

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS-MG

ENGENHARIA MECÂNICA

DOUGLAS DALBERTO ROSA

INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM MOINHOS DE ROLOS PENDULARES

Varginha - MG

2011

FEPESMIG

DOUGLAS DALBERTO ROSA

INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM MOINHOS DE ROLOS PENDULARES

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG apresentado como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob orientação do Prof.Érick Vitor Silva.

Varginha – MG

2011

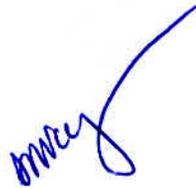
FEPESMIG

DOUGLAS DALBERTO ROSA

INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM MOINHOS DE ROLOS PENDULARES

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG realizado como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em: / /



Prof.Ms. Luiz Carlos Vieira Guedes



Prof.Ms. Alexandre Oliveira Lopes

OBS.:

Dedico este trabalho primeiramente a Deus que sempre me proporcionou o convívio com pessoas especiais, adquirindo sabedoria e força para superar os obstáculos e a minha família pelo apoio.

“O fracasso jamais me surpreenderá se minha
força de vencer for maior”.
Og mandino.

RESUMO

Este estudo é baseado na necessidade de inovações em equipamentos de moagem de minérios não ferrosos, com o objetivo de aumentar a vida útil do equipamento e diminuir o custo de produção, implementando dispositivos que permitam um controle mais estável de moagem, com maior aproveitamento dos recursos disponíveis.

Palavras chave: Inovações. Moagem. Minérios não ferrosos.

ABSTRACT

This study based on the necessity of technological innovation of non ferrous ore milling equipment, with the goal of increasing the useful life of the equipment, and decreasing the production cost, implementing devices which allow a more stable control of milling, with a better use of the available resources.

Keywords:*Inovations. Milling. Non ferrous ore*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01: Ilustração dos Mecanismos de Fragmentação.....	11
Figura 02: Ilustração de um hidrociclone.....	14
Figura 03: Ilustração do Movimento da Carga Interna do Moinho em Relação a sua Velocidade de Rotação	18
Figura 04: Moinho de Barras.....	19
Figura 05: Moinho de Bolas	20
Figura 06: Moinho Raymond.....	24
Figura 07: Moinho Raymond.....	24
Figura 08: Motoredutor.....	28
Figura 09: Peças Detalhadas Acionamento Principal.....	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Tipos de Materiais juntamente com suas aplicações, fórmula química, dureza e peso específico.....	24
Tabela 02 – Orçamento junto ao fabricante Boiller e Mill.....	30

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	PROCESSOS DE MOAGEM	11
2.1	Determinação do Moinho Adequado.....	17
3	PRINCIPAIS TIPOS DE MOINHOS	18
3.1	Moinhos Tubulares	18
3.2	Moinhos de Barras	19
3.3	Moinhos de Bolas.....	19
3.4	Moinhos de Seixos	20
3.5	Moinhos Autógenos e Semi-Autógenos	20
3.6	Moinhos de Trajetória Fixa.....	21
3.7	Moinhos de Rolo.....	21
3.8	Moinhos Tipo Martelo	21
3.9	Moinhos Giratórios	22
3.10	Britador-Moinho Ag-Moinho de Bolas (FAB).....	22
3.11	Britador-Moinho Sag-Moinho de Bolas (SAB).....	22
4	MOINHOS PENDULARES RAYMOND.....	23
5	INOVAÇÃO PROPOSTAS.....	25
a.	Transmissão.....	25
b.	Dados para seleção	25
c.	Desenvolvimento.....	26
6	COMPONENTES CONSTITUINTES DO ACIONAMENTO PRINCIPAL CORRELACIONADO COM SEU CUSTO	29
7	CONCLUSÃO	31
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32
	ANEXOS	34

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho foi realizado com base nas transformações significativas que estão ocorrendo em todas as áreas do conhecimento com um desenvolvimento científico e tecnológico que aproxima de forma inexorável potências humanas e máquinas. O beneficiamento de minérios é uma delas ao qual o processo de moagem se faz necessário para possibilitar a redução da granularidade do produto para um valor desejado, esta redução também promove a liberação das partículas de interesse dos sedimentos sem valor para o processo.

O processo de moagem determina as características de alimentação dos estágios de separação subseqüentes, características estas que interferem na eficiência da recuperação dos minerais desejados. Para se obter uma recuperação ótima destes elementos, o processo de moagem deve garantir uma vazão de minérios desejada com uma granularidade pré-definida, também visando o menor consumo possível de energia (que representa cerca de 50% do total gasto no processo de concentração) e também minimizar o consumo de reagentes. Existindo diversos tipos de equipamentos para a realização de tal operação, destacando os moinhos pendulares Raymond propondo através de numerosas mudanças no sistema de transmissão que é realizado por correias, dimensionando o dispositivo adequado e demonstrando seus benefícios.

2 PROCESSOS DE MOAGEM

A cominuição, palavra derivada do latim *comminuere*, consiste de um método específico para redução de tamanho de partículas através da utilização de pressão lenta que resulta na propagação de fraturas (compressão), de uma força rápida e de alta intensidade obtendo-se classificações granulométricas finas (impacto), ou através de atrito da superfície de partículas do minério com a superfície dos componentes moedores (abrasão) (Chieregati,2001).

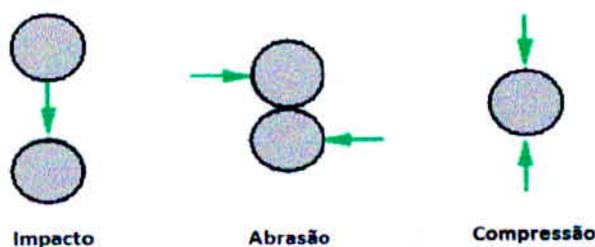


Figura 1: Ilustração dos mecanismos de fragmentação
Fonte: Chieregati, 2001

“A compressão ocorre quando a força é aplicada de forma lenta e permite que, com o aparecimento da fratura, o esforço seja aliviado. Assim a força é pouco superior à resistência da partícula” (Beraldo, 1987).

Esse tipo de fratura é o que ocorre em britadores e produz poucos fragmentos de grande diâmetro.

