ainda mais as diferenças.

Também ocorre uma ligeira perda de peso seco, por volatilização e degradação biológica e química - maior para a casca que toma maior contato com o sol e chuva.

Inicialmente, calcularemos a densidade básica média da tora, que pode ser obtida da seguinte forma:

Peso seco da tora = 0,025 . 0,5 + 0,003 . 0,3 = 0,0134 toneladas
Onde
Pseco madeira = 0,0125 toneladas a.s.
Pseco casca = 0,0009 toneladas a.s.

Volume verde da tora = 0,025 + 0,003 = 0,028 m³

Dbtora verde = 0,0134 t a.s. / 0,028 m³ = **0,4785 t a.s./m³**

A densidade aparente da tora seca, com base em seu volume contraído e com perda de peso, pode ser calculado conforme a seguir:

Novo volume da tora após contração: 0,95 . 0,025 + 0,9 . 0,003

Novo volume da tora após contração: 0,02645 m³

Novo peso seco da tora = 0,0125 . 0,98 + 0,0009 . 0,95
Novo peso seco da tora = 0,013103 toneladas

Densidade aparente da tora após secagem, contração e perda de algum peso:

Daparente tora seca = 0,013105 / 0,02645 = **0,4955 t a.s./m³**

Logo, com a secagem natural da tora no campo para perda de umidade, a densidade dessa tora ao chegar à fábrica não pode mais ser utilizada como sendo a medida como densidade básica.

Ela precisa ser corrigida e no nosso exemplo ocorreu um aumento da densidade aparente da tora seca em relação à densidade básica de aproximadamente:

Variação da densidade pela secagem: 0,4955 – 0,4785 = 0,017

Percentualmente: 0,017/0,4785 = 3,5%

Esse costuma ser um erro sistemático em muitas empresas que tentam converter para peso seco o volume de madeira que é cubado nos caminhões, utilizando a densidade básica ao invés da densidade aparente da madeira no recebimento. Com isso, cometem erros, que são maiores quanto maiores forem os valores de contração da madeira. Sabe-se que a madeira do eucalipto pode chegar a contrações volumétricas acima de 15% devido à secagem.

Problema 12:

Quanto se pode obter de cavacos a partir de um estéreo de madeira empilhada de eucalipto – toras longas de 3,6 metros, sem casca.
O fator de empilhamento dessas toras deve ser estimado como sendo 0,58 m³ sólidos/st. Densidade básica da madeira foi de 0,5 t a.s./m³ e a densidade aparente das toras de madeira utilizada nos picadores era 4% maior que a densidade básica. A densidade dos cavacos de

madeira foi imediatamente determinada conforme o preconizado no método ABNT NBR 14984 e se encontrou 0,16 toneladas secas por metro cúbico de cavacos produzidos.

Solução:

Dbásica = 0,5 t a.s./m³ sólido de toras
Daparente (4% maior que Dbásica) = 0,520 t a.s./m³ sólido de toras

Densidade aparente de um estéreo de madeira (usando fator de empilhamento = 0,58 m³ sólidos/st):

(0,58 m³ sólido/st) . (0,520 t a.s./m³ sólido) = 0,3016 t a.s./st

Dcavacos = 0,16 t a.s./m³ cavacos

Relação de conversão de estéreo de toras a cavacos:

(0,3016 t a.s. madeira/st) : (0,16 t a.s. madeira/m³ cavacos) =
0,3016 : 0,16 m³ cavacos / st

1,885 m³ cavacos / st de toras picadas

Problema 13:

Uma fábrica de MDP (painel de partículas de madeira de média densidade) consume cerca de 620 kg de madeira seca por metro cúbico de chapa. Qual das florestas clonais a seguir poderia ser mais interessante para abastecer a fábrica, uma vez que se conhece o fato que as madeiras das duas atendem as especificações de produção, produtividade e especificações técnicas do produto:
Clone 01: IMA = 45 m³/ha.ano ; Densidade das toras sólidas (com casca)= 0,46 t a.s./m³
Clone 02: IMA = 50 m³/ha.ano ; Densidade das toras sólidas (com casca) = 0,40 t a.s./m³
Rotação em ambos os casos de 7 anos.

O IMA (Incremento Médio Anual) está apresentado para floresta com casca e nessa empresa toda a casca entra com a madeira na constituição do painel.

Solução:

Produção volumétrica Clone 01 aos 7 anos: 45 m³/ha.ano . 7 anos = 315 m³/ha

Produção volumétrica Clone 02 aos 7 anos: 50 m³/ha.ano . 7 anos = 350 m³/ha

Produção em peso seco de material florestal aos 7 anos:

Clone 01= 315 m³/ha . 0,46 t a.s./m³ = 144,9 t a.s./ha
Clone 02 = 350 m³ . 0,40 t a.s./m³ = 140 t a.s./ha

Existe uma ligeira vantagem em produção para o clone 01.

Admitindo que ambas as madeiras possam se desempenhar da mesma forma na fábrica de painéis, o clone 01 é o mais indicado, mesmo com menor incremento anual – além disso, representa ganhos em colheita florestal e em logística de transporte e estocagem, pois menores volumes de madeiras estarão envolvidos.

Quando se relaciona o Incremento Médio Anual com a quantidade de painéis produzidos, pode-se gerar um indicador que ousamos denominar de IMAChapas.

Por exemplo, cada clone possui um valor típico de IMAChapas em função da produtividade florestal, densidade das toras e consumo de madeira+casca em cada metro cúbico de painéis (620 kg secos).

IMAChapas Clone 01:

Clone 01= 45 m³/ha.ano . 0,46 t a.s./m³ = 20,7 toneladas absolutamente secas/ha.ano

Em relação à produtividade por hectare expressa em painéis MDP:

1 m³ painel MDP ---------- 620 kg---------- 0,62 t

Y (m³ painel MDP) ---------- 20,7 t/ha.ano

Y_{clone1} = 33,39 m³ painel MDP/ha.ano

IMAChapas Clone 02:

Clone 02 = 50 m³ . 0,40 t/m³ = 20 toneladas absolutamente secas/ha.ano

Em relação à produtividade por hectare expressa em painéis MDP:

1 m³ painel MDP ---------- 620 kg---------- 0,62 t

Z (m³ painel MDP) ---------- 20 t/ha.ano

$Z_{clone\ 2}$ = 32,25 m³ painel MDP/ha.ano

Problema 14:

Uma pilha de cavacos possui 45.000 metros cúbicos de madeira disponíveis para consumo. A densidade dos cavacos é de 175 kg absolutamente secos por metro cúbico. A relação de conversão de cada metro cúbico sólido de toras de madeira em cavacos é de 3:1.
Perguntas:

1. Qual o volume de toras que foi alimentado ao picador para a produção desse volume de cavacos?
2. Qual a densidade média da madeira na forma de tora?

Solução:

Volume de toras alimentadas para 45.000 m³ cavacos:

3 m³ cavacos ---------- 1 m³ sólido de toras

45.000 m³ cavacos ---------- **X** m³ sólidos de toras

X = 45.000 / 3 = **15.000 metros cúbicos sólidos de toras**

Cálculo da densidade aparente média da madeira:

1 metro cúbico cavacos = 175 kg absolutamente secos
3 metros cúbicos de cavacos equivalem a 1 m³ de madeira sólida em toras, logo

3 x 175 = 525 kg absolutamente secos de madeira/metro cúbico de toras

Daparente = **0,525 t a.s./m³ sólido de toras**

Problema 15:

Uma madeira rica em extrativos e cinzas possui uma densidade básica de 0,52 t a.s./m³. O teor de extrativos capazes de serem removidos completamente ao longo do processamento kraft é de 5% do peso seco de madeira. Já o teor de cinzas minerais, que são extraídas em 90% pelo processo de conversão da madeira em celulose é de 0,8% base peso inicial de madeira. Qual a real quantidade de madeira que pode se tornar disponível para a polpação na fabricação de celulose kraft?

Solução:

Quantidade de madeira disponível para processo de celulose existente em um metro cúbico:

0,52 t a.s./m³ . 0,05 (remoção de extrativos) = 0,026 t a.s./m³
Extrativos removidos = 0,026 t a.s./m³

0,52 t a.s./m³ . 0,008 (cinzas minerais totais) = 0,00416 t a.s./m³

Entretanto, nem toda cinza sai do processo – um pouco fica agregada na polpa e o que é removido corresponde a:

Cinzas removidas:
0,00416 . 0.90 = 0,003744 t a.s./m³

Portanto, a quantidade de madeira que realmente está disponível para ser convertida em fibras celulósicas corresponderia a:

0,52 – 0,026 – 0,003744 = **0,490256 t a.s./m³**

Essa é a quantidade de madeira que interessa – não faz sentido na produção de celulose se dispor de altas densidades de madeira, mas elas serem extremamente ricas em extrativos que possam ser solubilizados e mesmo causarem problemas de incrustações no processo de conversão da madeira e no produto final.

Extrativos e cinzas consomem reagentes, causam incrustações e reduzem os rendimentos de conversão, além de possuírem potencial de causarem problemas de qualidade nos produtos finais.

Problema 16:

Uma floresta clonal de eucalipto tem uma produtividade em termos de madeira comercial com casca de 75 estéreos por hectare.ano. Quanto essa floresta exportará de cálcio e de potássio se ela for colhida com sete anos e toda a madeira com casca for enviada para abastecer a fábrica de celulose, seja como madeira de processo e como biomassa energética?
Admitir:

- Teor de casca nas toras do volume comercial das árvores: 12% base volumétrica
- Relação st/m³ sólido = 1,65:1
- Densidade básica da madeira: 0,5 t absolutamente secas / m³
- Densidade básica da casca: 0,3 t absolutamente secas / m³
- Teor de cálcio na madeira: 600 ppm (base peso seco)
- Teor de potássio na madeira: 750 ppm (base peso seco)
- Teor de cálcio na casca: 3.500 ppm (base peso seco)
- Teor de potássio na casca: 4.000 ppm (base peso seco)

Solução:

Base referencial: Um hectare de efetivo plantio

Inicialmente é necessário se saber a produção da floresta aos 7 anos:

IMA = 75 st por hectare.ano vezes 7 anos = 525 st/ha

Produção florestal em metros cúbicos sólidos = (525 st) : 1,65 m³/st = 318,2 metros cúbicos de troncos de árvores comerciais com casca por hectare

Volume de casca = 0,12 . 318,2 =
38,18 m³ de casca na colheita da floresta

Peso de casca na colheita = (0,3 toneladas secas/m³) . 38,18 m³ =
Peso de casca na colheita = **11,45 toneladas absolutamente secas de casca total**

Volume de madeira = 0,88 . 318,2 =
280,02 m³ de madeira na colheita da floresta

Peso madeira na colheita = (0,5 toneladas secas/m³) . 280,02 m³ =
Peso madeira na colheita = **140,01 toneladas absolutamente secas de madeira total**

Dados de nutrientes minerais base peso seco:

Teor de cálcio na madeira: 600 ppm
Teor de potássio na madeira: 750 ppm
Teor de cálcio na casca: 3.500 ppm
Teor de potássio na casca: 4.000 ppm

ppm = mg/kg ou g/tonelada em base seca

Exportação de cálcio = Soma das quantidades na madeira e na casca
Exportação cálcio = (140,01 t) . (600 g/t) + (11,45 t) . (3.500 g/t)
Exportação cálcio = 84.006 + 40.075 = 124.081 gramas
Exportação cálcio = **124,08 quilogramas de cálcio**

Exportação de potássio = Soma das quantidades na madeira e casca

Exportação potássio = (140,01 t) . (750 g/t) + (11,45 t) . (4.000 g/t)
Exportação potássio = 105.008 + 45.800 = 150.808 gramas
Exportação potássio = **150,81 quilogramas de potássio**

Problema 17:

Um estéreo de toras de eucalipto possui 0,6 m³ sólidos de madeira, a qual mostra uma densidade de 0,55 t a.s./m³. Caso esse estéreo seja completamente picado e gere 2 metros cúbicos de cavacos, qual será a densidade aparente base seca desses cavacos?

Solução:

Base referencial: 1 st $\rightarrow$ 0,6 m³ madeira na forma de toras sólidas

Peso seco de 1 st de madeira: 0,6 m³ . 0,55 t a.s./m³
Peso seco de 1 st de madeira = 0,33 t a.s.

Ao se picar esse st se geram 2 metros cúbicos de cavacos

Ou seja:

0,33 t secas $\equiv$ 2 m³ cavacos

X -------- 1m³ cavacos

Logo, a densidade aparente dos cavacos será:

X = Dcavacos= **0,165 t absolutamente secas/m³ cavacos**

Problema 18:

A madeira na forma de cavacos quase sempre apresenta contaminação com terra e areia que vêm junto com as toras. Admitindo-se que o teor de cinzas da constituição da madeira seja de 0,40%, calcular a quantidade de cinzas contaminantes (terra/areia) dos cavacos, sabendo-se que o teor de cinzas desses cavacos é de 1,5%.

Solução:

Base referencial: 100 kg absolutamente secos de cavacos

Peso seco de cinzas: (1,5%) . 100 kg = 1,5 kg de minerais (inclui as cinzas da madeira)

Peso minerais constituição da madeira = (PmadeiraPura) . 0,004

PmineraisMadeira= (PmadeiraPura) . 0,004

Balanço de massa via cinzas:

Equação I

$$1,5 = \text{Contaminantes} + (\text{PmadeiraPura}).\ 0,004$$

Balanço de massa via peso total:

100 = Contaminantes + (PmadeiraPura)

Equação II

$$\text{Contaminantes} = 100 - (\text{PmadeiraPura})$$

Substituindo II na equação I

$$1,5 = 100 - (\text{PmadeiraPura}) + (\text{PmadeiraPura}).\ 0,004$$
$$1,5 = 100 - 0,996\ (\text{PmadeiraPura})$$

(PmadeiraPura) = 98,5/0.996 = **98,896 kg a.s.**

Peso contaminantes nos cavacos (areia+terra) = 100 – 98,896 =

Peso contaminantes nos cavacos (areia+terra) = **1,104 kg a.s.**

==========

SEÇÃO 2 - SUPRIMENTO DE MADEIRA PARA AS FÁBRICAS

Problema 19:

Um caminhão de madeira chega ao pátio de estocagem e tem sua carga pesada e o peso acusado para a madeira descascada que transportava foi de 22,50 toneladas. Outro caminhão, logo a seguir, teve seu peso medido e o valor encontrado foi de 28,7 toneladas. A umidade da madeira do primeiro caminhão foi medida e resultou em 30% base madeira úmida, enquanto a do segundo caminhão atingiu 45%, em função de ter recolhido madeira mais verde por necessidade de consumo pela fábrica.
Qual dos dois caminhões trouxe maior carga útil de madeira para o processo?
Quanto de água presente na madeira foi transportada por cada caminhão?

Solução:

Caminhão 01:
Peso madeira úmida: 22,5 toneladas madeira tal qual
Teor de umidade base úmida: 30%
Teor de secos da madeira: 70%
Peso seco de madeira = 22,5 . 0,7 = **15,75 t a.s. de madeira seca**

Água na madeira: 22,5 – 15,75 = **6,75 t água na madeira**

Caminhão 02:
Peso madeira úmida: 28,7 toneladas madeira tal qual
Teor de umidade base úmida: 45%
Teor de secos da madeira: 55%
Peso seco de madeira = 28,7 . 0,55 = **15,78 t a.s. de madeira seca**
Água na madeira: 28,7 – 15,78 = **12,92 t água na madeira**

Respostas:

- Os dois caminhões transportaram praticamente a mesma quantidade de madeira absolutamente seca;
- O segundo caminhão transportou muito mais água como carga morta que o primeiro (12,92 toneladas de água versus 6,75 t).

Problema 20:

Em um horto em sistema de colheita existem duas pilhas de madeira, sendo que a primeira está na forma de toras longas, de aproximadamente 6 metros de comprimento, o que facilita a desorientação das toras e aumenta o engaiolamento. A outra pilha está organizada com toras de 2,4 metros de comprimento. As madeiras são originadas do mesmo horto florestal, mesmo clone e com qualidade de madeira comparável. Uma das pilhas foi resultado de corte próprio mecanizado e a outra foi com serviço semi-mecanizado terceirizado.
Dois caminhões especializados (conforme o comprimento de toras) chegam para buscar essas madeiras da floresta para a fábrica. O caminhão 1 consegue levar toras longas e tem capacidade de carregar 50 metros cúbicos de madeira empilhada, com fator de empilhamento de 0,5 metros cúbicos sólidos/metro cúbico empilhado. O caminhão 2 tem uma carroceria própria para toras de 2,4 metros de comprimento e consegue carregar 40 metros cúbicos empilhados. Nesse caso de toras curtas o fator de empilhamento era 0,65 m^3 sólidos/metro cúbico de madeira empilhada. Quanto carregará de toras sólidas cada caminhão?

Solução:

Carga do caminhão 1:

50 metros cúbicos empilhados . 0,5 m³ sólidos/m³ empilhado =

25 m³ sólidos

Carga do caminhão 1 = 25 m³ sólidos

Carga do caminhão 2:

40 metros cúbicos empilhados . 0,65 m³ sólidos/m³ empilhado =

26 m³ sólidos

Carga do caminhão 2 = 26 m³ sólidos

Há que se organizar e se estruturar muito bem para a logística com toras longas, caso contrário se estará carregando muitas gaiolas e pouca madeira. Aumenta o manuseio e as dimensões das pilhas, pelo alto potencial de engaiolamento desse tipo de toras.

O fator de empilhamento pode também ser apresentado de forma inversa, o que significa que nossos valores mudariam para:

0,50 m³ sólidos/m³ empilhado ---- 2 m³ empilhados/m³ sólido
0,65 m³ sólidos/m³ empilhado ---- 1,54 m³ empilhados/m³ sólido

---

Problema 21:

Cavacos de madeira de eucalipto são alimentados a uma pilha e existe uma balança indicando um fluxo de 500 metros cúbicos por hora de cavacos. A umidade base úmida dos cavacos é medida em uma frequência adequada e o valor médio é de 30%. Qual a quantidade de cavacos que se alimenta por dia à pilha, havendo uma continuidade operacional da esteira de 95%? Qual o peso úmido de

cavacos que se movimenta considerando a densidade base seca dos cavacos como sendo 0,165 kg a.s./m³ de cavacos?

Solução:

Base referencial: Um dia de operações

Alimentação de cavacos em volume por dia:

Fluxo (500 m³/hora) . 24 horas . 0,95 (continuidade operacional)

11.400 m³ cavacos por dia

Alimentação de cavacos em peso seco por dia:

11.400 m³ cavacos/dia . 0,165 t a.s./m³ cavacos = **1.881 t a.s./dia**

Alimentação de cavacos na umidade tal qual por dia:

1 tonelada úmida -------- 0,7 toneladas secas --- 0,3 toneladas água

Y toneladas úmidas ---- 1.881 t secas

2.687,1 toneladas úmidas de cavacos/dia

Problema 22:

Uma fábrica de celulose kraft compra madeira por peso seco, mas para fazer a conversão de volume recebido medido na estação de recebimento para peso seco utiliza de valores de densidade básica que é obtida de amostras selecionadas dos cavacos consumidos na própria fábrica. São recebidos mensalmente cerca de 300.000 metros cúbicos sólidos de toras, conforme medições na entrada da fábrica, em equipamentos especializados e automatizados para fazer essas medidas. Após ser alertada sobre a contração volumétrica que a madeira sofre ao sofrer secagem no campo, previamente ao embarque para a fábrica e para a picagem em cavacos, a empresa

avaliou esse tipo de influência e descobriu a existência de um potencial aumento médio da densidade da madeira em 2% na entrada das toras na fábrica. Tanto toras como cavacos na fábrica não estavam em condições verdes e saturadas, mas contraídos e muito mais secos que nas condições dos testes de densidade básica.
Além disso, as medições feitas em cavacos da forma como estavam sendo feitas costumavam render valores 3% menores em relação à densidade básica medida em discos e cunhas após saturação em água e amostradas criteriosamente das toras. Isso se deve principalmente pela qualidade de cavacos que estavam sendo selecionados para os ensaios (isentos de serragem, nós, lascas, cavacos sobre-espessos e densos, etc.). Apesar de por anos a empresa ter acreditado que tinha domínio sobre essas técnicas, ela decidiu rever seus ingressos de madeira. Qual a quantidade média de madeira por mês que ela não contabilizava, resultando em erros de inventários de madeira, em rendimentos e em consumos específicos? Admitir uma densidade básica média dos cavacos de 0,5 t/m³.

Solução:

Seja Dreal a densidade real que deveria ter sido utilizada nas conversões de volume para peso.

A primeira diferença estaria no fato de que os cavacos (que eram selecionados pelo analista) rendiam valores menores de densidade básica do que se realizadas nas toras. Esse erro era de 3%. Logo, as densidades básicas, se fossem realizadas nas toras, resultariam em valores 3% maiores.

O segundo erro, acumulativo sobre o erro de se ter determinado básica, é o fato que a densidade aparente das toras seria mais elevada em 2% que a densidade básica, em função da contração volumétrica da madeira.

Seja Dreal a densidade que deveria ter sido utilizada.

Ela é 2% maior que a densidade básica das toras (Dbasica_toras), que por sua vez é 3% maior que a densidade básica dos cavacos.
Em sentido inverso, teremos:

Dbasica_toras = Dbcavacos/0,97

Dreal = Dbasica_toras/0,98 = Dbcavacos/(0,97 . 0,98)

Dreal = Dbcavacos/0,9506

Dreal = 0,5 / 0,9506 = 0,526 t a.s./m³

No mês em questão foram convertidos 300.000 metros cúbicos de toras em peso seco de toras usando Dbcavacos de 0,5 t a.s./m³:

Peso seco madeira = 300.000 m³ . 0,5 t a.s./m³ = 150.000 toneladas a.s.

Entretanto, de acordo com a metodologia revisada...

Peso real de madeira = 300.000 m³ . 0,526 t a.s./m³ = 157.800 toneladas a.s.

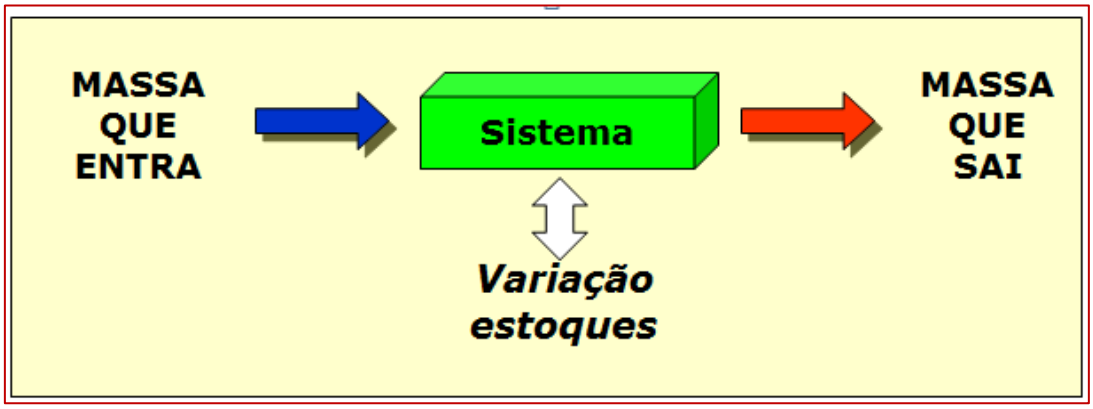
O que resultava em um erro de:

157.800 – 150.000 = **7.800 toneladas absolutamente secas por mês**

Problema 23:

Em um determinado mês de produção, uma fábrica de celulose kraft de eucalipto inicia com seu estoque de madeira na seguinte situação:
Toras estocadas: 250.000 metros cúbicos
Cavacos estocados convertidos em m³ toras: 40.000 m³
Ao término do mês, a fábrica anuncia os novos estoques de madeira:
Toras estocadas: 225.000 metros cúbicos
Cavacos estocados convertidos em m³ toras: 50.000 m³
As notas fiscais de recebimento de toras de madeira registram entradas no mês de 300.000 metros cúbicos sólidos de toras de madeira.
A produção de celulose nesse mês foi de 87.500 toneladas secas ao ar. Calcular o consumo específico de madeira por tonelada seca ao ar de celulose.

Solução:



O consumo de madeira consiste nas variações do estoque mais a entrada de madeira:

Consumo total no mês=
(250.000 – 225.000) + (40.000 – 50.000) + 300.000 =

315.000 metros cúbicos sólidos

Consumo específico:

315.000 m³ / 87.500 toneladas secas ao ar =

3,6 m³ sólidos de toras de madeira/tonelada seca ao ar de celulose

---

Problema 24:

Uma fábrica de celulose de eucalipto recebe madeira com casca e as toras são submetidas a um descascamento mecânico em um tambor a seco. A eficiência de descascamento nesse tambor é de 90% base volume. Há uma perda de madeira na forma de toretes, que se quebram no descascamento. Essa perda de madeira junto com a casca corresponde a 1,5% do peso seco da madeira que é alimentada ao descascador. A madeira chega à fábrica com teor médio de casca

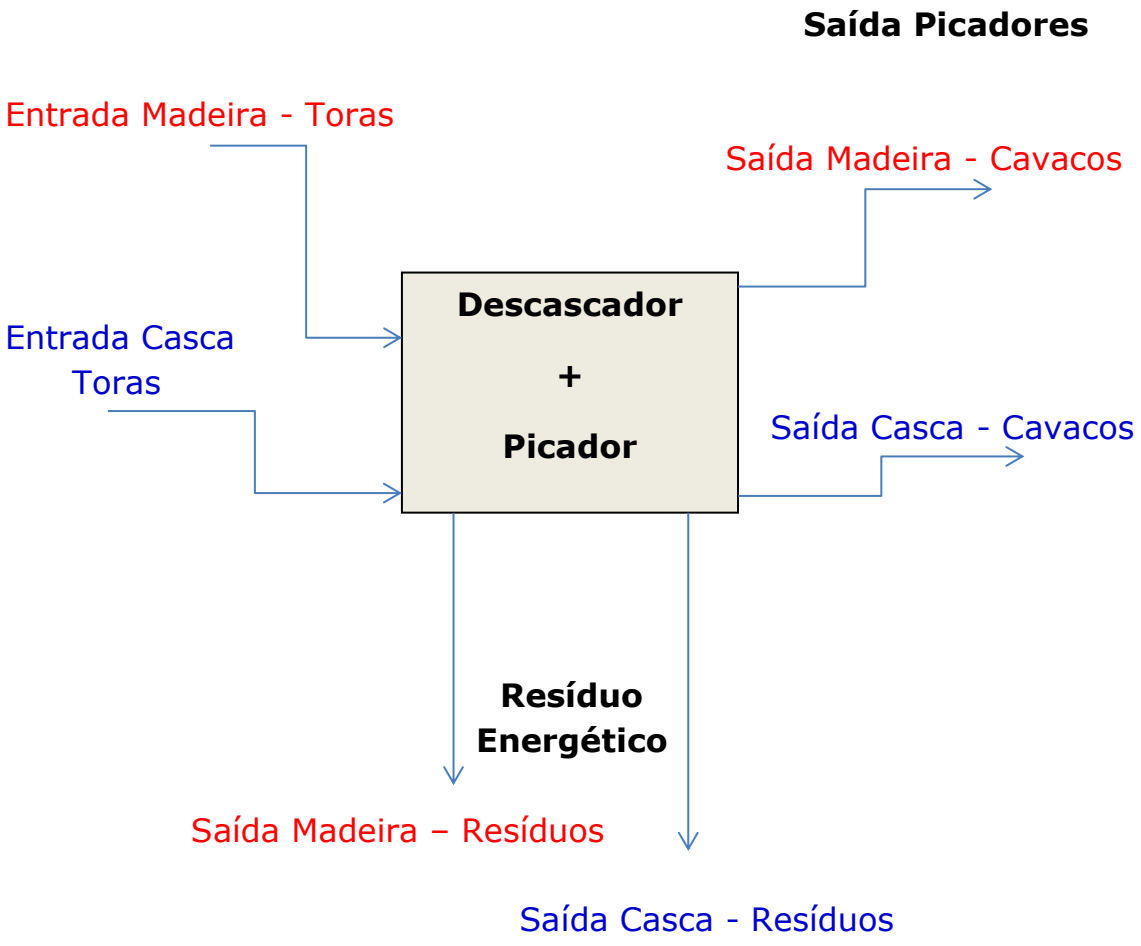
em volume correspondente a 12%. A densidade da casca nas toras recebidas é de 0,4 t a.s./m³ e a da madeira é de 0,53 t a.s./m³.

