

Corr. tr.

## 1.º INTRODUÇÃO Sessão — Dia 05/08/77

O transporte a longas distâncias de materiais a granel tem estado intimamente associado à exploração dos recursos minerais. Devido ao contínuo esgotamento das jazidas de matérias-primas ao nível alcançado dos centros de processamento e mercados consumidores, transporte destes materiais a longa distância tornou-se um dos desafios técnicos da atualidade. Isto é particularmente verdadeiro para o Brasil, onde as jazidas minerais estão, via de regra, localizadas no interior, distantes dos centros urbanos do litoral.

O transporte das matérias-primas para centros de processamento e os terminais de exportação tem uma influência decisiva sobre o custo do produto final e, consequentemente, sobre a viabilidade de um empreendimento. Os custos de transporte e manuseio têm sido responsáveis por parte de metade dos custos totais em alguns setores.

### **“TENDÊNCIAS DO DESENVOLVIMENTO DE TRANSPORTE A LONGAS DISTÂNCIAS DE MATÉRIAS-PRIMAS A GRANEL POR CORREIAS TRANSPORTADORAS”**

Uma comissão foi constituída para estudar as tendências do transporte a granel a longa distância, visando a desenvolver a tecnologia de transporte de materiais a granel, distribuídos em unidades ao longo do percurso do produto.

Por esta razão, os sistemas de transporte de materiais transportados hoje são capazes de material a longa distância do que se imaginava ser possível há alguns anos atrás.

Para atender a crescente demanda de transporte em massa, a longo curso e sobre terrenos acidentados, os sistemas de transporte sofreram uma considerável evolução nos últimos anos:

- Sistemas tradicionais, tais como o ferroviário, por exemplo, têm sido automatizados, resultando numa substancial redução dos seus custos operacionais;
- Sistemas hidroviários, por meio de barcos, são utilizados para o transporte de embarcações autoelevatórias;
- Equipamentos de transporte rodoviário, com tração e redução automática, bem como aplicações feitas desenvolvidas;
- Novos métodos, tais como sistemas de transporte em tubulações para lama, têm experimentado consideráveis progressos.

Engos. DAN VICENT

e

WERNER K. BEHRENDIS

## 1.0 INTRODUÇÃO

O transporte a longas distâncias de materiais à granel tem estado intimamente associado a exploração dos recursos minerais. Devido ao contínuo esgotamento das jazidas de matérias-primas ao fácil alcance dos centros de processamento e mercados consumidores, transporte destes materiais à longa distância tornou-se um dos desafios técnicos da atualidade. Isto é particularmente verdadeiro para o Brasil, onde as jazidas minerais estão, via de regra, localizadas no interior, distantes dos centros urbanos do litoral.

O transporte das matérias-primas para usinas de processamento e ou terminais de exportação tem uma influência direta sobre o custo do produto final e, conseqüentemente, sobre a viabilidade de um empreendimento. Os custos de transporte e manuseio nada adicionam ao valor de mercado de um produto, mas influenciam o seu custo unitário e, conseqüentemente, o seu valor de venda.

Uma contribuição para a redução dos custos finais unitários dos materiais a granel seria, portanto: "melhorar e automatizar a tecnologia do transporte de materiais a granel, diminuindo sua influência no custo final do produto".

Por esta razão, os sistemas de manuseio de materiais movimentam hoje mais volume de material a longas distâncias do que se imaginava ser possível à alguns anos atrás.

Para atender a crescente demanda de sistemas de transporte em massa, a baixo custo e sobre terrenos acidentados, as técnicas de transporte sofreram uma considerável evolução nos últimos anos:

- Sistemas tradicionais, tais como o ferroviário, por exemplo, têm sido automatizados, resultando uma substancial redução dos seus custos operacionais.
- Sistemas hidroviários, por meio de barcaças, fazem, hoje em dia, uso de embarcações autodescarregáveis.
- Equipamentos de transporte rodoviário, com unidades especiais de tração e maiores caminhões basculantes aperfeiçoados foram desenvolvidos.
- Novos métodos, tais como sistemas de transporte em tubulações para lama, têm experimentado notáveis progressos.

- Sistemas teleféricos têm sido desenvolvidos e usados sobre terrenos acidentados.

Mais particularmente, o desenvolvimento de sistemas de transporte a longas distâncias, através de transportadores de correia, tem caminhado a passos largos, nesta última década. Projetos modernos e conceitos avançados em manuseio de materiais, novas e melhores filosofias de manutenção, bem como o significativo progresso na construção da própria correia, são, basicamente, os principais responsáveis pela viabilidade destas mudanças.

Entretanto, todos os sistemas acima mencionados, têm que ser, nestes dias reavaliados sob a luz da atual crise energética mundial, com os custos do petróleo e do gás em constante elevação.

Este trabalho trata, mais especificamente, do desenvolvimento de sistemas de transporte de materiais a granel, a longa distância, através de transportadores de correia. É discutido como a tecnologia de projeto e a pesquisa sobre transportadores de correia e seus componentes tem proporcionado uma solução econômica favorável para diversos aspectos deste tipo de projeto, assim facilitando uma expansão maior na utilização deste sistema de transporte no futuro próximo.

## 2.0 HISTÓRICO

Os transportadores de correia têm sido usados para manuseio de materiais a granel desde o século XIX. As primeiras correias revestidas de borracha foram utilizados por volta de 1890. O desenvolvimento de transportadores de correia mais largos, rápidos, longos, e com capacidades cada vez maiores, acarretou a necessidade de correias mais fortes, mais leves e mais resistentes ao desgaste.

A utilização de transportadores de correia, antes da 2ª guerra mundial, era restrita ao manuseio de materiais dentro de usinas. Os transportes em massa eram executados por ferrovia, rodovia ou por hidrovia.

Durante e após a 2ª guerra, o projeto de componentes para transportadores de correia sofreu um enorme progresso, associado ao desenvolvimento de sistemas de transporte para as minas de carvão, a céu aberto, na Europa. Nestes empreendimentos foram empregados transportadores sobre estruturas deslocáveis para receber a camada de capeamento do carvão ("overburden"). Foram desenvolvidos e aperfeiçoados diversos equipamentos, como escavadeiras de arraste, dragas de caçamba e recuperadoras com rodas de caçamba.

Alguns dos transportadores nas minas de carvão do Reno-Rhur na Alemanha, chegaram a atingir, individualmente, comprimentos de até 6

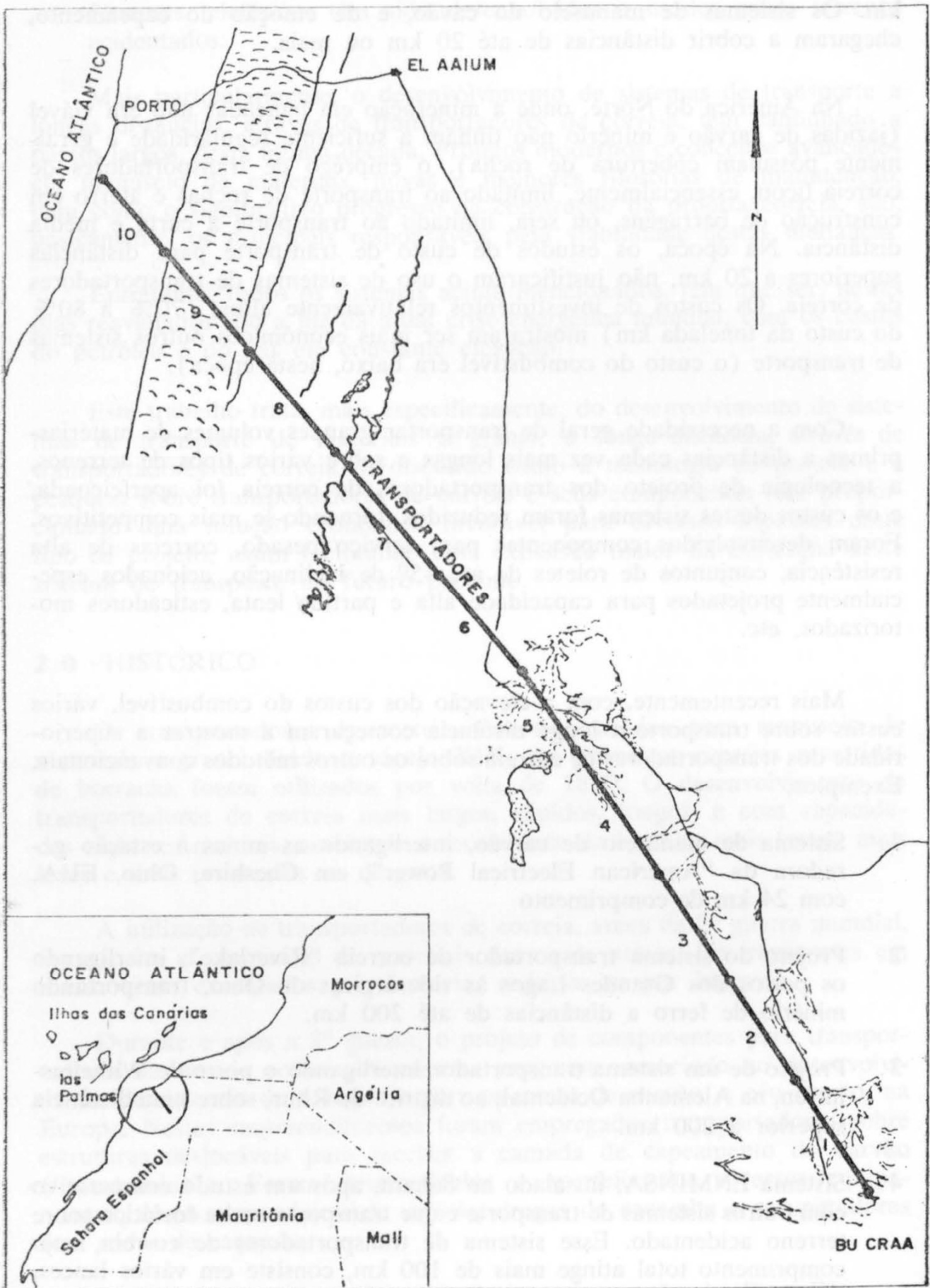
km. Os sistemas de manuseio do cavão, e de emoção do capeamento, chegaram a cobrir distâncias de até 20 km ou mais.

Na América do Norte, onde a mineração em bancadas não era viável (jazidas de carvão e minério não tinham a suficiente regularidade e geralmente possuíam cobertura de rocha), o emprêgo de transportadores de correia ficou, essencialmente, limitado ao transporte de rochas e aterro em construção de barragens, ou seja, limitado ao transporte a curta e média distância. Na época, os estudos de custo de transporte para distâncias superiores a 20 km, não justificaram o uso de sistemas de transportadores de correia. Os custos de investimentos relativamente altos, (70% a 80% do custo da tonelada km) mostraram ser mais econômicos outros sistemas de transporte (o custo do combustível era baixo, nesta época).

Com a necessidade geral de transportar grandes volumes de matérias-primas a distâncias cada vez mais longas e sobre vários tipos de terrenos, a tecnologia de projeto dos transportadores de correia foi aperfeiçoada, e os custos destes sistemas foram reduzidos, tornando-se mais competitivos. Foram desenvolvidos componentes para serviço pesado, correias de alta resistência, conjuntos de roletes de até 45° de inclinação, acionados especialmente projetados para capacidade alta e partida lenta, esticadores motorizados, etc.

Mais recentemente, com a elevação dos custos do combustível, vários custos sobre transporte a longa distância começaram a mostrar a superioridade dos transportadores de correia sobre os outros métodos convencionais. Exemplos:

1. Sistema de manuseio de carvão, interligando as minas à estação geradora da "American Electrical Power", em Cheshire, Ohio, EUA, com 24 km de comprimento
2. Projeto do sistema transportador de correia "Riverlake", interligando os portos dos Grandes Lagos às siderúrgicas de Ohio, transportando minério de ferro a distâncias de até 200 km.
3. Projeto de um sistema transportador interligando o porto de Wilhelmshaven, na Alemanha Ocidental, ao distrito do Rhur, sobre uma distância superior a 200 km.
4. Sistema ENMINSA, instalado no Sahara, após um estudo comparativo com outros sistemas de transporte e que transporta rocha fosfática sobre terreno acidentado. Esse sistema de transportadores de correia, cujo comprimento total atinge mais de 100 km, consiste em vários lances, de 6,8 a 11,7 km. A Fig. 1 mostra a planta geral do sistema ENMINSA.