A cominuição acontece mediante a aplicação de energia, criando impacto, compressão e abrasão, de modo que podemos separar (desagregar) uma substância da sua rocha liberando fragmentos de diversos tamanhos e com diferentes graus de liberação. A liberação dos grãos individuais das substâncias contidas na rocha (que seria, analogicamente, a mistura a ser subordinada à destilação, onde os grãos representariam às moléculas) permite, nos materiais heterogêneos, o incremento do teor individual das partículas criando algum grau de classificação que aumenta o estado entre as fases rocha e polpa utilizando e maximizando as diferenças específicas entre as substâncias liberadas, como por exemplo: a susceptibilidade

magnética, a gravidade específica das substâncias e o tamanho próprio das partículas (fragmentos) ou grãos de substâncias diferentes.

A obtenção das características das partículas é de vital importância no tratamento de minérios, em alguns casos torna-se simples quando se visa apenas uma adequação de tamanho. Em outros, torna-se mais complexa quando converter a uma variável de controle nos processos de cominuição, classificação ou concentração. Na maioria das ocasiões, a cominuição possui como objetivo a liberação física dos diferentes minerais presentes no minério, de modo a permitir sua concentração, podendo também possuir como objetivo um produto com granulometria determinada, adequação a área específica para reações químicas subseqüentes e/ou permitir o manuseio e o transporte contínuo do material. (Beraldo,1987).

A cominuição é um processo que envolve elevado consumo energético e baixa eficiência operacional. Ela normalmente representa o maior custo no beneficiamento de minérios, desta forma a compreensão dos mecanismos de fratura, sendo de uma partícula isolada ou de uma distribuição de partículas, que permitirá se atingir a maximização da eficiência operacional, minimizando os custos pertinentes (Beraldo,1987).

A cominuição, ou redução de tamanho, como assim mencionado, é uma etapa importante no beneficiamento da maioria dos minerais, visando a produção de partículas com tamanho e formato pré-requeridos, liberação dos minerais úteis contidos de concentração e incremento da superfície específica, designando-os para processos químicos subseqüentes. O processo de cominuição é basicamente dividido em duas classes distintas, britagem (cominuição inicial) e moagem (cominuição final) conforme a granulometria e mecanismos de fragmentação envolvidos (Beraldo,1987).

A britagem se emprega quando a redução de tamanho envolvida visa a obtenção de produtos com granulométrica superior a 10 milímetros. Ela se desenvolve em estágios subseqüentes denominados britagem primária, secundária, terciária e eventualmente quaternária. Em cada estágio obtém-se uma relação de redução, definida pelo quociente da dimensão da alimentação pela dimensão do produto. A relação ideal é a de 4 para 1. Para obtenção desta redução de granulometria são utilizados basicamente os mecanismos de impacto, compressão e cisalhamento.

Na britagem normalmente os equipamentos utilizados são os britadores giratórios, de mandíbulas, cônicos, de rolos e de impacto (horizontal e vertical).

Normalmente o tipo de moagem a ser executada depende da granulometria desejada do produto, e não pela forma de aplicação de energia, equipamento utilizado ou pela granulometria de alimentação. De acordo com TAGGART (1951) a moagem se classifica da

seguinte forma: moagem fina (produto com diâmetro máximo de 0,074 mm), moagem intermediária (produto com diâmetro máximo de 0.600 mm) e moagem grossa (produto com tamanho máximo entre 3,360 e 0,841 mm).

Segundo CHAVES (2001), o termo moagem se utiliza quando a redução de tamanho envolvida visa à obtenção de produtos com granulometria inferior a 10 milímetros. De maneira análoga a britagem a moagem contém estágios subseqüentes a fim de se obter as reduções desejadas, utilizando-se de mecanismos de abrasão, compressão e cisalhamento. Na moagem os equipamentos mais utilizados são os moinhos tubulares rotativos (bolas e barras), vibratórios, de rolos e de impacto.

Os processos de cominuição podem ser realizados a seco ou via úmida, dependendo de alguns fatores técnicos e econômicos. Dentre estes fatores a própria umidade com que o minério chega ao processo de cominuição, sendo o custo operacional para realizar a secagem elevada, outro fator é a disponibilidade de água na região que pode tornar-se inviável uma moagem a via úmida.

Geralmente o método utilizado é a moagem a via úmida por apresentar um custo menor de investimento e operacional, e por a água ser um excelente meio de transporte e dissipação de calor (CHAVES, 2001).

O processo de classificação das partículas com base nas suas dimensões físicas é dividido em peneiramento e classificação. O peneiramento é um processo mecânico de separação de partículas que se utiliza de uma superfície perfurada para tal. As partículas com dimensões superiores a da abertura considerada tendem a ficar retidas na superfície, já as com dimensões inferiores tendem a atravessar a mesma. Os equipamentos normalmente utilizados são as peneiras vibratórias, rotativas e estáticas. A classificação é a etapa de separação que se baseia na velocidade de sedimentação das partículas imersas num meio fluido. Os fluidos mais utilizados são a água (hidroclassificadores) e o ar (aeroseparadores), compreendendo basicamente os fenômenos ligados a mecânica dos fluidos. O ciclone é o equipamento mais empregado pela indústria mineral para classificação de partículas finas, devido a sua alta capacidade e eficiência, facilidade de controle operacional e ausência de partes móveis. São utilizados em circuitos fechados, em deslamagens e em operações de desaguamento.

O equipamento consiste de um bloco com uma parte cilíndrica e outra cônica. Na parte cilíndrica contém uma abertura de entrada denominada inlet, pela qual a alimentação é introduzida tangencialmente. São duas as aberturas de saída: Vortex, tubo coaxial situado na

parte superior do ciclone por onde flui o produto fino e o Apex, orifício situado na parte inferior do ciclone, por onde flui o produto grosso.

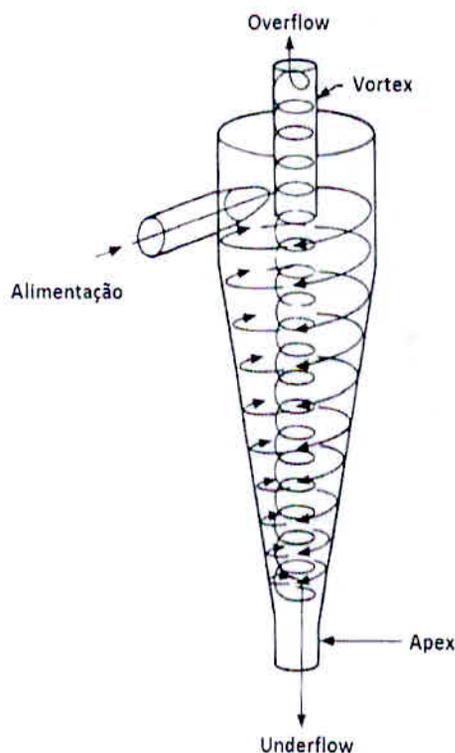


Figura 2: Ilustração de um hidrociclone.
Fonte: Internet (www.wikipedia.org)