1. Qual o teor de madeira no resíduo casca e madeira que é picado e enviado para a caldeira de biomassa?
2. Qual o teor de casca base peso seco que acompanha os cavacos, admitindo que sejam negligenciáveis as remoções de casca nas etapas seguintes do processo?
3. Qual o teor de casca base peso seco na madeira que entra na fábrica, sabendo desde já que em volume esse percentual era de 12%?

Solução:

Em primeiro lugar, há que se eleger uma base fixa, que no caso pode ser 1 metro cúbico de toras com casca.

Também se pode elaborar um pequeno gráfico do escopo de nosso balanço de massa, tomando os pesos referenciados todos como peso seco.



Cálculos

Entrada de casca:

Esse metro cúbico é constituído de 0,88 metros cúbicos de madeira e 0,12 metros cúbicos de casca.

A quantidade que entra de casca em peso será:

(Volume casca) . (Densidade casca) =
0,12 m³ . 0,4 t a.s./m³ = **0,048 toneladas a.s. de casca**

Entrada de madeira:

0,88 m³ . 0,53 t a.s./m³ = **0,4664 toneladas a.s. de madeira**

Saída de casca como resíduo energético:

Ao se descascar essa tora referencial de 1 m³ sólido, com 90% de remoção do volume de casca, sairão como resíduos de casca:

0,12 . 0,9 = 0,108 m³ de casca

Ou em peso: 0,108 m³ . 0,4 t casca seca/m³ = **0,0432 t a.s. casca seca**

Saída de madeira como resíduos energéticos:

Por outro lado, ocorrem perdas de madeira, em 1,5% do seu peso de entrada no sistema, que acompanham a casca que sai do descascador

Ou seja:

0,4664 t secas madeira . 0,015 = **0,006996 t a.s. de madeira perdida junto à casca**

Saída de madeira como cavacos (produto pronto):

0,4664 – 0,006996 = **0,4594 toneladas absolutamente secas de madeira ao picador**

Saída de casca como cavacos (produto pronto):

(Peso entrada de casca) – (Peso de resíduos energéticos de casca)

(0,048 toneladas secas de casca) – (0,0432 t secas casca) =

0,048 toneladas absolutamente secas de casca com cavacos

Respostas:

1. Teor de madeira no resíduo energético, que é picado e enviado para a caldeira de biomassa:

Cálculo da percentagem relativa de madeira no resíduo energético:

{Peso seco madeira / (Peso seco madeira + Peso seco casca)} . 100

{0,006996 / (0,006996 t madeira + 0,0432 t casca)} . 100 =

13,94 % de madeira no resíduo energético

2. Teor de casca base peso seco que acompanha os cavacos

Cálculo da percentagem relativa de casca nos cavacos:

{Peso seco casca / (Peso seco madeira + Peso seco casca)} . 100

{0,0048 t casca / (0,4594 t madeira + 0,0048 t casca)} . 100 =

1,03 % de casca nos cavacos base peso seco

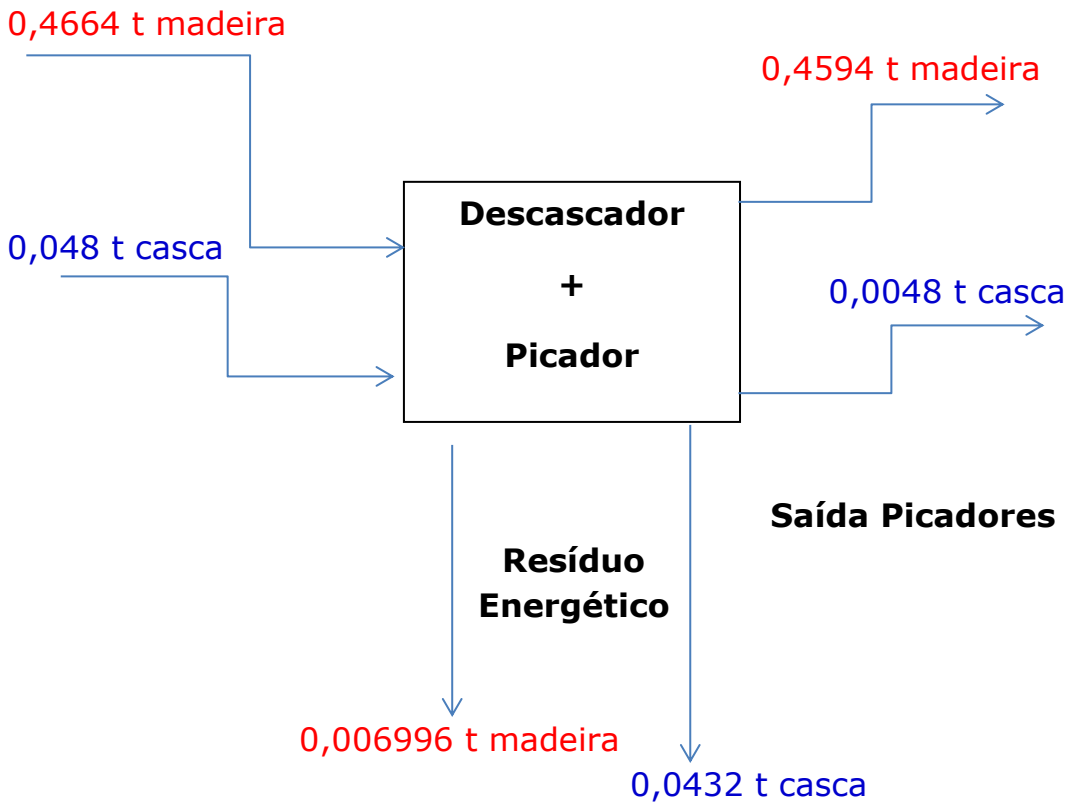
3. Teor de casca base peso seco na madeira que entra na fábrica

Cálculo da percentagem em peso seco da casca nas toras que entram na fábrica

{0,048 t casca / (0,4664 t madeira + 0,048 t casca)} . 100 =

9,33 % de casca nas toras base peso seco

Balanço de massa com base na referência fixa de 1 m³ de madeira
Resultados em peso seco



Problema 25:

Para a obtenção de pasta termomecânica de madeira de *Eucalypus grandis*, determinar qual o volume de madeira (em metros cúbicos sólidos e em estéreos) para uma produção diária de 200 toneladas absolutamente secas de pasta.
São conhecidos:

- Densidade da madeira no recebimento da madeira: 0,4 t a.s./m³
- Rendimento do processo: 94%
- Relação estéreo / m³ sólido (fator de empilhamento) = 1,5

Solução:

Base referencial: 200 toneladas absolutamente secas de pasta

Peso de madeira necessário em função de rendimento 94%

100 toneladas a.s. madeira ≡ 94 toneladas pasta a.s.
Y ---------- 200 t a.s.

Y = Peso madeira = 212,77 toneladas a.s. de madeira

Cálculo do volume de madeira:

1 m³ sólido de madeira ≡ 0,4 toneladas a.s.
Z ---------- 212,77 t a.s.

Z = **531,9 m³ sólidos de madeira**

Ou convertendo a estéreos:

1,5 st ≡ 1 m³ sólido
W ------- 531,9 m³

W = **797,8 st de madeira**

Problema 26:

Uma fábrica consome 4.000 m³ sólidos de madeira por dia. A madeira é transportada por caminhões especiais para transporte de toras longas com 5,5 metros. Cada caminhão consegue transportar 60 st por carga. O fator de empilhamento, expresso em estéreos / m³ sólido é de 1,95. Cada caminhão consegue fazer em media 2 viagens por dia.
Pergunta-se:

- Quantas cargas de madeira a empresa recebe por dia operacional?
- Qual o número mínimo de caminhões requeridos, admitindo 100% de utilização conforme as condições informadas?

Solução:

Consumo de madeira: 4.000 m³ sólidos por dia
...que correspondem em estéreos a:

1,95 st ---------- 1 m³ sólido
X ---------- 4.000 m³ sólidos

X = 7.800 st/dia

Número cargas por dia: 7.800 st/dia : 60 st/carga =
Número cargas por dia: **130 cargas por dia**

Número de caminhões: 130 cargas/dia : 2 cargas/caminhão.dia
Número mínimo de caminhões: **65 caminhões**

Problema 27:

Um caminhão de madeira entra na fábrica e se medem 50 estéreos de madeira na área de recebimento. O fator de empilhamento foi calculado como sendo de 0,65 metros cúbicos sólidos por estéreo, em função do diâmetro das toras, do número de toras e do grau de engaiolamento notado pelo recebedor da carga. Notou-se também alta incidência de toras deterioradas e então, como critério acordado entre comprador e vendedor, se depreciou a carga em 10% de seu

valor comercial. Se o metro cúbico sólido está sendo comercializado entre as partes em 40 dólares, qual deverá ser o valor a ser pago por essa carga?

Solução:

Carga do caminhão: 50 st
... que correspondem em m³ sólidos a:

0,65 m³ sólido ---------- 1 st
X ---------- 50 st

X = 32,5 m³ sólidos

Depreciação de 10% da carga em função problemas: 0.1 . 32,5
Depreciação de 10% da carga em função problemas: 3,25 m³

Volume a ser pago: 32,5 - 3,25 = 29,25 m³

Valor a ser pago pela carga: 40 US$/m³ . 29,25 m³ = **1.180 US$**

Problema 28:

Uma fábrica de celulose maneja seus cavacos de processo através utilização de duas pilhas, com as seguintes características:
Pilha 01:
Madeira de eucalipto mais densa
Volume disponível de cavacos: 60.000 m³
Densidade base seca dos cavacos: 200 kg a.s./m³
Pilha 02:
Madeira de eucalipto de média densidade
Volume disponível de cavacos: 40.000 m³
Densidade base seca dos cavacos: 165 kg a.s./m³
Na eventualidade de falta de abastecimento na forma de toras para alimentar os picadores, por quantos dias a linha de fibras poderá continuar funcionando, mantendo a produção diária do digestor em 2.000 toneladas absolutamente secas de polpa não branqueada? Os consumos específicos para cada tipo de madeira são os seguintes:

Madeira mais densa: 2,1 toneladas a.s. madeira/t absolutamente seca de celulose
Madeira de média densidade: 1,9 toneladas a.s. madeira/t absolutamente seca de celulose.

Solução:

Quantidade de cavacos em peso seco na pilha 1:

60.000 m³ . 200 kg a.s./m³ = 12.000.000 kg absolutamente secos
= 12.000 toneladas absolutamente secas de cavacos

Equivalência em produção de celulose da pilha 1:

2,1 t a.s. madeira ---------- 1 t a.s. celulose
12.000 t a.s. madeira ---------- X

X = **5.714 t a.s. celulose**

Número de dias equivalentes de produção da pilha 1:
5.714 t a.s. celulose : 2.000 t a.s. celulose/dia
Número de dias equivalentes de produção da pilha 1 = **2,86 dias**

Quantidade de cavacos em peso seco na pilha 2:
40.000 m³ . 165 kg a.s./m³ = 6.600.000 kg absolutamente secos
= 6.600 toneladas absolutamente secas de cavacos

Equivalência em produção de celulose da pilha 2:

1,9 t a.s. madeira ---------- 1 t a.s. celulose
6.600 t a.s. madeira ---------- Y

Y = **3.474 t a.s. celulose**

Número de dias equivalentes de produção da pilha 2:
3.474 t a.s. celulose : 2.000 t a.s. celulose/dia
Número de dias equivalentes de produção da pilha 2 = **1,74 dias**

Dias totais de produção da fábrica até exaustão das pilhas de cavacos: 2,86 + 1,74 = **4,6 dias**

Problema 29:

Um silo cilíndrico de 20 metros de altura e diâmetro interno de 5 metros é preenchido com cavacos de eucalipto. Os cavacos possuem uma umidade média de 40% e uma densidade aparente base seca de 0,180 t a.s./m³. Qual será a pressão manométrica que os cavacos da base do silo estariam sofrendo pela compactação causada pelo peso dessa coluna de cavacos?

Solução:

A pressão corresponderia à relação entre o peso total (úmido) da coluna dividido pela área da mesma.

Cálculo do peso úmido da coluna:

Volume do silo: $\{(\pi \cdot D^2): 4\} \cdot H = \{(\pi \cdot 5^2): 4\} \cdot 20 = 392{,}7\ m^3$

Volume de cavacos no silo = 392,7 m³

Peso seco de cavacos no silo: 392,7 m³ . 0,180 t a.s./m³ =

Peso seco de cavacos no silo = 70,69 t a.s. cavacos

Peso úmido de cavacos no silo = (70,69 t a.s.) : Consistência

Peso úmido de cavacos no silo = **117,82 toneladas úmidas**

Cálculo da área do silo: $(\pi \cdot D^2): 4 =$ **19,635 m²**

Pressão exercida pelos cavacos na base silo = 117,82 tf / 19,635 m²

Pressão cavacos = 6 tf/m² = 6.000 kgf/10.000 cm² = **0,6 kgf/cm²**

==========

==========

SEÇÃO 03: BIOMASSA ENERGÉTICA

Problema 30:

A biomassa energética consumida por uma fábrica de celulose é resultante da mistura de casca das árvores e de cavacos rejeitados na classificação de cavacos. A participação de cavacos de madeira e casca em termos de peso tal qual é de 30% e 70%. Calcular a proporção em base energética, sabendo que nas umidades médias de cada tipo de biomassa, os poderes caloríficos são:
Casca = 9 GJ/tonelada tal qual;
Cavacos de madeira = 14 GJ/tonelada tal qual

Solução:

Base de referencial: 100 toneladas tais quais de biomassa energética

Constituída de:
70 toneladas de casca
30 toneladas de madeira

Cálculo da energia disponibilizada:
Casca = 70 t . 9 GJ/t = 630 GJ
Madeira = 30 t . 14 GJ/t = 420 GJ
Total de energia = 630 + 420 = **1.050 GJ/100 toneladas biomassa**

Participações na energia:
Casca = (630 / 1050) . 100 = **60% para casca**
Madeira = (420/1050) . 100 = **40% para madeira**

Apesar de participar com 30% do peso, a madeira corresponde a 40% das fontes energéticas nesse caso.

Problema 31:

Calcular a densidade energética de uma biomassa energética mista entre casca de eucalipto e cavacos de madeira que apresenta as seguintes características:
Densidade aparente úmida: 260 kg/m³
Poder calorífico inferior da biomassa mista na umidade de uso: 12 GJ/tonelada tal qual

Solução:

A densidade energética está aqui considerada como sendo a quantidade que cada unidade de volume de biomassa leva em energia, na forma como ela é enviada para queima.

Em nosso caso, cada metro cúbico da biomassa energética possuía 260 kg e o poder calorífico estimado era de 12 GJ/t tal qual.

Logo, a densidade energética será:

0,26 t/m³ . 12 GJ/t = **3,12 GJ/m³**

Ou seja, cada metro cúbico dessa biomassa leva para a unidade de combustão uma energia total de 3,12 GJ.

Problema 32:

Um picador de casca energética consegue processar por dia cerca de 500 toneladas de material na consistência em que se encontra o mesmo (70%). Essa casca tem 10% de contaminação base peso seco com fragmentos de madeira que são devido a toretes que se quebram no descascador a tambor. Sabendo que a eficiência de descascamento no tambor é de 85% de remoção de casca e que em média a casca representa 8% base peso seco do peso das toras, deseja-se conhecer a quantidade de toras que é alimentada por dia ao descascador. Densidade aparente base seca das toras, como recebidas imediatamente antes do envio ao descascador é de 500 kg a.s./m³.

Solução:

Base referencial = Um dia de operações

Peso seco de biomassa picada por dia: 500 t . 0,7 = 350 t a.s./dia

Madeira na biomassa = 10% de 350 t = 0,10 . 350 = 35 t a.s./dia
Casca na biomassa = 350 – 35 = **315 t a.s./dia**

Saída de casca do descascador = 315 t secas/dia

Entrada de casca no descascador admitindo 85% de remoção de casca = 315 / 0,85 = 370,6 t secas de casca entrando no descascador

Por outro lado – as toras continham 370,6 toneladas secas de casca e a casca representava 8% do peso seco das toras:

100 toneladas a.s. toras ---------- 8 toneladas a.s. de casca

X ---------- 370,6 t a.s. casca

X = 4.632,5 toneladas absolutamente secas de toras

Tendo a densidade aparente dessas toras, como sendo igual a 500 kg a.s./m³ - ou 0,5 t a.s./m³, torna-se possível se calcular o volume de toras diariamente recebido pela unidade:

1 m³ ---------- 0,5 toneladas a.s.

Y ---------- 4.632,5 toneladas a.s.

Y = **9.265 m³ de toras com casca por dia**

Problema 33:

Dois picadores de toras produzem por mês 250.000 metros cúbicos de cavacos, sendo que a densidade aparente base seca dos mesmos é de 175 kg a.s./m³ de cavacos. Desse volume total, 75% são destinados ao processo de produção de celulose e o restante à caldeira de biomassa. Os cavacos do processo celulose são classificados e se removem mais 5% de seu peso (serragem, lascas e cavacos sobre-espessos), que são misturados aos cavacos energéticos para envio à caldeira de força. A mistura de cavacos energéticos tem uma umidade média de 25% e seu poder calorífico é de 14 GJ/t tal qual. Qual a energia total disponibilizada pelos cavacos energéticos por mês operacional?

Solução:

Base referencial: Um mês de operações

Peso seco total cavacos no mês:

250.000 m³ . 175 kg a.s./m³ = 43.750.000 kg = 43.750 toneladas absolutamente secas

Repartição dos cavacos:

75% Cavacos (Processo Celulose) = 32.812,5 t absolutamente secas
25% Cavacos (Energia) = 10.937,5 t absolutamente secas

Cavacos rejeitados do processo celulose (5%): 0,05 . 32.812,5
Cavacos rejeitados do processo celulose (5%): 1.640,625 t a.s.

Total de cavacos energéticos = 10.937,5 + 1.640,625 =

Total de cavacos energéticos = 12.578,125 t a.s./mês

Total de cavacos energéticos base úmida (75% consistência):

100 toneladas úmidas ---------- 75 toneladas a.s.
X ---------- 12.578,125 t a.s.

X = **16.770,83 toneladas úmidas de cavacos energéticos**

Cálculo da energia disponibilizada pelos cavacos por mês:

1 tonelada úmida de cavacos ---------- 14 GJ

16.770,83 toneladas úmidas ---------- Z

Z = **234.791,6 GJ** de energia disponibilizada pelos cavacos energéticos por mês

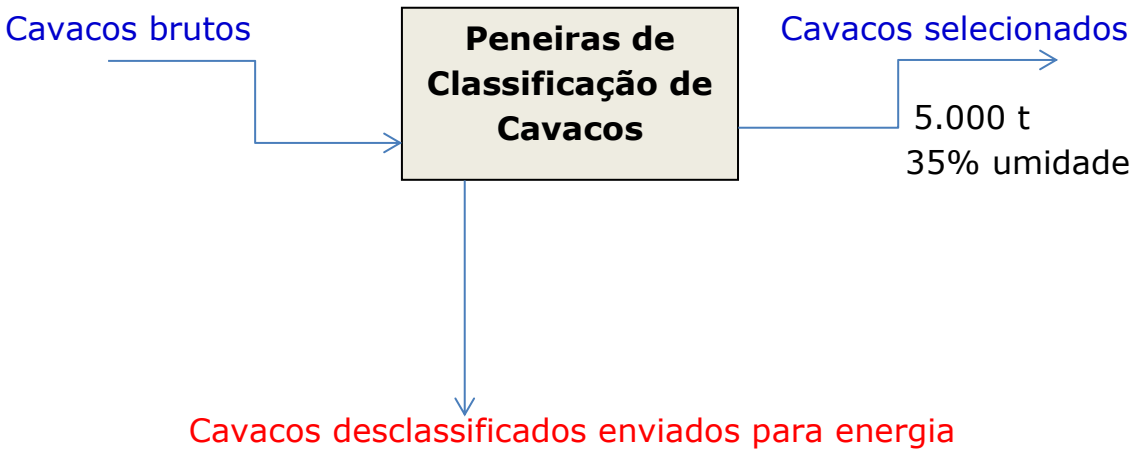
---

Problema 34:

Duas pilhas de cavacos abastecem duas linhas de classificação de cavacos antes do envio dos cavacos ao digestor. Os rejeitos (lascas, sobre-espessos, serragem e palitos de madeira) são separados e enviados para queima como biomassa energética. A proporção de cavacos desclassificados removidos é de 5% base peso seco. O digestor recebe diariamente 5.000 toneladas de cavacos na umidade de 35%, medidos por uma balança localizada na esteira de alimentação dos cavacos. Deseja-se conhecer a quantidade base seca de cavacos desclassificados que se remove para envio à pilha de biomassa energética.

Solução:

Base referencial: Um dia operacional



Cavacos selecionados: 5.000 toneladas úmidas (a 65% consistência)
Cavacos selecionados: 5.000 . 0,65 = 3.250 toneladas secas

Esses cavacos aceitos correspondem a 95% dos cavacos brutos, pois os outros 5% foram separados como cavacos energéticos:

Cavacos brutos (ainda não classificados):

100 t brutos ---------- 95 t a.s. aceitas de cavacos
X ---------- 3250 t a.s. aceitas

X = **3.421 toneladas a.s. cavacos brutos**

Cavacos energéticos = 3421 – 3250 =

Cavacos energéticos = **171 toneladas absolutamente secas de cavacos energéticos**

Problema 35:

Qual das biomassas abaixo possui maior densidade energética, expressa como GJ/volume de material empilhado? Qual a relação energética entre esses três materiais, base volume de material empilhado?
Sabe-se que as três biomassas possuem as seguintes características:

Cavacos de madeira de eucalipto:
Densidade aparente dos cavacos: 300 kg tais quais/m³ de cavacos
Poder calorífico inferior dos cavacos na umidade em que recebidos: 12 GJ/tonelada tal qual

Lenha de madeira de eucalipto:
Peso do estéreo de madeira: 450 kg tais quais/st de lenha
Poder calorífico inferior da lenha na umidade em que recebida: 15 GJ/tonelada tal qual de madeira

Briquete de madeira de eucalipto:
Peso do estéreo de briquete: 800 toneladas tais quais/st de briquete
Poder calorífico inferior dos briquetes na umidade em que recebidos: 18 GJ/tonelada tal qual.

Solução:

Cavacos de madeira de eucalipto:
Densidade aparente dos cavacos: 300 kg tais quais/m³ de cavacos
Poder calorífico inferior dos cavacos na umidade em que recebidos: 12 GJ/tonelada tal qual

Densidade energética dos cavacos base material empilhado:

0,3 toneladas/m³ x 12 GJ/tonelada = **3,6 GJ/m³ de cavacos**

Lenha de madeira de eucalipto:
Peso do estéreo de madeira: 450 kg tais quais/st de lenha
Poder calorífico inferior da lenha na umidade em que recebida: 15 GJ/tonelada tal qual de lenha de madeira

Densidade energética da lenha de eucalipto base material empilhado:

0,45 toneladas/st x 15 GJ/tonelada = **6,75 GJ/st de lenha**

Briquete de madeira de eucalipto:
Peso do estéreo de briquete: 800 kg tais quais/st de briquete
Poder calorífico inferior dos briquetes na umidade em que recebidos: 18 GJ/tonelada tal qual

Densidade energética dos briquetes de eucalipto base material empilhado:

0,80 toneladas/st x 18 GJ/tonelada = **14,4 GJ/st de briquete**

O briquete foi o material com maior quantidade de energia por volume de material empilhado

Relações entre os materiais, considerando os cavacos como sendo a unidade referencial:

Briquete	**:**	**Lenha**	**:**	**Cavacos**
4	**:**	**1,88**	**:**	**1**

SEÇÃO 04: CONSUMOS ESPECÍFICOS DE MADEIRA

Problema 36:

Uma fábrica de celulose kraft de eucalipto consome diariamente em seu digestor uma quantidade média de 20.000 metros cúbicos de cavacos classificados de madeira. A densidade aparente seca desses cavacos é de 165 kg a.s./m³. A produção diária de celulose na saída do digestor é de 1.800 toneladas absolutamente secas. Qual o consumo específico em madeira recebida na fábrica por tonelada de celulose produzida, sabendo-se que:
Madeira é recebida descascada, pois o descascamento se processa na floresta;
Proporção de cavacos removidos na classificação de cavacos: 5%;
Perdas de madeira no pátio e nas movimentações internas: 0,5% base peso seco;
Densidade aparente das toras base seca: 500 kg a.s./m³ sólido de toras

Solução:

Base referencial: Um dia de produção

Consumo pelo digestor de cavacos classificados: 20.000 m³/dia

Densidade aparente dos cavacos: 165 kg a.s./m³ = 0,165 t a.s./m³
Produção de celulose no digestor: 1.800 t a.s./dia

Consumo de cavacos classificados em peso seco:
20.000 m³ . 0,165 t a.s./m³ = **3.300 t a.s. cavacos por dia**

Cálculo dos cavacos brutos antes da classificação:

100 t a.s. cavacos brutos ---------- 95 t a.s. cavacos classificados
X ---------- 3.300 t a.s.

X = **3.474 t a.s. cavacos brutos sem classificação**

Cálculo do peso de toras descascadas antes das perdas de pátio:

100 t toras a.s. recebidas -------- 99,5 toneladas para picadores
Y ---------- 3.474 t a.s.