As correias transportadoras têm 1.000 mm de largura, movem-se à velocidade de 4,5 m/s e tem uma capacidade nominal de 2.000 TPH, em manuseio contínuo.

### 3.0 CONSIDERAÇÕES SOBRE SISTEMAS DE TRANSPORTE A LONGAS DISTÂNCIAS

Uma vez estabelecida a localização da mina e o ponto de destino do material a ser transportado, os estudos que conduzirão à seleção do melhor sistema de transporte deverão levar em conta pelo menos os seguintes aspectos:

- (a) Geologia e geomorfologia da área. Do ponto de vista geológico deverão ser analisados a composição e estrutura do solo para definição das fundações das estruturas. Do ponto de vista morfológico deverão ser analisados o aspecto físico da área a ser utilizada, o relevo e, principalmente, a diferença de elevação entre as regiões terminais de transporte.
- (b) Volume e características do material a ser transportado.
- (c) Condições climáticas, enfatizando-se as variações máximas das chuvas e ventos.
- (d) Possibilidade de implantação gradual do sistema, por estágios.
- (e) Disponibilidade de energia.

De posse dos estudos e relatórios preliminares uma enumeração de alternativas para os sistemas de transporte deverá ser estabelecida, levando-se em conta a suscetibilidade técnica, a confiabilidade, os custos e outros aspectos específicos tais como requisitos necessários à segurança, manutenção e operação do sistema.

As tabelas 1 e 2 apresentam um destes estudos comparativos, contemplando as seguintes alternativas de transporte:

- Rodoviário
- Ferroviário
- Tubulação
- Teleférico
- Transportadores de correia

## COMPARAÇÃO ENTRE VÁRIOS SISTEMAS DE TRANSPORTE

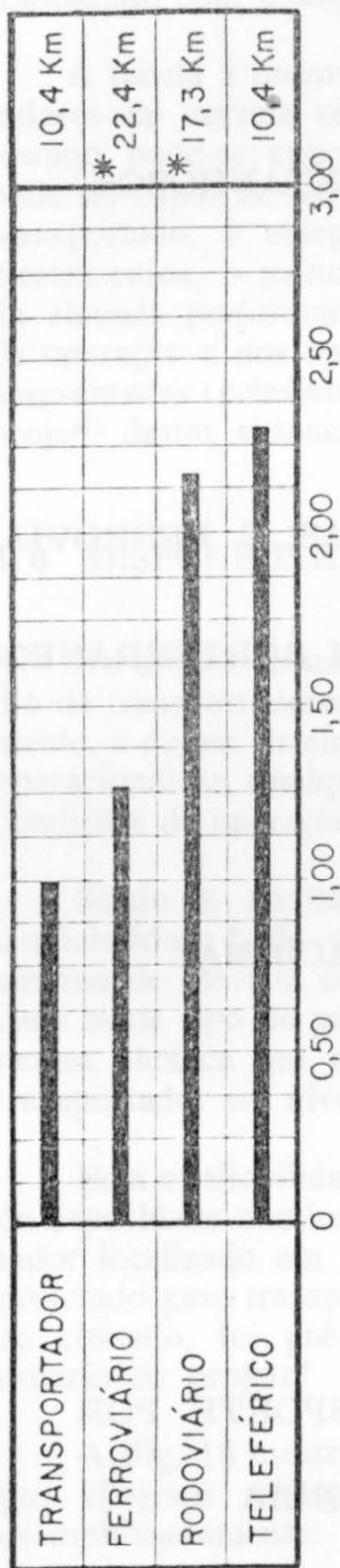
SISTEMA DE TRANSPORTE	CARACTERÍSTICAS					OBSERVAÇÕES
	ADAPTABIL. AO TERRENO	INVESTIMENTO INICIAL	CUSTO POR TONELADA	POTÊNCIA REQUERIDA	ORDEM DE PREFERÊNCIA	
RODOVIÁRIO (CAMINHÃO)	RAZOÁVEL	MÉDIO	MÉDIO P/ALTO	ALTA	4	USO DE COMBUSTÍVEIS, ALTO CUSTO OPERACIONAL
FERROVIÁRIO	RAZOÁVEL	ALTO	BAIXO	BAIXA	2	ELEVADO NÚMERO DE PESSOAL DE OPERAÇÃO
TUBULAÇÃO	EXCELENTE	BAIXO	ALTO	ALTA	3	LIMITAÇÃO DOS PRODUTOS A SEREM TRANSPORTADOS, ALTA DEMANDA DE ÁGUA
TELEFÉRICO	BOM	ALTO	ALTO	RAZOÁVEL	5	LIMITAÇÃO NA CAPACIDADE
TRANSPORTADOR DE CORREIA	BOM	MÉDIO	MÉDIO	BAIXA	1	BAIXO CUSTO DE MANUTENÇÃO, MÍNIMO NÚMERO DE PESSOAL DE OPERAÇÃO

O EXEMPLO ACIMA FOI BASEADO EM ESTUDOS PARA UM SISTEMA DE TRANSPORTE DE 100 Km SOBRE TERRENO ACIDENTADO COM UMA CAPACIDADE DE 10 MILHÕES DE TONELADAS POR ANO.

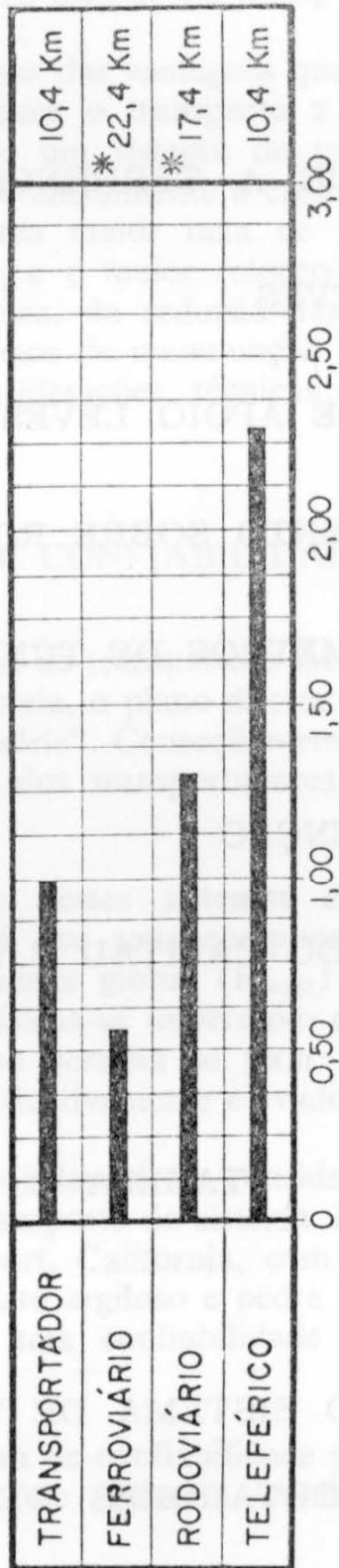
TABELA I

TABELA 2

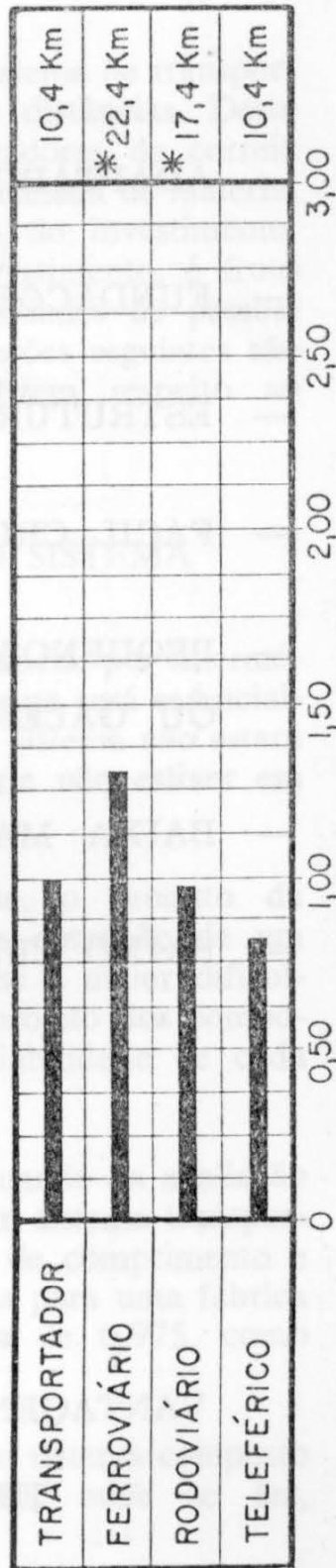
CUSTOS RELATIVOS POR TONELADA



CUSTOS RELATIVOS POR TON. / Km



CUSTOS RELATIVOS DE INVESTIMENTO



\* MAIORES DISTÂNCIAS PARA FERROVIÁRIO E RODOVIÁRIO DEVIDO A LIMITAÇÃO DA GRADE E CURVAS



- ADAPTABILIDADE A TERRENOS MONTANHOSOS
- FUNDAÇÕES LEVES
- ESTRUTURAS DE APOIO LEVES
- FÁCIL CRUZAMENTO SOBRE RODOVIAS E FERROVIAS
- PEQUENOS DIÂMETROS DE TÚNEL EM SUBTERRÂNEOS OU GALERIAS
- BAIXA MANUTENÇÃO
- BAIXO CUSTO DO CAPITAL E OPERACIONAL

TABELA 3

VANTAGENS DO SISTEMA DE TRANSPORTE POR  
TRANSPORTADORES DE CORREIA

Presentemente, e em determinadas situações, um sistema de transportadores de correia poderá vir a oferecer uma melhor solução técnica, quando comparado com qualquer outro método de transporte.

A tabela 3 resume algumas das vantagens que um sistema de transportadores de correia oferece para o transporte a longas distâncias. Deste resumo pode-se concluir que um sistema de transportadores de correia pode ser capaz de reduzir substancialmente o custo por tonelada de material transportado, e assegurar uma maior taxa de retorno do investimento. Nestes casos, o menor custo, e o maior retorno do investimento, é fruto da elevada performance técnica, da redução das necessidades de pessoal de operação e dos baixos custos de manutenção. Nas seções seguintes são apresentadas relevantes considerações técnicas que dizem respeito ao projeto destes sistemas.

#### 4.0 DISPONIBILIDADE E CONFIABILIDADE DO SISTEMA

No estudo de um sistema de transporte a longa distância, por intermédio de transportadores de correia, o plano diretor do sistema será essencialmente, o de um sistema "em série". Conseqüentemente, o sistema não estará operacional se qualquer um dos transportadores na série não estiver em condições de operação.

Sendo a confiabilidade destes sistemas em série, o produto da confiabilidade\* de cada um dos seus componentes, a obtenção de um sistema de elevada confiabilidade global ( $R_{total}$ ) torna-se a maior dificuldade neste tipo de projeto. Torna-se imperativo que o projeto dos componentes alcance um nível que permita se fixar a confiabilidade de cada transportador em níveis significativamente elevados.

Esta confiabilidade global deverá ser considerada quando da avaliação da capacidade nominal de transporte do sistema. Para um sistema transportador localizado em Davenport, California, com 5 km de comprimento e projetado para transportar xisto argiloso e pedra calcárea para uma fábrica de cimento, foi pré-fixada uma confiabilidade **mínima** de 0,975, como critério de projeto!

A Fig. 16 mostra a curva de confiabilidade para um sistema composto por diversos transportados de idêntica confiabilidade, onde se fez, exemplificadamente:

---

\* Confiabilidade (R) é um termo que encontra diferentes interpretações nos textos técnicos. Por simplicidade, o termo é informalmente empregado neste trabalho como sendo o percentual dos tempos totais de operação em que o equipamento é esperado estar em condições de ser utilizado.

$$R_1 = R_2 = \dots = R_n = 0.98 = R$$

$$R_{\text{Total}} = R^n$$

onde:

$$n = \text{número dos transportadores}$$

Como se pode observar, para uma mesma confiabilidade a curva decresce quando aumenta o número de transportadores em série.