Ao entrar no ciclone, devido a sua geometria, a polpa adquire um movimento rotacional que determinam o aparecimento de um fluxo ascensional, que arrasta certa poção do liquido e de partículas para a saída superior (Vortex). Como as partículas relativamente grossas apresentam maior massa, estas são forçadas rapidamente a região mais próxima às paredes do ciclone, devido a força centrífuga, onde perdem velocidade e fluem em movimento espiral para baixo, indo portanto em direção ao apex. Dentre os parâmetros geométricos dos ciclones, os que mais influenciam são:

- Diâmetro do ciclone: Principal parâmetro geométrico do equipamento, geralmente expresso em polegadas, exerce grande influência sobre o diâmetro de corte e determina a capacidade deste. Classificações em granulometrias mais finas requerem ciclones menores;
- Área do inlet: Parâmetro que determina a velocidade de entrada do material e a capacidade volumétrica do equipamento;

- Comprimento da seção cilíndrica e ângulo de cone: Parâmetros que afetam o tempo de residência do material no ciclone e, portanto, influenciam diretamente o desempenho do ciclone;
- Diâmetro do vortex: O aumento do diâmetro do vortex leva a acréscimo na porcentagem de sólidos do overflow e aumento do diâmetro;
- Diâmetro do apex: Embora o aumento do diâmetro do apex promova a diminuição do diâmetro de corte a relação inversa é limitada, pois pode ocorrer acúmulo de partículas grossas dentro do ciclone e, conseqüentemente, sobrecarga do apex. Em situações extremas há bloqueio parcial ou total do fluxo ascensorial de ar, ocorrendo o fenômeno de operação em cordão, quando a maior parte das partículas.

De acordo com (Neves, 2007), os principais parâmetros que são monitorados na operação de um ciclone são:

- Porcentagem de sólidos da polpa de alimentação, geralmente o aumento dessa variável desencadeia o aumento no diâmetro de corte;
- Distribuição granulométrica da alimentação, quanto maior a presença de finos na alimentação maior será a viscosidade da polpa, acarretando aumento do diâmetro de corte;
- Pressão de alimentação, o incremento da pressão da alimentação resulta em aumento na força centrífuga das partículas, diminuindo o diâmetro de corte;

Na hidroclassificação os equipamentos mais utilizados são os cones estáticos, os hidrociclones, os classificadores espirais entre outros. Na arosetação são utilizados os ciclones e os arosetadores dinâmicos. O resultado da classificação deverá passar por um processo de concentração, de forma a recuperar o máximo do minério desejado. A seleção do método de concentração dependerá do minério a ser concentrado e do minério a ser separado.

Dentre os mais antigos está o método de seleção manual, através da inspeção visual, onde são resgatados os minérios de interesse ou excluídos os minerais contaminantes. Atualmente o método de seleção segue o mesmo princípio, porém de forma mecanizada

através de dispositivos que utilizam as propriedades óticas, raio X, condutividade elétrica, magnetismo e radioatividade. Este tipo de concentração é utilizado normalmente na recuperação de diamantes, pedras preciosas e minerais nobres. A separação gravimétrica também foi muito utilizada até o início do século XX, principalmente por seu baixo custo. O método consiste na diferença de densidade existente entre os minerais presentes, utilizando um meio fluido (água ou ar) para efetivar a separação. Normalmente é adotada na produção de ilmenita, zirconita, cromita, entre outros.

A separação eletrostática é baseada na condutividade elétrica do minério a ser concentrado, sendo este um condutor ou não condutor de corrente elétrica. As partículas minerais quando submetidas a um campo elétrico de elevada intensidade, de acordo com sua condutividade, são atraídas ou repelidas por um dispositivo devidamente energizado. Atualmente o método mais difundido e utilizado é a flotação, devido a sua grande versatilidade e seletividade, permitindo a obtenção de concentrados com elevados teores e expressivas recuperações. Seu funcionamento é baseado no comportamento físico-químico das superfícies das partículas minerais presentes numa suspensão aquosa, adicionando assim reagentes específicos que permitem a recuperação seletiva dos minerais de interesse por adsorção em bolhas de ar. A seleção do método de concentração depende da natureza do minério bem como das propriedades do minério a ser separado. Entre elas destacam-se o tamanho das partículas, cor, densidade, suscetibilidade magnética, condutividade elétrica, molhabilidade superficial e solubilidade.

A separação magnética é baseada na suscetibilidade magnética do minério, baseado nesse fato os minerais podem ser divididos em 3 grupos quanto ao seu comportamento quando submetido a um campo magnético: ferromagnéticos (forte atração), paramagnéticos (média e fraca atração) e diamagnéticos (nenhuma atração). Normalmente utilizada na produção de areias quartzosas, feldspatos, nefelinasienitos, entre outros.

Após sua concentração, dependendo da especificação do produto final e do método de comunicação adotado, se faz necessária a retirada da água para obtenção de um produto com baixa umidade. As operações destinadas a diminuição da umidade constituem o desaguamento. O desaguamento pode ser realizado através da filtração, centrifugação, secagem entre outros.

2.1 Determinação do Moinho Adequado

É grande a variedade de equipamentos que se pode obter para a redução de tamanho. As principais razões da existência de uma padronização são as diversidades dos produtos sujeitos á moagem e da qualidade que se quer no produto moído; a pouca extensão da teoria de moagem que se pode usar e as exigências das diferentes indústrias sobre o balanço entre o custo de investimentos e os custos operacionais.

A classificação do equipamento pode ser efetuada mediante a forma de aplicação das forças utilizando guias baseados no tamanho e dureza no material inicial, sendo classificadas em escalas MOHS.

- ✓ Elevada dureza (acima de 6mohs.)
- ✓ Baixa dureza (abaixo de 6mohs.)

Um dos equipamentos mais utilizados e de maior eficiência para moagem de materiais de baixa dureza, considerando-se custo, economia, manutenção e classificação homogênea é o moinho de rolos.

3 PRINCIPAIS TIPOS DE MOINHOS

As principais características de um moinho são suas dimensões e a potência instalada. A potência efetiva de operação é afetada por variáveis operacionais do equipamento, tais como grau de enchimento, velocidade de rotação do moinho e porcentagem de sólidos da polpa alimentada.