Y = **3.491,5 t a.s. toras sem casca recebidas pelo pátio**

Cálculo do volume de toras recebidas pelo pátio de toras:

Densidade aparente das toras base seca: 500 kg a.s./m³ sólido de toras = 0,5 t a.s./m³

1 m³ ---------- 0,5 t a.s.
Z ---------- 3.491,5 t a.s.

Z = **6.983 m³ sólidos de toras descascadas recebidas**

Consumo específico de madeira em m³/t a.s. de polpa produzida:

(6.983 m³ sólidos de toras recebidas) : (1.800 t a.s. celulose)

3,88 m³ sólidos de toras descascadas / t a.s. de celulose no digestor

Problema 37:

Calcular o consumo específico expresso com base em toras com casca de uma fábrica de celulose kraft, conhecendo-se as perdas e rendimentos de madeira ao longo do processo.
Sabe-se que:

- As toras são recebidas com casca e o descascamento ocorre na fábrica;
- A densidade aparente das toras recebidas é de 500 kg absolutamente secos/m³ sólido de toras;
- A perda de madeira no pátio é de 0,3% base peso seco do que entra no pátio;
- O rendimento do descascamento é de 90% base peso seco das toras ingressadas no descascador;
- A perda de madeira no descascamento é de 1% na forma de toretes que acompanham a casca removida;
- A classificação dos cavacos remove 5% em peso seco de finos, cascas e cavacos sobre-dimensionados;
- O rendimento depurado na conversão da madeira a celulose no digestor kraft é de 53%;
- O rendimento da depuração é de 98,5%;
- O rendimento da deslignificação com oxigênio é de 98%;
- O rendimento no branqueamento é de 96%;
- A perda de fibras nos hidrociclones e nas águas brancas é de 0,5% em peso seco.

O consumo específico deve ser expresso em m³ de toras recebidas por tonelada seca ao ar de celulose branqueada.

Solução:

Base referencial: 1 m³ de toras recebidas com casca ≡ 0,5 t a.s. toras com casca

Esse metro cúbico de toras recebidas pesa 0,5 toneladas absolutamente secas em função de sua densidade aparente no recebimento das toras

Rendimentos ao longo do processo e mudanças no peso referencial de toras recebidas (peso inicial de 0,5 t a.s.):

- A perda de madeira e casca no pátio é de 0,3% base peso seco do que entra no pátio:

(0,5 t a.s.) . 0,997 = 0,4985 t a.s.

- O rendimento do descascamento é de 90% base peso seco das toras ingressadas no descascador

(0,4985 t a.s.) . 0,9 = 0,44865 t a.s.

- A perda de madeira no descascamento é de 1% na forma de toretes que acompanham a casca removida

(0,44865 t a.s.) . 0,99 = 0,4441635 t a.s.

- A classificação dos cavacos remove 5% em peso seco de finos, cascas e cavacos sobre-dimensionados

(0,4441635 t a.s.) . 0,95 = 0,421956 t a.s.

- O rendimento depurado na conversão da madeira a celulose no digestor kraft é de 53%

(0,421956 t a.s.) . 0,53 = 0,22364 t a.s.

- O rendimento da depuração é de 98,5%

(0,22364 t a.s.) . 0,985 = 0,22028 t a.s.

- O rendimento da deslignificação com oxigênio é de 98%

(0,22028 t a.s.) . 0,98 = 0,2159 t a.s.

- O rendimento no branqueamento é de 96%

(0,2159 t a.s.) . 0,96 = 0,2072 t a.s.

- A perda de fibras nos hidrociclones e nas águas brancas é de 0,5% em peso seco

(0,2072 t a.s.) . 0,995 = **0,2062 t a.s. de celulose branqueada**

Ou seja:

1 m³ toras ≡ 0,5 t a.s. toras ≡ 0,2062 t a.s. celulose branqueada
X ---------- 0,9 t a.s. ≡ 1 t seca ao ar

X = **4,36 m³ de toras recebidas com casca por tonelada seca ao ar de celulose branqueada**

Problema 38:

Admitir agora, que a mesma fábrica do exemplo anterior decida não mais incluir no consumo específico da produção de celulose os resíduos de madeira e de casca que são convertidas em biomassa energética. Somente o que a produção de celulose realmente consome de madeira deverá ser atribuído como consumo específico da celulose. As remoções de materiais para biomassa energética deverão ser incluídas na "conta" da energia e não mais "pagos" pela celulose.
Calcular então o consumo específico de madeira pelo produto celulose, sabendo-se que a densidade apenas da madeira é de 0,52 t a.s./m³ de madeira, enquanto a densidade da casca era de 0,4 t a.s./m³.

Solução:

Base referencial: 1 m³ de toras recebidas com casca ≡ 0,5 t a.s. toras com casca

Quantidades de biomassas que podem ser utilizadas como biomassa energética, excetuando-se o licor preto:

- Madeira recolhida no pátio de toras

0,5 t a.s. - 0,4985 t a.s. = 0,0015 t a.s.

- Casca removida no descascador

(0,4985 t a.s.) . 0,1 = 0,04985 t a.s.

- Toretes perdidos no descascador

(0,44865 t a.s.) . 0,01 = 0,004486 t a.s.

- Cavacos desclassificados:

(0,4441635 t a.s.) . 0,05 = 0,022208 t a.s.

Biomassa energética:

Casca = 0,04985 t a.s.
Madeira = 0,028194 t a.s.
Total de biomassa a.s. = **0,078044 t a.s./m³ de toras recebidas**

Sendo que a proporção aproximada de casca em peso na biomassa energética é 64% e de madeira é de 36%

A proporção em volume de casca seria menor, porque a casca tem densidade menor que a madeira:

Volume de materiais energéticos que foram recolhidos pelas operações:

Volume de casca energética recolhido pelas operações:

Peso casca/Densidade da casca = (0,04985 t a.s.) : 0,4 =
0,1246 m³ de casca

Volume de madeira energética recolhido pelas operações:

Peso madeira/Densidade da madeira = (0,028194 t a.s.) : 0,52 =

0,05422 m³ de madeira

Quantidade de material original que realmente foi realmente aplicado na fabricação da celulose:

1 m³ de toras com casca – 0,1246 m³ casca energética – 0,05422 m³ madeira energética = **0,8212 m³**

Esses 0,8212 m³ de toras iniciais produziram então 0,2062 t a.s. celulose branqueada

0,8212 m³ ---------- 0,2062 t a.s. celulose branqueada
W---------- 0,9 t a.s. (equivalente a 1 t seca ao ar)

W = **3,58 m³ de madeira de processo por t seca ao ar de celulose branqueada**

Problema 39:

Comparar a diferença percentual entre os consumos específicos de madeira entre os processos kraft e pré-hidrólise kraft, sendo que dados laboratoriais com mesmos cavacos mostraram os seguintes resultados:

Processo kraft:
Rendimento na polpação: 53%
Rendimento na deslignificação com oxigênio: 98%
Rendimento no branqueamento: 96%

Processo pré-hidrólise kraft:
Rendimento da pré-hidrólise: 80%
Rendimento na polpação: 48%
Rendimento na deslignificação com oxigênio: 98,5%
Rendimento no branqueamento: 97%

Solução:

Base referencial: 100 toneladas a.s. de madeira

Processo kraft:

Rendimento na polpação: 53%
Rendimento na deslignificação com oxigênio: 98%
Rendimento no branqueamento: 96%

100 t a.s. madeira . 0,53 t a.s. celulose/t a.s. madeira =
53 toneladas a.s. de celulose não branqueada

(53 t a.s. celulose não branqueada) x 0,98 = 51,94 t a.s. celulose após deslignificação com oxigênio

(51,94 t a.s. celulose após O2 Delig.) . 0,96 = 49,86 t a.s. celulose branqueada

Consumo específico processo kraft:
(100 t a.s. madeira original) : 49,86 t a.s. celulose branqueada =

2,0056 t madeira a.s./t a.s. celulose kraft branqueada

Processo pré-hidrólise kraft:

Rendimento da pré-hidrólise: 80%
Rendimento na polpação: 48%
Rendimento na deslignificação com oxigênio: 98,5%
Rendimento no branqueamento: 97%

100 t a.s. madeira . 0,80 t a.s. madeira hidrolisada/t a.s. madeira =
80 toneladas a.s. de madeira hidrolisada

(80 toneladas a.s. de madeira hidrolisada) x 0,48 = 38,4 t a.s. celulose não branqueada

(38,4 t a.s. celulose não branqueada) . 0,985 = 37,824 t a.s. celulose após deslignificação com oxigênio

(37,824 t a.s. celulose após O2 Delig.) . 0,97 = 36,69 t a.s. celulose pré-hidrólise kraft branqueada

Consumo específico processo pré-hidrólise kraft:
(100 t a.s. madeira original) : 36,69 t a.s. celulose branqueada =

2,726 t madeira a.s./t a.s. celulose pré-hidrólise kraft branqueada

Relações entre consumos específicos:

2,726 : 2,0056 = **1,3592**

O que significa que o processo pré-hidrólise kraft desse exemplo específico consome cerca de **35,92% a mais de madeira** que o processo kraft para produção de uma tonelada de celulose branqueada.

Problema 40:

Calcular o IMACel potencial (Incremento Médio Anual em toneladas equivalentes de celulose absolutamente seca de polpa não-branqueada) de uma floresta clonal (Clone 1) de eucalipto que apresenta as seguintes características:

- Produtividade florestal média (Incremento Médio Anual) de 55 m³ de madeira com casca por hectare.ano
- Teor volumétrico de casca: 10%
- Densidade básica da madeira: 0,46 t a.s./m³
- Rendimento depurado na polpação dos cavacos: 51%

Solução:

Base referencial: Um hectare de efetivo plantio

Dados clone 01:
55 m³ de madeira com casca/ha.ano
10% de casca em volume
Densidade básica da madeira: 0,46 t a.s./m³ sólido
Rendimento depurado da polpação kraft: 51%

Produtividade florestal apenas em volume de madeira:

55 . 0,9 = 49,5 m³ de madeira/ha.ano

Produtividade florestal apenas em peso de madeira:
(49,5 m³/ha.ano) . (0,46 t a.s. madeira/m³) = **22,77 t a.s. madeira/ha.ano**

Produtividade florestal em equivalência de celulose (IMACel)
(22,77 t a.s. madeira/ha.ano) . (0,51 t a.s. celulose/t a.s. madeira) =

IMACel = 11,61 t a.s. celulose/ha.ano

Problema 41:

Outra floresta clonal (Clone 2) apresenta os seguintes resultados comparativos ao Clone 1:

- Produtividade florestal média (Incremento Médio Anual) de 50 m³ de madeira com casca por hectare.ano
- Teor volumétrico de casca: 12%
- Densidade básica da madeira: 0,52 t a.s./m³
- Rendimento depurado na polpação dos cavacos: 50%

Entre os clones 1 e 2, qual apresenta-se mais promissor em termos de IMACel?

Solução:

Base referencial: Um hectare de efetivo plantio

Dados clone 02:
50 m³ de madeira com casca/ha.ano
12% de casca em volume
Densidade básica da madeira: 0,52 t a.s./m³ sólido
Rendimento depurado da polpação kraft: 50%

Produtividade florestal apenas em volume de madeira:
50 . 0,88 = 44 m³ de madeira/ha.ano

Produtividade florestal apenas em peso de madeira:
(44 m³/ha.ano) . (0,52 t a.s. madeira/m³) = **22,88 t a.s. madeira/ha.ano**

Produtividade florestal em equivalência de celulose (IMACel)
(22,88 t a.s. madeira/ano) . (0,50 t a.s. celulose/t a.s. madeira) =

IMACel = 11,44 t a.s. celulose/ha.ano

Em termos de IMACel, os dois clones são bastante similares, mas o clone 01 pode ter algumas desvantagens pela necessidade de se ter que colher, transportar e processar um volume maior de toras de madeira. Algo que demandaria mais investigações tais como: custos em logística de colheita e transporte, produtividade do digestor, limitações de alimentação do digestor em função da menor densidade aparente esperada para os cavacos, etc., etc.

Problema 42:

Qual o consumo específico de madeira (expresso em metros cúbicos de madeira sólida por tonelada absolutamente seca de celulose não branqueada) para o caso em que se utilizam cavacos de uma madeira que possui densidade de 0,5 t a.s./m³ e o rendimento na conversão da madeira a celulose kraft seja de 50%?

Solução:

Base referencial: Um m³ de madeira

1 m³ madeira ---------- 0,5 t a.s. madeira

Com 50% de rendimento na polpação, esse peso de 1 m³ de madeira resultará em:
(0,5 t a.s. madeira) . (0,5 t a.s. celulose/t a.s. madeira) =
0,25 t a.s. celulose/m³ de madeira

Ou seja:

1 m³ de madeira ---------- 0,25 t a.s. celulose
Z ---------- 1 t a.s. celulose

Z = **4 m³ de madeira/t a.s. celulose**

Problema 43:

A área de melhoramento genético de uma empresa de fabricação de celulose kraft de *Eucalyptus* tem como objetivos para seu produto florestal: aumentar a média da densidade básica da madeira de 0,46 para 0,52 t/m³ e aumentar o rendimento na conversão da madeira a celulose dos atuais 49% para 53%. Com isso, qual seria a expectativa de redução no consumo específico de madeira para produção de uma tonelada absolutamente seca de polpa kraft não branqueada?

Solução:

Consumo específico atual:

Dados:
Densidade básica madeira = 0,46 t a.s./m³
Rendimento polpação kraft: 49%

Produção de celulose a partir de 1 m³ sólido de madeira:
(0,46 t a.s. madeira/m³) . (0,49 t a.s. celulose/ t a.s. madeira) = 0,2254 t a.s. celulose/m³ de madeira

Ou, inversamente: **4,437 m³ de madeira/t a.s. celulose**

Consumo específico futuro:

Dados:
Densidade básica madeira = 0,52 t a.s./m³
Rendimento polpação kraft: 53%

Produção de celulose a partir de 1 m³ sólido de madeira no futuro:
(0,52 t a.s. madeira/m³) . (0,53 t a.s. celulose/ t a.s. madeira) = 0,2756 t a.s. celulose/m³ de madeira

Ou, inversamente: **3,628 m³ de madeira/t a.s. celulose**

A expectativa para o consumo específico de madeira para produção de uma tonelada absolutamente seca de polpa kraft não branqueada será de uma redução dos atuais 4,437 m³ de madeira/t a.s. celulose para 3,628 m³ de madeira/t a.s. celulose, ou seja, um ganho em menor consumo específico de 18,2% em relação ao consumo atual.

Problema 44:

Qual a quantidade anual de água que entra através da umidade da madeira em uma fábrica de celulose que consome 3,5 milhões de metros cúbicos de madeira descascada com uma densidade de 0,5 t a.s./m³ e teor de umidade da madeira de 35%? Admitindo que essa fábrica se utilize de água que capta de um rio local na proporção de 25 m³/tonelada a.s. de celulose produzida, pergunta-se qual a proporção de água que entra com a madeira em relação à água total utilizada no processo, considerando as fontes água na madeira e água captada do rio como as mais importantes. Admitir um consumo específico de madeira de 3,5 m³/tonelada a.s. de celulose produzida.

Solução:

Base referencial: Um ano de operações

Consumo de madeira base volume: 3,5 milhões de m³ sólidos

Consumo de madeira base peso:
(3,5 milhões m³) . 0,5 t a.s./m³ sólido = **1,75 milhões t a.s. de madeira**

Água na madeira:
Umidade: 35%
Consistência: 65%

100 t úmidas ---------- 65 t a.s. madeira
X ---------- 1,75 milhões t a.s. madeira

X = 2,692 milhões de toneladas úmidas

Água na madeira = 2,692 – 1,75 = 0,942 milhões de toneladas de água
Ou **942.000 m³ de água da umidade da madeira por ano**

Produção de celulose por ano:
(3,5 milhões de m³ de madeira) : (3,5 m³ madeira/t a.s. celulose) =
1 milhão de toneladas a.s. de celulose por ano

Água captada do rio:
(25 m³ água do rio/t a.s. de celulose) . (1 milhão toneladas de celulose)=
25 milhões de m³ de água captada ao ano

Água da madeira = 0,942 milhões de m³ por ano

Relação Água Madeira/Água Total Utilizada:
Água total utilizada no processo será no nosso caso a soma da água que entra com a madeira e a água captada do rio

{(0,942) : (25 + 0,942)} . 100 = **3,63% da água utilizada no processo entra na fábrica via umidade da madeira**

==========

==========

SEÇÃO 05: PRODUÇÃO DE CELULOSE – DIGESTÃO KRAFT

Problema 45:

O pessoal técnico de uma fábrica de celulose kraft consegue realizar modificações processuais e tecnológicas em seu digestor e com isso, para a mesma madeira, conseguiram aumentar o rendimento depurado da polpação de 50% para 53%. Qual o aumento esperado na produção diária da fábrica, sabendo-se que continuará a ser alimentado ao digestor um volume de 15.000 metros cúbicos de cavacos de madeira com densidade aparente de 0,165 t absolutamente secas por m³ de cavacos?

Solução:

Dados:
Volume alimentado de cavacos = 15.000 m³ /dia
Peso seco alimentado por dia = 15.000 m³/dia . 0,165 t a.s./m³
Peso seco alimentado por dia = 2.475 t cavacos base seca / dia

Situação atual:
Produção equivalente de celulose com 50% de rendimento:

2.475 . 0,5 = 1.237,5 toneladas a.s. de celulose não-branqueada / dia

Situação futura:
Produção equivalente de celulose com 53% de rendimento:

2.475 . 0,53 = **1.311,8 toneladas a.s. de celulose não-branqueada / dia**

Aumento diário de produção:
1.311,8 – 1.237,5 = **74,3 t secas / dia**

Ou então, percentualmente base valor inicial:

(74,3 / 1.237,5) . 100 = **6% de aumento de produção**

Problema 46:

Uma empresa fabricante de celulose kraft de eucalipto decide trabalhar sob nova orientação, aumentando o número kappa da polpação de 16 para 18. Com isso, conseguiu aumentar seu rendimento bruto na polpação de 51 para 53%. Entretanto, o teor de rejeitos (nós e palitos) que era de 0,5%, passou a 1,5%. Evidentemente, alternativas existem para se recircular os rejeitos maiores de volta ao digestor. Quais as considerações que deveriam ser levantadas pela equipe técnica para ver se a mudança representaria ganhos em produção e resultados financeiros?

Solução:

Base referencial: 100 toneladas absolutamente secas de madeira

Situação 01: 51% de rendimento bruto e 0,5% de palitos rejeitados

51 – 0,5 = 50,5% de rendimento depurado

Ou seja, a cada 100 toneladas de madeira enviadas ao digestor se produziriam 50,5 toneladas de celulose depurada

Situação 02: 53% de rendimento bruto e 1,5% de rejeitos

53 – 1,5% = 51,5% de rendimento depurado

Ou seja, a cada 100 toneladas de madeira enviadas ao digestor se produziriam 51,5 toneladas de celulose depurada

Aparentemente, a situação é bastante interessante, porém os técnicos deverão lidar com quantidades adicionais de rejeitos de cozimento, que podem ser:

- Retornados ao digestor para recozimento, mas à custa de ocupar volume de digestor e com isso se ter que reduzir a quantidade de alimentação do digestor com cavacos novos;
- Vender os rejeitos para algum interessado em produzir uma pasta semi-química;
- Produzir na própria fábrica uma polpa semi-química para comercialização;
- Destinar um digestor batch para polpação dos rejeitos conforme sendo gerados em quantidades suficientes para cozimentos em separado nesse digestor – a seguir, a polpa de rejeitos poderia ser reincorporada ao processo em mistura com a polpa de cavacos virgens.

Todas essas situações exigem estudos de balanços, que podem ser observados em um de nossos capítulos do Eucalyptus Online Book, disponível em: http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT05_residuos.pdf

Os técnicos devem elaborar balanços de massa e tentar verificar as influências diretas na área e em áreas afins (branqueamento, lavagem de massa, propriedades da celulose aos clientes, consumo de reagentes, etc.).

Além disso, são necessários estudos econômicos para quantificar vantagens, desvantagens, retorno de investimentos e *pay-back* dos investimentos.

Problema 47:

Em uma operação normal de um pequeno digestor contínuo produzindo 300 toneladas absolutamente secas por dia de celulose kraft de eucalipto são consumidos 700 metros cúbicos de licor branco. O rendimento depurado na polpação é de 50% e a umidade da madeira era 30%. O licor preto fraco utilizado para completar volume é usado na base de 1.100 m^3/dia. O licor branco apresenta uma composição de 80 g/l de NaOH; 20 g/l de Na_2S e 8 g/l de $Na_2(CO_3)$, todos expressos em equivalentes a Na_2O. O licor preto fraco possuía um álcali ativo de 4 gramas de Na_2O ativo por litro.
Pergunta-se:

- Qual a carga alcalina de cozimento englobando licor branco e preto fraco?
- Qual a sulfidez do licor branco virgem?
- Qual a atividade do licor branco virgem?
- Qual a relação licor/madeira?
- Qual a necessidade diária de álcali total titulável com o licor branco virgem, expresso como Na_2O?
- Caso a perda de sódio seja de 5% ao longo do ciclo kraft, qual a necessidade diária de *make-up* expresso dessa vez como NaOH?

Solução:

Dados:
300 toneladas a.s./dia de celulose não branqueada
700 m^3 de licor branco/dia
1.100 m^3 de licor preto fraco/dia
50% de rendimento de polpação kraft
Álcali ativo licor branco: 100 g Na_2O/L = 100 kg/m^3
Álcali ativo licor preto fraco: 4 g Na_2O/L = 4 kg/m^3

Cálculo da quantidade de madeira consumida por dia:

100 toneladas a.s. madeira ---------- 50 t a.s. celulose
X ---------- 300 t a.s./dia

X = 600 t a.s. madeira

Quantidade de álcali ativo adicionado por dia:

- Através do licor branco:

700 m³/dia . 100 kg/m³ = 70.000 kg/dia

- Através do licor preto fraco:

1.100 m³/dia . 4 kg/m³ = 4.400 kg/dia

- Total de AA por dia:

70.000 + 4.400 = 74.400 kg/dia = 74,4 t AA/dia

Cálculo da carga ativa alcalina:

{(74,4 t AA/dia) : (600 t a.s. madeira/dia)} . 100 = **12,4% Na_2O ativo**

Cálculo da sulfidez do licor branco virgem:

{20 g Na_2S/L : (80 g NaOH/L + 20 g Na_2S/L)} . 100 =
20% Sulfidez
Todos os compostos expressos como Na_2O

Cálculo da atividade do licor branco virgem:

{100 g Na_2O ativo/L : (Álcali Total Titulável)} . 100
{100: (100+8)} . 100 = **92,6% de atividade**
Todos os compostos expressos como Na_2O

Cálculo da relação licor madeira (com água da madeira):
700 m³ licor branco virgem + 1.100 m³ de licor preto fraco + Água da Madeira

Água da Madeira:

100 t madeira úmida ------- 70 toneladas a.s.
X ---------- 600 t a.s.

X = 857,1 toneladas úmidas de madeira/dia

Logo,
Água na madeira = 857,1 – 600 = 257,1 toneladas água/dia

Líquido total: 700 + 1.100 + 257,1 = 2.057,1 toneladas (ou m³)

Relação L/M = 2.057,1 : 600 =
L/M = 3,43

Necessidade diária de ATT - Álcali Total Titulável/dia:

ATT = 108 g/L ou 108 kg/m³

700 m³ . 108 kg ATT/m³ = 75.600 kg ATT/dia = **75,6 t ATT/dia como licor branco**

Perda alcalina de 5% de sódio do ATT/dia:

0,05 . 75,6 toneladas ATT/dia = **3,78 t Na_2O/dia de perda**

Make-up por dia como NaOH:

NaOH ---------- Na_2O

40 g ---------- 31 g
Z ---------- 3,78 t

Z = **4,88 t NaOH/dia de *make-up***

Problema 48

Qual o consumo de soda cáustica por tonelada absolutamente seca de celulose em uma polpação pelo processo soda de uma madeira de eucalipto, usando-se uma carga alcalina ativa de 12% de Na_2O? Admitir um rendimento no cozimento de 45%. Caso a fábrica dispusesse de uma unidade de recuperação de soda cáustica e essa

recuperação fosse de 94%, qual seria o *make-up* unitário requerido para manter o sistema em equilíbrio?

Solução:

Dados:
Rendimento da polpação: 45%
Carga alcalina: 12% Na_2O

Base referencial: 100 toneladas a.s. de madeira

100 t a.s. corresponderão a 45 t a.s. de celulose
100 t a.s. de madeira consumirão 12 t de Na_2O

Então:

45 t a.s. de celulose ---------- 12 t Na_2O
1 t a.s. de celulose ---------- X

X = **0,267 t Na_2O/t a.s. celulose**

Correspondência em NaOH:

NaOH ---------- Na_2O

40 g ---------- 31 g
W ---------- 0,267 t

W **= 0,3445 t NaOH/t a.s. de celulose**

Perdas de soda cáustica = (100 – 94) = 6%

Cálculo do *make-up* unitário e necessário de soda cáustica:

{0,3445 t NaOH/t a.s. de celulose} . 0,06 =
0,02067 toneladas de NaOH/tonelada de celulose a.s. produzida =

20,67 kg de NaOH/t a.s. celulose produzida

Problema 49:

Dispõe-se de um pequeno digestor "batch" de 50 m^3 de capacidade. Para iniciar a operação do mesmo, decidimos pelas seguintes condições operacionais:

- Madeira a cozinhar: Eucalipto
- Densidade aparente dos cavacos base seca: 180 kg a.s./m^3
- Umidade dos cavacos: 37%
- Carga de álcali ativo: 15% como Na_2O ativo
- Concentração do licor branco: 125 g/l de Na_2O ativo
- Densidade do licor branco: 1,10 g/cm^3 ou 1,10 t/m^3
- Relação Licor/Madeira base peso por peso: 3/1
- Rendimento da polpação: 48%

Pergunta-se:

1. Com uma compactação dos cavacos em 10% e com enchimento de 95% do volume do digestor, qual a quantidade em peso de cavacos secos alimentados ao digestor?
2. Quantos metros cúbicos de licor branco serão requeridos?
3. Qual a quantidade de licor de cozimento, incluindo a água da madeira, será necessária? Quanto de água deverá ser adicionado para completar volume e se estabelecer a relação L/M desejada?
4. Qual a quantidade de celulose será obtida pela polpação em questão?

