

FERNANDO COMPARINI RIBEIRO

**RETIFICAÇÃO DE VIRABREQUINS COM ALTAS
VELOCIDADES**

Trabalho de formatura apresentado
à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para a
obtenção de graduação em
Engenharia Mecânica.

Prof. Orientador: Marco Stipkovic Filho

Marco Stipkovic Filho
Nota 9.0 (nota)

São Paulo
2000

DEDALUS - Acervo - EPMN



31600005978

Ao meu pai, que tem sido a grande razão e incentivo de meu aperfeiçoamento técnico. Desejo que minha dívida com você seja inesgotável.

AGRADECIMENTOS

Ao orientador Marco Stipkovic Filho, pelas suas orientações técnicas e pessoais que conduziram a realização deste trabalho.

A SIFCO S/A, que permitiu a realização deste trabalho.

A toda minha família, pela paciência e incentivo.

A todos que direta ou indiretamente colaboraram na execução deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO.....	4
1 INTRODUÇÃO	5
2 A RETIFICAÇÃO DE VIRABREQUINS.....	6
3 O VIRABREQUIM	9
4 A RETIFICAÇÃO COM REBOLOS CBN.....	11
5 VANTAGENS DA RETÍFICA DE VIRABREQUINS COM CBN ...	15
6 SÍNTESE DAS NECESSIDADES	17
7 SOLUÇÃO ENCONTRADA.....	18
8 ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA.....	24
8.2 INVESTIMENTO INICIAL	29
8.3 PAYBACK DO INVESTIMENTO	29
8.4 VALOR PRESENTE LÍQUIDO.....	30
8.5 TAXA INTERNA DE RETORNO	32
8.6 CONCLUSÕES FINANCEIRAS	33
9 BIBLIOGRAFIA	34

RESUMO

A otimização de processos é algo que se tornou essencial para a sobrevivência das empresas nesta época globalizada. Este trabalho visa achar um processo mais eficiente para a retificação de moentes de virabrequins, para a substituição do processo atual realizado pela empresa SIFCO S/A.

Para isso, foi verificado as necessidades do processo, e buscou-se uma alternativa de equipamento no mercado que atendesse tais necessidades e fosse viável nos aspectos financeiros.

1 INTRODUÇÃO

Um dos processos mais utilizados na fabricação de peças de precisão é o processo de retificação, mesmo sendo este um dos processos de usinagem ainda menos dominado tecnologicamente. Seu desempenho é muito dependente da habilidade e sensibilidade do operador e das condições de usinagem e dressagem do rebolo. As decisões durante a retificação são normalmente tomadas pelo operador da máquina, que embora possua a experiência de muitos anos de trabalho, nem sempre possui conhecimentos teóricos sobre o processo. Este fato é mais agravado porque no Brasil ainda são muito utilizados os rebolos convencionais, que possuem menor capacidade de remoção de material se comparados com os superabrasivos, principalmente quando se retifica materiais de elevada dureza (acima 50 HRc). Isto torna-se mais crítico, pela concorrência estrangeira que está obrigando as indústrias nacionais a atender aos padrões internacionais de qualidade e desempenho de produtos.

É sabido que os rebolos superabrasivos apresentam alta eficiência de corte e podem produzir maiores quantidades de peças, com elevada precisão e com o mesmo esforço físico despendido com os rebolos convencionais, proporcionando menores custos, e um aumento da produtividade. Com isso em vista, pretende-se com este trabalho desenvolver um processo de retificação de alta velocidade para virabrequins, a fim de substituir o processo atual utilizado pela empresa Sifco S/A, com rebolos convencionais.

2 A RETIFICAÇÃO DE VIRABREQUINS

A retificação de eixos de virabrequim é uma retificação cilíndrica, porém de características muito especiais. Primeiro, por utilizar rebolos de diâmetros grandes, para que as flanges do rebolo não interfiram com os contrapesos do eixo e, segundo, por ter que retificar, num corte de mergulho, duas superfícies planas laterais (espelhos) e uma superfície cilíndrica do colo, no qual é necessário manter um raio em cada extremidade.



Figura 2.1 - Retifica de munhões



Figura 2.2 - Retífica de moentes

Os rebolos são ajustados nos negativos exatos dos formatos desejados e efetua-se o corte em mergulho para o acabamento do diâmetro, passando-se pelas etapas necessárias até atingir o acabamento desejado. Os cabeçotes porta-rebolos avançam primeiro em alta velocidade, reduzindo-a ao efetuar o contato com as paredes laterais e diminuindo-a ainda mais quando a periferia entra em contato com a superfície do colo e, retraindo-se rapidamente quando o calibrador automático indica que o diâmetro adequado foi atingido.

Os assentos extremos e as flanges podem ser usinadas pelo método de corte inclinado, através de uma retífica angular, realizando simultaneamente a retificação dos mesmos.