O dimensionamento da largura das correias deverá levar em conta este fator de confiabilidade.

Considere-se por exemplo, um sistema de 80 transportadores em série, de idêntica confiabilidade, que deverá transportar uma média de 5.000 TPH de minério. Se a confiabilidade de cada transportador for de 0,985, a largura da correia, deverá ser dimensionada para uma capacidade equivalente de:

$$C_{\text{Equív.}} = \frac{C_{\text{Nom}}}{R_{\text{Total}}} = \frac{5\ 000}{0,985^{80}} = 16\ 756\ \text{TPH}$$

Contudo, e por melhoria do projeto esta confiabilidade puder ser estimada com 99%, a correia precisará ser dimensionada para apenas

$$C_{\text{Equív.}} = \frac{5\ 000}{0,99^{80}} = 11\ 173\ \text{TPH}$$

Evidentemente um cuidadoso balanço deverá ser efetuado para se analisar a economia nos custos das correias como função das despesas adicionais conseqüentes da utilização de outros componentes tecnicamente mais sofisticados.

LARGURA DO TRANSP.

CONFIABILIDADE

R

CONFIABILIDADE DO SISTEMA :  $R = 0,98^n$  (min)

CAPACIDADE EQUIVALENTE :  $C_{equiv.} = \frac{C_{nominal}}{R}$

W

1,0

0,98

0,9

0,8

0,7

0,6

0,5

0,4

0,3

0,2

0,1

0

$W_{nom.}$

LARGURA REAL

$W_{\infty}$

n

Nº DE TRANSPORTADORES

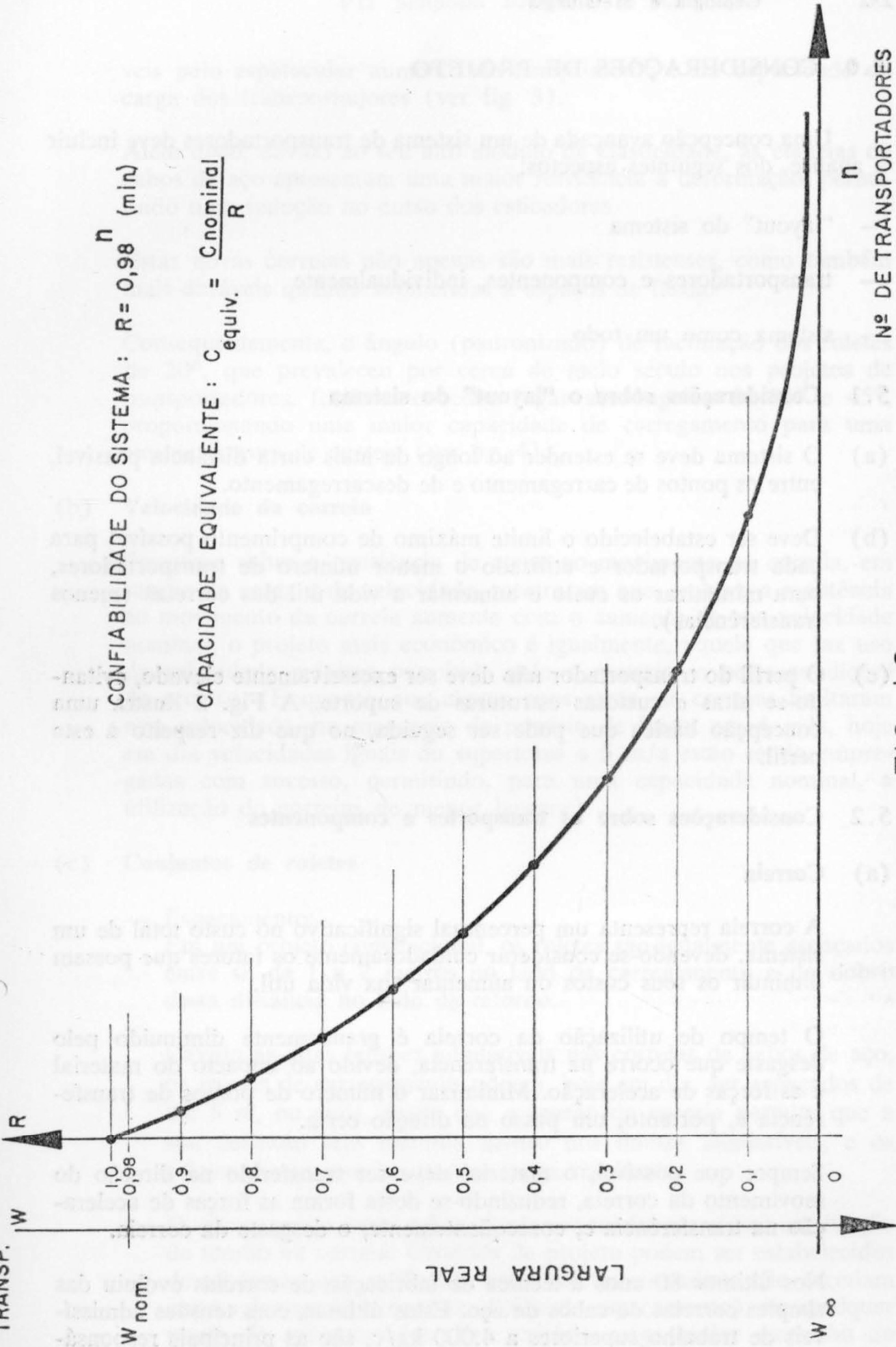


FIG. 16

CURVA DE CONFIABILIDADE DO SISTEMA

## 5.0 CONSIDERAÇÕES DE PROJETO

Uma concepção avançada de um sistema de transportadores deve incluir a análise, dos seguintes aspectos:

- “layout” do sistema
- transportadores e componentes, individualmente
- sistema como um todo

### 5.1 Considerações sobre o “layout” do sistema

- (a) O sistema deve se estender ao longo da mais curta distância possível, entre os pontos de carregamento e de descarregamento.
- (b) Deve ser estabelecido o limite máximo de comprimento possível para cada transportador e utilizado o menor número de transportadores, para minimizar os custos e aumentar a vida útil das correias (menos transferências).
- (c) O perfil do transportador não deve ser excessivamente elevado, evitando-se altas e custosas estruturas de suporte. A Fig. 2 ilustra uma concepção básica que pode ser seguida, no que diz respeito a este perfil.

### 5.2 Considerações sobre os transportes e componentes

#### (a) Correia

A correia representa um percentual significativo no custo total de um sistema, devendo-se considerar cuidadosamente os fatores que possam diminuir os seus custos ou aumentar sua vida útil.

O tempo de utilização da correia é grandemente diminuído pelo desgaste que ocorre na transferência, devido ao impacto do material e as forças de aceleração. Minimizar o número de pontos de transferência é, portanto, um passo na direção certa.

Sempre que possível, o material deve ser transferido na direção do movimento da correia, reduzindo-se desta forma as forças de aceleração na transferência e, conseqüentemente, o desgaste da correia.

Nos últimos 80 anos a técnica de fabricação de correias evoluiu das simples correias de cabos de aço. Estas últimas, com tensões admissíveis de trabalho superiores a 4.000 kg/c, são as principais responsá-

veis pelo espetacular aumento do comprimento e da capacidade de carga dos transportadores (ver fig. 3).

Além disto, devido ao seu alto módulo de elasticidade, as correias de cabos de aço apresentam uma maior resistência à deformação, permitindo uma redução no curso dos esticadores.

Estas novas correias não apenas são mais resistentes, como também mais duráveis quando submetidas a espaços de flexão.

Conseqüentemente, o ângulo (padronizado) de inclinação dos roletes de 20°, que prevaleceu por cerca de meio século nos projetos de transportadores, finalmente cedeu lugar aos ângulos de 35° e 45°, proporcionando uma maior capacidade de carregamento para uma mesma largura de correia (ver fig. 4).

#### (b) **Velocidade da correia**

Pesquisas sobre a resistência de atrito ao movimento na correia, em função da carga e da velocidade, mostraram que, embora a resistência ao movimento da correia aumente com o aumento da sua velocidade nominal, o projeto mais econômico é igualmente, aquele que faz uso da velocidade máxima permitida pelo o material e pelas condições de projeto. (Enquanto que alguns anos atrás, as correias limitaram esta velocidade, no manuseio de minério de ferro, em 4 m/s, hoje em dia velocidades iguais ou superiores a 5 m/s estão sendo empregadas com sucesso, permitindo, para uma capacidade nominal, a utilização de correias de menor largura).

#### (c) **Conjuntos de roletes**

— **Espaçamento:**

Em um projeto convencional, os roletes são igualmente espaçados entre si, de 1 a 2 metros no lado de carregamento e do dobro desta distância no lado de retorno.

Devido as altas tensões admissíveis nas correias de cabos de aço, os roletes de carregamento podem, hoje em dia, ser espaçados de até 5 m, ou mais, desde que a tensão da correia permita que a sua deflexão seja mantida dentro dos limites admissíveis, e os roletes dimensionados para a carga resultante.

O espaçamento entre roletes pode ser também variável em função da tensão na correia. Critérios de projeto podem ser estabelecidos de tal forma que as flechas entre roletes sucessivos não excedam certo valor máximo (por ex., 0,6% do espaçamento), em qualquer ponto do transportador. Este critério exige maior empenho do

projetista mas **diminui** consideravelmente o custo do investimento inicial, o custo de manutenção e o custo de compra de peças de reposição.

As figs. 5 e 6 mostram como os roletes podem gradualmente espaçados em função da tensão na correia.

Como a correia se afrouxa em vários pontos durante a sua parada, para evitar-se uma flexão excessiva e possível derramamento poderão ser instalados suportes intermediários constituídos de barras dobradas.

#### — Construção do rolete:

Em um rolete convencional de 3 rolos, os dois rolamentos localizados nos suportes laterais recebem uma solitação muito menor que os roletes dos suportes centrais, devido à distribuição desigual da carga.

Hoje em dia, procura-se equalizar as cargas nos rolamentos, prolongando-se a vida dos roletes.

Os roletes de 4 rolos iguais, ou de 3 rolos desiguais, tem demonstrado sua superioridade em relação aos roletes convencionais de 3 rolos. A fig. 7 mostra uma típica distribuição de carga em roletes de 3 rolos iguais, de 3 rolos desiguais e de 4 rolos iguais. Roletes em catenária ("Garland type"), constituídos de rolos convencionais conectadas por juntas esféricas ou pelos de corrente, demonstraram ter muito maior capacidade de carga, maior resistência ao impacto, maior facilidade de manutenção, e, o que é mais importante, maior capacidade de preservar o alimento da correia, reduzindo assim a necessidade de dispositivos especiais de alinhamento. A fig. 8 mostra um corte típico de um rolete em catenária.

Deve-se também considerar a utilização de roletes de retorno em "V", para minimizar os problemas de alinhamento do retorno.

#### — Resistência do movimento:

Pesquisas demonstraram que a resistência ao movimento é uma função direta do tipo de rolete, carga, diâmetro do rolete, além de outros fatores tais como velocidade da correia, tensão média na correia, dureza e espessura do recobrimento inferior, etc. A resistência ao movimento inferior, etc. A resistência ao movimento e a potência requerida num transportador diminuem consideravelmente com a distribuição mais uniforme de carga nos rolos do rolete, o que recomenda o uso de conjunto de 4 rolos ou 3 rolos desiguais.

Para os transportadores altamente carregados (450 kg/m ou mais) o fator de resistência ao movimento  $K_y$ , e, particularmente, sua componente  $KY_1$  (resistência devido à impressão da correia sobre o rolete), é aproximadamente 15% menor para os conjuntos de roletes de 4 rolos iguais, devido à distribuição mais uniforme da carga nos rolos. As mesmas considerações são válidas para conjuntos de 3 rolos desiguais. As figs. 9, 10 e 11 ilustram a impressão da correia sobre o rolete, flexão da correia e uma curva típica da variação da resistência (de atrito) ao movimento.