Solução:

Dados:
Capacidade do digestor: 50 m^3
Densidade aparente dos cavacos base seca: 180 kg a.s./m^3
Umidade dos cavacos: 37%
Carga de álcali ativo: 15% como Na_2O
Concentração do licor branco: 125 g/l de Na_2O ou 125 kg/m^3
Densidade do licor branco: 1,10 g/cm^3 ou 1,10 t/m^3
Relação Licor/Madeira (peso por peso): 3/1
Rendimento da polpação: 48%

Cálculo do volume de cavacos no interior do digestor:
95% de 50 m^3 = 47,5 m^3

Densidade aparente dos cavacos base seca: 180 kg a.s./m³
10% de compactação: 180 . 1,1 = 198 kg a.s./m³ = 0,198 t a.s./m³

Peso seco de cavacos colocados no interior do digestor:
47,5 m³ . 0,198 t a.s./m³ = **94,05 toneladas a.s. de cavacos**

Carga alcalina aplicada: 15% de Na_2O ativo
Concentração do Na_2O ativo no licor branco: 125 g Na_2O ativo/L
Concentração do Na_2O ativo no licor branco: 125 kg Na_2O ativo /m³

Quantidade em peso de Na_2O ativo a aplicar por carga de digestor:
0,15 . 94,05 t a.s. de madeira = **14,11 t Na_2O ativo/carga digestor**

Quantidade de licor branco a introduzir no digestor:

125 kg Na_2O ativo ---------- 1 m³
14.110 kg Na_2O ativo ---------- W

W = **112,88 m³ de licor branco**

Peso de licor branco: 112,88 m³ . 1,1 t/m³ = **124,17 t licor branco**

Água na madeira:
Umidade = 37%
Consistência = 63%

Peso úmido dos cavacos:

100 t úmidas ---------- 63 toneladas absolutamente secas
Z ---------- 94,05 t a.s. cavacos

Z = 149,29 t úmidas

Água na madeira = 149,29 – 94,05 = **55,24 t água na madeira**

Relação L/M = (3 toneladas líquido) : (1 tonelada a.s. cavacos)
Líquido total no sistema:
L/M = 3/1

3 . (94,05 toneladas de cavacos) = **282,15 toneladas de líquido**

Água a ser introduzida:
(55,24 t água madeira + 124,17 t licor branco + Água a adicionar) = 282,15

Água a adicionar = **102,74 toneladas de água**

Quantidade de celulose produzida por cozimento:
Rendimento na polpação = 48%
(94,05 t a.s. de madeira) . (0,48 t celulose a.s./t a.s. madeira) =

45,14 t a.s. celulose por cozimento

Problema 50:

Uma fábrica de celulose possui 6 digestores descontínuos cada um deles com capacidade de receber 200 metros cúbicos de cavacos. A fábrica opera cada digestor em um regime de 8 ciclos diários. O rendimento médio em celulose é de 48% e os cavacos possuem densidade aparente base seca média de 160 kg a.s./m³. Qual a quantidade esperada de produção de celulose para essas condições operacionais?

Solução:

Dados dos digestores para polpação:
6 digestores
200 m³ por digestor
8 cozimentos/dia por digestor

Total de cavacos:
6 digestores . 200 m³/digestor . 8 cozimentos/dia = **9.600 m³/dia**

Peso seco de cavacos:

160 kg a.s./m³ = 0,16 t a.s./m³
0,16 t a.s. /m³ de cavacos . 9.600 m³ cavacos/dia =

1.536 toneladas a.s. de cavacos por dia

Produção estimada de celulose com base em 48% de rendimento da polpação:

1.536 t a.s. cavacos . 0,48 = **737,28 toneladas a.s. de polpa/dia**

Problema 51:

Qual o volume de toras de madeira consumido por dia por um digestor contínuo do tipo "Compact Cooking" sabendo que:

- Número de rotações na alimentação de cavacos: 25 rpm
- Capacidade de alimentação por rotação: 0,75 m³
- Densidade aparente base seca dos cavacos: 185 kg a.s./m³
- Densidade aparente da madeira base madeira sólida recebida na fábrica: 0,55 t a.s./m³ sólido de toras

Solução:

Dados:
Nº rotações na alimentação de cavacos: 25 rpm
Capacidade de alimentação por rotação: 0,75 m³

Volume alimentado de cavacos por minuto: 25 rpm . 0,75 m³ = 18,75 m³/minuto

Volume de cavacos alimentados por dia:

18,75 m³/min . 60 min/h . 24 h/dia = 27.000 m³/dia

Peso seco de cavacos alimentados por dia:

0,185 t a.s. cavacos/m³ . 27.000 m³/dia =
4.995 t a.s. madeira como cavacos/dia

Volume de toras consumidas:

1 m³ de toras ---------- 0,55 t a.s. madeira
X ---------- 4.995 t a.s. madeira

X = **9.081,8 m³ toras por dia de produção**

Problema 52:

Uma fábrica de celulose produz 1.500 toneladas absolutamente secas por dia de operação. O cozimento se faz com licor branco com 85% de atividade e se adota uma carga alcalina ativa de 20% como NaOH. O rendimento do processo é de 50%. Qual a geração diária aproximada de sólidos secos no licor preto que sai do digestor para envio à evaporação, sabendo também que a fábrica não possui deslignificação com oxigênio?

Solução:

Base referencial: 1 tonelada absolutamente seca de madeira

Quantidade de álcali ativo como NaOH: 0,2 toneladas de NaOH/tonelada de madeira a.s.

Na verdade, esses sólidos são constituídos de NaOH e Na_2S, porém não existe referência no problema sobre a sulfidez do licor branco. Como os equivalentes gramas do NaOH e do Na2S são próximos, podemos considerar para efeito prático que estejamos trabalhando com 0,2 toneladas de sólidos minerais ativos por tonelada de madeira.
Equivalente grama NaOH = 40 g
Equivalente grama Na_2S = 39 g

Entretanto, o equivalente grama do Na_2CO_3 já não é tão similar:
Equivalente grama Na_2CO_3 = 53 g

Por isso, ao se calcular a quantidade de álcali ativo total expresso como NaOH, encontramos:

0,2 : 0,85 = 0,2353 toneladas NaOH total

Sendo que desse total, a quantidade de Na_2CO_3 será: 0,2353 – 0,2= 0,0353 toneladas de Na_2CO_3 expresso como NaOH

É preciso converter esse valor expresso em NaOH para Na_2CO_3:

NaOH ---------- Na_2CO_3

40 g ---------- 53 g
0,0353 t ---------- Z

Z = 0,0468 t de Na_2CO_3

Quantidade total de sólidos secos minerais no licor preto base 1 tonelada inicial de madeira cozida no digestor:

0,2 + 0,0468 = 0,2468 toneladas secas de sólidos minerais de cozimento

Quantidade de sólidos orgânicos obtida a partir do rendimento na conversão de 1 tonelada a.s. de madeira para celulose:

Rendimento da polpação = 50%
1 tonelada a.s. madeira ---------- 0,5 toneladas a.s. celulose
E consequentemente iriam para o licor mais 0,5 toneladas de material orgânico dissolvido da madeira.

Total de sólidos no licor preto: 0,5 toneladas orgânicas + 0,2468 toneladas inorgânicas =
0,7468 t SST – isso para 0,5 toneladas a.s. de polpa produzida

0,7468 t SST ---------- 0,5 t a.s. celulose
Z ---------- 1 t a.s. celulose

Z = **1,4936 t SST (Sólidos Secos Totais)/t a.s. celulose não branqueada**

Problema 53:

No caso do problema anterior, caso inseríssemos dois fatores adicionais que afetam a relação SST – Sólidos Secos Totais por tonelada de celulose, a saber:

- Deslignificação com oxigênio, com 2,5% de adição de soda cáustica base polpa seca e rendimento de 98% - com total recuperação dos sólidos secos para o sistema de recuperação do licor;
- Considerar nesse caso, que da adição de 20 kg de oxigênio por tonelada de celulose ao reator, a maior parte desse oxigênio se converte em gás carbônico e sai com a fase gasosa, não agregando assim peso à polpa ou aos sólidos do licor.
- Todo o filtrado de lavagem da deslignificação com oxigênio retorna em contra-lavagem para o digestor e sai junto com o licor preto enviado à evaporação.

Mostrar em um gráfico o balanço de massa para essa nova situação, com as quantidades de materiais participando no sistema.

Solução:

Valor obtido sem deslignificação com oxigênio conforme problema anterior: **1,4936 t SST (Sólidos Secos Totais)/t a.s. celulose não branqueada**

Nova situação:

Quantidades adicionais de SST ao licor

0,02 + 0,025 = 0,045 t SS/tonelada a.s. de celulose ingressando no sistema de deslignificação

SST gerados em Digestão Kraft e Deslignificação com Oxigênio:

1,4936 + 0,045 = **1,5386 t SST/t a.s. de celulose não-branqueada saindo do digestor**

Muitas empresas não se referem à polpa absolutamente seca, mas sim à polpa seca ao ar, o que representaria um cálculo a mais:

(1,5386 t SST/t a.s.) . (0,9 t a.s./t s.a.) = **1,3847 t SST/t s.a. celulose não-branqueada saindo do digestor**

Problema 54:

Uma fábrica de celulose produz diariamente 1.000 toneladas (seca ao ar) de celulose kraft não branqueada de madeira de *Pinus taeda*. A densidade média da madeira era de 0,4 t a.s./m³ e o rendimento da conversão foi encontrado em média ser de 45%.
Deseja-se conhecer:

- Quantidade de madeira em metros cúbicos sólidos para produção de uma tonelada seca ao ar de celulose?
- Quantidade de madeira processada anualmente, admitindo-se 350 dias de operação da fábrica?
- Área total a ser mantida reflorestada, admitindo que essa espécie de *Pinus* tenha incremento médio anual de 30 m³/ha.ano, sendo que apenas 65% desse crescimento costuma ser destinado à fábrica de celulose e o restante a usos mais valiosos de madeira (serraria, produtos de alto valor agregado).

Solução:

Dados:
Densidade madeira: 0,4 t a.s./m³
Rendimento da conversão da madeira em celulose: 45%

Quantidade de celulose produzida a cada m³ de madeira:
(0,4 t a.s. madeira/m³) . (0,45 t a.s. celulose/t a.s. madeira) =
0,18 t a.s. celulose/m³ madeira

Consumo específico de madeira por tonelada seca ao ar de celulose:

Uma tonelada seca ao ar possui 0,9 t de celulose absolutamente seca e 0,1 t de água (com 10% de umidade, como se define o peso seco ao ar)

1 m³ ---------- 0,18 t celulose a.s.
X ---------- 0,9 t celulose a.s.

X = **5 m³ madeira/t seca ao ar de celulose**

Produção anual de celulose (em toneladas secas ao ar):

1.000 t/dia . 350 dias = 350.000 toneladas de celulose seca ao ar por ano

Quantidade de madeira processada anualmente:
(350.000 t s.a. celulose/ano) . (5 m³ madeira/t s.a. celulose) =
1.750.000 m³ madeira/ano

Produção de madeira apenas para processo de celulose em um hectare de floresta:

(30 m³ madeira/ha.ano) . 0,65 = **19,5 m³ madeira/ha.ano**

Área total de floresta plantada para alimentar a fábrica:

1 ha.ano ---------- 19,5 m³
X ---------- 1.750.000 m³/ano

X = (1.750.000 m³.ha.ano/ano) : 19,5 m³ = **89.744 hectares**

Problema 55:

Alimenta-se um digestor contínuo a uma taxa de cavacos correspondente a 250 toneladas absolutamente secas por hora. Qual deverá ser o fluxo de licor branco, que tem uma concentração de 125 gramas de álcali ativo por litro (expresso em NaOH), se a carga alcalina ativa fosse de 20%?

Solução:

Base referencial: Uma hora de operação

Cálculo da quantidade necessária de álcali ativo:
(250 toneladas absolutamente secas de cavacos/hora) . 0,2 =
50 toneladas de carga alcalina como NaOH

Concentração do álcali ativo no licor branco: 125 g/L ≡ 125 kg/m³

Cálculo do fluxo de licor branco:

1 hora ---------- 50 t AA (NaOH) ---------- 50.000 kg AA (NaOH)

1 m³ ---------- 125 kg AA (NaOH)
X ---------- 50.000 kg AA (NaOH)

X = **400 m³ de licor branco /hora**

Problema 56:

Uma fábrica deseja produzir 2.000 toneladas secas ao ar de celulose de fibra longa por dia de operação. Qual deve ser a alimentação de cavacos ao digestor contínuo e qual deve ser o número de rotações na alimentação de cavacos, sabendo que:

- Rendimento da polpação é de 45%
- Densidade aparente de cavacos é de 0,130 t a.s./m³ base seca
- Umidade da madeira é de 50%;
- Carga de cavacos por rotação: 0,9 metros cúbicos
- Número máximo de rotações para a alimentação: 25 rpm

Solução:

Base referencial: Um dia de operações

Dados:
Produção diária do digestor: 2.000 toneladas secas ao ar
Produção diária do digestor: 2.000 . 0,9 = 1.800 t a.s. celulose
Rendimento da polpação: 45%
Umidade dos cavacos: 50% (não se fez necessária nos cálculos)

Peso seco necessário de cavacos:

100 t a.s. de cavacos ---------- 45 t a.s. celulose
X ---------- 1.800 t a.s. celulose

X= 4.000 t a.s. cavacos

Volume necessário de cavacos para 4.000 t a.s. de madeira:

1 m³ cavacos ---------- 0,130 t a.s. cavacos
Y ---------- 4.000 t a.s. cavacos

Y = **30.769 m³ de cavacos/dia**

Alimentação (A) do digestor contínuo:

A = (Nº Rotações/min) . 60 minutos/h . 24 h/dia . 0,9 m³/rotação

A = 30.769 m³/dia = (Nº Rotações/min) x 1.296

(Nº Rotações/min) = **23,74 rpm**

Problema 57:

Carrega-se um digestor contínuo com 250 toneladas de cavacos de eucalipto por hora a uma umidade de 35%. A relação licor madeira (L/M) na base peso por peso no interior do digestor deve ser de 4:1. A carga alcalina a ser aplicada é de 20% como NaOH.

Sabendo que:

- A concentração de álcali ativo do licor branco é de 125 gramas de NaOH/litro;
- A densidade desse licor branco é 1,15 g/cm³;
- A adição direta de vapor que se incorpora como água junto aos cavacos é de 0,8 toneladas de vapor por tonelada de cavacos secos.

Pergunta-se qual deveria ser a adição de licor preto fraco com teor negligenciável de álcali ativo para completar o volume para garantia da relação L/M, admitindo-se que a sua densidade considerada igual a 1.

Solução:

Base referencial: Uma hora de operações

Dados iniciais:
Alimentação do digestor: 250 t úmidas/hora
Umidade: 35%
Consistência: 65%
Relação L/M (peso por peso) = 4/1
Carga alcalina aplicada: 20% como NaOH

Cálculo do peso seco de cavacos alimentados ao digestor:

(250 t úmidas/h) . 0,65 = **162,5 t a.s. cavacos/hora**

Cálculo da quantidade de AA - Álcali Ativo requerido na alimentação:

(162,5 t a.s. cavacos) . 0,20 = **32,5 t AA/hora**

Outros dados:
Concentração de álcali ativo do licor branco: 125 g NaOH/litro
Concentração de álcali ativo do licor branco: 125 kg/m³
Densidade do licor branco: 1,15 g/cm³ = 1,15 t/m³
Adição direta vapor: 0,8 toneladas de vapor por t a.s. cavacos

Cálculo do fluxo de licor branco necessário:

125 g AA/L ≡ 125 kg AA/m³

Necessidade de licor branco: 32,5 t AA/h ≡ 32.500 kg AA/h

Fluxo horário de licor branco = (32.500 kg AA/h) : (125 kg AA/m³)

Fluxo horário de licor branco = **260 m³/hora**

Fluxo horário de licor branco em peso: 260 m³/h . 1,15 t/m³
Fluxo horário de licor branco em peso: **299 t licor branco/hora**

Quantidade de água na madeira:

250 t úmidas/hora - 162,5 t a.s./h = **87,5 t água/hora**

Quantidade horária de vapor direto adicionado:

Vapor = (0,8 toneladas vapor/t a.s. cavacos) . 162,5 t a.s. cavacos
Vapor = **130 t água como vapor/hora**

Relação L/M: 4 t líquidos/1 t a.s. cavacos

Ou seja: 4 . 162,5 = **650 t líquidos totais por hora**

Líquidos totais por hora:
Licor branco = 299 t/h
Água da madeira = 87,5 t/h
Vapor = 130 t/h
Soma parcial = 516,5 t/h

Cálculo da quantidade de licor preto fraco para acertar a relação L/M:

650 – 516,5 = **133,5 t licor preto fraco por hora**
Ou
133,5 m³ licor preto fraco por hora

Problema 58:

Uma fábrica de celulose produz 2.000 toneladas de celulose absolutamente secas em seu digestor por dia de operação. Para isso, utiliza madeira de eucalipto e consegue 50% de rendimento depurado na polpação. Os técnicos da empresa decidem utilizar antraquinona como acelerador e facilitador da deslignificação no cozimento. Percebem nos testes que ao se adicionar a antraquinona, conseguiram um aumento de rendimento de 50% para 52,5% e que era ainda possível se aumentar a alimentação de cavacos em 5% do valor originalmente sendo usado sem a adição da antraquinona.
Pergunta-se:

- Qual a nova produção diária da fábrica?
- Qual a nova alimentação de madeira ao processo?
- Qual a alteração no consumo específico de madeira no digestor?

Solução:

Base referencial: Um dia de operações

Dados:
Produção original do digestor: 2.000 t a.s./dia
Rendimento depurado: 50%
Rendimento após adição de antraquinona: 52,5%
Aumento na adição de cavacos: 5%

Cálculo da alimentação inicial de cavacos:

1 t a.s. cavacos ---------- 0,5 t a.s. celulose
X ---------- 2.000 t a.s. celulose

X = **4.000 t a.s. de cavacos por dia na alimentação inicial**

Nova alimentação de cavacos com 5% de acréscimo:

4.000 . 1,05 = 4.200 t a.s. cavacos/dia

Nova produção da fábrica com 52,5% de rendimento:
4.200 . 0,525 = **2.205 t a.s. celulose/dia**

Consumos específicos de madeira no digestor:

Inicial = (Peso seco de cavacos) : (Peso seco de celulose)
Inicial = 4.000 : 2.000 = **2 t a.s. de madeira/t a.s. celulose**

Otimizado após AQ = 4.200 : 2.205 = **1,905 t a.s. de madeira/t a.s. celulose**

Problema 59:

Uma madeira de eucalipto possui em sua constituição base peso seco: 26% de lignina; 25% de hemiceluloses; 45% de celulose; 3% de extrativos; 1% de cinzas. Ao ser convertida em celulose pelo processo kraft forneceu um rendimento de 48%. A composição química da celulose produzida revelou que ela era composta base peso seco de: 1,5% de lignina; 15% de hemiceluloses; 0,5% de extrativos; 0,2% de cinzas e 82,8% de celulose. Quais as percentagens de remoção de cada um desses constituintes químicos base seu conteúdo original na madeira?

Solução:

Base referencial: 100 kg de madeira

Em 100 kg de madeira se encontram:

26 kg de lignina
25 kg de hemiceluloses
45 kg de celulose
3 kg de extrativos
1 kg de cinzas

Produção de celulose a partir dos 100 kg de madeira = 48 kg (em função dos 48% de rendimento)

Quantidade de constituintes químicos residuais nos 48 kg a.s. de polpa em função da composição dessa polpa:

1,5% de lignina ≡ 48 . 0,015 = 0,72 kg de lignina
15% de hemiceluloses = 48 . 0,15 = 7,2 kg de hemiceluloses
82,8% de celulose = 48 . 0,828 = 39,74 kg de celulose
0,5% de extrativos = 48 . 0,005 = 0,24 kg de extrativos
0,1% de cinzas = 0,048 kg de cinzas

Remoção de cada constituinte base seu conteúdo original na madeira:

$$\text{Remoção} = 100 \cdot \left\{ \frac{(\text{Peso inicial na madeira} - \text{Peso residual na celulose})}{\text{Peso inicial na madeira}} \right\}$$

% Remoção de Lignina = 100 . {(26 – 0,72): 26} = 97,23%

% Remoção Hemiceluloses = 100 . {(25 – 7,2): 25} = 71,2%

% Remoção Celulose = 100 . {(45 – 39,74): 45} = 11,69%

% Remoção Extrativos = 100 . {(3 – 0,24): 3} = 92%

% Remoção Cinzas = 100 . {(1 – 0,048): 1} = 95,2%

Observar que o composto mais preservado e estável ao longo da polpação kraft l é a celulose, seguido das hemiceluloses.

Problema 60:

A densidade do licor branco kraft de uma fábrica de celulose é de 1,15 g/cm³ e a sua concentração em álcali ativo é de 130 g/L, expresso como NaOH. Qual seriam o volume e o peso de licor consumido diariamente por essa fábrica?
Sabe-se que:

- A fábrica converte em média 3.000 toneladas por dia de cavacos de eucalipto com uma umidade de 30%;

- A carga alcalina ativa média aplicada base madeira seca é de 18%, expressa em NaOH.

Solução:

Base referencial: Um dia operacional

Dados:
Consumo de cavacos: 3.000 t úmidas por dia
Umidade: 30%
Consistência: 70%
Carga alcalina ativa: 18% de NaOH
Densidade do licor branco: 1,15 g/cm³ = 1,15 t/m³
Concentração do licor branco: 130 g/L = 130 kg/m³

Cálculo do peso absolutamente seco de cavacos:

(3.000 t úmidas/dia) . 0,70 = 2.100 t a.s. cavacos

Cálculo do peso de AA – Álcali Ativo a aplicar:

(2.100 t a.s. cavacos) . 0,18 = 378 t AA/dia = 378.000 kg/dia

Cálculo do volume de licor branco requerido:

(378.000 kg AA/dia) : (130 kg AA/m³) = **2.908 m³ licor branco/dia**

Cálculo do peso de licor branco requerido:

(2.908 m³ licor branco/dia) . 1,15 t/m³ = **3.344 t licor branco/dia**

Problema 61:

Expressar como Na_2O:

- 25 gramas de Na_2CO_3 por litro
- 18 gramas de Na_2SO_4 por litro
- 34 gramas de Na_2S por litro
- 119 gramas de NaOH por litro

Dados: Na = 23; C = 12; S = 32 ; O = 16; H = 1

Solução:

Equivalentes-gramas dos compostos:

Na_2O: 31 gramas por molécula-grama
Na_2CO_3: 53 gramas por molécula-grama
Na_2SO_4: 71 gramas por molécula-grama
Na_2S: 39 gramas por molécula-grama
NaOH: 40 gramas por molécula-grama

Relacionando Na_2CO_3 e Na_2O:

Na_2CO_3 ---------- Na_2O:

53 g ---------- 31 g
25 g/L ---------- X

X = (25 . 31) : 53 = **14,62 g Na_2CO_3/L** ; expresso como Na_2O

Relacionando Na_2SO_4 e Na_2O:

Na_2SO_4 ---------- Na_2O:

71 g ---------- 31 g
18 g/L ---------- Y

Y = (18 . 31) : 71 = **7,86 g Na_2SO_4/**L ; expresso como Na_2O

Relacionando Na_2S e Na_2O:

Na_2S ---------- Na_2O:

39 g ---------- 31 g
34 g/L ---------- W

W = (34 . 31) : 39 = **27,03 g Na_2S/L** ; expresso como Na_2O

Relacionando NaOH e Na_2O:

NaOH---------- Na_2O:

40 g ---------- 31 g
119 g/L ---------- Z

Z = (119 . 31) : 40 = **92,225 g NaOH/L** ; expresso como Na_2O

Problema 62:

Uma celulose não branqueada úmida na saída do sistema de lavagem de polpa marrom possui uma consistência de 25%. Ao se titular com NaOH o líquido que conferia umidade à polpa, encontrou-se que esse líquido tinha 0,1N. Qual a perda alcalina dessa polpa quando expressa como NaOH por tonelada absolutamente seca de polpa?
Se o sistema de lavagem estivesse funcionando de acordo com o especificado, a consistência da polpa deveria ser de 35% e a concentração expressa em normalidade do líquido era para ser 0,06N. Compare a situação atual com a situação projetada para operação em termos de perdas adicionais de soda cáustica pela polpa sendo lavada inadequadamente.

Solução:

Base referencial: 1 tonelada a.s. de polpa não branqueada

Dados iniciais:
Consistência da polpa na saída da lavagem: 25%
Umidade da polpa na saída da lavagem: 75%

Situação atual:

Cálculo do peso úmido e de filtrado por tonelada a.s. de polpa:

Púmido de polpa = (1 t a.s.) : 0,25 = 4 t úmidas de polpa

Pfiltrado = (4 t úmidas) – (1 t a.s.) = **3 t filtrado ou 3 m³ filtrado por tonelada absolutamente seca de polpa**

Concentração do filtrado: 0,1N ≡ 0,1 x 40 gramas = 4 g NaOH/L = 4 kg NaOH/m³

Quantidade de soda perdida com a massa no filtrado:

4 g NaOH/L ≡ 4 kg NaOH/m³

Logo, a perda alcalina dessa situação será:

(4 kg NaOH/m³) . (3 m³ filtrado/t a.s. polpa) = **12 kg NaOH/t a.s. polpa**

Situação otimizada e projetada com aumento da consistência após prensa lavadora:

Dados:
Consistência da polpa na saída da lavagem: 35%
Umidade da polpa na saída da lavagem: 65%

Cálculo do peso úmido e de filtrado por tonelada a.s. de polpa:

Púmido de polpa: (1 t a.s.) : 0,35 = 2,86 t úmidas de polpa

Pfiltrado = (2,86 t úmidas) – (1 t a.s.) = **1,86 t filtrado ou 1,86 m³ filtrado por tonelada absolutamente seca de polpa**

Concentração do filtrado: 0,06N ≡ 0,06 x 40 gramas = 2,4 g NaOH/L

Quantidade de soda perdida com a massa no filtrado:

2,4 g NaOH/L ≡ 2,4 kg NaOH/m³

Logo, a perda alcalina dessa situação otimizada e projetada será:

(2,4 kg NaOH/m³) . (1,86 m³ filtrado/t a.s. polpa) = **4,46 kg NaOH/t a.s. polpa**

Problema 63:

Deseja-se preparar uma suspensão alcalina estável de antraquinona (AQ) que tenha uma concentração de AQ em peso de 5%. A antraquinona em pó deve ser misturada com soda cáustica a 50% (densidade = 1,52 g/cm³) e com licor preto fraco (densidade = 1,08 g/cm³). A densidade do pó de antraquinona é de 1,43 g/cm³. Qual a relação de volumes que se deve colocar das soluções de soda cáustica e do licor preto fraco a fim de que a suspensão do pó de antraquinona seja feita de forma a que não se decante ou sedimente o pó?

Solução:

A suspensão estável de antraquinona será obtida quando a sua densidade for exatamente igual à densidade da antraquinona em pó, ou seja: 1,43 g/cm³ ou 1,43 t/m³

Dessa forma, teremos que combinar dois volumes, um de licor preto fraco (densidade = 1,08 g/cm³) e outro de soda cáustica a 50% (densidade = 1,52 g/cm³) para se obter uma densidade de líquido de 1,43 g/cm³.