A porcentagem de sólidos deve ser avaliada, pois a quantidade de água inserida causa mudanças no tempo de residência das partículas no interior do moinho, na viscosidade e na densidade do material, que levam a variações no desempenho do processo de moagem. A velocidade de rotação influencia o movimento da carga dentro do moinho. Quando o moinho possui uma baixa velocidade, a carga interna rola sobre ela mesma, fenômeno a que Taggart (1951) denominou de “cascateamento”, com o aumento da velocidade os componentes moedores tendem a possuir uma trajetória parabólica, denominado de “catarata”.

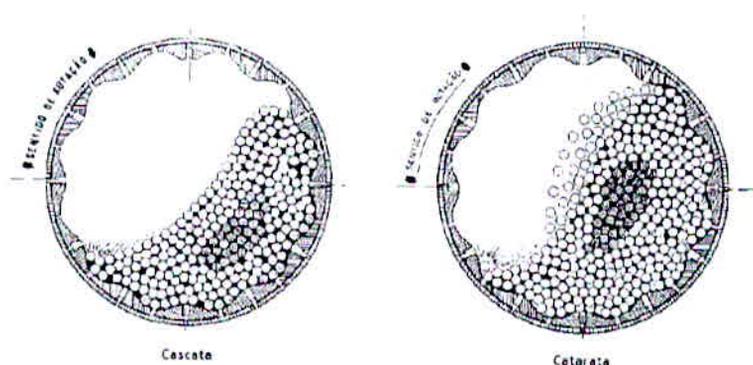


Figura 3: Ilustração do movimento da carga interna do moinho em relação a sua velocidade de rotação.
Fonte: TAGGART

De acordo com (CHIEREGATI 2001), os moinhos podem ser classificados em dois grupos: Moinhos resolventes ou tubulares (“Tumbling Mills” ou “Tube Mills”) e os moinhos de trajetória fixa (“Fixed Path Mills”).

3.1 Moinhos Tubulares

Os principais moinhos do tipo tubular são os moinhos de barras, moinhos de bolas, moinhos de seixos, moinhos autógenos e semi-autógenos.

3.2 Moinhos de Barras

Moinhos de barras são moinhos cilíndricos que utilizam barras como meio moedor, e podem ser considerados máquinas de britagem fina ou de moagem grossa (CHIEREGATI 2001).

Com relação comprimento/diâmetro maior que 1,25:1, São usados em circuito aberto para obtenção de produto grosseiro ou para preparação de produto para alimentação de um moinho de bolas. Raramente são utilizados em circuito fechado, geralmente com hidrociclones ou com peneiras.

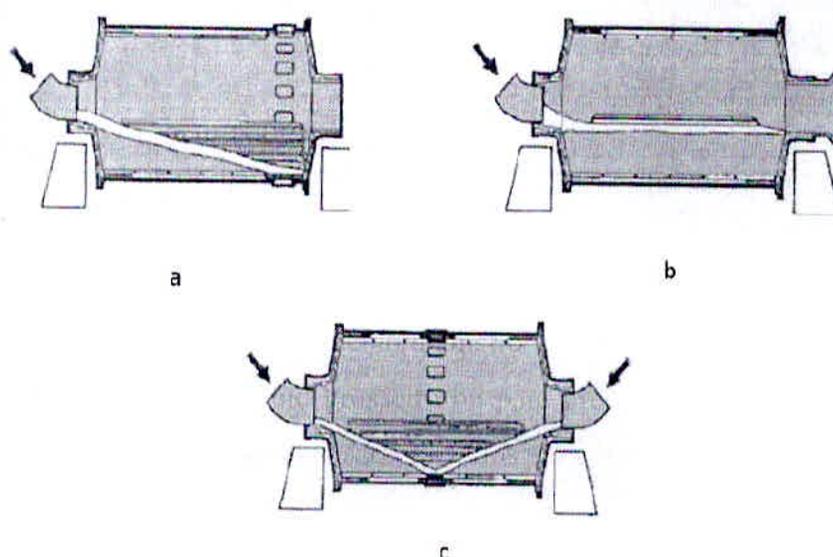


Figura 4: a) Moinho de barras com descarga por overflow. b) Moinho de barras com descarga periférica de topo. c) Moinho de barras com descarga periférica central.

Fonte: MetsoMinerals, 2002.

3.3 Moinhos de Bolas

Moinhos de bolas são usados em um único estágio quando a granulometria da alimentação deve estar entre 10 e 15 mm. Podem ser usados no segundo estágio de moagem precedidos de moinhos de barras ou autôgenos/semiautôgenos ou até mesmo como moinho primário, o que não é muito comum na prática. Podem ser utilizados na remoagem. Geralmente possuem um grau de enchimento em torno de 35% de bolas, com um máximo de 40%. A composição das bolas depende do minério a ser moído, elas podem ser de aço,

fundidas ou forjadas. As bolas que geram menor custo operacional e melhor performance são geralmente selecionadas. Isso não implica que estas sejam as mais baratas disponíveis nem as que tenham menor taxa de desgaste, mas sim um ponto de equilíbrio entre os dois fatores.

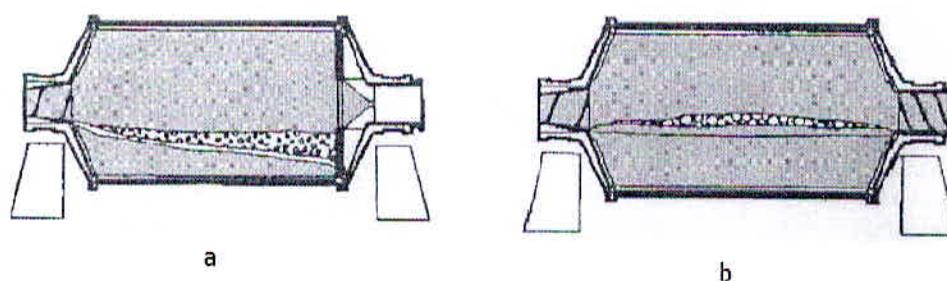


Figura 5: Moinho de bolas com descarga por overflow. b) Moinho de bolas com descarga por diafragma.
Fonte: MetsoMinerails, 2002

3.4 Moinhos de Seixos

São moinhos que utilizam seixos competentes em lugar de bolas. São frequentemente utilizados para moagem de matérias que não podem ser contaminados por corpos moedores metálicos, neste caso utilizando corpos moedores de ágata, sílex, coríndon ou cerâmica. A designação moinho de seixos também é utilizada para moagem autógena (semi-autógena) secundária. Devido à menor densidade dos eixos, estes moinhos possuem menor capacidade de moagem do que os moinhos de bolas.