#### (d) Viradores de correia

Resíduos do material transportado tendem a permanecer presos ao lado descarregado de correia. Transportadores convencionais apresentam ao lado sujo da correia em contato direto com os roletes de retorno. Esta disposição apresenta sérios inconvenientes em um transportador longo, como por exemplo:

- desgaste na correia e roletes de retorno.
- acúmulo de material nos rolos de retorno, que tendem a desalinhar a correia.

Para se evitar estes problemas, especialmente em sistemas muito longos, viradores de correia devem ser instalados, para forçar apenas o lado limpo da correia a entrar em contato com os rolos de retorno. As primeiras instalações de manuseio utilizavam viradores do tipo "flat turn-over" que induzem grandes tensões de flexão da correia e, conseqüentemente, requerem longas distâncias para virar a correia. Nas instalações mais recentes, os viradores são do tipo "folded" que causam menores tensões nas bordas das correias, por acomodarem-se à forma natural da correia durante sua inversão (fig. 12), e diminuem o espaço requerido para virar a correia.

#### (e) Acionamentos

Os acionamentos dos transportadores poderão ser projetados em unidades múltiplas, de potências iguais, para todo o sistema, de tal maneira que o movimento de um transportador não seja interrompido em caso de defeito em apenas um dos acionamentos (o funcionamento sendo mantido pelas demais unidades, a uma capacidade reduzida pelo tempo que for necessário para os trabalhos de manutenção). O projeto pode ainda contemplar a colocação de acionamentos "de reserva" que possam tomar o lugar do conjunto defeituoso durante a manutenção.

Os componentes dos acionamentos devem permitir uma partida lenta e suave, a um torque limitado, condições estas absolutamente neces-



sárias em transportadores longos. A maneira mais simples para se obter as condições acima descritas é o uso de acoplamentos hidráulicos, que evitam bruscas e excessivas elongações da correia durante a partida.

Recentemente, um “revolucionário” sistema de caionamento intermediário foi desenvolvido conjuntamente pela B.F. Goodrich e a Continental Conveyor Co., permitindo que o único transportador se estenda por grandes distâncias, com significativas reduções de custo nas estruturas e na potência instalada. A fig. 13 mostra as vistas lateral e de frontal deste acionamento.

Utilizando-se esta nova concepção, um único transportador poderia ser, teoricamente, estendido indefinidamente, sem restrições de potência máxima instalada, instalando-se conjuntos de acionamentos que utilizam pneus radiais que se apoiam ao longo das bordas da correia. Desta forma será fornecida, de uma forma melhor distribuída, a potência necessária para movimentar o transportador.

#### (f) **Esticadores**

Com o uso de correias de cabo de aço, o curso requerido pelos esticadores tornou-se apenas uma fração daquele requerido para correias comuns, evitando-se assim o uso de enormes esticadores de gravidade. Pode-se, hoje em dia, até substituí-lo por esticadores do tipo de guincho, equipados com célula de carga.

O método mais simples e prático de se utilizar esticadores de guincho, especialmente em transportadores longos, é usá-los como esticadores fixos, para um valor pré-determinado de tensão. Contudo, para assegurar uma boa condição de partida e operação, o esticador de guincho pode ser regulado para uma tensão “acima do normal” de operação antes de serem ligados os acionamentos.

#### (g) **Polias, eixos e estruturas**

Nos transportadores longos, e de grande capacidade, deverão ser feitas considerações especiais sobre a concepção do projeto destes componentes que, de modo geral, deverão se basear em critérios que acarretem baixos custos operacionais e de manutenção.

#### (h) **Vida dos componentes**

Com a tecnologia atualmente disponível os componentes podem ser projetados para longos períodos de utilização. Por típico, pode-se citar:

— Estruturas: 25 - 30 anos

- Acionamento (motores, redutores, acoplamentos, etc.): 10 - 15 anos
- Roletes e correias: 8 - 10 anos

### 5.3. Considerações gerais sobre o sistema

#### (a) Padronização dos componentes

Uma das maneiras mais eficientes de minimizar os custos (de capital, manutenção e operação) especialmente em sistemas constituídos por transportadores longos é a padronização de componentes, ou seja:

- Roletes de carregamento.
- Roletes de retorno.
- Polias.
- Esticadores.
- Transferências idênticas.

Além do mais baixo custo e simplificação do projeto, a padronização dos componentes apresenta uma enorme vantagem sob o ponto de vista da manutenção e operação, vantagem esta que se torna ainda mais importante no caso sistemas longos e de difícil acesso. A padronização permite ainda que sejam minimizados os custos do estoque de sobressalentes.

#### (b) Redução de tensões

Para se reduzir as tensões na correia podem ser enunciadas as seguintes recomendações:

- Minimizar o número de polias, (um número mínimo de polias diminuirá as tensões, as falhas possíveis, e também os custos de investimento).
- Escolher a posição do esticador, no lado do retorno, imediatamente após o acionamento.
- Diminuir a tensão na partida ao mínimo requerido para movimentar o transportador (os sistemas mais modernos usam tensões reduzidas na partida limitadas entre 130% e 150% das tensões máximas de operação).

### (c) **Sistemas de partida e parada**

O controle pode ser feito através de um circuito elétrico que, quando energizado, dá partida ao sistema, controla-o durante o período de operação e desliga-o quando as informações recebidas pelos diversos elementos que compõem o seu "feedback" assim o determinarem.

Contudo, se a partida de um sistema é algo relativamente simples de ser resolvido (bastando para isso seguir-se a seqüência correta de operação) a parada do mesmo, especialmente durante emergências, pode vir a ser uma séria dificuldade. Sistemas de frenagem, a prova de falhas, devem ser constituídos de aparelhos de medição de carga, que fornecerão as informações para o sistema de "feedback" de cada transportador. Outros sistemas baseiam-se no princípio de se preestabelecer um tempo de parada para cada transportador, e utilizam volantes instalados nos acionamentos que atuam sobre os controles hidráulicos dos freios, em caso de uma parada de emergência (ver fig. 14).

### (d) **Manutenção**

O fator mais problemático em um sistema de transportadores longos é a manutenção preventiva e corretiva, especialmente quando faltam meios de acesso adequados.

Para inspeção de rotina e serviços no transportador, e particularmente dos roletes, "veículos de patrulha" podem ser utilizados. Estes "veículos de patrulha" podem se movimentar ao longo do transportador, sobre a estrutura do mesmo, e poderão ser equipados com instrumentos que registrarão as irregularidades.

Roletes defeituosos poderão ser substituídos sem a interrupção do movimento do transportador (fig. 15 apresenta o tipo concebido para o projeto de ENMINSA).

O número de "veículos de patrulha" dependerá do comprimento do sistema; cada unidade poderá transportar uma equipe de 2 ou 3 pessoas, e seu uso simplificaria enormemente a manutenção do sistema, uma das maiores restrições a este gênero de projeto.

## **6.0 CONCLUSÕES**

A crise de energia introduziu novos elementos neste campo, tornando virtualmente inviáveis vários sistemas de transporte movidos por combustíveis fósseis e acelerando as pesquisas sobre sistemas alternativos de transporte a longa distância.

As seguintes áreas estão sendo pesquisadas, e seus desenvolvimentos em futuro próximo aumentarão ainda mais a competitividade dos sistemas de transportadores quando comparado aos sistemas mais convencionais:

- Utilização de novos materiais tais como compostos cerâmicos e de uretano para minimizar o desgaste na carcaça de roletes, assim como correias de fibra de vidro.
- Utilização de mancais de lubrificação hidrostática e a ar, em lugar dos mancais comuns, reduzindo o atrito (e conseqüentemente a potência requerida) e aumentando a vida útil dos roletes.
- Limpadores de correia a ultrasom que diminuirão grandemente os problemas de desgaste nos roletes de retorno, e evitarão o uso de longos viradores.
- Correias capazes de fazer curvas horizontais, que simplificarão o "layout" e diminuirão os desgastes das correias devido a economia em transferências não alinhadas.
- Melhor aproveitamento do transportador, utilizando-se o lado de retorno para transporte material no sentido oposto ao do lado de carregamento, quando houver interesse econômico. (Esta técnica já foi estudada para o projeto Riverlake, com 170 km de extensão, para transporte de minério de ferro do Lago Erie para Ohio River, USA, e carvão no sentido oposto.).

O que já se fez e o ritmo crescente das novidades técnicas nesta área permite-nos, portanto, afirmar com segurança que já é viável, o projeto de sistemas de transportadores a longa distância, a preços competitivos, e pode-se certamente esperar uma expansão ainda maior na utilização destes sistemas de transporte no futuro próximo.

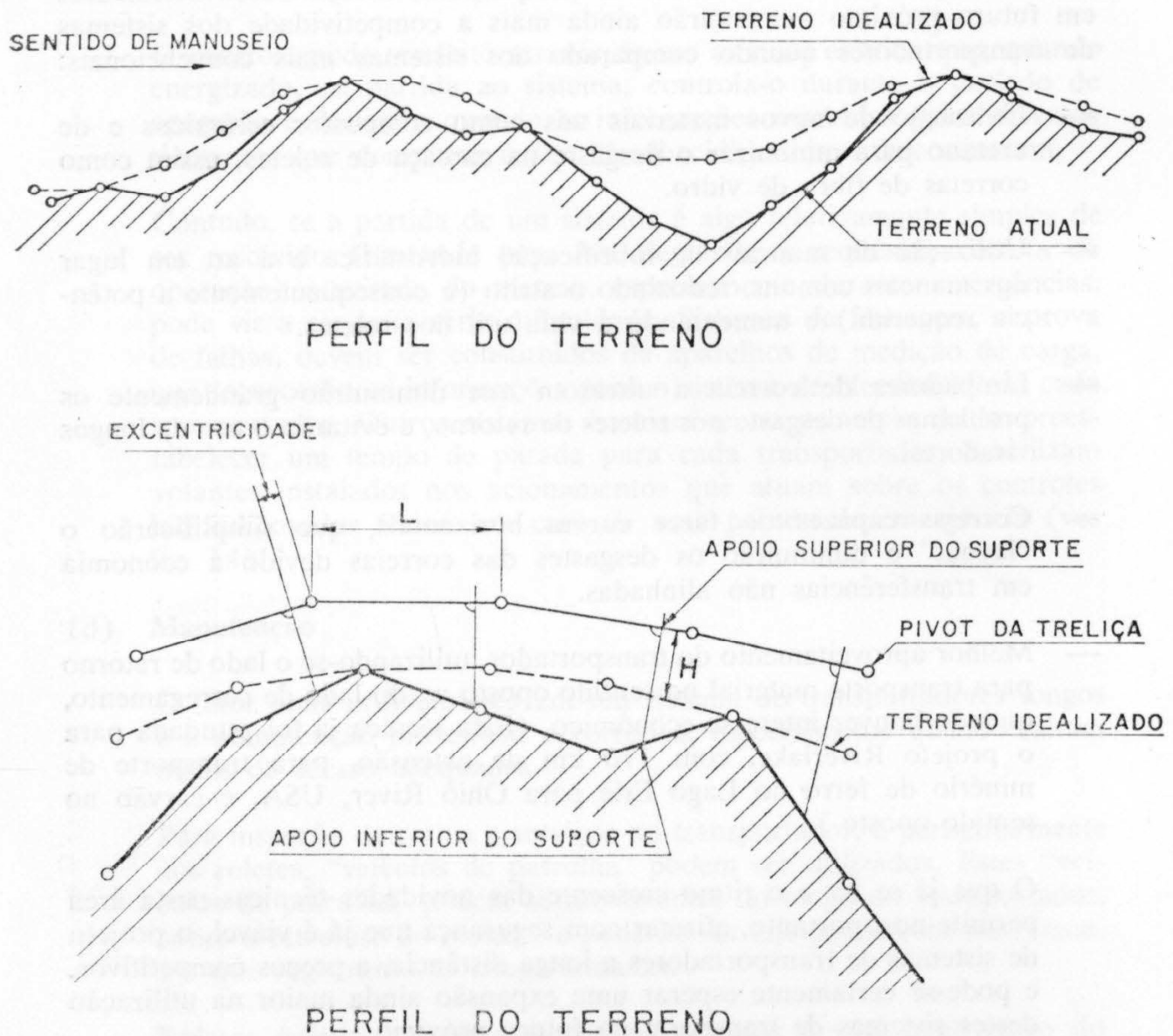
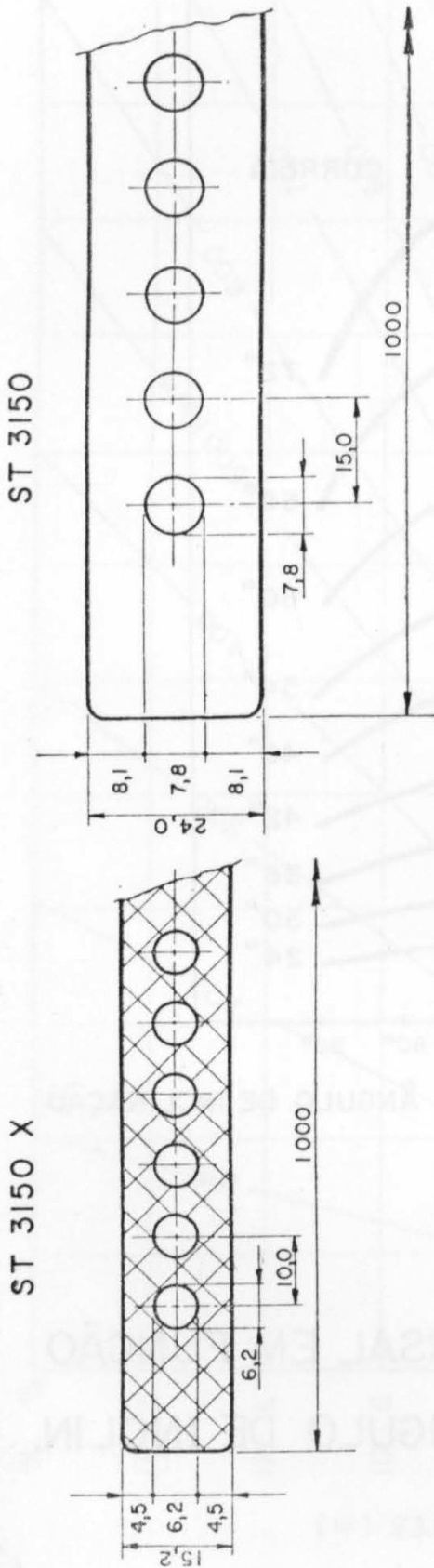