Seja:
V1 = Volume do licor preto fraco
V2 = Volume da solução de soda cáustica 50%
V3 = Volume do pó de antraquinona

P = Peso de antraquinona deve ser calculado com base em 5% de concentração base peso

Podemos construir duas equações, uma base peso e outra base volumes:

Equação I – (base peso)

Peso AQ + Plicor preto + Psoda = Psuspensão

Equação II – (base volume)

V1 + V2 + V3 = Vsuspensão

Base referencial = 100 gramas de suspensão pronta com 1,43 g/cm³, que deve conter exatamente um peso de antraquinona de 5 gramas

Preenchendo valores nas equações:

Equação I – (base peso)

Peso AQ + Plicor preto + Psoda = Psuspensão

(5 g AQ) + 1,08 . V1 + 1,52 . V2 = (100 g da suspensão)

5 + 1,08 . V1 + 1,52 . V2 = 100
1,08 . V1 + 1,52 . V2 = 95
1,08 . V1 = 95 – 1,52 . V2

V1 = (95 – 1,52 . V2) : 1,08

Equação II – (base volume)

V1 + V2 + V3 = Vsuspensão

V1 + V2 + 5/1,43 = 100/1,43

V1 + V2 = 66,433

V1 = 66,433 – V2

Com base nessas duas equações, teremos:

(95 – 1,52 . V2) : 1,08 = (66,433 – V2)

95 – 1,52 . V2 = 1,08 . (66,433 – V2)
95 – 1,52 . V2 = 71,748 – 1,08 V2

0,44 V2 = 23,253

V2 = **52,845 cm³ de solução de soda cáustica a 50%**

V1 = 66,433 – V2 = 66,433 – 52,845 =
V1 = 13,588 cm³ de licor preto fraco

Mais 5 gramas de pó de antraquinona.

Problema 64:

Um pesquisador necessita de 4 kg de celulose kraft de *Pinus* para seus estudos de branqueamento. Ele dispõe de um digestor de laboratório com 20 litros de capacidade. A densidade dos cavacos de madeira foi determinada como sendo 140 kg absolutamente secos/m³ de cavacos. O rendimento depurado dessa polpação é estimado como sendo de 42% para obtenção da polpa nas condições desejadas de número kappa. Quantos quilogramas mínimos de madeira o pesquisador deve usar e em quantos cozimentos ele obterá a quantidade de polpa necessária?

Solução:

Nosso pesquisador necessita de no mínimo 4 kg absolutamente secos de celulose de *Pinus* para seus estudos.

Nossa primeira missão é descobrir se ele conseguirá essa quantidade de celulose com apenas um cozimento.

Se o rendimento da polpação é esperado ser 42%, então ele vai precisar cozinhar:

Peso mínimo e necessário de madeira:

100 kg a.s. madeira ---------- 42 kg de celulose a.s.
X ---------- 4 kg a.s.

X = **9,52 kg a.s. cavacos**

Volume mínimo e necessário de madeira:

Sendo a densidade aparente dos cavacos de *Pinus* igual a 140 kg a.s./m³ de cavacos, o volume de cavacos requerido seria:

1 m³ cavacos ---------- 140 kg a.s. madeira
Y ---------- 9,52 kg a.s.

Y = **0,068 m³ de cavacos para obter a quantidade mínima de polpa requerida**

Ou então: 68 litros de cavacos (no mínimo), o que não cabe no digestor, que possui apenas 20 litros de capacidade total

Recomendamos então a realização de 7 cozimentos, cada qual utilizando 10 litros de cavacos, ou então:

1 m³ de cavacos ---------- 140 kg a.s.
0,010 m³ de cavacos por cozimento ---- Z

Z = **1,4 kg a.s. de cavacos em cada um dos sete cozimentos**

Problema 65:

Em um cozimento laboratorial, deseja-se produzir celulose kraft a partir de uma mistura de cavacos de madeiras de *Pinus taeda* e *Eucalyptus urograndis*, sendo que a proporção deverá ser de 80% de madeira de eucalipto e 20% da madeira do *Pinus*, base peso seco. Dispõe-se de cavacos de madeira dessas duas espécies com consistências respectivamente de 65% e 75%. Para um cozimento de 2.000 gramas absolutamente seca de madeira, pergunta-se:

- Qual o peso a ser tomado de cada tipo de madeira?
- Qual o volume de solução estoque de álcali ativo que deve ser colocado no digestor, considerando que a carga alcalina ativa deverá ser de 18% como NaOH e que a concentração em AA - Álcali Ativo dessa solução estoque é de 120 gramas de NaOH por litro.

Solução:

Base referencial: 2.000 gramas a.s. de cavacos
80% de madeira de eucalipto: 1.600 gramas a.s.
20% de madeira de *Pinus*: 400 gramas a.s.

Pesos úmidos para cada tipo de madeira:

Consistência da madeira de eucalipto: 65%
Consistência da madeira de *Pinus*: 70%

Peso úmido madeira eucalipto:
(1.600 kg a.s.) : 0,65 = **2.461,5 gramas úmidas de cavacos de eucalipto**

Peso úmido madeira *Pinus*:
(400 gramas a.s.) : 0,7 = **571,4 gramas úmidas de cavacos de *Pinus***

Dados para cozimento:
Carga alcalina ativa: 18% de NaOH
Concentração da solução estoque: 120 gramas de AA como NaOH/litro

Peso requerido de AA como soda cáustica:

(2.000 gramas a.s. madeira) . 0,18 = **360 gramas de NaOH ativo**

Volume de solução estoque de AA que será necessário provetar:

(360 gramas de NaOH ativo) : (120 g NaOH ativo/Litro)=
3 litros de solução estoque de álcali ativo

Problema 66:

Deseja-se produzir em laboratório certa quantidade de celulose kraft ou sulfato de madeira de *Eucalyptus saligna*. O equivalente a 1.000 gramas absolutamente secas de madeira na forma de cavacos com 25% de umidade é utilizado no ensaio. Foram adotadas as seguintes condições de cozimento:

- Álcali ativo: 18% NaOH
- Sulfidez: 25%
- Relação Licor/Madeira: 4/1
- Concentração da solução estoque de soda cáustica: 250 g de NaOH/litro
- Concentração da solução estoque de sulfeto de sódio: 80 gramas por litro, expresso como NaOH
- Consumo de álcali ativo na polpação: 85%
- Rendimento bruto na polpação: 53%
- Rendimento depurado na polpação: 51%

Pergunta-se:

- Volumes de reagentes e de água a adicionar?
- Concentração inicial e final de álcali ativo no licor de cozimento?
- Quantidade produzida de polpa?
- Quantidade produzida de rejeitos?

Solução:

Dados iniciais:
1.000 gramas de cavacos úmidos de madeira de *E. saligna*
Consistência dos cavacos: 75%

Umidade dos cavacos: 25%

Peso seco de cavacos:

(1.000 gramas úmidas) . 0,75 = 750 gramas a.s. de cavacos

Rendimentos da polpação kraft:
Rendimento bruto: 53%
Rendimento depurado: 51%
Teor de rejeitos: 2%

Quantidades produzidas de polpa e rejeitos:

Peso seco polpa bruta = (750 gramas a.s.) . 0,53 = **397,5 g a.s.**
Peso seco polpa depurada = (750 gramas a.s.) . 0,51 = **382,5 g a.s.**
Peso seco rejeitos = 397,5 – 382,5 = **15 gramas a.s.**

Dados para cálculos dos licores de cozimento:
Álcali ativo: 18% NaOH
Sulfidez: 25%
Relação Licor/Madeira: 4/1
Concentração da solução estoque de soda cáustica: 250 g de NaOH/litro
Concentração da solução estoque de sulfeto de sódio: 80 gramas por litro, expresso como NaOH
Consumo de álcali ativo na polpação: 85%

Peso de AA a aplicar:
(750 gramas a.s. cavacos) . 0,18 = **135 gramas de AA como NaOH**

Outros cálculos para licor:

Sulfidez: 25% do AA
(135 gramas AA) . 0,25 = **33,75 gramas de Na_2S como NaOH**

Soda cáustica: 75% do AA
(135 gramas AA) . 0,75 = **101,25 gramas de NaOH**

Volume de líquidos no cozimento:

Relação L/M = 4/1

Logo: 4 x 750 gramas de cavacos = **3.000 ml de licor de cozimento incluindo a água da madeira**

Concentração inicial do AA no licor de cozimento:

(135 gramas de AA) : 3.000 ml (ou 3 litros) =
45 gramas de AA por litro no líquido no início do cozimento

Concentração final do AA no licor de cozimento
(em função dos 85% de consumo e 15% residuais)

0,15 . 45 gramas de AA/Litro = **6,75 gramas de AA por litro no líquido ao final do cozimento**

Volumes de reagentes a adicionar no cozimento:

Soda cáustica:
(101,25 gramas de NaOH) : (250 gramas de NaOH/Litro na solução estoque) = 0,405 litros = **405 ml da solução estoque de soda cáustica**

Sulfeto de sódio:
(33,75 gramas de Na_2S como NaOH) : 80 gramas de Na_2S, como NaOH/Litro da solução estoque) = 0,421 litros = **421 ml de solução estoque de Na_2S**

Água na madeira:
(1.000 gramas de madeira úmida – 750 gramas a.s. madeira)=
250 gramas = **250 ml de água na madeira**

Líquidos totais = 3.000 ml
Água a adicionar: 3.000 – 405 – 421 – 250 = **1.924 ml de água para obter a relação L/M de 4/1**

Problema 67:

Para a produção laboratorial de celulose pelo processo soda/enxofre empregou-se 1.500 gramas de madeira com 80% de teor de secos. A carga aplicada de soda cáustica foi de 15% expressa como NaOH e o enxofre foi aplicado na proporção de 5% base peso seco de madeira.
Pergunta-se:

- Quantas gramas de madeira absolutamente secas foram consumidas na polpação?
- Quantas gramas de soda cáustica com 95% de pureza se necessitaram para o cozimento?
- Quantas gramas de enxofre com 5% de umidade e 95% de pureza foram necessárias para adicionar ao digestor?

Solução:

Base referencial: 1.500 gramas de madeira com 80% de consistência
Peso seco de madeira: **1.200 gramas a.s. madeira**

Carga de soda cáustica: 15%
Peso de soda cáustica : 0,15 . (1.200 gramas a.s. madeira) =
180 gramas de NaOH com 100% de pureza
Ou
180 : 0,95 = **189,5 gramas de soda cáustica a 95% de pureza**

Carga de enxofre: 5% base peso seco madeira
0,05 . (1.200 gramas a.s. madeira) = 60 gramas de enxofre seco e com 100% de pureza
Ou
60 : 0,95 = 63,16 gramas de enxofre com 95% de pureza
Ou
63,16 : 0,95 = **66,5 gramas de enxofre com 95% de pureza e 5% de umidade**

Problema 68:

Para a produção laboratorial de pasta semi-química pelo processo soda a frio empregou-se 2.000 gramas de madeira com 80% de teor de secos. O licor de cozimento foi obtido através da utilização de uma solução estoque de soda cáustica com uma concentração de 25 g/l (expresso como NaOH). A carga alcalina foi de 10% e foram obtidas 1.200 gramas de polpa com 10% de umidade (polpa seca ao ar). Qual a relação licor/madeira empregada incluindo a água da madeira e qual o rendimento dessa polpação?

Solução:

Base referencial: 2.000 gramas úmidas de cavacos a 80% consistência
Peso seco de cavacos = (2.000 gramas úmidas) . 0,8 =
Peso seco de cavacos = **1.600 gramas a.s. de cavacos de madeira**

Água na madeira = 2.000 – 1.600 = **400 gramas de água na madeira ou 400 ml de água na madeira**

Carga alcalina aplicada: 10% de NaOH
Peso aplicado de soda cáustica = (1.600 g a.s.) . 0,10 =
Peso aplicado de soda cáustica = **160 gramas de soda cáustica**

Produção de polpa após polpação: 1.200 gramas secas ao ar
Produção de polpa após polpação: 1.200 . 0,9 = **1.080 gramas a.s. de polpa**

Rendimento da polpação:
Rendimento = {(1.080 gramas a.s. de polpa) : (1.600 gramas a.s. madeira)} . 100 = **67,5% de rendimento na polpação**

Quantidade da solução de soda cáustica:

(160 gramas de NaOH) : (25 gramas de NaOH/Litro de solução estoque) = **6.400 ml de solução estoque**

Total de líquidos aplicados:
Água na madeira = 400 ml de água na madeira

Solução estoque de soda cáustica = 6.400 ml
Soma = 400 + 6.400 = 6.800 ml

Relação L/M = (6.800 ml líquidos) : (1.600 g a.s. cavacos)=
Relação L/M = 4,25 / 1

Problema 69:

Um técnico de laboratório que trabalha em um laboratório de avaliações de celulose e papel recebeu como incumbência fazer os cálculos para a preparação de um cozimento kraft, usando cavacos de madeira de eucalipto com 30% de umidade. Ele dispunha de um frasco de licor branco previamente obtido na área de caustificação da fábrica com 150 gramas de álcali ativo expresso como NaOH. O cozimento deveria ser feito com 1,5 kg de madeira absolutamente seca, a carga de álcali ativo deveria ser de 19% (expresso como NaOH) e a relação (licor/madeira seca) deveria ser de 4/1.
Com base nesses dados, quais as quantidades de insumos que deveriam ser medidas e colocadas dentro do digestor para a realização do cozimento Kraft?

Solução:

Base referencial: 1.500 gramas de cavacos absolutamente secos
Consistência dos cavacos: 70%
Umidade dos cavacos: 30%

Peso úmido de cavacos a serem amostrados para a polpação:

(1.500 gramas a.s.) : 0,7 = **2.142,8 gramas de cavacos úmidos**

Peso de álcali ativo requerido:

(1.500 gramas a.s.) . 0,19 = **285 gramas de álcali ativo como NaOH**

Volume do licor branco contendo o peso de álcali ativo requerido:

(285 gramas de AA) : (150 gramas de AA/Litro) = 1,9 litros de licor branco = **1.900 ml de licor branco**

Relação Licor/Madeira = 4/1

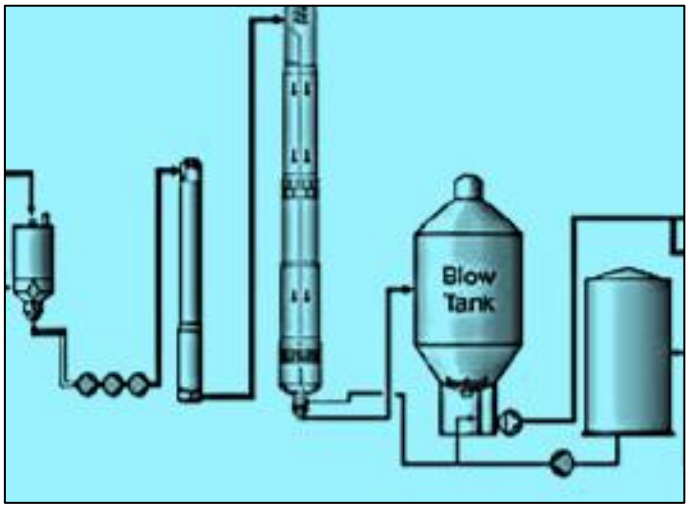
Água na madeira = (2.142,8 gramas úmidas de cavacos) – (1.500 gramas a.s. madeira) = 642,8 gramas de água =
Água na madeira = **642,8 ml de água na madeira**

Água a adicionar para obter relação L/M de 4/1:

{4 . (1.500 gramas a.s. madeira)} – 642,8 - 1.900 =

Água a adicionar = **3.457,2 ml de água para completar relação L/M**

==========



==========

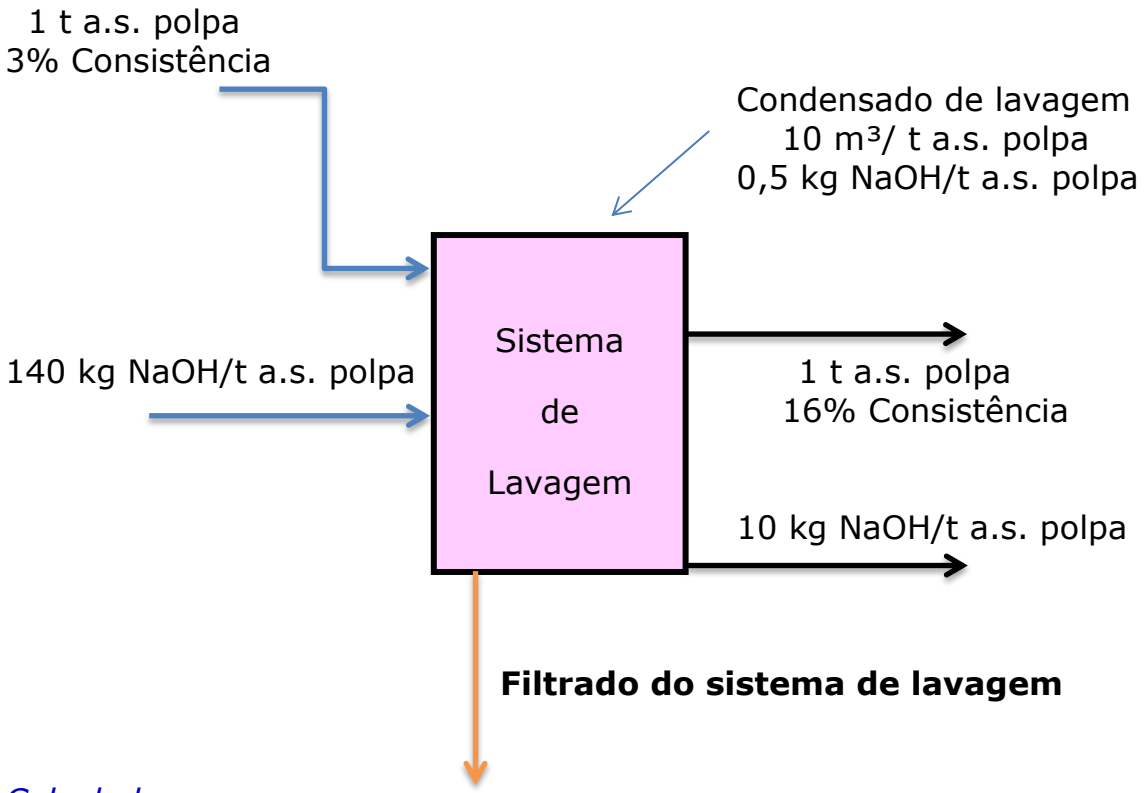
SEÇÃO 06: PRODUÇÃO DE CELULOSE – LAVAGEM E DEPURAÇÃO DA POLPA

Problema 70:

Uma polpa não branqueada adentra um sistema de lavagem de massa com uma consistência de 3% e perda alcalina de 140 kg por tonelada absolutamente seca, expressa como NaOH. A massa, após lavagem, sai dos lavadores com uma consistência de 16% e perda alcalina de 10 kg de NaOH por tonelada absolutamente seca. Utiliza-se como única entrada de água de lavagem um condensado bastante limpo do setor de evaporação do licor preto que possui uma concentração de soda cáustica que expressa em equivalentes de perda alcalina base polpa marrom na entrada do sistema corresponde a 0,5 kg/tonelada a.s. O volume dessa água de lavagem foi de 10 m³ por tonelada a.s. de polpa. Admitindo que não ocorressem perdas de fibras, quais as características e volumes do filtrado removido que deixa o sistema para ser enviado à lavagem interna do digestor?

Solução:

Base referencial: Uma tonelada absolutamente seca de polpa



Calculados:

Vfiltrado = 37,08 toneladas de filtrado saindo do sistema

PAlcalina = 130,5 kg NaOH/t a.s. de polpa

Resolução:

Entrada no sistema via polpa:

Polpa seca: 1 t a.s.
Polpa úmida: (1 t a.s.) : 0,03 = 33,33 t úmidas
Filtrado na polpa úmida = 33,33 – 1 = 32,33 toneladas de filtrado

Perda alcalina: 140 kg NaOH/t a.s. de polpa

Entrada no sistema via condensado de lavagem:

Volume de filtrado = 10 m^3/t a.s. polpa
Perda alcalina no condensado: 0,5 kg NaOH/t a.s. polpa

Saída do sistema via polpa:

Polpa seca: 1 t a.s.
Polpa úmida: (1 t a.s.) : 0,16 = 6,25 t úmidas
Filtrado na polpa úmida = 6,25 – 1 = 5,25 toneladas de filtrado

Perda alcalina: 10 kg NaOH/t a.s. de polpa

Saída do sistema via filtrado da lavagem:

Vfiltrado: ?
PAlcalina: ?

Em qualquer balanço de massa, as entradas devem ser iguais às saídas, se não ocorrer estocagem no sistema.

Nesse sistema não ocorrem estoques – tudo que entra ou sai como polpa, ou como filtrado ou como perda alcalina.

Balanço mássico de volumes líquidos:

(32,33 toneladas de filtrado na polpa de entrada)
+
(10 toneladas de condensado de lavagem)
=
(5,25 toneladas de filtrado na saída da polpa)
+ Vfiltrado

Vfiltrado = 37,08 toneladas de filtrado saindo do sistema

(em geral, parte desse filtrado se agrega à polpa de entrada para ajustes de consistência de entrada no sistema de lavagem)

Balanço mássico de Perdas Alcalinas:

(140 kg NaOH/t a.s. de polpa na entrada do sistema)
(0,5 kg NaOH/ t a.s. via condensado de lavagem)
=
(10 kg NaOH/t a.s. de polpa na saída do sistema de lavagem)
+
(PAlcalina no filtrado do sistema de lavagem)

PAlcalina = 130,5 kg NaOH/t a.s. de polpa

Problema 71:

No problema anterior, admitindo que 50% do volume do filtrado removido fossem empregados para diluição da massa que sai da etapa anterior e para ajustes da consistência aos 3% relatados, pergunta-se:

- Qual deveria ser a consistência da mesma massa não-branqueada original?

Solução:

Base referencial: Uma tonelada absolutamente seca de polpa

Entradas de líquidos no tanque:

Volume do filtrado recirculado (por tonelada a.s. de polpa) = Y
Y = 50% de 37,08 toneladas de filtrado saindo do sistema anterior
Y = 0,5 . 37,08 = **18,54 t filtrado**

Água com a polpa entrando no tanque= {[(1 t a.s.) : X] – 1}

Subtrai-se 1 que é: uma tonelada a.s. de polpa seca na polpa úmida

Saídas de líquidos do tanque:

Água com a polpa = {(1 : 0,03) – 1} = 32,33 t de água

Balanço de massa em termos de filtrados:

18,54 t filtrado
+
{[(1 t a.s.) : X] – 1}
=
32,33 t de água

18,54 + (1/X – 1) = 32,33

1/X = 32,33 – 18,54 + 1
1/X = 14,72
X = 0,0676 ou
X = Consistência da massa entrando tanque= 6,76%

Problema 72:

Um depurador de massa não branqueada tem como objetivo a remoção de "shives" ou palitos de fibras agrupadas. A massa adentra um desses equipamentos com 1,5% de consistência e em um fluxo equivalente a 1.000 toneladas absolutamente secas de massa por dia.

- Qual o fluxo de entrada de polpa no depurador em metros cúbicos por minuto?
- Caso a quantidade de massa seca de palitos removidos fosse expressa em toneladas absolutamente secas e o valor por dia correspondesse a 4,75 toneladas, pergunta-se a quantidade de massa que sai pronta dessa seção para ser enviada ao branqueamento de massa?
- Se esses palitos deixam a depuração com 25% de consistência em caçambas que transportam 20 toneladas úmidas cada, pergunta-se o número de caçambas de "shives" que são recolhidas mensalmente?

Solução:

Entrada de polpa na depuração:

Polpa seca: 1.000 t a.s./dia
Consistência = 1,5%
Polpa úmida = 1.000 : 0,015 = 66.666,7 t úmidas/dia
Polpa úmida = **66.666,7 m³ úmidas/dia**

Nº de minutos por dia: (24 horas/dia) . (60 minutos/hora)
Nº de minutos por dia: 1.440 minutos/dia

Fluxo de polpa úmida: 66.666,7 : 1.440 = **46,3 m³/minuto**

Saída de rejeitos: 4,75 toneladas a.s. por dia

Polpa depurada por dia: 1.000 - 4,75 = **995,25 t a.s./dia**

Rejeitos úmidos por dia: (4,75 t a.s.) : 0,25 =
Rejeitos úmidos por dia: **19 toneladas úmidas/dia**

Ou em um mês de 30 dias:

Rejeitos úmidos por mês: 30 . 19 = **570 t úmidas/mês**

Cada caçamba transporta 20 toneladas

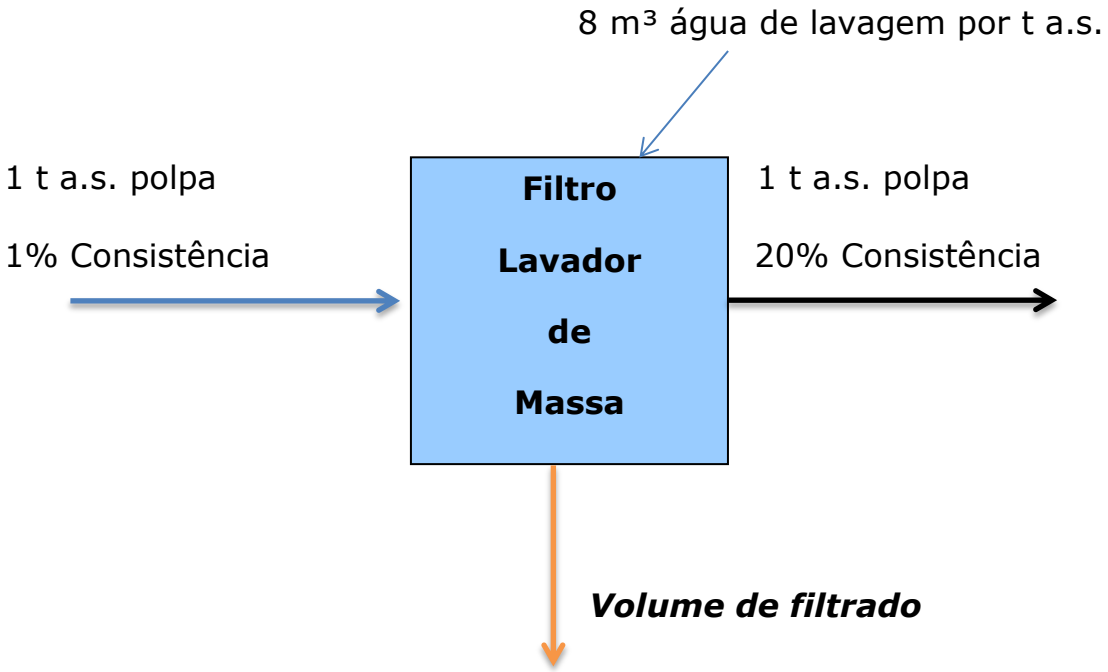
Nº de caçambas por mês = 570 : 20 = **28,5 caçambas/mês**

Problema 73:

Na lavagem da celulose em um filtro lavador, a massa adentra ao equipamento a uma consistência de 1% e sai com uma consistência de 20%. Utiliza-se ainda água de lavagem em uma relação de 8 m³ de água por tonelada de polpa absolutamente seca. Tomando por base uma tonelada absolutamente seca de polpa, quais as quantidades de polpa úmida e de filtrado que saem desse equipamento após a lavagem?