3.5 Moinhos Autógenos e Semi-Autógenos

Moinhos autógenos e semi-autógenos são moinhos que utilizam o próprio minério como corpo moedor. O dicionário define autógeno como o que faz por si próprio (autos=próprio, genos=produção). Possuem grande relação diâmetro/comprimento.

O advento deste tipo de moinho revolucionou a moagem, pois possui custo de investimento muito semelhante aos moinhos convencionais, porém com um custo de operação

bem menor já que os gastos com corpos moedores e com revestimentos são menores. Graças a este avanço estes tipos de moinho se tornaram bastante disseminados.

Apesar de nos últimos anos o uso destes tipos de moinhos tenha tido um impulso acentuado, o início do emprego de moagem AG/SAG (Autógena/Semi-Autógena) confunde-se com o surgimento dos moinhos tubulares, pois desde a década de 1880 observava-se que determinados minérios possuíam características de se auto fragmentarem.

3.6 Moinhos de Trajetória Fixa

Os principais moinhos do tipo tubular são os moinhos de rolos, moinhos tipo martelo, moinhos giratórios.

3.7 Moinhos de Rolo

Este tipo de moinho é baseado em rolos que movimentam em direções opostas e a velocidades diferentes, por causa disso sua superfície é muito desgastada.

Também existem moinhos que possuem somente um rolo girando contra uma superfície fixa, com a possibilidade de o rolo ser dentado ou liso.

3.8 Moinhos Tipo Martelo

Neste tipo de moinho o minério é degradado pelo impacto dos martelos e pulverizado entre os martelos e a cobertura. O pó então passa por uma peneira ou tela de arame na saída. Estes moinhos são normalmente utilizados para reduzir o tamanho do minério entre intermediário a pequeno.

3.9 Moinhos Giratórios

Este tipo de moinho é composto por um corpo cilíndrico ou cônico e um eixo giratório junto com meios de fratura tais como bolas, facas ou superfície de atrito. Em algum dos casos dois discos chatos são usados, onde um ou ambos giram e moem o material entre os discos.

3.10 Britador-Moinho Ag-Moinho de Bolas (FAB)

Essa configuração é uma alternativa adequada, em termos de consumo de energia para minérios densos. O aspecto mais favorável desta configuração é a regularidade da operação de moinhos de bolas, que podem assim corrigir eventuais flutuações de desempenho do circuito primário. Essa configuração apresenta consumo energético específico mais próximo ao de um circuito convencional de britagem multi - estagiada e moagem barras/bolas.

No Brasil esta alternativa foi considerada no projeto Salobo, da CVRD, devido às características do minério. Outro exemplo é a usina de São Bento localizada em Minas gerais, o minério aurífero é encaminhado ao moinho primário e na sequência segue para o estágio secundário composto por um moinho de bolas de 8 pés que opera em circuito fechado com ciclones, porém neste caso não existe etapa de britagem.

3.11 Britador-Moinho Sag-Moinho de Bolas (SAB)

Esta alternativa de circuito possui grande flexibilidade de operação, adequando-se a variações substanciais no minério alimentado. Muitas operações inicialmente projetadas no modo FAB foram convertidas para SAB, onde o incremento de custos com corpos moedores foi inferior ao incremento de produção advindo com a alteração. Alguns exemplos de operações que iniciaram sob o modo SAB destacam-se os circuitos de Mount Isa, pertencente à Chuquicamata da Codelco no Chile.

4 MOINHOS PENDULARES RAYMOND

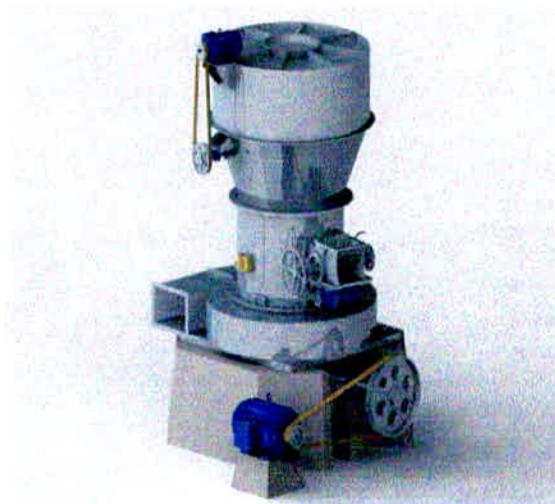
Os moinhos pendulares Raymond têm patente americana e vem sendo fabricados desde a década de 1950 e não sofreram grandes transformações desde então devido a sua robustez e bom funcionamento (BOILLER E MILL).

É um equipamento que realiza a fragmentação das partículas através do processo de cominuição que se dá através da aplicação de forças mecânicas realizando a redução pela combinação de impacto, compressão, abrasão e atrito. Pode ser compreendido como um equipamento constituído por um corpo cilíndrico munido externamente de um motor que transmite rotação a um eixo de comando, que por sua vez transmite rotação a um eixo principal onde um disco sustentador aloja diversos pêndulos fixados oscilantemente e por ação da força centrífuga tritura o material granulado contra uma pista de moagem sendo um alimentador quem despeja o material dentro da câmara de moagem e diversos raspadores leva o material granulado para entre os rolos de moagem e a pista. Uma corrente de ar é introduzida na câmara de moagem pela secção inferior destas fazendo com que o pó do material moído saia juntamente com o ar passando por um separador de partículas atingindo um ciclone munido de uma válvula rotativa que coloca o pó para fora do sistema fechado sem permitir a entrada de ar falso e o ar continua a ser conduzido para o ventilador principal que envia o mesmo para um filtro que por meio de outra válvula rotativa coloca o restante do pó para fora do sistema e envia o ar purificado para a atmosfera. A tabela a seguir demonstra alguns tipos de materiais, juntamente com suas aplicações, fórmula química, dureza e peso específico de materiais processados nestes equipamentos (PERRY & CHILTON, 1988).