FIG. 2

EXEMPLO GRÁFICO DE CÁLCULO PARA DETERMINAR  
A POSIÇÃO ÓTIMA DOS APOIOS DO TRANSPORTADOR



CARACTERÍSTICAS	ST 3150 X	ST 3150
RESISTÊNCIA	3150 Kg/cm	3150 Kg/cm
PESO	30,5 Kg/m	37,5 Kg/m
ESPESSURA	15,2 mm	24 mm
COMPIMENTO DA SEÇÃO	400m	325 m
PESO DO ROLO	12,2t liq.	12,2t liq.
DIÂMETRO DO ROLO	2,80m	3,10m
Nº DE EMENDAS	38 (15.000)	40 (15.000)

FIG. 3

EXEMPLO DE MELHORIA NAS CARACTERÍSTICAS DE CORREIA DE CABO DE AÇO

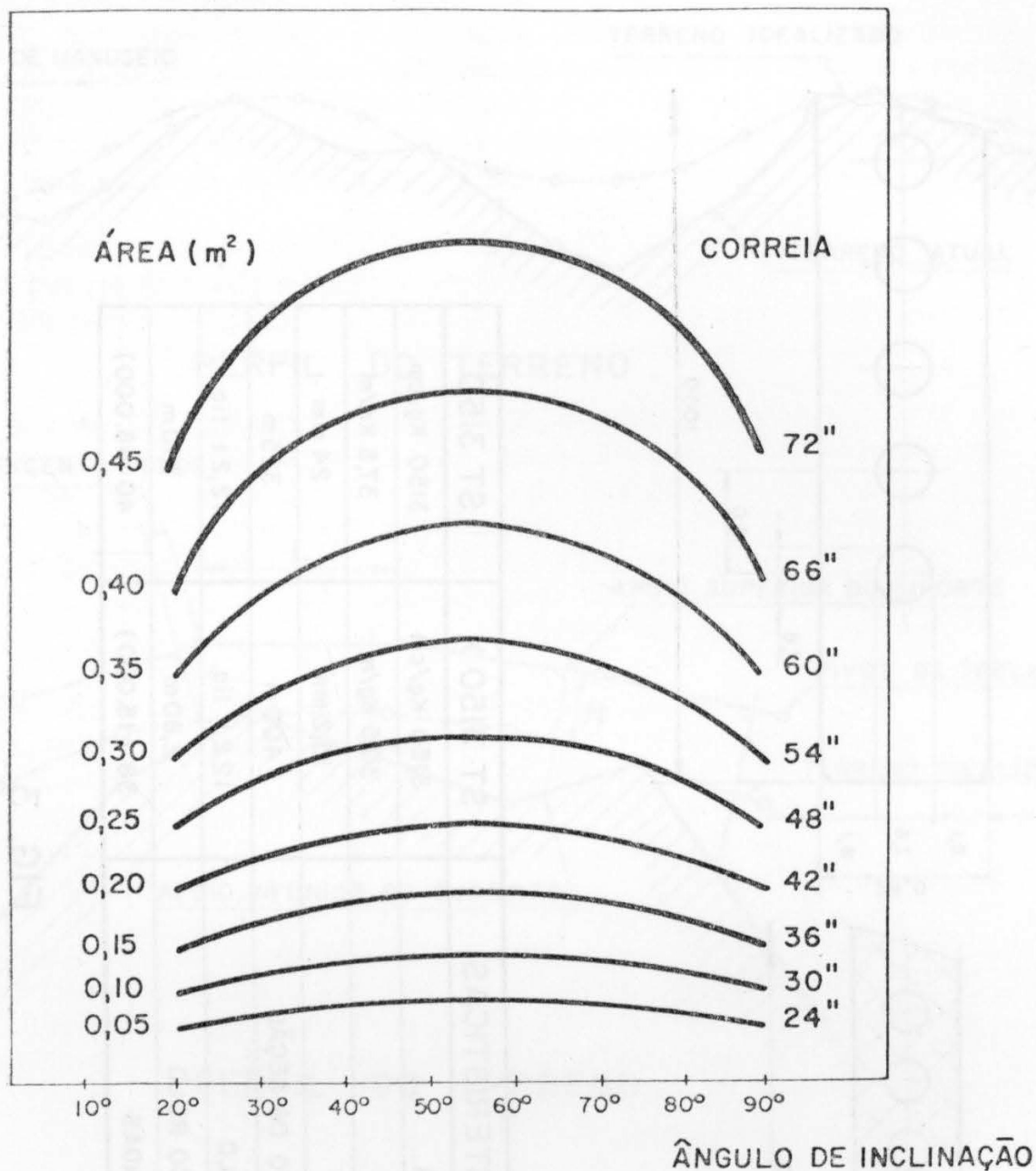


FIG. 4

AUMENTO DA ÁREA TRANSVERSAL EM FUNÇÃO  
DA LARGURA DA CORREIA E ÂNGULO DE INCLIN.  
DOS ROLETES

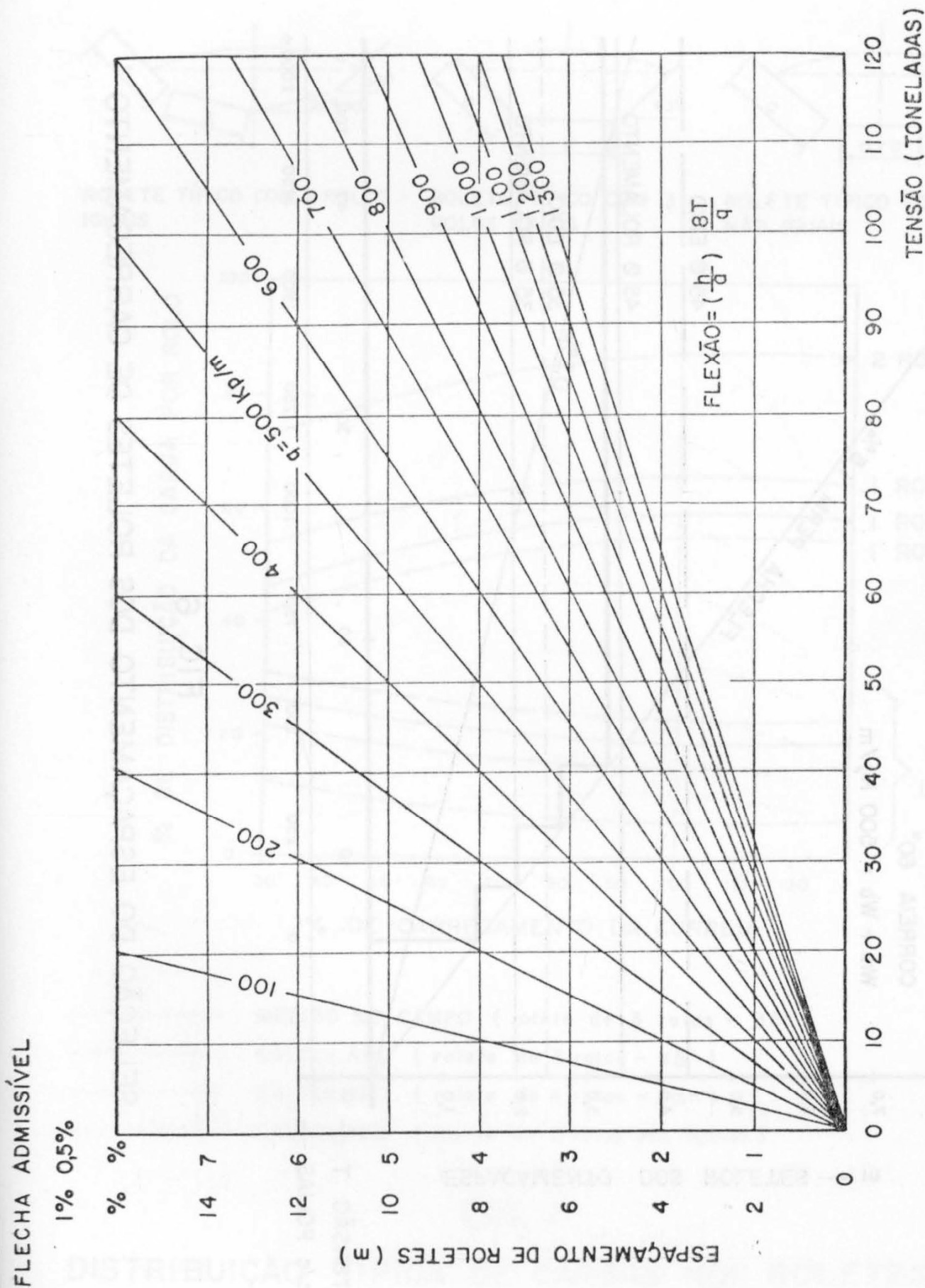