Solução:

Base referencial: Uma tonelada absolutamente seca de polpa



Entradas de líquidos no filtro lavador:
8 m³ de água de lavagem

Água chegando com a polpa:
{(1 t a.s.): 0,01 – 1} = 99 m³ de água com a polpa (1 t a.s.)

Saídas de líquidos do filtro lavador:

Vfiltrado = Volume de filtrado

Água com a polpa saindo do filtro:
{(1 t a.s.): 0,2 – 1} = 4 m³ de água com a polpa (1 t a.s.)

Balanço de massa para líquidos do sistema:

8 m³ de água de lavagem
+
99 m³ de água com a polpa

=

4 m³ de água com a polpa
+
Vfiltrado

8 + 99 = 4 + Vfiltrado

Vfiltrado = 103 m³/ t a.s.

Peso de polpa úmida saindo do filtro lavador:

(1 t a.s.) : 0,2 = **5 toneladas úmidas/t a.s. polpa seca**

==========

Filtro lavador de celulose

==========

SEÇÃO 07: PRODUÇÃO DE CELULOSE – DESLIGNIFICAÇÃO COM OXIGÊNIO E BRANQUEAMENTO DA CELULOSE

Problema 74:

Uma torre de branqueamento com fluxo ascendente possui um diâmetro interno de 5 metros e uma altura útil de 20 metros. A fábrica produz diariamente 470 toneladas secas ao ar de celulose branqueada. A consistência da polpa no estágio de dioxidação que se realiza nessa torre é de 10%. Qual o tempo aproximado de residência da polpa nesse estágio?

Solução:

Volume da torre: Área x Altura
Altura = 20 metros
Área = { π.(Diâmetro)²/4} = (3,1416 . 5²)/4 =19,654 m²

Volume da torre = (20 m) . (19,64 m²) = 392,8 m³

Produção de polpa por dia:
(470 t seca ao ar) . 0,9 = 423 t a.s. polpa/dia

Produção de polpa a.s. por minuto:
(423 t a.s. por dia) : (1.440 minutos por dia) = **0,29375 t a.s./min**

Fluxo de polpa a 10% de consistência por minuto:
(0,29375 t a.s./min) : 0,1 = 2,9375 t úmidas a 10% consistência/minuto
Ou
2,9375 m³ de polpa úmida a 10% consistência/minuto

Tempo de residência na torre:

(Volume da torre em m³) : (Fluxo de polpa em m³/minuto) =

(392,8 m³) : 2,9375 m³/minuto = **133,71 minutos**

Problema 75:

Deseja-se branquear celulose em laboratório. O número kappa da polpa após a deslignificação com oxigênio era 10. A carga de cloro ativo a aplicar era calculado pela fórmula:

%Cloro Ativo = 0,2 . (Nº Kappa)

Caso se disponha de uma solução de dióxido de cloro na concentração de 6 gramas de ClO_2 por litro, qual o volume a se provetar dessa solução para se branquear uma quantidade de 200 gramas de polpa absolutamente seca?

Solução:

Base referencial: 200 g a.s. de polpa

Cálculo da carga de cloro ativo:
% Cloro Ativo = 0,2 . 10 = 2% de cloro base polpa a.s.

Quantidade requerida de Cloro Ativo:

(200 gramas a.s. polpa) . 0,02 = 4 gramas de Cloro Ativo

Concentração da solução de dióxido de cloro:
6 gramas de ClO_2/Litro

Equivalente grama do ClO_2 = 13,5 gramas por molécula-grama
Equivalente-grama do Cloro Ativo = 35,5 gramas por molécula-grama

Concentração da solução estoque em Cloro Ativo:

Cloro Ativo ---------- ClO_2

35,5 g ---------- 13,5 g
X ---------- 6 g/L

X = **15,77 g Cloro Ativo/Litro**

Dessa demonstração acima, pode-se concluir que a relação entre Cloro Ativo e Dióxido de Cloro é 35,5/13,5 = 2,63

Volume de solução estoque a ser provetado:

6 g ClO2/Litro ≡ 15,77 g Cloro Ativo/Litro

Necessita-se de 4 gramas de Cloro Ativo, então o volume a provetar será:

V = (4 gramas) : 15,77 g/L = 0,254 litros = **254 ml de solução estoque**

Problema 76:

O rendimento em um estágio de deslignificação com oxigênio foi estimado em 98% e o de uma sequência DEopDD foi calculado como sendo de 95% da polpa entrando nas torres de branqueamento. A perda de fibras total ao longo de todas as lavagens foi determinada como sendo de 0,25% base polpa entrando no processo. Qual o rendimento total do branqueamento ODEopDD, inclusive incluindo a perda de fibras?

Solução:

Base referencial: 100 t de polpa a.s. entrando na deslignificação com oxigênio

Balanço de massa:

Entrada da deslignificação: 100 t a.s.
Saída da deslignificação = 0,98 . 100 = 98 t a.s.
Perda de peso na deslignificação com oxigênio = 2 t a.s.

Entrada do branqueamento DEopDD: 98 t a.s. de polpa

Perda de peso da polpa devido rendimento de 95% = 5%
Perda de peso da polpa devido rendimento de 95% = 0,05 . 98 =
Perda de peso da polpa devido rendimento de 95% = 4,9 t a.s.

Perda total de fibras: 0,25% base polpa entrando no sistema
Perda total de fibras = 0,0025 . 100 = 0,25 t a.s de polpa

Perdas totais: 2 + 4,9 + 0,25 = 7,15 t a.s.
Saída de polpa do branqueamento total ODEopDD:: 92,85 t a.s.

Rendimento total do branqueamento ODEopDD: **92,85%**

Problema 77:

O rendimento da deslignificação com dois estágios de uma polpa de eucalipto foi determinado como sendo 98,5%. A carga de soda cáustica aplicada nos dois estágios foi de 3,5% base NaOH. Qual a possível contribuição em SST – Sólidos Secos Totais para o sistema de recuperação do licor quando o filtrado da lavagem for recuperado junto ao licor preto do cozimento? Expressar em toneladas de SST por tonelada de celulose não branqueada absolutamente seca e também seca ao ar.

Solução:

Base referencial: 100 t a.s. polpa entrando na deslignificação com oxigênio

Perda de sólidos orgânicos na deslignificação com oxigênio devido rendimento de 98,5%:

100 – 98,5 = 1,5 t a.s. sólidos orgânicos

Contribuição dos sólidos minerais devido à soda cáustica:
3,5%, ou seja:
0,035 . 100 = 3,5 toneladas secas de soda cáustica

Peso total de material dissolvido a ingressar no sistema de recuperação do licor:

(1,5 t a.s. sólidos orgânicos) + (3,5 toneladas secas de soda cáustica) =

5 toneladas secas de SS – Sólidos Secos

Expressando base celulose não branqueada entrando na deslignificação:

Base polpa absolutamente seca = 5 t SS/100 t polpa a.s.
Ou 0,05 t SS/t a.s. polpa ≡ **50 kg por t a.s. de polpa**

Já com base em tonelada de polpa seca ao ar, deve-se considerar não 1 t a.s. de polpa, mas sim 0,9 t a.s. de polpa (que equivale a 1 t de polpa seca ao ar)

50 kg SS ---------- 1 t a.s.
X ---------- 0,9 t a.s.

X = **45 kg por t seca ao ar de polpa**

Problema 78:

Uma fábrica compra oxigênio com 90% de pureza e o insumo é faturado com base em peso de oxigênio puro nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP). Na fábrica, o oxigênio é medido com base em volume nas condições do dia da descarga. Em um dia onde a temperatura média for 25ºC e a pressão do gás recebido for 5 atmosferas qual será o valor a ser pago se o volume de gás medido nessas condições for de 200 m³?

Solução:

Base referencial: 200 m³ de gás contendo 90% (base volume) de oxigênio medido em condições ambientais

Condições ambientais: 25ºC (298ºK) e 5 atmosferas

Condições a CNTP: 0ºC (273ºK) e 1 atmosfera

Cálculo da quantidade de Oxigênio puro no gás em condições ambientais = 0,9 . 200 = **180 m³ de oxigênio puro**

Cálculo do volume de oxigênio a CNTP através da Lei Geral dos Gases ou Equação de Clapeyron:

P1 = 5 atmosferas
V1 = 180 m³ oxigênio
T1 = 298ºK

P2 = 1 atmosfera
T2 = 273ºK
V2 = ?

$$(P1 . V1)/T1 = (P2 . V2)/T2$$

$$(5 . 180)/298 = (1 . V2)/273$$

V2 = **824,5 m³ de oxigênio a CNTP**

À CNTP cada molécula grama de oxigênio possui 22,4 litros e pesa 32 gramas

22,4 litros ---------- 32 gramas

22,4 m³ ---------- 32 kg
824,5 m³ ---------- Z

Z = 1.177,86 kg a ser faturado ou **1,17786 toneladas de oxigênio a 100% puro e nas condições normais de temperatura e pressão**

Problema 79:

O consumo de reagentes químicos no branqueamento em uma fábrica de celulose kraft branqueada expresso como quilos por toneladas de celulose branqueada seca ao ar foi de 30 kg/t para soda cáustica e 20 kg/t de ClO_2. Os consumos se referiam apenas à sequência de branqueamento DEDD. O rendimento dessa etapa de branqueamento foi de 95%. Expressar as cargas aplicadas totais em percentual base polpa não branqueada absolutamente seca entrando no branqueamento.

Solução:

Base referencial: 1 tonelada de celulose absolutamente seca entrando no branqueamento

Cargas aplicadas de reagentes:

30 kg de NaOH/t seca ao ar de polpa branqueada
20 kg de ClO_2/t seca ao ar de polpa branqueada

30 kg NaOH ---------- 0,9 t a.s. celulose branqueada
X ---------- 1 t a.s. polpa branqueada

X = **33,33 kg de NaOH/t a.s. polpa branqueada**

20 kg ClO_2 ---------- 0,9 t a.s. celulose branqueada
Y ---------- 1 t a.s. polpa branqueada

Y = **22,22 kg de ClO_2/t a.s. polpa branqueada**

Rendimento no branqueamento: 95%

Peso de celulose não branqueada equivalente a 1 t a.s. de celulose branqueada:

100 t a.s. polpa não branqueada -------- 95 t a.s. polpa branqueada
Z ---------- 1 t a.s. polpa branqueada

Z = **1,0526 t a.s. polpa não branqueada**

Logo, as cargas aplicadas base celulose não branqueada serão calculadas como a seguir:

(33,33 kg de NaOH/t a.s. polpa branqueada) : (1,0526 t a.s. polpa não branqueada/t a.s. polpa branqueada) =

31,66 kg de NaOH/t a.s. polpa não branqueada

(22,22 kg de ClO_2/t a.s. polpa branqueada) **:** (1,0526 t a.s. polpa não branqueada/t a.s. polpa branqueada) =

21,11 kg de ClO_2/t a.s. polpa não branqueada

Os valores em percentagem podem ser facilmente calculados referenciando esses valores de consumo não por tonelada a.s. de polpa não branqueada, mas sim por 100 kg desse mesmo tipo de polpa:

- 31,66 kg de NaOH/t a.s. polpa não branqueada

Ou seja:
3,166 kg de NaOH/100 kg a.s. de polpa não branqueada = **3,166%**

- 21,11 kg de ClO_2/t a.s. polpa não branqueada

Ou seja:
2,111 kg de ClO_2/100 kg a.s. de polpa não branqueada = **2,111%**

Problema 80:

Uma fábrica de celulose solúvel pelo processo pré-hidrólise kraft produz 1.000 toneladas absolutamente secas de celulose na saída de seu digestor por dia. Após lavagem e depuração, a polpa mostra um número kappa de 10 e a análise do filtrado que acompanha a polpa indica um arraste de matéria orgânica de 15 kg de DQO (Demanda Química de Oxigênio) por tonelada de polpa absolutamente seca. A polpa não branqueada é enviada para uma sequência de branqueamento sem deslignificação com oxigênio.
No primeiro estágio de dioxidação a carga de dióxido de cloro é calculada com base na fórmula:

%Cloro Ativo = 0,15 . (Nº Kappa) + 0,05 . (Arraste em kg DQO/t)

Considerando que os equivalentes gramas do dióxido de cloro e do cloro ativo são respectivamente 13,5 e 35,5 gramas por molécula-grama, calcular a quantidade de cloro ativo em kg de cloro ativo por tonelada absolutamente seca a aplicar nesse primeiro estágio inicial do branqueamento. Qual o consumo diário de dióxido de cloro nesse primeiro estágio de dioxidação?

Solução:

Base referencial: Uma tonelada absolutamente seca de celulose entrando no estágio de dioxidação no branqueamento

Cloro ativo a aplicar:

%Cloro Ativo = 0,15 . (Nº Kappa) + 0,05 . (Arraste em kg DQO/t)

Nº Kappa = 10
Arraste ou Perda alcalina = 15 kg de DQO/t a.s.

%Cloro Ativo = 0,15 . 10 + 0,05 . 15 = 2,25% de Cloro Ativo

Cálculos das aplicações de Cloro Ativo ou de Dióxido de Cloro:

2,25% de Cloro Ativo

Ou seja:

2,25 kg cloro ativo ---------- 100 kg a.s. polpa
X ---------- 1.000 kg a.s. polpa

X = **22,5 kg Cloro Ativo/t a.s. polpa entrando no estágio**

Expressando em ClO_2, teremos como já visto anteriormente:

Cloro Ativo ---------- ClO_2

35,5 g ---------- 13,5 g
22,5 kg/t a.s. ---------- Y

Y = **8,56 kg ClO_2/t a.s. polpa entrando no estágio**

Consumo diário de dióxido de cloro nesse primeiro estágio de dioxidação:

(8,56 kg ClO_2/t a.s. polpa entrando no estágio) . 1.000 t a.s./dia =

8.560 kg/dia ou **8,56 t de ClO_2/dia**

==========

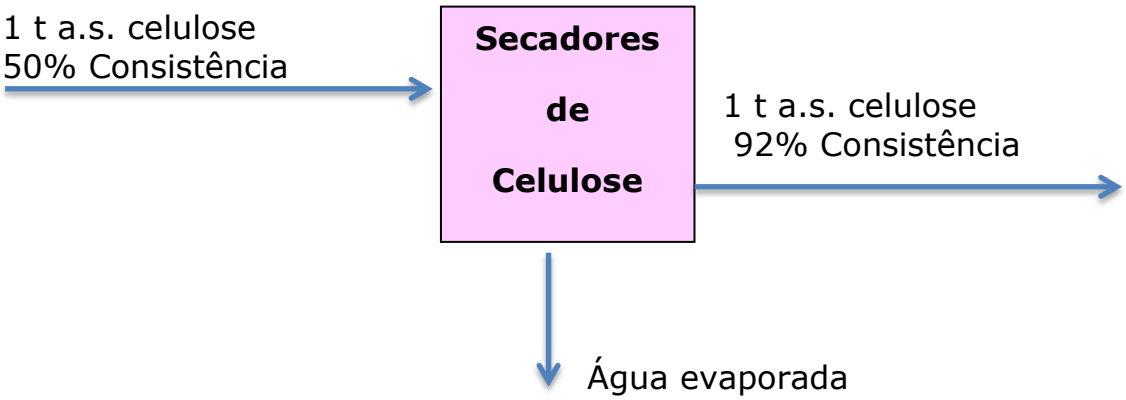
SEÇÃO 08: PRODUÇÃO DE CELULOSE – FORMAÇÃO E SECAGEM DA FOLHA

Problema 81:

Qual a quantidade de água que é removida por tonelada seca ao ar na área da máquina de secar a celulose entre a prensa úmida e a saída dos fardos, sabendo que a consistência na saída das prensas é de 50% e nos fardos de 92%? Quanto de água permanece nos fardos de celulose em termos de quilogramas de água por tonelada absolutamente seca de celulose? Quanto de água é evaporada em termos de mesma base de celulose absolutamente seca?

Solução:

Base referencial: Uma tonelada absolutamente seca de celulose



Entrada de polpa na secagem das folhas:

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

1 t a.s. de polpa seca
+
1 t de água

Saída de polpa da secagem das folhas:

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

1 t a.s. de polpa seca
+
0,087 t de água

87 kg de água que permanecem nos fardos por tonelada a.s. de polpa

Balanço de massa da água no sistema:

1 t água entrando
=
0,087 t água saindo com a polpa seca
+
Água evaporada

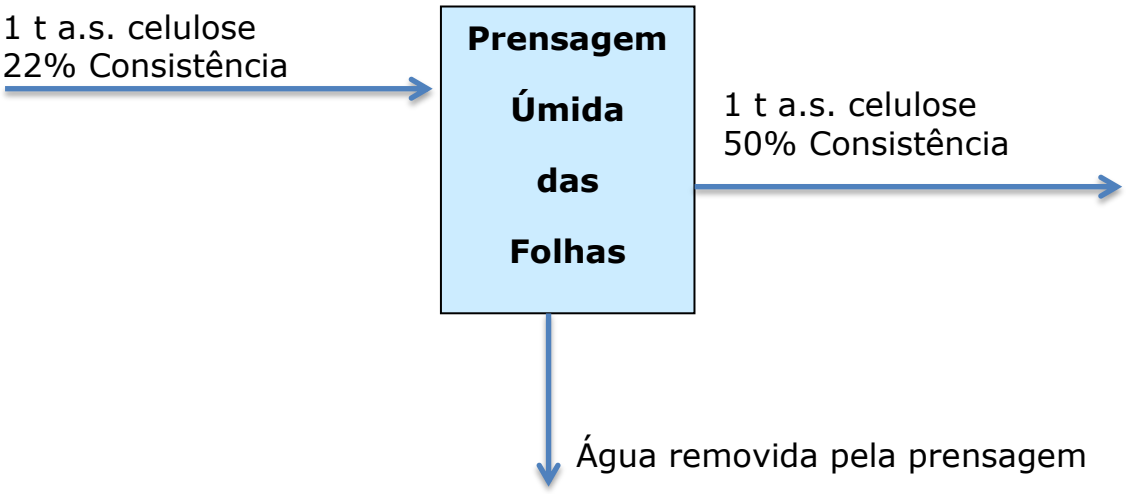
Água evaporada = 1 – 0,087 = **0,913 t água evaporada pela secagem de cada tonelada absolutamente seca de folhas de celulose**

Problema 82:

A seção de prensas úmidas de uma máquina de secar celulose branqueada eleva a consistência da folha de 22% para 50%. Em uma máquina que processe 500 toneladas por dia de polpa absolutamente seca, qual a quantidade de água que é removida por dia na seção de prensas? Caso essa máquina estivesse processando celulose não branqueada ao invés de branqueada, qual seria a quantidade de água removida, mantidos esses mesmo parâmetros informados para a massa branqueada?

Solução:

Base referencial: Uma tonelada absolutamente seca de celulose



Entrada de polpa na prensagem das folhas:

1 t a.s. polpa
22% Consistência
Peso úmido = (1 t a.s. polpa) : 0,22 = 4,545 toneladas úmidas de polpa
Sendo:

1 t a.s. de polpa seca
+
3,545 t de água

Saída de polpa da secagem das folhas:

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

1 t a.s. de polpa seca
+
1 t de água

Balanço de massa da água no sistema:

3,545 t de água entrando
=
1 t água saindo com a polpa seca
+
Água removida pela prensagem

Água removida pela prensagem = **2,545 t água/t a.s. polpa**

Quantidade de água removida por dia de operações:

Produção: 500 t a.s./dia

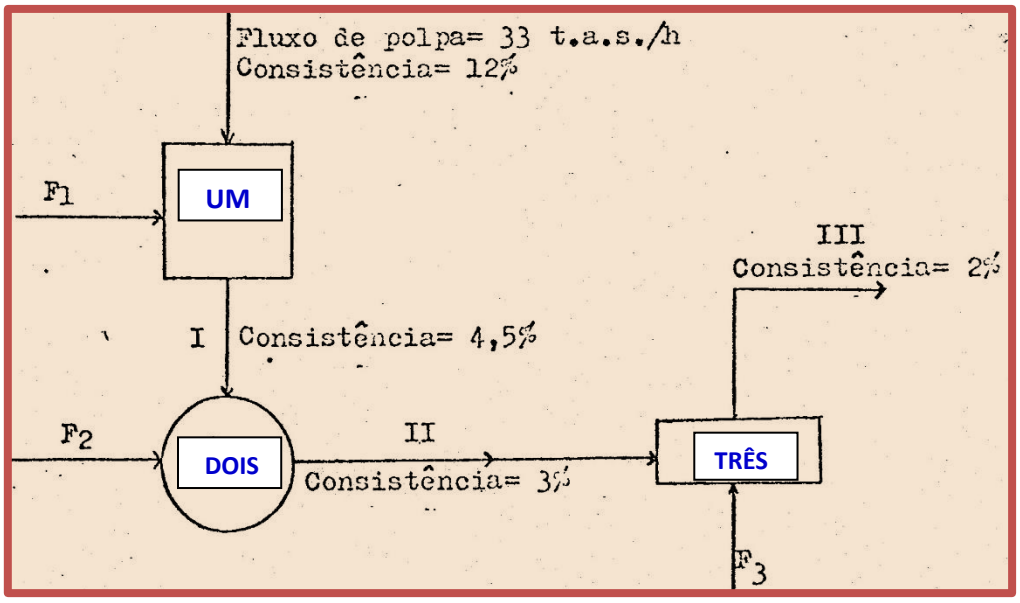
Água removida por dia =
(2,545 t água/t a.s. polpa) . (500 t a.s. polpa/dia) =

1.270 t de água removidas por dia de operação da fábrica

Caso a fábrica processasse celulose não branqueada ao invés de branqueada, os resultados seriam absolutamente os mesmos, já que os conceitos adotados e aplicados são válidos para os dois tipos de celulose, sem distinções.

Problema 83:

Calcular os fluxos de água F1, F2 e F3 no seguinte fluxograma:



Solução:

Base referencial: Uma hora de operação

Balanço de massa na posição UM:

Entradas na posição UM:

Polpa Seca = 33 t a.s./hora
Consistência: 12%
Polpa Úmida = (33 t a.s./hora) : 0,12 = 275 t úmidas/hora
Água com a polpa na posição UM = 275 – 33 = 242 t água entrando com a polpa em UM

F1 = fluxo F1 de entrada de água de diluição em UM

Saídas da posição UM:

Polpa Seca = 33 t a.s./hora
Consistência: 4,5%
Polpa Úmida = (33 t a.s./hora) : 0,045 = 733,33 t úmidas/hora
Água com a polpa saindo da posição UM = 733,33 – 33 = 700,33 t água saindo com a polpa em UM

Fluxo F1 de água de diluição =

F1 = 700,33 – 242 = **458,33 t água entrando para diluir a polpa de 12% para 4,5% de consistência**

Balanço de massa na posição DOIS:

Entradas na posição DOIS:

Polpa Seca = 33 t a.s./hora
Consistência: 4,5%
Polpa Úmida = (33 t a.s./hora) : 0,045 = 733,33 t úmidas/hora
Água com a polpa na posição DOIS = 733,33 – 33 = 700,33 t água entrando com a polpa em DOIS

F2 = fluxo F2 de entrada de água de diluição

Saídas da posição DOIS:

Polpa Seca = 33 t a.s./hora
Consistência: 3%
Polpa Úmida = (33 t a.s./hora) : 0,03 = 1.100 t úmidas/hora
Água com a polpa saindo da posição DOIS = 1.100 – 33 = 1.067 t água saindo com a polpa de DOIS

Fluxo F2 de água de diluição =

F2 = 1.067 – 700,33 = **366,67 t água entrando para diluir a polpa de 4,5% para 3% de consistência**

Balanço de massa na posição TRÊS:

Entradas na posição TRÊS:

Polpa Seca = 33 t a.s./hora
Consistência: 3%
Polpa Úmida = (33 t a.s./hora) : 0,03 = 1.100 t úmidas/hora
Água com a polpa na posição TRÊS = 1.100 – 33 = 1.067 t água entrando com a polpa em TRÊS

F3 = fluxo F3 de entrada de água de diluição

Saídas da posição TRÊS:

Polpa Seca = 33 t a.s./hora
Consistência: 2%
Polpa Úmida = (33 t a.s./hora) : 0,02 = 1.650 t úmidas/hora
Água com a polpa saindo da posição TRÊS = 1.650 – 33 = 1.617 t água saindo com a polpa de TRÊS

Fluxo F3 de água de diluição =

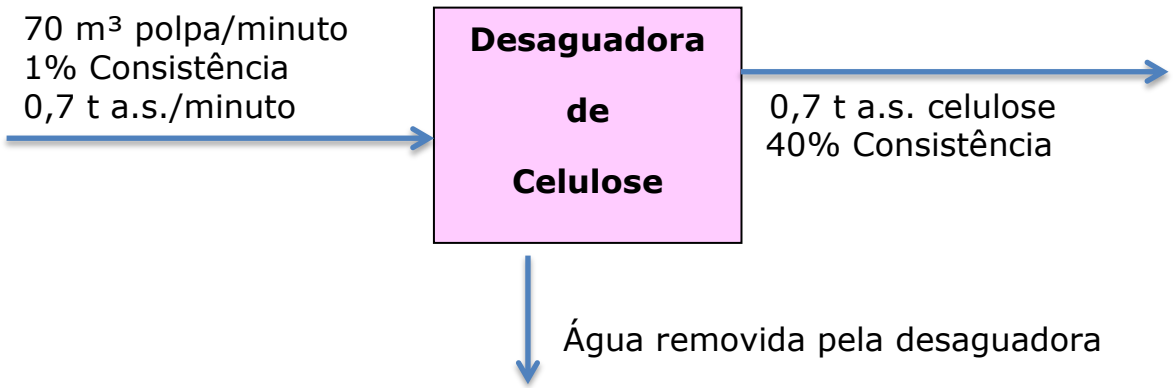
F3 = 1.617 – 1.067 = **550 t água entrando para diluir a polpa de 3% para 2% de consistência**

Problema 84:

Em uma máquina de desaguar celulose para produção de folhas úmidas a 40% de consistência a massa sai da caixa de entrada com 1% de consistência. O fluxo de saída de massa celulósica da caixa de entrada é de 70 metros cúbicos de massa por minuto. Calcular a quantidade de água que é removida pela prensa desaguadora e a quantidade produzida de folhas úmidas, seja em base peso absolutamente seco como em peso úmido. Não são perdidas fibras pelo sistema porque todo o filtrado do desaguamento é retornado como água de diluição para acertar a consistência da massa enviada à caixa de entrada.