MATERIAL	USO	FÓRMULAQUIMICA	DUREZA DE MOHS	PESO ESPECIFICO
TALCO	Cosmético	H_2Mg_3	1,0 a 1,5	2,7
BAUXITA	Refratário, sulfato de alumínio	Al_2O_3	1,0 a 2,0	2,5
GRAFITO	Lubrificante	C	1,0	2,0
ENXOFRE	Acido sulfúrico	S	1,5 a 2,5	2,0
CALCITA	Fabricação de cal	$CaCO_3$	3,0	2,7
BARITA	Pigmentos, indústria cerâmica	$BaSO_4$	2,5 a 3,5	4,5
DOLOMITA	Cal	$MgCaCO_3$	3,5 a 4,5	2,8
MAGNESITA	Cerâmica	$MgCO_3$	3,5 a 4,5	3
APATITA	Fertilizante	C_3Ca_3	5,0	2,3
ROCHA FOSFATADA	Fertilizante		5,0	

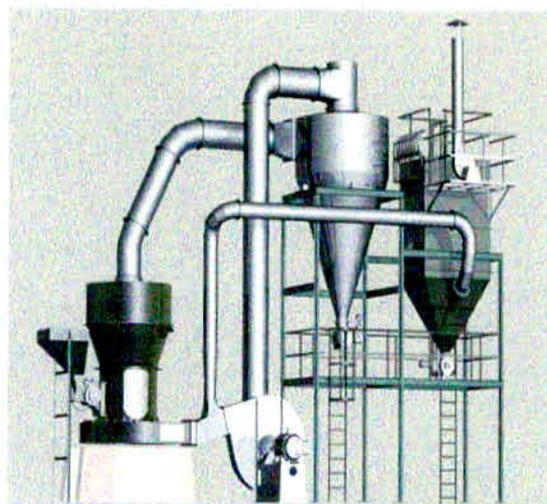
Tabela 01 - Tipos de Materiais juntamente com suas aplicações, fórmula química, dureza e peso específico.
Fonte: O autor

Figura 06: Moinho Raymond.



Fonte: Boiller e Mill

Figura 07: Moinho Raymond.



Fonte: Boiller e Mill

5 INOVAÇÃO PROPOSTAS

a. Transmissão

Segundo PIRES (1980 p.54) “Transmissão é o processo que envolve todos os componentes mecânicos que transfere potência e movimento a um outro sistema.”

O processo de transmissão dos moinhos Raymond é realizado através da rotação entre duas arvores paralelas, através de polias fixadas as arvores e envolvida por um elemento flexível, as correia. Contendo as seguintes características:

- ✓ Choques – não são transmitidos às árvores devido a elasticidade das correias;
- ✓ Sobrecargas-as correias atuam como amortecedor das sobrecargas pela possibilidade do deslizamento;
- ✓ Segurança de funcionamento- não transmitindo choques, o motor e os mancais ficam salvos de sobrecargas excessivas.o risco das longas paradas é pequeno, já que as correias danificadas podem ser substituídas de um modo cômodo e rápido.

Tal estudo foi baseado em um equipamento similar holandês, existente somente dois no Brasil, com sistema de transmissão mecânico por redutores de velocidade, dimensionando um dispositivo capaz de atender as características principais dos moinhos Raymond verificando sua viabilidade e funcionalidade.

Redutores são máquinas empregadas para se obterem grandes reduções de transmissão, sem a necessidade de recorrer a engrenagens de grandes diâmetros, transferindo potência e movimento a um outro sistema.

b. Dados para seleção

- 1 - Potência mecânica na saída (kW) ou torque da saída (Nm)
- 2 - Rotação de saída (rpm)

- 3 - Redução
- 4 - Tipo de maquina acionada
- 5 - Tempo diário de operação em horas
- 6 - Partidas por hora
- 7 - Condições especiais de operação (temperatura, poeira, umidade)
- 8 - Momento de inércia
- 9 - Tipo de construção
- 10- Posição dos eixos de entrada e saída
 - Forma construtiva
 - Sentido de rotação
- 11 - Voltagem e frequência (V/Hz)
- 12 - Potência do motor
- 13 - Tipo do motor
- 14 - Tipo de proteção

c. Desenvolvimento

Exigências

Acionar moinho Raymond 5057

Potência consumida = 70Kw

Rotação 146rpm

Tempo de operação 24h

Temperatura ambiente 30c

Motor elétrico trifásico

Potência 100cv

1170rpm

Seleção

- ✓ O redutor deve ter pés para fixação

$$\checkmark \text{ Redução} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{1170}{146} = 8,1$$

Redução nominal = 8,01

N_1 = rotação de entrada

N_2 = rotação de saída

Em função da redução escolhemos um redutor duplo H12- H22 de acordo com a tabela (B1152)

✓ Capacidade nominal

$$P_{2n} = P_e \cdot f$$

$$P_{2n} = 70,2 = 140 \text{ Kw}$$

$$P_{sn} = \frac{P_{2n}}{N} = \frac{140}{0,97} = 144,32 \text{ kw}$$

P_e = Potência consumida pela máquina

f = fator de serviço 2,0 de acordo com tabela: 2 fatores de serviço que correlaciona tipo de acionamento sendo por motor elétrico, tempo de trabalho acima de 10 horas/dia e classificação de cargas por choques fortes.

N = rendimento a ser considerado entre as capacidades de entrada e saída por tipo de redutor, sendo 0,97 para o tipo acima escolhido H12-H22(tabela)

De acordo com as tabelas de capacidade mecânica e torques (B1152), selecionamos um redutor tipo H22, tamanho 17 com capacidade nominal de 153kw.

✓ Verificação da Capacidade térmica

$$\frac{P_e}{P_{sn}} = \frac{70}{153} = 0,45$$

P_e = Potência consumida pela máquina

P_{sn} = Capacidade nominal

A Capacidade térmica encontrada para redutor H22-17in=8, $n_1=1170$ é igual a 92kw tabela (B 1153).

✓ Verificação tipo de refrigeração

$$P_t > P_e$$

$$P_t = P_{to} \cdot f_u$$

$$P_t = 92 \times 0,9 = 82,8 \text{kw}$$

P_t = Capacidade térmica(kw)

F_u = Fator de utilização

P_{to} = Capacidade térmica para condições normais.

Sendo escolhido o valor de potência térmica com 02 ventiladores de acordo com tabela (B1153).

Portanto o redutor dimensionado é do tipo H22 tamanho 17 de acordo com o catalogo transmotécnica H2000, que possui as seguintes características potência de saída de 153Kw, com fator de redução de 8.00, rotação de saída 143rpm, acoplado a um motor trifásico de 100cv, 6 pólos e rotação de 1170rpm, com finalidade de acionar moinhos com cargas que sofre choques fortes, trabalhando 24 horas/dia, sofrendo partida única, com temperatura ambiente, em locais que contém poeiras, com eixo de rotação de entrada na posição horizontal e saída na posição vertical, com preço estimado de R\$ 13.000,00.