FIG. 5

ESPAÇAMENTO DE ROLETES EM FUNÇÃO DA TENSÃO,  
CARGA E FLECHA ADMISSÍVEL



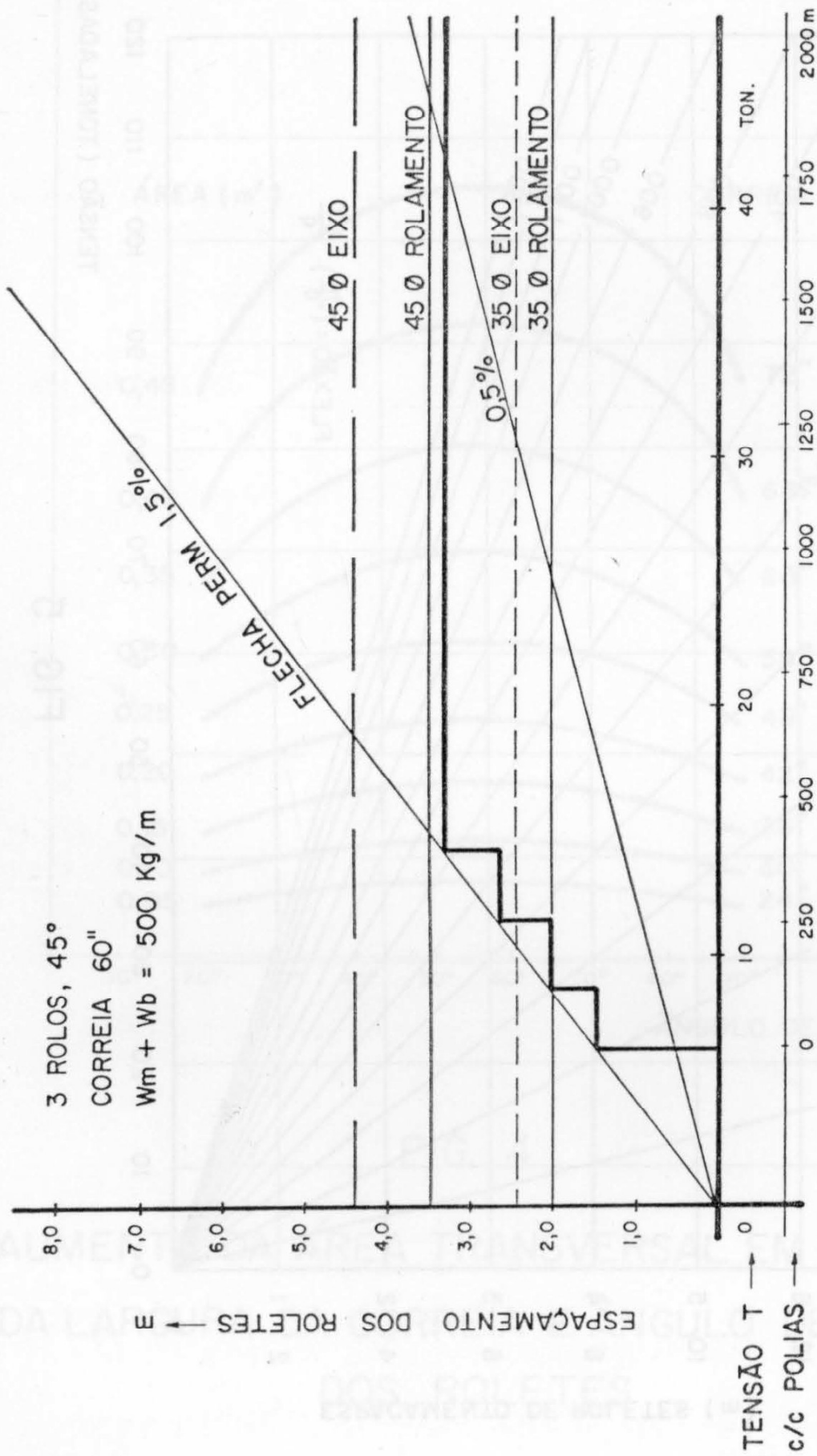
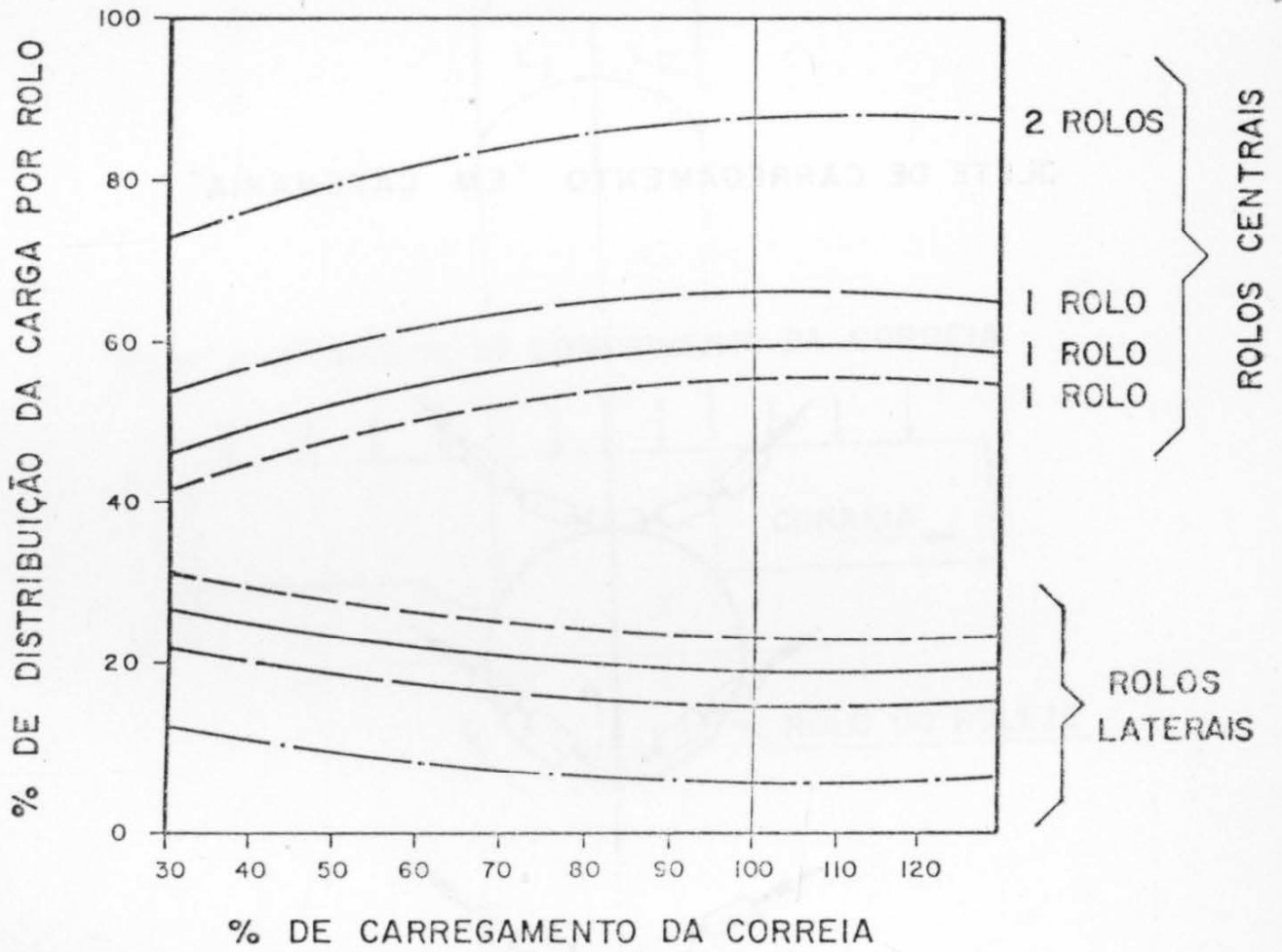
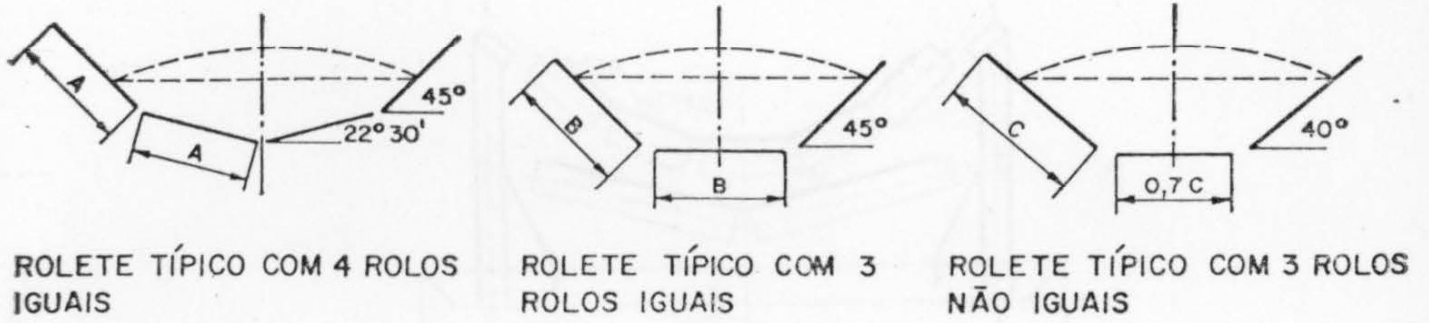


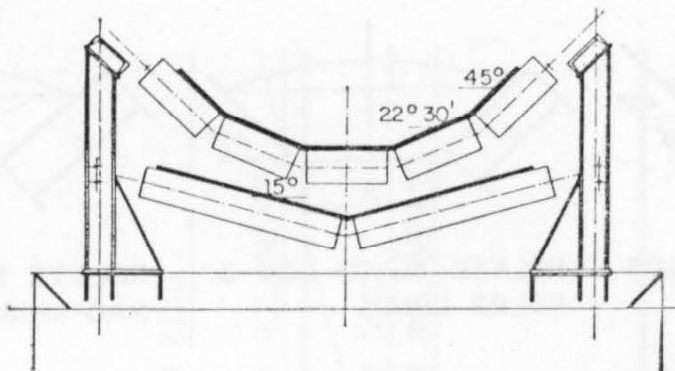
FIG. 6  
SELEÇÃO DO ESPAÇAMENTO DOS ROLETES DE CARREGAMENTO



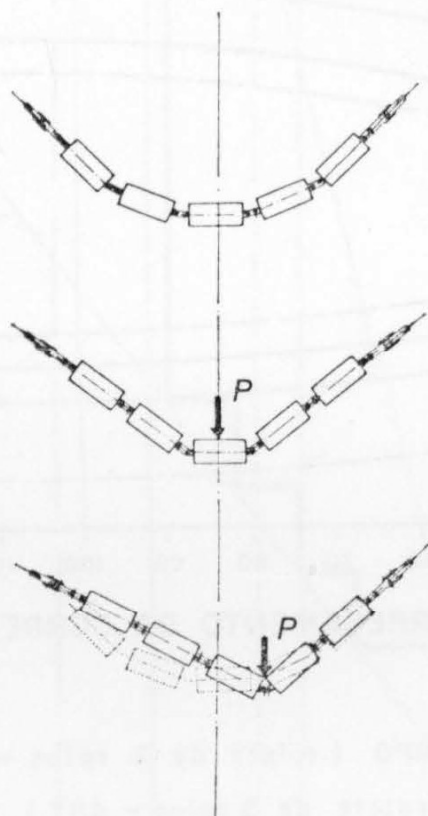
- MEDIDO NO CAMPO ( rolete de 3 rolos - 35° )
- CALCULADO ( rolete de 3 rolos - 45° )
- CALCULADO ( rolete de 4 rolos - 45° )
- CALCULADO ( rolete de 3 rolos não iguais )

FIG. 7

DISTRIBUIÇÃO TÍPICA DE CARGAS NOS ROLETES



ROLETE DE CARREGAMENTO "EM CATENÁRIA"