Solução:

Base referencial: Um minuto de operação



Entradas na desaguadora:

Polpa úmida = 70 m³/min = 70 t úmida/minuto
Polpa seca: 70 . 0,01 = 0,7 t a.s./minuto
Água entrando com a polpa = (70 – 0,7) = 69,3 t água/minuto

Saídas da desaguadora:

Polpa seca: **0,7 t a.s./minuto**
Polpa úmida = (0,7 t a.s./minuto) : 0,4 = **1,75 t polpa úmida/minuto**
Água saindo com a polpa = (1,75 – 0,7) = **1,05 t água/minuto**

Balanço de massa para águas:

69,3 t água entrando com a polpa/minuto
=
1,05 t água saindo com a polpa/minuto
+
Fluxo de água removida pelo desaguamento

Logo:

Fluxo de água removida pelo desaguamento = 69,3 – 1,05 =

68,25 t água removida/minuto

Produção diária de celulose:

Polpa úmida = (1,75 t polpa úmida/minuto) . (1.440 minutos/dia)
Polpa úmida = **2.520 t úmidas por dia** (a 40% de consistência)

Polpa absolutamente seca = (0,7 t a.s./minuto) . (1.440 minutos/dia)
Polpa absolutamente seca = **1.008 t a.s. por dia**

Problema 85:

A folha úmida logo após prensagem contem 55% de umidade. Após a secagem, 90% da água original foi removida. Calcule a consistência da folha de celulose após a secagem e calcule a massa de H_2O removida por tonelada de polpa absolutamente seca.

Solução:

Base referencial: Uma tonelada absolutamente seca de polpa

Entrada na secagem:

Polpa seca: 1 t a.s.
Umidade: 55%
Consistência: 45%
Polpa úmida: (1 t a.s.) : 0,45 = 2,22 t de folha de polpa úmida
Água entrando com a polpa na secagem = 2,22 – 1 = **1,22 t água**

Remoção de 90% dessa água na secagem =

1,22 . 0,9 = **1,098 t de água removida por tonelada a.s. polpa**

Sobra de água na folha após a secagem = 1,22 – 1,098 t água =

0,122 t água com 1 t a.s. de polpa saindo da secagem

Peso úmido total saída secagem = 1 + 0,122 = 1,122 t úmidas
Peso a.s. da folha saída secagem = 1 t a.s.

Consistência da folha na saída da secagem = 100 . { (1 t a.s.)/(1,122 t total)}
Consistência = **89,13% de consistência na folha após secagem**

Problema 86:

Na fabricação de folhas de celulose solúvel para venda no mercado a massa fibrosa chega à caixa de entrada da máquina de formar e secar as folhas com uma consistência de 1%. Essa massa sai da mesa plana na forma de uma folha úmida com 25% de consistência, depois sai da seção de prensagem úmida com 50% de consistência e finalmente sai da bateria de secadores com uma consistência de 95%.
Pergunta-se: Em quais dessas seções se remove a maior quantidade de água por tonelada absolutamente seca de massa fibrosa que entra na máquina? Qual a quantidade de água removida nessa seção eleita?

Solução:

Base referencial: Uma tonelada absolutamente seca de celulose

Consistências:

1%	25%	50%	95%

Peso a.s.: Uma tonelada absolutamente seca ao longo de toda a máquina

Valores de polpas úmidas para cada uma das consistências acima:

100 t	4 t	2 t	1,052

Peso de água em cada situação para 1 t a.s. de polpa seca:

99 t	3 t	1 t	0,052 t

Remoção de água por tonelada a.s. de polpa:

Mesa plana : (99 – 3) = **96 t água / t a.s. polpa**

Prensagem úmida: (3 – 1) = **2 t água / t a.s. polpa**

Secadores: (1 – 0,052) = **0,948 t água / t a.s. polpa**

A maior remoção se dá na mesa plana, onde se remove 96 t de água por tonelada de polpa a.s.

Do total de água removida pela máquina em questão
(99 – 0,052) = 98,948 t água

... a mesa plana remove

100 . (96/98,948) = **97% do total removido**

==========

==========

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 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, 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.

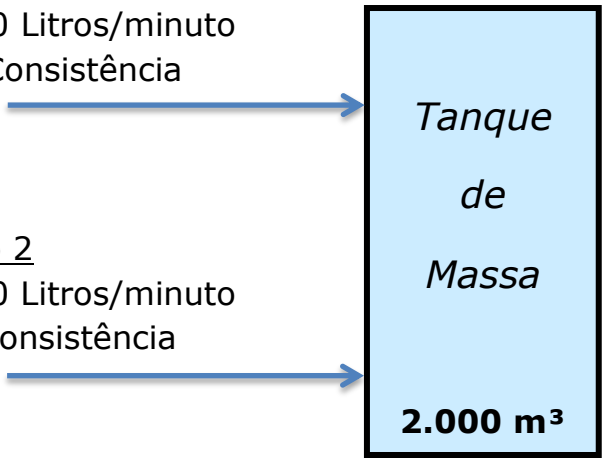
Problema 87:

Dois tubos estão entregando massa celulósica a um tanque com fluxos de 4.000 litros/minuto e 6.500 litros/minuto. Se a consistência do tubo de menor fluxo for de 8% e o tubo com maior fluxo for de 3%, em quanto tempo o tanque que possui 2.000 m³ estará cheio, considerando que ele se encontrava vazio no início das operações? Qual será a consistência da massa resultante no tanque?

Solução:

<u>Fluxo 1</u>
4.000 Litros/minuto
8% Consistência

<u>Fluxo 2</u>
6.500 Litros/minuto
3% consistência



Base referencial: Volume de 2.000.000 litros do tanque de massa

Fluxo 1:
4.000 Litros a 8% de consistência/minuto
4.000 kg de polpa úmida a 8% de consistência/minuto

Fluxo 2:
6.500 Litros a 3% de consistência/minuto
6.500 kg de polpa úmida a 3% de consistência/minuto

Para encher o tanque serão tomados **Y minutos**

Volume do tanque: 2.000 m³ ≡ 2.000.000 litros

$$4.000\ Y + 6.500\ Y = 2.000.000$$
$$10.500\ Y = 2.000.000$$

Y = **190,5 minutos para encher o tanque**

Peso seco de massa que entrou no tanque via dois tubos:

Tubo 01 = Fluxo . Tempo . Consistência =
= 4.000 . 190,5 . 0,08 = 60.960 kg a.s. de massa seca

Tubo 02 = Fluxo . Tempo . Consistência =
= 6.500 . 190,5 . 0,03 = 37.147,5 kg a.s. de massa seca

Peso a.s. total de massa no tanque =

60.960 + 37.147,5 = 98.107,5 kg absolutamente secos
= **98,1075 toneladas a.s.**

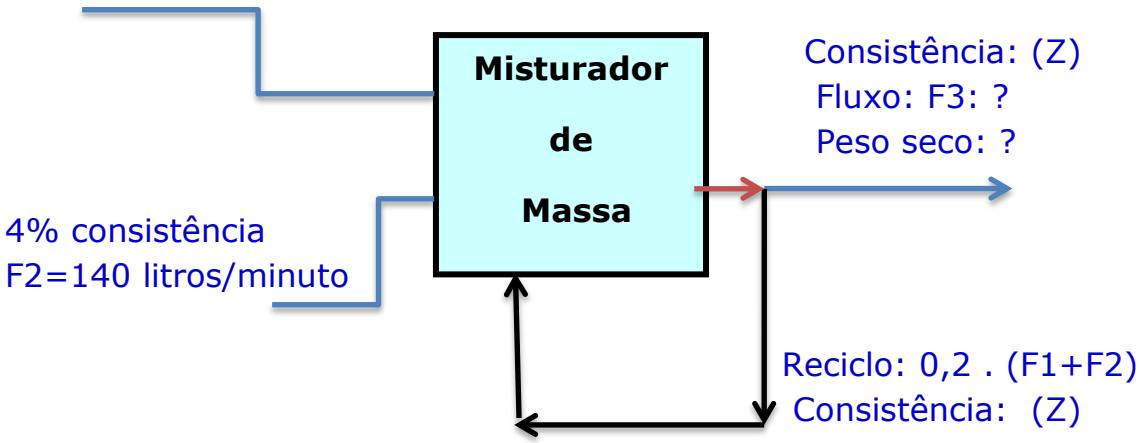
Peso úmido total no tanque = 2.000.000 litros ou 2.000 toneladas úmidas

Consistência = 100 . (98,1075/2.000) = **4,9% de consistência**

Problema 88:

Um sistema envolve duas alimentações de massa e um reciclo de polpa para alimentar um misturador de massa. Esse reciclo corresponde a 20% dos fluxos novos (F1 e F2) que estão entrando no misturador.
Determinar a quantidade e a consistência de massa que sai do tanque por minuto:

2% Consistência
F1 = 300 litros/minuto



Solução:

Entradas no misturador de massa:

F1 = 300 litros/minuto = 300 kg úmidos/minuto
2% consistência
F1 ≡ 6 kg a.s. de polpa/minuto

F2 = 140 litros/minuto =140 kg úmidos/minuto
4% consistência
F2 ≡ 5,6 kg a.s. de polpa/minuto

Reciclo:
0,2 (F1+F2)
Consistência do reciclo = será a mesma de saída da massa do tanque e igual a **(Z)**

Fluxo do Reciclo = 0,2 (F1+F2) = 0,2 (300 + 140) =
Fluxo do Reciclo = 88 litros/minuto
Fluxo Reciclo base seca ≡ (88 litros/minuto) . (Z)

Saída do misturador de massa:

F3 + FluxoReciclo = (F3 + 88) litros/minuto
Fluxo de saída base seca: (F3 + 88) . (Z)

Cálculo de F3 via balanço dos fluxos

F1 + F2 + FluxoReciclo = (F3 + FluxoReciclo)

300 + 140 + 88 = F3 + 88

F3 = 440 litros/minuto

Balanço via pesos absolutamente secos:

F1 ≡ 6 kg a.s. de polpa/minuto
+
F2 ≡ 5,6 kg a.s. de polpa/minuto
+
Fluxo Reciclo base seca ≡ (88 litros/minuto) . (Z)
=
Fluxo de saída base seca: (F3 + 88) . (Z)

6 + 5,6 + 88.(Z) = (F3 + 88).(Z)

11,6 + 88.(Z) = 440.(Z) + 88.(Z)

440. (Z) = 11,6

(Z) = **2,636% de consistência**

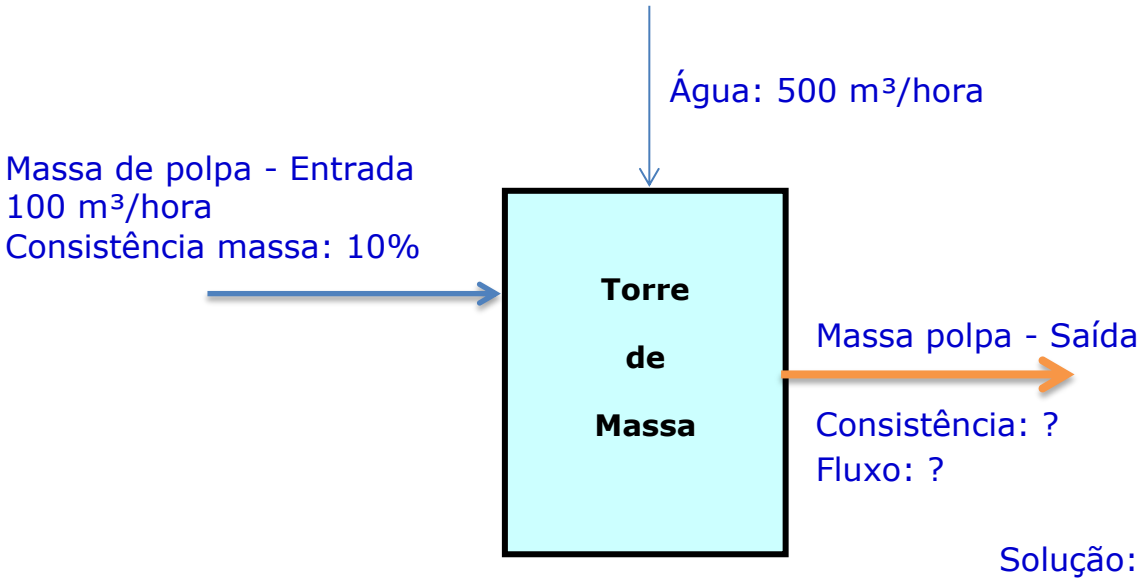
Peso polpa deixando o sistema:
F3 . (Z)
440 . 0,263 = **11,6 kg a.s. polpa/minuto**

Quando temos algum reciclo dentro de um sistema, é perfeitamente possível se ampliar o escopo e os limites do balanço, deixando o reciclo englobado pelo novo limite.

Isso porque o reciclo não interfere no balanço, uma vez que o que entra acaba saindo sem se acumular no sistema. Foi exatamente o que se observou no presente problema.

Problema 89:

No fluxo de uma torre de massa como a seguir, calcular os valores solicitados com interrogações:



Solução:

Base referencial: Uma hora de operações

Entradas no tanque de massa:

Fluxo de polpa = 100 m³/hora ≡ 100 t úmidas/hora
Consistência: 10%
Fluxo de polpa absolutamente seca:
(100 t úmidas/hora) . 0,10 = 10 t a.s./hora

Fluxo de água entrando no tanque = 500 m³/hora ≡ 500 t/hora

Balanço de massa para o tanque (Entradas e Saídas):

Fluxo de saída = (100 t úmidas/hora) + 500 t água/hora = **600 t úmidas/hora**

Peso seco de polpa na saída = Peso seco de polpa na entrada = **10 t a.s. de polpa/hora**

Consistência na saída do tanque:

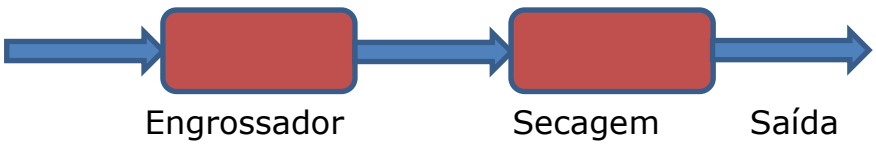
Consistência = 100 {(10 t a.s.) : (600 t úmidas)} = **1,67%**

Problema 90:

Em um processo de produção de celulose, obtém-se após uma série de operações uma massa com 95% de umidade. Essa massa é submetida a um engrossamento em um equipamento do qual sai com umidade de 50%. Posteriormente, essa massa ainda é submetida a uma secagem que remove 85% da água ainda presente na polpa após o engrossador. Quanto de água foi em cada uma das duas etapas? Qual a consistência da polpa ao final do processo?

Solução:

Base referencial: Uma tonelada absolutamente seca de polpa



Consistências

5% 50% **W**

Peso úmido de polpa e de água em cada situação por 1 t a.s. de polpa seca

(1 t a.s.)	(1 t a.s.)	
0.05	0,5	
20 t úmidas	2 t úmidas	**X** t úmidas
1 t a.s.	1 t a.s.	1 t a.s.
19 t água	1 t água	**Y** t água

O enunciado do problema afirma que a secagem remove 85% da água presente na polpa após o engrossador, ou seja:

0,85 . (1 t água)= 0,85 t água

Permanecendo com a polpa seca: 1 – 0,85 = 0,15 t água
Y = 0,15 t água

Logo:

X = (1 t a.s.) + 0,15 = **1,15 t úmidas**

Cálculo da consistência após secagem:

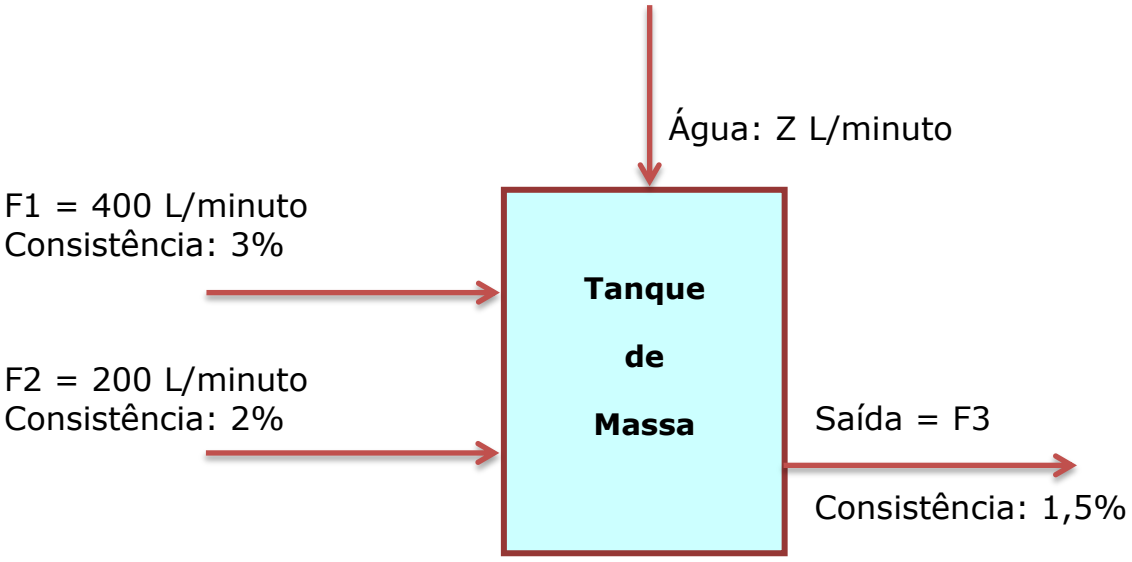
W = {(1 t a.s.): (1,15 t úmidas)} = **86,96%**

Problema 91:

Sejam dois fluxos de massa celulósica: um com 400 litros por minuto a 3% de consistência e outro a 200 litros/minuto a 2% de consistência. Ao se reuni-los em um mesmo tanque de massa, qual deve ser a quantidade de água a adicionar para trazer a mistura de massa resultante a uma consistência de 1,5%?

Solução:

Base referencial: Um minuto de operações



Balanço de fluxos úmidos no tanque de massa:

F1 + F2 + Z = F3
400 + 200 + Z = F3

Z = F3 - 600

Balanço de água no tanque de massa:

Água em F1:
(400 kg úmidos) – (Peso seco de polpa em F1) =
400 – (400 . 0,03) = 400 – 12 = **388 litros água /minuto**

Água em F2:
(200 kg úmidos) – (Peso seco de polpa em F2) =
200 – (200 . 0,02) = 200 – 4 = **196 litros água/minuto**

Peso seco em F3 é exatamente a soma dos pesos secos de F1 e F3 =

12 + 4 = **16 kg a.s.**

Logo, o fluxo de massa úmida em F3 será:

F3 = 16 : 0,015 = **1.066,7 kg úmidos/minuto**

Consequentemente, o valor de Z ou de água a ser adicionada é obtido de:

Z = F3 - 600
Z = 1.066,7 – 600 = **466,7 kg água/minuto**

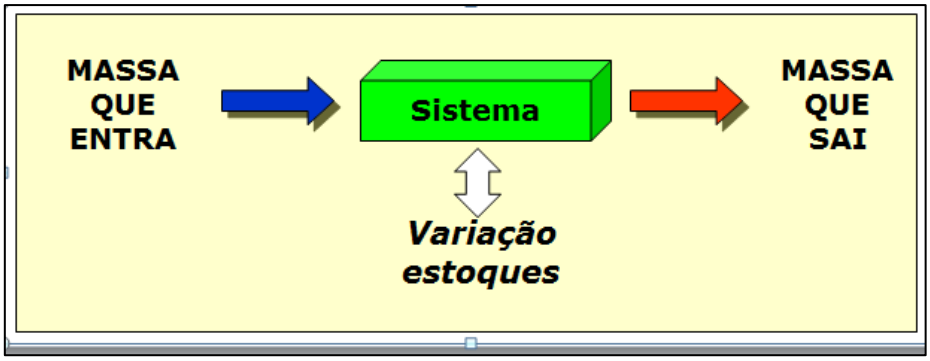
A água em F3 pode ser conseguida de duas formas, para se checar se o problema está bem resolvido:

Soma de entradas de água deve ser igual à de saída:
Entradas de água = 388 + 196 + 466,7 = 1.050,7 kg de água por minuto

Saída de água em F3 = (1.066,7 kg úmidos) – 16 kg a.s. = 1.050,7 kg de água por minuto

CQD - Como se queria demonstrar...

Portanto, observem – todo balanço de massa se baseia nesses conceitos muitos simples, como já vimos e repetimos abaixo:



Problema 92:

Têm-se 10 litros de uma suspensão de fibras a 2% de consistência. Caso se adicione a essa massa mais 10 litros de água, qual passará a ser a consistência resultante? Caso se queira uma amostra de 2 gramas de celulose absolutamente seca, qual deve ser a alíquota dessa massa a ser provetada?

Solução:

Polpa original:
10 litros de suspensão de fibras ≡ 10 kg úmidos
Consistência = 2%

Peso seco na polpa original:

(10 kg úmidos) . 0,02 = 0,2 kg a.s./10 kg úmidos = **200 gramas a.s./10 kg úmidos**
Ou...
200 gramas a.s./10 litros de suspensão fibrosa

Amostra a ser coletada para se retirar 2 gramas a.s. de polpa seca:

200 g a.s. --------- 10 litros ---------- 10 kg úmidos
2 g a.s. ---------- **X**

X = 0,1 litros = **100 ml de amostra**

Problema 93:

Uma tubulação abastece um tanque de massa de 2.500 m³ com um fluxo de polpa absolutamente seca de 32 toneladas por hora. A massa está a uma consistência de 3,6%.
Pergunta-se:

- Quanto tempo leva para se encher completamente esse tanque?
- Quando o tanque estiver completamente cheio, qual será sua capacidade de armazenar celulose?

Solução:

Base referencial: Tanque de massa de 2.500 m³

Alimentação do tanque:
Fluxo de massa seca: 32 t a.s./hora
Consistência: 3,6%

Fluxo de polpa úmida:
(32 t a.s./hora) : 0,036 = 888,89 t úmidas/hora = **888,89 m³/hora**

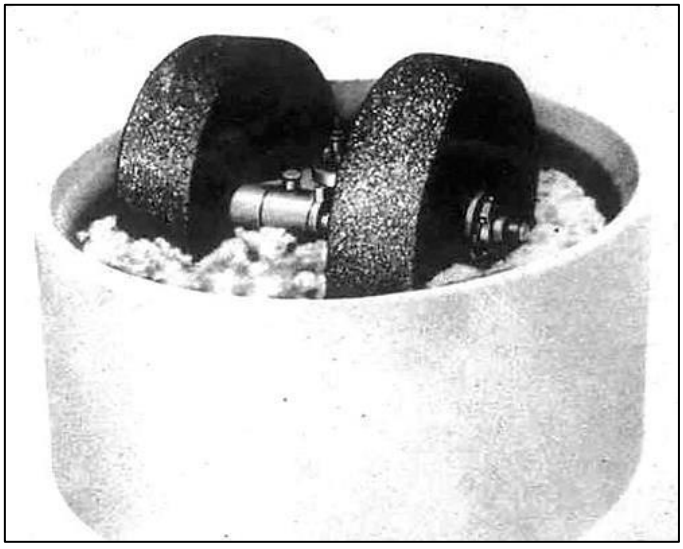
Nº de horas para encher o tanque com 2.500 m³ de capacidade:

(2.500 m³) : 888,89 m³/hora = **2,812 horas**

Peso de massa seca no tanque cheio:

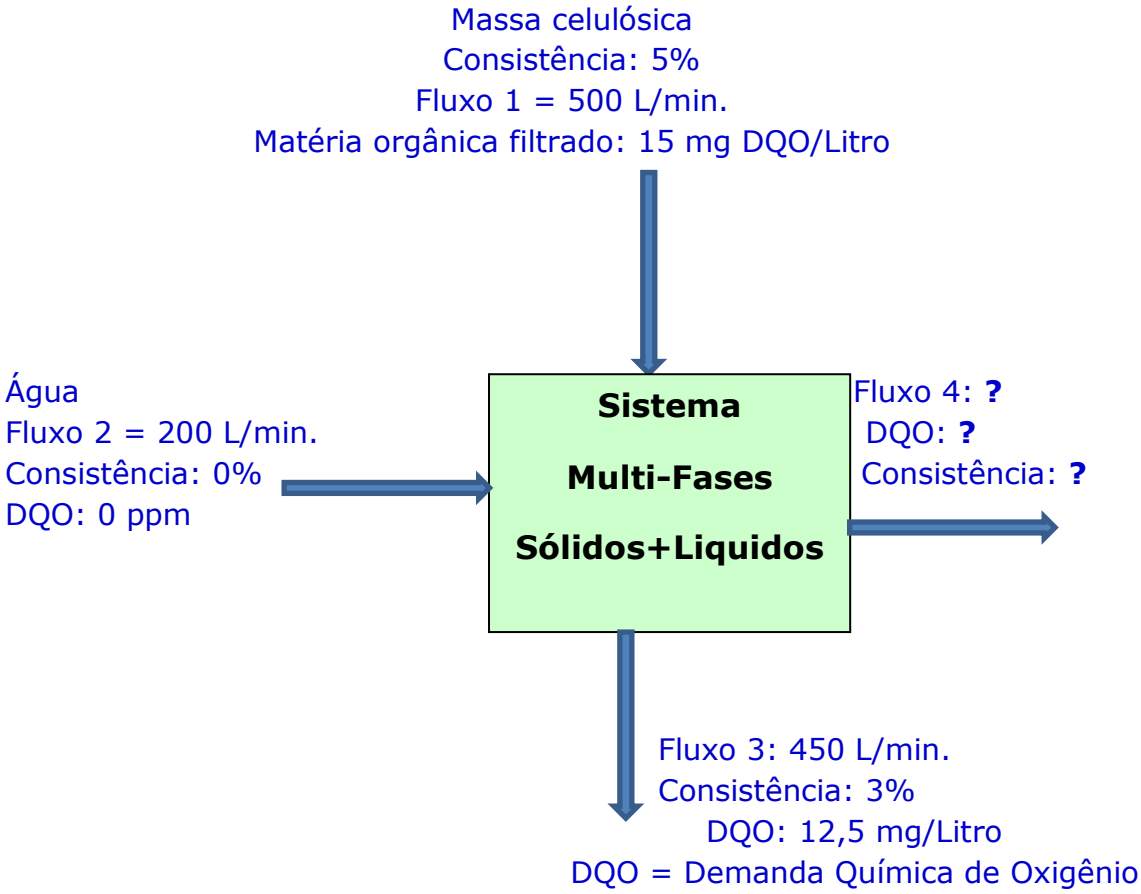
2.500 m³ = 2.500 toneladas úmidas

Pmassaseca = 2.500 . 0.036 = **90 t a.s. de massa seca no tanque**



Problema 94:

Calcule as interrogações no seguinte sistema em que está descrito um balanço de massa de polpa e filtrado:



DQO = Demanda Química de Oxigênio

Solução:

Base referencial: Um minuto de operações

Entradas no sistema

Água: F2 = 200 litros/minuto

Massa celulósica úmida em F1:
F1 = 500 litros/minuto = 500 kg/minuto

Massa celulósica seca em F1:

F1 = 500 . 0,05 = 25 kg a.s./minuto

Líquido entrando com F1 = 500 – 25 = 475 litros água/minuto

DQO: 15 mg/litro
DQO entrando no tanque via líquido = (15 mg/L) . (500 – 25) =
7.125 mg DQO/minuto

Saídas do sistema

Fluxo F3 = 450 litros/minuto = 450 kg úmidos/minuto

Massa celulósica seca em F3 = (450 kg úmidos/minuto) . 0,03 =
13,5 kg a.s./minuto

Líquido saindo com F3 = (450 kg úmidos/minuto) – 13,5 kg a.s./minuto =
436,5 kg líquido/minuto

DQO em F3 = 12,5 mg/litro
DQO saindo do tanque via F3 = (12,5 mg/L) . (450 – 13,5) =
5.456,25 mg DQO/minuto

Cálculo dos valores de F4 via balanço entre entradas e saídas:

Balanço de massa para polpa absolutamente seca:

Entradas: 25 kg a.s./minuto
Saídas: (13,5 kg a.s./minuto em F3) + F4

Entradas = Saídas

F4 = 25 – 13,5 = **11,5 kg a.s./minuto**

Balanço de massa para fluxos úmidos:

Entradas: F2 + F1 = 200 + 500 = 700 litros/minuto =
700 kg úmidos/minuto

Saídas: F3 + F4 = 450 + F4

Entradas = Saídas

700 = 450 + F4
F4 = 250 kg úmidas/minuto

Consistência em F4:

100 . {(11,5 kg a.s./minuto) : (250 kg úmidas/minuto)} =
4,6% de consistência

Líquido em F4:
250 kg úmidas/minuto – 11,5 kg a.s./minuto =
238,5 kg de líquido/minuto = **238,5 litros/minuto**

Balanço de DQO:

Entradas = 7.125 mg DQO/minuto

Saídas = F4 + F3 = F4 + 5.456,25 mg DQO/minuto

Entradas = Saídas

7.125 mg DQO/minuto = F4 + 5.456,25 mg DQO/minuto
F4 = 1.668,75 mg DQO/minuto

Concentração de DQO em F4:

(1.668,75 mg DQO/minuto) : (238,5 litros/minutos) =
7 mg/litro de DQO no filtrado em F4

Problema 95:

Um sistema de depuração via hidrociclones deve operar com 0,45% de consistência, mas o controlador dessa característica registra um valor de 0,8% para o fluxo de massa. Qual deve ser a providência para se corrigir esse problema? Se tivermos um fluxo de entrada de massa de 200 toneladas absolutamente secas por hora, qual deverá ser a quantidade de água a adicionar ou retirar dessa massa?