Figura 08: Motoredutor
Fonte: Copebrás

6 COMPONENTES CONSTITUINTES DO ACIONAMENTO PRINCIPAL CORRELACIONADO COM SEU CUSTO

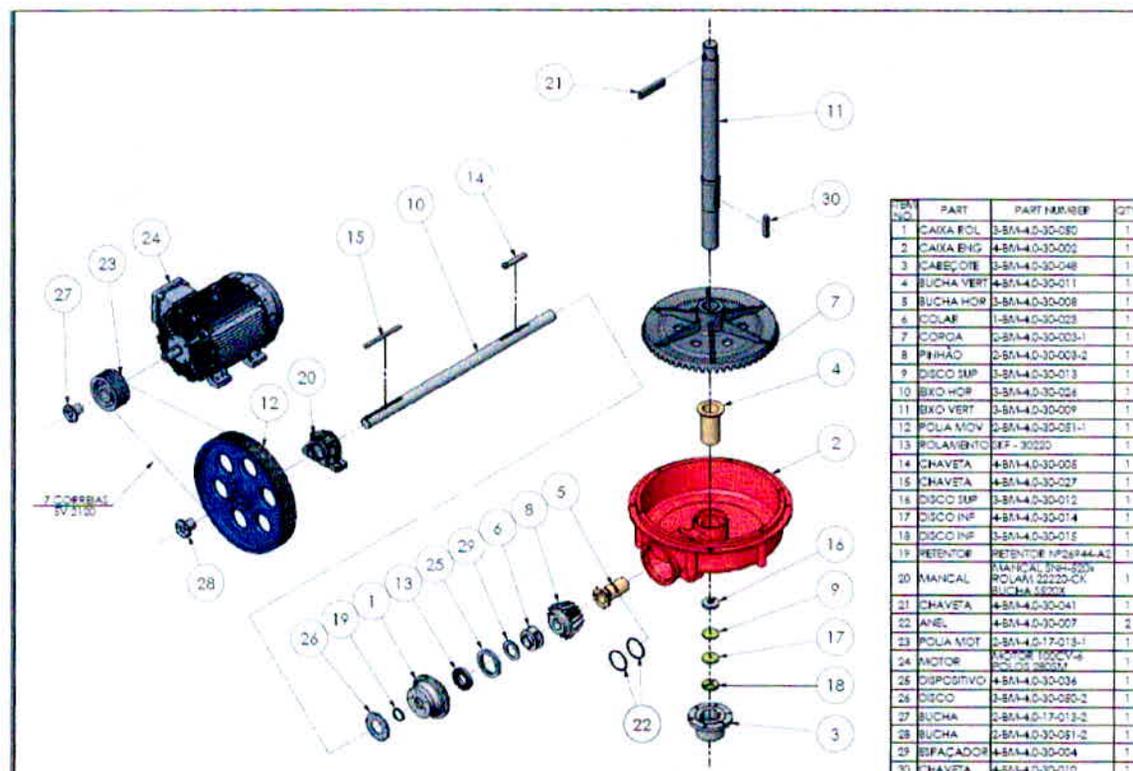


Figura 09: Peças Detalhadas Acionamento Principal
Fonte: Boiller e Mill

Componentes constituintes da transmissão		
Caixa de rolamento	R\$	395,00
Caixa de engrenagem	R\$	7.898,00
Cabeçote	R\$	700,00
Bucha vertical	R\$	925,00
Bucha horizontal	R\$	680,00
Colar	R\$	75,00
Coroa	R\$	25.600,00
Pinhão	R\$	8.160,00
Disco inferior	R\$	600,00

Disco superior	R\$	400,00
Eixo horizontal	R\$	1.400,00
Polia movida	R\$	3.162,00
Chavetas	R\$	300,00
Retentor	R\$	40,00
Mancal	R\$	250,00
Rolamento	R\$	310,00
Anel de óleo	R\$	70,00
Polia motora	R\$	1.056,00
Dispositivo de encosto	R\$	90,00
Buchas	R\$	1.200,00
Correias	R\$	1.200,00
Total	R\$	54.511,00

Tabela 02 – Orçamento junto ao fabricante Boiller e Mill

Tabela referente ao orçamento junto ao fabricante Boiller e Mill, tendo um valor agregado de R\$ 54.511,00 possuindo paradas constantes para manutenção elevando o custo de manutenção e produção.

7 CONCLUSÃO

A engenharia é caracterizada pela existência de um problema ou modificação a ser resolvido, nascendo de uma idéia, de um desejo, de uma necessidade. Primeiramente conhecem se o fim a atingir, um desejo a satisfazer, uma necessidade a realizar, então a mente humana é desafiada formulando vagamente um problema.

Problema este que resulta na modificação do processo de transmissão atual que é realizado por polias e correias pelo processo de moto redutores que permitem grandes reduções sem a utilização de polias de grande diâmetro concluindo a possibilidade de se modificar o processo de transmissão reduzindo a área de instalação, o custo de produção e manutenção, comprovado através de números e dados dimensionando o dispositivo adequado, que visa a diminuição de vibração e ruídos, fornecendo uma transmissão de potência mais homogênea. Porém tal modificação não vai ser aplicada aos equipamentos devido ao fabricante pesquisado questionar a possibilidade de não vender peças de reposição diminuindo o fluxo monetário da empresa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, Olavo A. L. Pires e. **Elementos de máquinas**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois, 1980.
- BERALDO, J.L. Moagem de Minérios em Moinhos Tubulares. **Pró-Minério**. Secretaria de Estado da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia do Estado de São Paulo. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1987.
- CATÁLOGO REDUTORES SÉRIE H2000 TRANSMOTÉCNICA: Disponível em: <www.transmotecnica.com.br>. Acesso em 25 de nov. de 2011.
- CATÁLOGOS MOINHOS PENDULARES BOILLER E MILL: Disponível em <www.boillermill.com.br>. Acesso em 25 de nov. de 2011.
- CHAVES, A.P. Moagem. **Teoria e prática do tratamento de minérios**. 3 ed. São Paulo: Editora Signus, 2006.
- CHIEREGATI, A.C. **Novo método de caracterização tecnológica para cominuição de Minérios**. Dissertação (Mestrado). Escola politécnica universidade de São Paulo. São Paulo/SP, 2001.
- CHRISTIE, D. J. "**Mineral beneficiation review**". Mining engineering, 1972, Vol. 24, n. 2.
- MAC PHERSON, A.R. "**Mills in revolution**". Mining Engineering, Sept. 1970.
- NEVES, C. A.; SILVA, L. R. **Universo da mineração brasileira**. Departamento Nacional de Produção Mineral, Brasília 2007.
- NIEMANN, Gustav. **Elementos de máquinas**. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1971. 1 v.
- PIRES, Albuquerque, O.L.A. **Elementos de máquinas**. 1 ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois S.A., 1980.
- PERRY, Robert H. & CHILTON, Cecil H. **Manual de engenharia química**. 8 ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois, 1988.