DEFLEXÃO DO CONJUNTO SOB CARGA EXCÊNTRICA

FIG. 8

ARRANJO DE CONJUNTO DE ROLETE EM CATENÁRIA

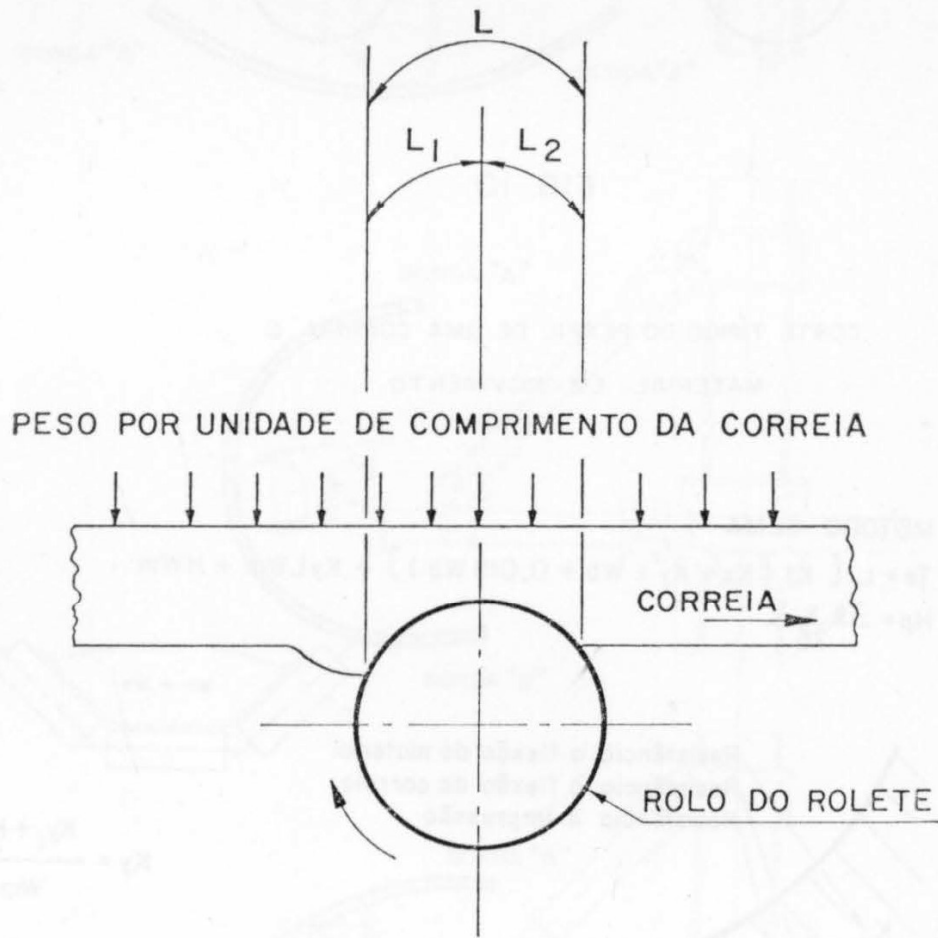


FIG. 9

IMPRESSÃO DA CORREIA SOBRE O ROLETE

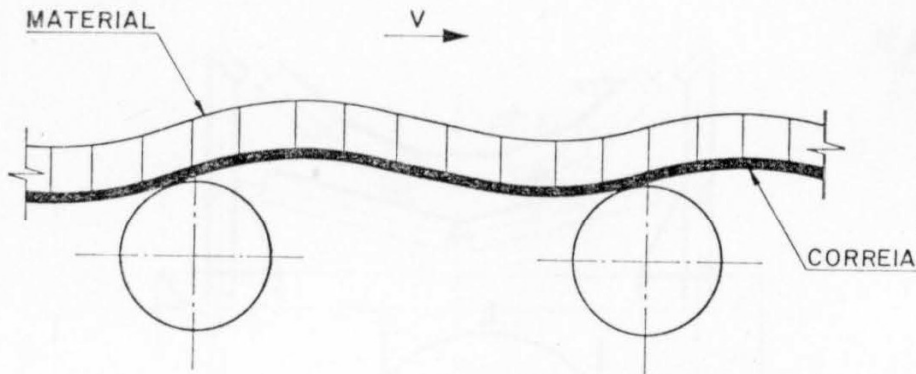


FIG. 10

CORTE TÍPICO DO PERFIL DE UMA CORREIA E MATERIAL EM MOVIMENTO

MÉTODO CEMA

$$Te = L [ Kt ( Kx + Ky \times Wb + 0,015 Wb ) ] + KyLWm + HWm$$

$$Hp = \frac{Te \times V}{75}$$

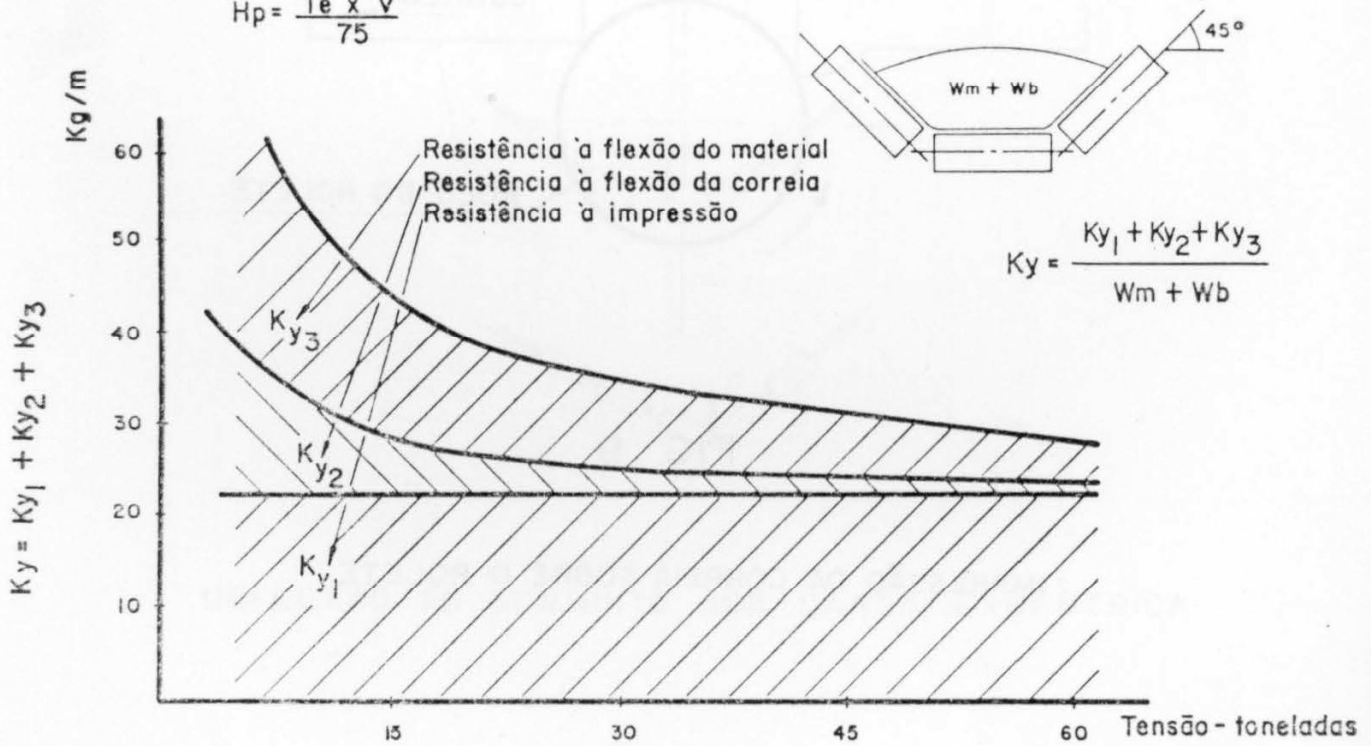


FIG. II

TENSÃO DA CORREIA

CURVA TÍPICA DA VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO MOVIMENTO POR ATRITO