Solução:

Base referencial: Uma hora de operações

Fluxo em polpa a.s.: 200 t a.s./hora

Consistência desejada: 0,45%
Consistência atual: 0,8%

F1 = Fluxo de polpa úmida na consistência atual:
F1 = (200 t a.s./hora) : (0,008) = **25.000 m³/hora**

F2 = Fluxo de polpa úmida na consistência desejada:
F2 = (200 t a.s./hora) : (0,0045) = **44.444,4 m³/hora**

F3 = Fluxo de água a adicionar para acertar a consistência:

F3 = 44.444,4 – 25.000 = **19.444,4 m³/hora**

Em geral esse fluxo não é constituído de água fresca, mas sim de reciclo do próprio filtrado após o engrossamento da polpa depurada pela bateria de hidrociclones.

==========

SEÇÃO 10: COMERCIALIZANDO A CELULOSE COM BASE EM PESO SECO AO AR

Problema 96:

Uma fábrica de papel comprou 500 toneladas brutas de celulose de mercado com 88% de consistência, sendo que o faturamento deve ser feito base celulose seca ao ar com 90% de consistência. Qual deve ser o peso faturado na nota fiscal? A firma compradora ganhou ou perdeu com o frete de transporte dessa carga, já que foi ela que pagou o transporte?

Solução:

Dados:
500 toneladas brutas (ou úmidas) de celulose
Consistência: 88% ou 0,88

Cálculo do peso absolutamente seco de celulose comprada:

(500 t úmidas) . 0,88 = 440 t a.s.

Cálculo do peso seco ao ar de celulose comprada:

Peso seco ao ar é aquele obtido se referenciando à celulose com uma consistência de 90%, ou 10% de umidade. Nessas condições, uma tonelada seca ao ar possui então 0,9 toneladas absolutamente secas.

Ou seja:

1 t seca ao ar ---------- 0,9 t a.s.

X ---------- 440 t a.s.

X = **488,89 t secas ao ar**

A empresa compradora adquiriu então 488,89 t secas ao ar de celulose, mas recebeu 500 t úmidas, já que a umidade dos fardos ao invés de ser 10% era de 12%. Com isso, ao invés de ter que transportar 488,89 toneladas de polpa, acabou pagando por um transporte de 500 toneladas brutas. Com isso, acabou pagando mais pelo frete, já que a empresa fabricante de celulose entregou uma celulose ligeiramente mais úmida.

Essas diferenças estão dentro do que se considera aceitável nas negociações entre compradores e fornecedores de celulose, já que se sabe que é impossível se fabricarem todos os fardos com 10% de umidade ou 90% de consistência.

Entretanto, o faturamento do peso comercial de celulose é sempre feito com base no peso seco ao ar.

Em nosso exemplo, o faturamento deve ser de 488,89 toneladas e não de 500 t.

Problema 97:

Na produção de celulose solúvel para utilização em um determinado tipo de derivado de celulose, é desejável que o teor de secos das folhas de polpa seja de no mínimo 93%. Qual deve ser o peso seco ao ar a ser faturado para uma carga dessa celulose com 93,5% de consistência quando na balança se detecta um peso bruto de fardos de celulose de 50 toneladas?

Solução:

Dados:
Peso bruto de celulose: 50 toneladas
Consistência: 93,5% ou 0,935

Peso a.s. da celulose solúvel:

(50 toneladas úmidas ou brutas) . 0,935 = 46,75 t a.s. celulose

Peso seco ao ar de celulose solúvel:

1 t seca ao ar ---------- 0,9 t a.s.
Y ---------- 46,75 t a.s.

X = **51,94 t secas ao ar**

Portanto, independentemente do fato de se querer uma celulose a 93% de consistência, o faturamento continua a ser base 90% secos, que é a consistência da celulose base seca ao ar.

Interessantemente nesse caso, a empresa recebe 50 toneladas brutas e vai pagar por 51,94 toneladas secas ao ar.

Muitas vezes, alguns compradores não conseguem entender esse tipo de cálculo ou desconhecem a metodologia para faturar celulose de mercado. Com isso, reclamam por acreditarem estar pagando por mais celulose do que receberam pelo peso bruto da balança.

Problema 98:

Uma fábrica de celulose produz 10 fardos ou unidades de carga em uma hora de operação, cada um deles com 2008 kg de peso bruto. O peso bruto é o peso da balança, inclusive da capa feita de celulose. O peso dos arames totais da unitização é de 8 kg por unidade unitizada e devem ser descontados, pois não devem ser considerados como peso de celulose. O cliente recebe os arames, mas não paga por eles como polpa. A umidade de cada fardo é medida através de um equipamento automático que mede o peso e a umidade de cada fardinho e faz o valor integrado para o fardo unitizado de 8 fardinhos. Cada fardinho possui 250 kg de polpa e a unidade de carga ou fardo

possui então 2.000 kg de celulose, peso da balança, não considerando os arames. O fardo corresponde a 8 fardinhos de 250 quilogramas cada um.
Calcular os pesos de celulose absolutamente secos e de pesos secos ao ar de cada fardo unitizado produzido nessa hora de produção, conforme a tabela a seguir:

Fardo	Peso bruto celulose (kg)	Umidade (%)	Consistência (%)	Peso a.s. (kg)	Peso seco ao ar (kg)
01	2.000	8,92			
02	2.000	7,54			
03	2.000	8,65			
04	2.000	9,05			
05	2.000	9,02			
06	2.000	10,00			
07	2.000	10,06			
08	2.000	11,67			
09	2.000	10,78			
10	2.000	10,09			
Peso total (Kg)	20.000				

Solução:

Esse é um tipo de cálculo simples, que é executado milhares de vezes em fábricas de celulose de mercado. Cada fardinho de celulose de mercado tem seu peso úmido determinado por balanças acopladas a medidores de umidade. Com isso, é possível se calcular o peso absolutamente seco e a seguir o peso seco ao ar de cada um deles. Os equipamentos já estão programados para fazer a integração dos valores dos fardinhos e apresentar o peso seco ao ar de cada unidade de carga de celulose a ser comercializada.

Apenas a título de exemplo, vamos realizar esses cálculos, que são realizados por esses equipamentos especiais. Apesar de especiais, esses equipamentos são calibrados e aferidos pelos tradicionais testes de laboratório, com secagem de amostras em estufas a 105±3ºC.

Vamos a seguir repetir a tabela e realizar os cálculos sobre ela mesmo, apenas colocando o procedimento de cálculo para o primeiro fardinho:

Fardo	Peso bruto celulose (kg)	Umidade (%)	Consistência (%)	Peso a.s. (kg)	Peso seco ao ar (kg)
01	2.000	8,92	91,08	1.821,6	2.024,0
02	2.000	7,54	92,46	1.849,2	2.054,7
03	2.000	8,65	91,35	1.827,0	2.030,0
04	2.000	9,05	90,95	1.819,0	2.021,1
05	2.000	9,02	90,98	1.819,6	2.021,7
06	2.000	10,00	90	1.800,0	2.000,0
07	2.000	10,06	89,94	1.798,8	1.998,7
08	2.000	11,67	88,33	1.766,6	1.962,9
09	2.000	10,78	89,22	1.784,4	1.982,7
10	2.000	10,09	89,91	1.798,2	1.998,0
Peso total (kg)	20.000		90,422	18.084,4	20.093,8

Cálculos para fardinho 01

Umidade = 8,92%
Consistência = 91,08% ou 0,9108
Peso úmido = 2.000 kg
Peso a.s. = 2.000 . 0,9108 = **1.821,6 kg a.s.**

1 t seca ao ar ---------- 0,9 t a.s.
Z ---------- 1.821,6 kg a.s.

Z = **2.024 kg secos ao ar**

Os demais cálculos seguem a mesma metodologia.

Ao final, basta se somar os resultados de cada fardo e comprovar se os valores individuais somados estão de acordo com o valor do peso a.s. e do peso seco ao ar dos 10 fardos mostrados na última linha.

A última linha da tabela serve para aferição se os cálculos estão corretos, pois pode ser obtida ou a partir do peso bruto total e da consistência média, ou da soma de cada fardo individualmente.

Problema 99:

Uma fábrica de celulose de mercado fabrica fardos unitizados contendo 8 fardinhos por cada unidade. O peso bruto garantido de cada fardinho é de 250 kg e logo, a unidade de carga pesa 2.000 kg brutos. Um cliente entendera que cada fardinho continha 250 kg de celulose seca ao ar ao invés de peso bruto. No caso específico da carga recebida pelo cliente, que foi de 100 toneladas brutas, quanto imaginava estar recebendo o cliente e quanto ele recebeu de faturamento em peso seco ao ar se a consistência desse lote foi de 92%? Isso ocasionou uma reclamação de falta de peso pelo cliente de quantas toneladas de polpa?

Solução:

Dados:

Peso bruto comprado pelo cliente: 100 toneladas
Consistência: 92% ou 0,92

Peso a.s. correspondente: (100 t brutas) . 0,92 = **92 t a.s. celulose**

Peso seco ao ar correspondente:

(92 t a.s. polpa) : 0,9 = **102,22 t seca ao ar de celulose**

O cliente imaginava estar recebendo 100 toneladas de celulose seca ao ar, mas recebeu cobrança por 102,22 t. Logo, ele reclamou uma diferença que entendera cobrada a maior de 2,22 toneladas, porém estava enganado.

Muitas vezes, é difícil que ele entenda e há que se ter muita habilidade para mostrar esses cálculos e as regras que fundamentam esse comércio de celulose de mercado.

Problema 100:

Para se determinar o peso seco ao ar a ser faturado de uma carga de celulose de mercado foram colhidas amostras ao acaso de um lote de 150 toneladas de peso bruto. O valor médio de umidade foi de 8% para um sub-lote de 50 toneladas e de 12% para o outro sub-lote de 100 toneladas brutas. Qual o valor a ser faturado do cliente em termos de peso seco ao ar?

Solução:

Lote 01:

50 toneladas brutas ou úmidas
Umidade: 8%
Consistência: 92%

Peso a.s. de celulose do lote 01 = (50 t úmidas) . 0,92 = 46 t a.s.

Peso seco ao ar de celulose do lote 01:

(46 t a.s.) : 0,9 = **51,11 t seca ao ar de celulose**

Lote 02:

100 toneladas brutas ou úmidas
Umidade: 12%
Consistência: 88%

Peso a.s. de celulose do lote 02 = (100 t úmidas) . 0,88 = 88 t a.s.

Peso seco ao ar de celulose do lote 02:

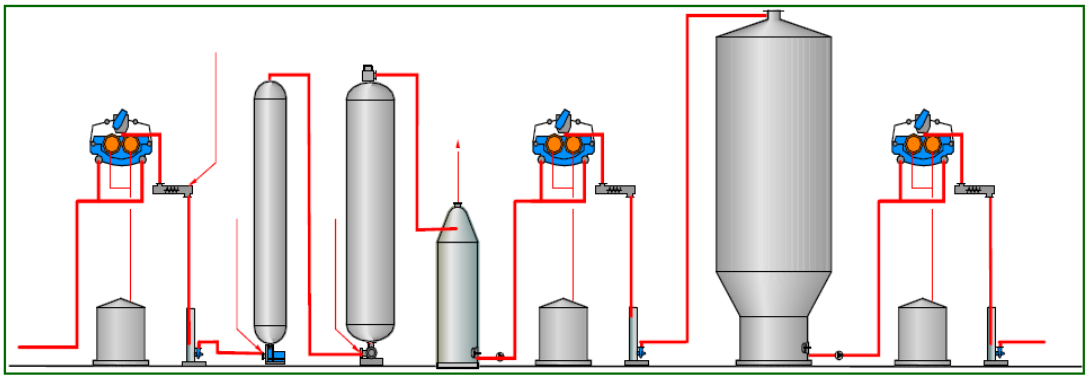
(88 t a.s.) : 0,9 = **97,78 t seca ao ar de celulose**

Peso seco ao ar dos dois lotes somados:

51,11 + 97,78 = **148,89 t secas ao ar em celulose para o negócio comercial em questão**

Mesmo se entregando 150 toneladas úmidas como peso de balança, o valor a ser faturado será 148,89 toneladas secas ao ar.

SEÇÃO 11: UM EXEMPLO VISUAL DE UM BALANÇO DE MASSA SIMPLES PARA ENTENDIMENTO DE CONCEITOS



Linha de fibras em geral com seus múltiplos gargalos

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.

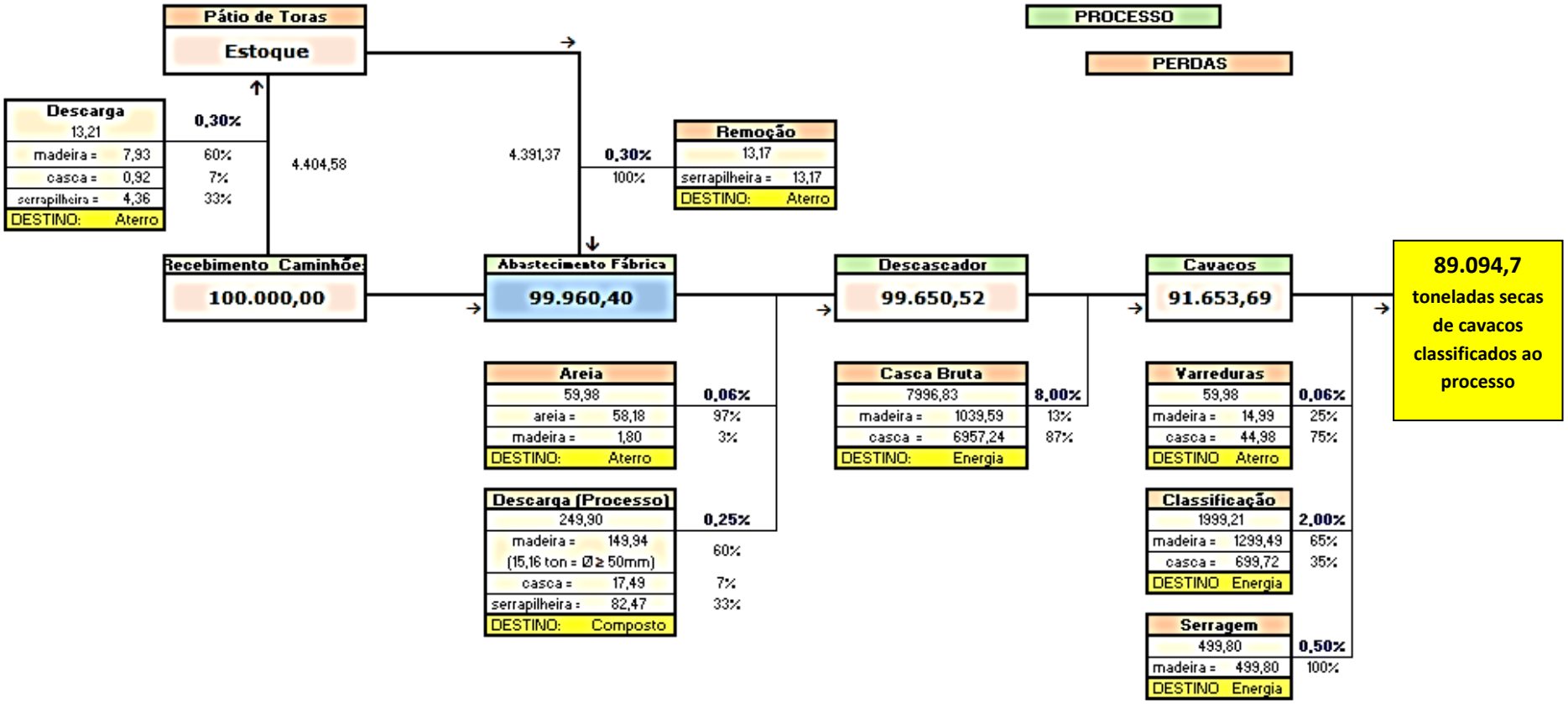
Muitas vezes, as fábricas mudam seus sistemas e redesenham seus projetos, por isso, nessas novas situações, os balanços de massa e de energia também demandam por atualizações para que os controles e as otimizações possam ser corretas.

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.

Observem a seguir um balanço de um pátio de madeira onde existem perdas de massa (terra, casca, toretes de madeira, cavacos, etc.) ao longo do processo, desde o recebimento da madeira até a classificação dos cavacos, como a seguir:

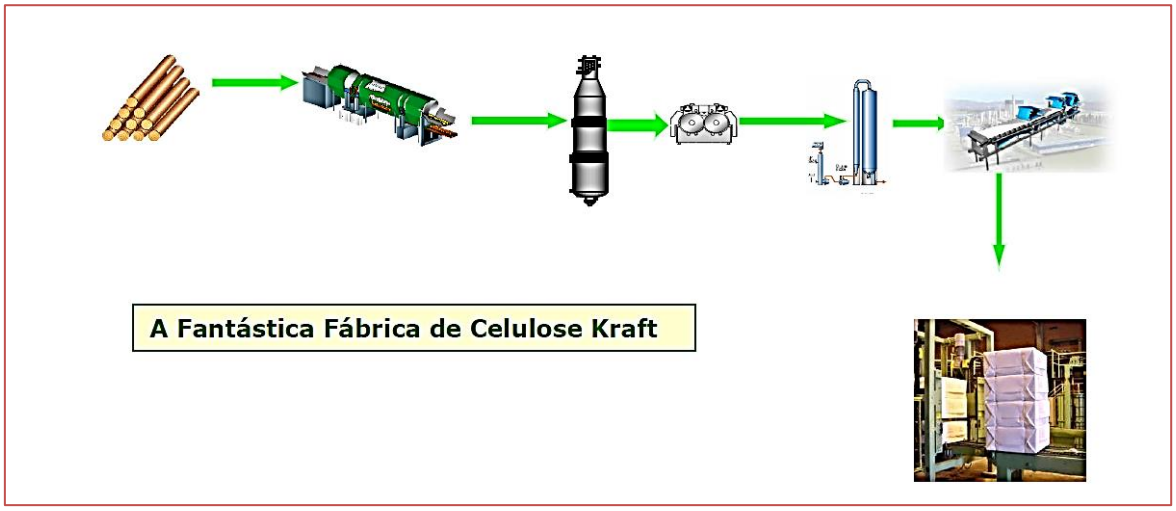
Fluxo de Massa (toneladas absolutamente secas)

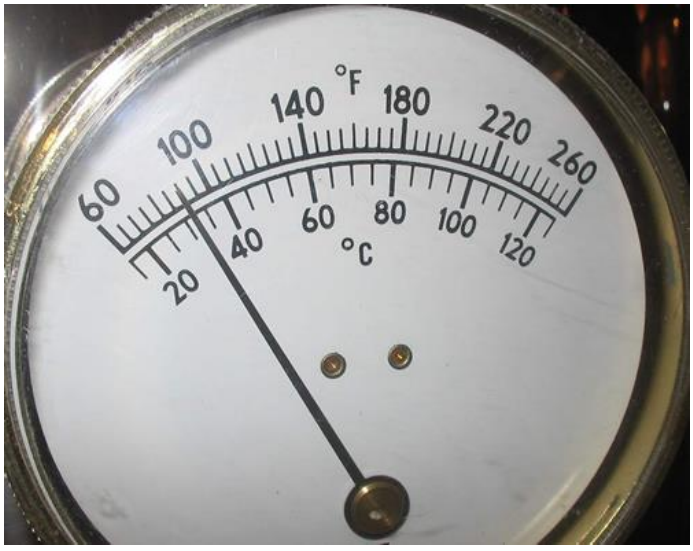
Referência: Um mês típico de produção



Balanços de massa podem ser construídos para quaisquer das coisas rotineiras da vida diária, pois estamos sempre tendo variações de entradas, saídas e acumulações de materiais em quaisquer situações na Natureza

E assim poderemos acompanhar melhor todos os ciclos produtivos, mas lembrem-se, em massa seca por um determinado período de tempo períodos – pois essas serão sempre as unidades referenciais críticas nos balanços de massa.





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 38 do **Eucalyptus Online Book**.

Endereço para envio: foelkel@via-rs.net

Projeto de suprimento de madeira e casca para uma fábrica de celulose kraft branqueada

Uma fábrica brasileira de celulose de mercado deverá se instalar no Rio Grande do Sul, mais precisamente na região sul do estado, utilizando áreas de pastagens para os plantios de eucalipto que será o único tipo de matéria-prima fibrosa para alimentar o digestor. A capacidade de produção projetada é de 2.000 toneladas secas ao ar (90% consistência) de celulose branqueada na forma de fardos por dia de produção, sendo que se consideram 355 dias de efetiva produção com 95% de utilização da capacidade produtiva em media ao longo dos dias de produção no ano.

O rendimento no cozimento é projetado ser de 52%, sendo que o rendimento global ao longo da depuração, lavagem, deslignificação com oxigênio e branqueamento está projetado ser de 94%.

Um grupo de engenheiros florestais esta sendo contratado para estabelecer um plano de plantios e de abastecimento de madeira para a fábrica.

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

- Área total necessária de efetivo plantio;
- Espécies sugeridas para plantio;
- Área anual de corte;
- Plano de plantio, colheita e transporte das toras;
- Número de mudas a serem produzidas anualmente;
- Área de preservação permanente e de reserva legal que será mantida ou reabilitada;
- Estimativa da produção de casca e caracterização sobre destino energético da mesma na fábrica;
- Produção anual da fábrica em toneladas de celulose absolutamente seca saindo do digestor;
- Consumo diário e anual de madeira;
- Número de cargas diárias a abastecer a fábrica e estimativa de número de caminhões;
- Plano de transporte e chegada dos caminhões de forma a minimizar a compra de caminhões;
- Quantidade diária estimada de toras descarregadas;
- Quantidade estimada de toras manuseadas;
- Estimativa de dimensões e capacidades de pátios de toras e de pilhas de cavacos na fábrica;
- Projetar a rotação do pátio de toras e da pilha de cavacos;
- Quantidade estimada de arvores a abater por dia;
- Tipo de descascamento a ser adotado;
- Comprimento linear de cada tora;
- Quantidade diária e anual de cavacos produzidos e consumidos;
- Especificação da qualidade dos cavacos em termos de densidade aparente, dimensões e umidade;
- Número estimado de árvores por tonelada de produto;
- Consumo específico de madeira em m^3 sólidos de madeira com e sem casca por tonelada de produto final;
- Estimativa de exportações de macronutrientes removidos com a casca e a madeira por hectare de efetivo plantio;
- Plano de utilização dos resíduos lenhosos da fábrica (casca, cavacos descartados, galhos, toretes quebrados, etc.);

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 esse capítulo do **Eucalyptus Online Book**. Ele 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 de celulose e papel.

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 suprimento de madeira e fabricação de celulose na linha de fibras de fábricas de celulose.

Espero que o que escrevi possa lhes ser de utilidade, estimados amigos leitores.

Boa sorte com suas calculeiras futuras

==========

REFERÊNCIAS DA LITERATURA E SUGESTÕES PARA LEITURA

Apesar de relativamente escassos, 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 alunos.

É muito importante que vocês naveguem logo e façam os devidos *downloading's* dos materiais de seu interesse nas nossas referências de euca-links. 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.

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

A eficiência da lavagem da polpa marrom. G.A. Molino. O Papel 75(9): 50 – 57. (2014)

http://www.sinpacel.org.br/informativos/2014/654/A-eficiencia-da-lavagem-de-polpa-marrom.pdf

Aspectos práticos e conceituais sobre a fabricação de celulose de mercado do tipo kraft branqueada a partir de madeira de eucalipto. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 31. 370 pp. (2013)

http://eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT31_ProcessoKraftEucalipto.pdf

Condições ideais para o consumo específico de madeira na produção de celulose. F.A.B. Moraes; C.L. Piratelli; J.A. Achcar. Production 24(3): 712 - 724 . (2013)

http://www.scielo.br/pdf/prod/v24n3/aop_prod0497.pdf

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)

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

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

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

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

The first year of operation of the Botnia Fray Bentos pulp mill in Uruguay. S. Saarela; E. Garcia; I. Eluen; V. Fernandez. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 22 pp. (2008)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Botnia-Saarela-First%20year%20operation.pdf (em Inglês)

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

Resíduos sólidos industriais da produção de celulose kraft de eucalipto - Parte 01: Resíduos orgânicos fibrosos. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 05. 78 pp. (2007)

http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT05_residuos.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

Avaliação da operação de filtros rotativos a vácuo na lavagem de polpa marrom através dos parâmetros de filtração. C.R.F. Pacheco; J.L. Paiva; A.S. Reynol Jr. O Papel (Abril): 69 – 76. (2005)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2005_Filtros_lavagem_polpa.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

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

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

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

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

Fundamentos de lavagem da polpa. A. Mokfienski. ABTCP – associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. (S/D = Sem referência de data)

http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgh-gAB/fundamentos-lavagem-polpa-mokfienski

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)