TAGGART, A. **Elements of Ore Dressing**. N.Y.J: Wiley and Sons Inc., 1951.

ANEXOS

Acionamento por	Tempo de trabalho	Classificação de cargas		
		Uniforme	Choques Moderados	Choques Fortes
		U	M	F
motor elétrico ou turbina a vapor	Intermitente 3 h/dia	0,8	1	1,5
	Até e incluindo 10h/dia	1	1,25	1,75
	Acima de 10h/dia	1,25	1,5	2
Motor á explosão Multicilíndrico ou Motor Hidráulico	Intermitente 3 h/dia	1	1,25	1,75
	Até e incluindo 10h/dia	1,25	1,5	2
	Acima de 10h/dia	1,5	1,75	2,25

Tabela 2: Fatores de serviço - f

Rendimentos a serem considerados entre as capacidades de entrada e saída por tipo de redutor

Tipos	H11 H21	H12 H22 H44/77	H13 H23	H14
N	0,98	0,97	0,95	0,94

Redutores / Moto redutores / Engrenagens Cilíndricas		Capacidades Mecânicas e Torques Redução Dupla H12 e H22										LINHA H / versão 2000									
Red	Entr. rpm	Capacidade Mecânica P _N (kw)										Toque na saída T ₂ (Nm)									
		Tamanhos										Tamanhos									
		10	11	12	13	14	15	16	17	10	11	12	13	14	15	16	17				
6.3	1750	14,9	22	34	60,8	88,9	121	165	250	50	74	114	203	296	403	549	839				
	1450	12,4	19,5	30	51	74,6	101	145	218	50	79	121	206	300	406	583	883				
	1170	10,2	15,9	25,4	41,7	61	83	123	188	51	80	127	209	304	583	613	944				
	ie	6,33	6,33	6,33	6,32	6,3	6,3	6,29	6,34												
7.1	1750	13	21,9	32,5	52,9	73,2	107	158	247	49	82	122	198	275	401	594	926				
	1450	10,9	18,3	27,2	44,3	61,4	90	132	207	50	83	123	200	279	407	599	936				
	1170	8,9	15	22,2	36,2	50,2	73,6	108	170	50	84	125	203	283	413	607	953				
	ie	7,11	7,08	7,09	7,08	7,11	7,08	7,1	7,08												
8	1750	12	19,3	28,1	43,2	64,4	100	133	223	50	82	119	183	273	423	563	944				
	1450	10	16,2	23,5	36,2	54	83,8	111	187	51	83	120	185	276	428	567	956				
	1170	8,17	13,2	19,2	29,6	44,1	68,5	91,6	153	51	84	122	187	279	434	580	969				
	ie	7,92	8																		
9	1750	10,5	16,5	24,8	39,2	57,6	87	116	197	50	78	116	185	273	423	563	944				
	1450	8,76	13,8	20,8	32,8	48,3	73	97,1	165	50	78	119	187	276	428	567	956				
	1170	7,14	11,2	16,9	26,8	39,5	59,6	79,4	135	51	79	120	189	280	434	580	969				
	ie	8,94	8,9	8,96	8,92	8,95	8,91	8,95	8,9												
10	1750	8,97	13,5	21,5	35	50	77,1	114	182	47	71	114	185	265	408	603	963				
	1450	7,5	11,3	18	29,3	41,9	64,6	95,8	153	48	72	115	187	268	413	612	977				
	1170	6,1	9,22	14,6	23,9	34,2	52,8	78,3	125	48	73	116	189	271	418	620	990				
	ie	10	10	10	10	10	10	10	10												

Tabela : 8(1152)

Redutores Moto redutores Engrenagens Cilíndricas		Capacidades Térmicas redução dupla H12 e H22																	LINHA H versão 2000							
Red	Entr rpm	Potência Térmica (kw) Tamanho							PT ₁ Potência Térmica com 1 ventilador Tamanhos							PT ₂ Potência Térmica com 2 ventilador Tamanhos										
		10	11	12	13	14	15	16	17	10	11	12	13	14	15	16	17	10	11	12	13	14	15	16	17	
6,3	1750	11	15	20	26	34	46	61	83	18	24	33	42	57	76	102	125	58	75	100	135	183				
	1450	11	14	19	25	32	44	59	78	15	20	27	34	46	62	84	44	57	76	103	137					
	1170	10	13	18	23	30	40	54	73	29	39	50	67	90	123	30	39	52	70	95						
7,1	1750	11	15	20	26	33	45	60	82	20	26	34	45	61	83	29	39	50	67	90	123	43	56	75	100	136
	1450	11	14	19	25	32	43	57	77	24	32	41	55	75	101	20	26	34	45	61	83	30	38	51	69	94
	1170	13	17	23	29	39	53	72	38	49	66	89	122	32	41	55	73	101	97	130	179	74	99	136		
8	1750	11	15	19	25	33	44	59	81	26	34	45	60	81	38	49	65	87	117	38	50	68	92			
	1450	14	18	25	31	42	56	77	38	49	65	87	117	31	40	54	71	96	128	175						
	1170	13	17	23	29	39	52	71	25	34	43	58	79	25	34	43	58	79	38	50	66	90				
9	1750	14	19	25	32	44	58	79	49	65	87	117	49	65	87	117	49	65	87	117						
	1450	14	18	24	31	42	55	75	40	54	71	96	40	54	71	96	40	54	71	96						
	1170	17	22	29	38	51	70	33	43	58	79	33	43	58	79	33	43	58	79							
10	1750	19	25	32	43	58	78	22	29	38	50	69	22	29	38	50	69	22	29	38	50	69				
	1450	18	24	31	41	55	74	19	25	32	43	58	78	19	25	32	43	58	78	19	25	32	43	58	78	
	1170	18	24	31	41	55	74	18	24	31	41	55	74	18	24	31	41	55	74	18	24	31	41	55	74	

Tabela: B (1153)