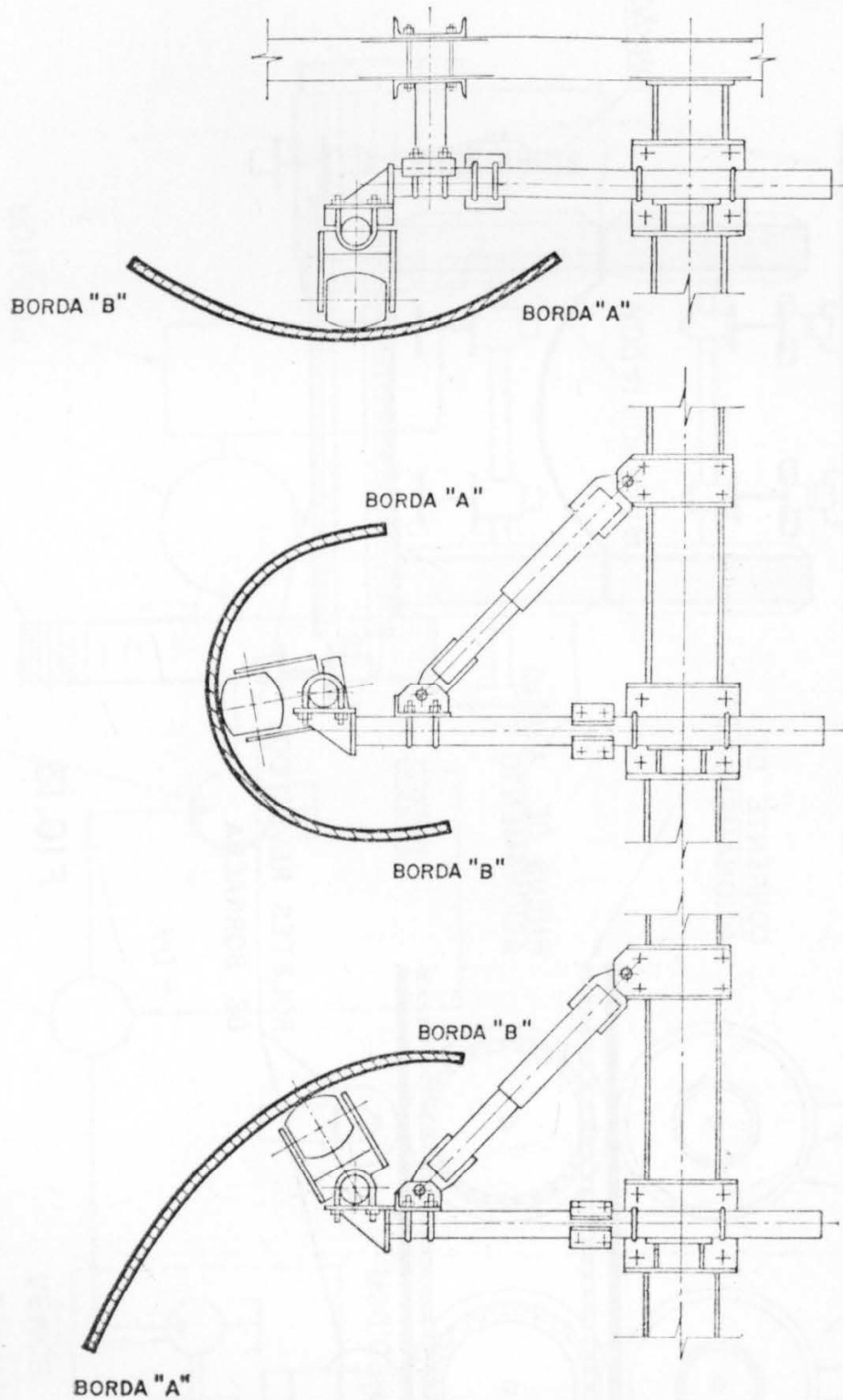


FIG. 12

VIRADOR DE CORREIA TIPO "FOLDED"  
SEÇÃO TÍPICA

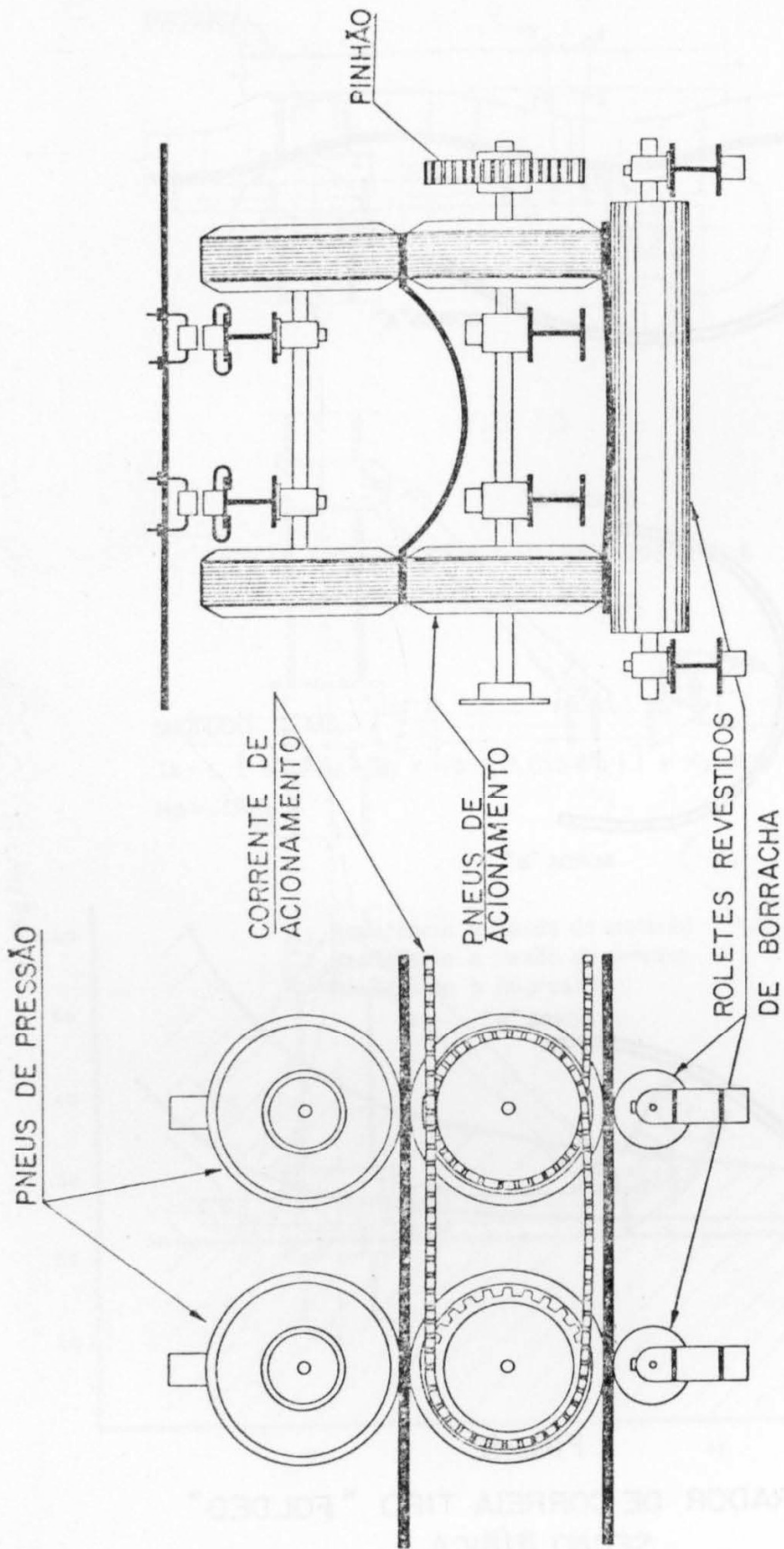


FIG. 13

ACIONAMENTO INTERMEDIÁRIO

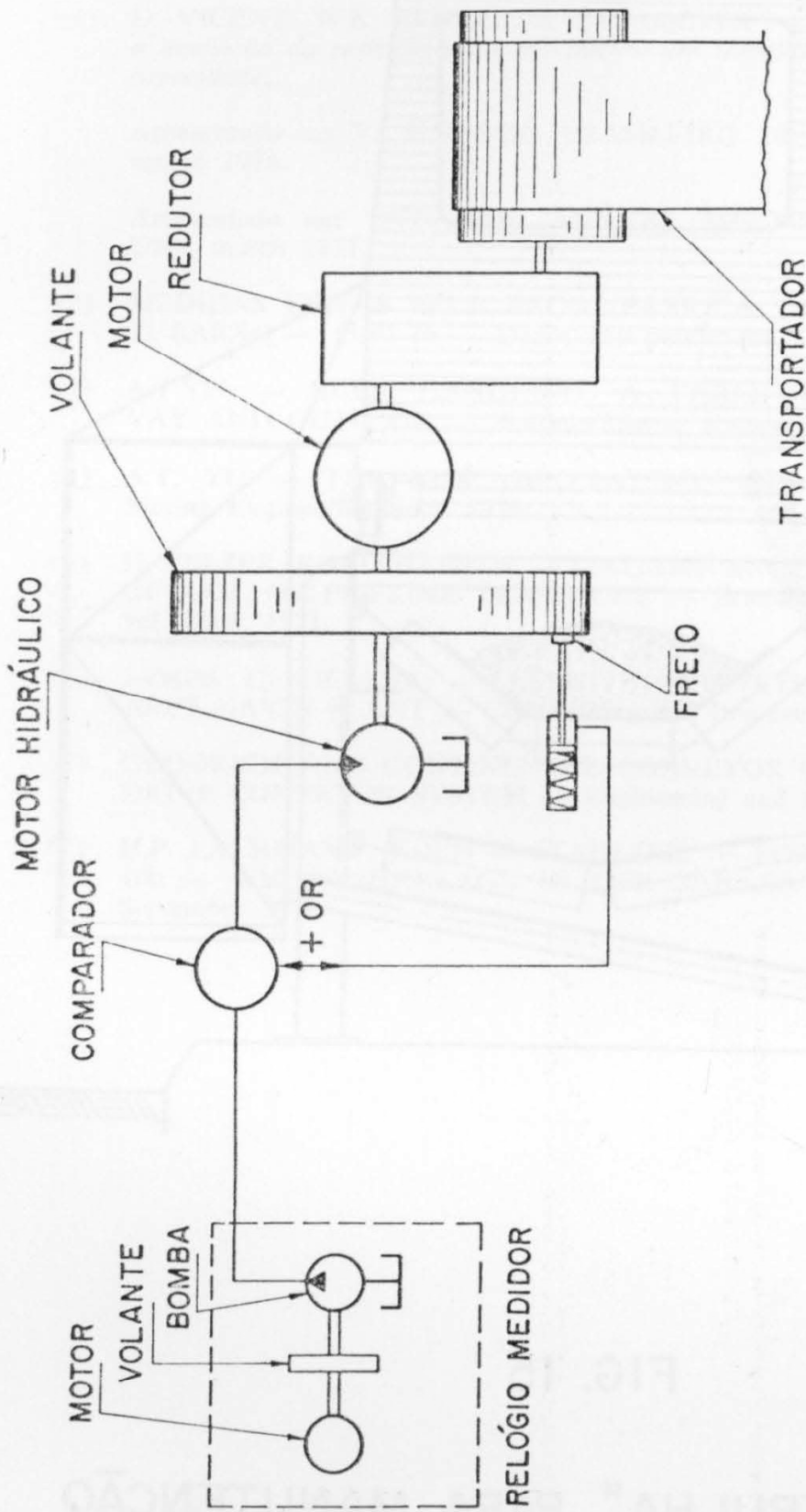


FIG. 14

SISTEMA DE FRENAGEM CONTROLADA



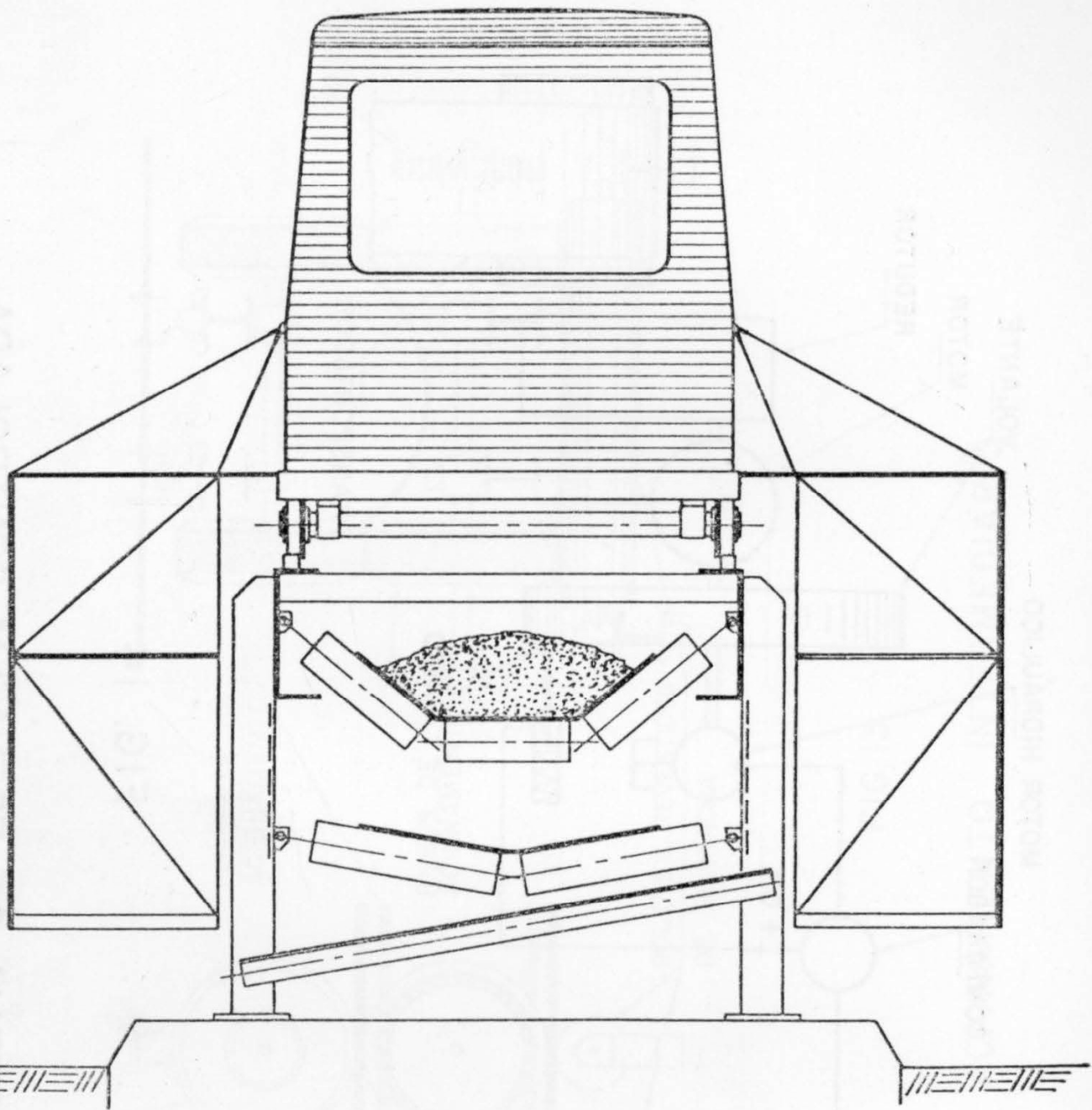


FIG. 15

"CARRO - PATRULHA" PARA MANUTENÇÃO

## REFERÊNCIAS

- (1) D. VICENT, W.K. BEHRENDTS, Z.F. OSZTER — *Novas considerações sobre a avaliação da resistência ao movimento em transportadores de correia de alta capacidade.*  
Apresentado no VI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO, S. Paulo, agosto 1976.  
Apresentado em 1977 AIME ANNUAL MEETING ATLANTA, Georgia, USA, march 1977.
- (2) MEDIDAS FEITAS PELA FAÇO (FÁBRICA DE AÇO PAULISTA) EM TUBARÃO — 15-01-76 — Dados não publicados.
- (3) A.T.YU — BULK HANDLING, A THREE-QUARTER CENTURY SURVEY AND OUTLOOK — *Skilling's Mining Review*, vol. 60, n.º 12.
- (4) A.T. YU — THE NEW GENERATION OF BELT CONVEYORS — *Mining Engineering*, june 1970.
- (5) H. PELZER, RHEINHAUSEN — LONG-DISTANCE CONVEYORS INSTEAD OF RAIL OR PIPELINE TRANSPORT — *Braunkohle, Wärme und Energie*, vol. 23/6, 1971.
- (6) JAMES J. VICIANA — MASSIVE CONVEYOR SYSTEM SUPPLIES AEP'S GAVIN PLANT — *Coal Mining and Processing*, february 1975.
- (7) GOODRICH AND CONTINENTAL CONVEYOR CO. — INTERMEDIATE DRIVE CONVEYOR SYSTEM — *Engineering and Mining Journal*, june 1976.
- (8) H.P. LACHMANN, KOLN — STAHLSEIL — FORDERGURTE FÜR EINE 100 — KM BANDANLAGE IN DER SAHARA — *Braunkohle*, Heft 9, September 1976.