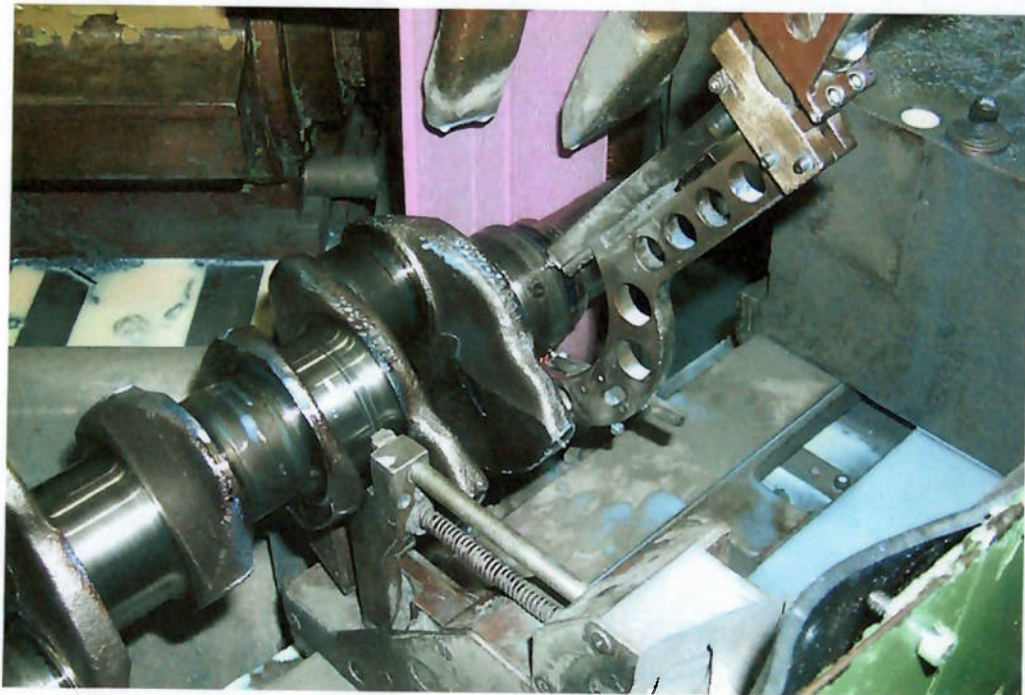


Figura 2.3 - Retífica angular da espiga e munhão 1

3 O VIRABREQUIM

O produto para o qual pretende-se mudar o processo é um virabrequim produzido pela empresa Sifco S/A para a Volvo Penta, companhia sueca fabricante de motores de barco. Há dois tipos de virabrequins, o de 4 cilindros, designado pelo número 8229, e o de 6 cilindros, designado pelo número 8220.

Estes virabrequins são forjados em martelo, e depois usinados. A primeira operação é facear e centrar por massa, onde é feita a referência para as futuras usinagens. Após isso, há um desbaste dos munhões e moentes, seguido do tratamento térmico, onde só após isso retifica-se a peça. Primeiramente retifica-se os munhões, com exceção do primeiro que fica ao lado da espiga, pois este não tem espelho de um lado. Após isso, é retificado a espiga e o munhão 1, em uma retífica angular, sendo a próxima operação a retífica de moentes. Os tempos atuais para o virabrequim de 6 cilindros são os seguintes:

- Retífica munhões: 12 min
- Retífica munhão 1 e espiga: 5 min
- Retífica moentes: 21 min

As características básicas do produto são:

- Material: DIN 42CrMoS4
- Comprimento total: 860 mm (6 cil.) e 624 mm (4 cil.)
- Diâmetro dos munhões: 70,000 – 0,013 mm
- Diâmetro dos moentes: 56,500 – 0,013 mm
- Desbalanceamento dinâmico máximo: 20 g.cm

- Dureza superficial: 50 HRc
- Rugosidade nos diâmetros: $0,4 \mu\text{m}$

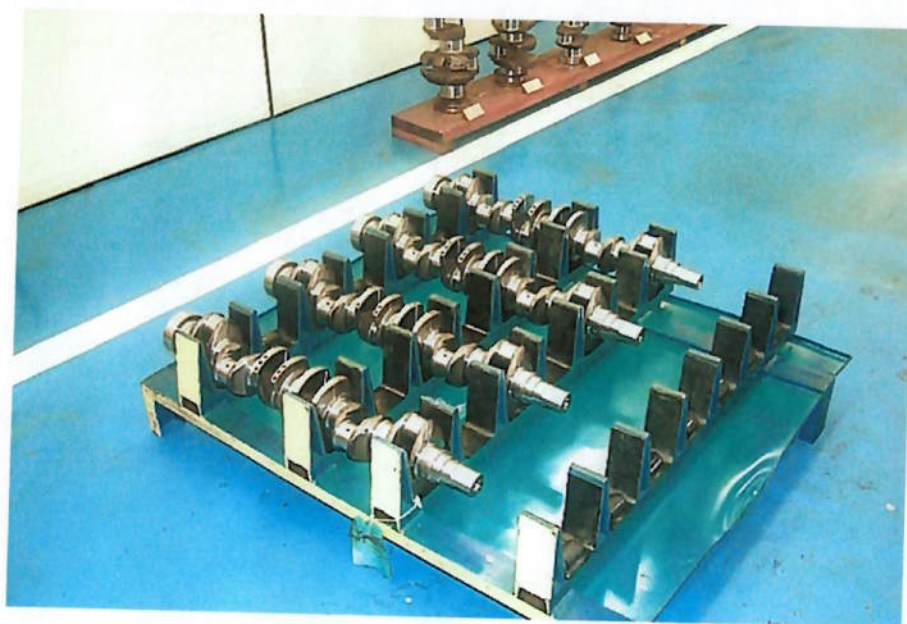


Figura 3.1 - Virabrequins 6 cil. acabados

4 A RETIFICAÇÃO COM REBOLOS CBN

A usinagem com rebolos superabrasivos deve proporcionar um custo de produção inferior, por peça, em média 30 à 50% em relação a usinagem com rebolos convencionais, utilizando-se condições de usinagem que promovam o menor desgaste possível da sua superfície de corte (superfície do rebolo responsável pela remoção de metal da peça retificada). Entretanto, a redução do custo somente será viável se o rebolo, utilizado sob determinadas condições de usinagem e afiação, proporcionar peças com qualidade aceitáveis, rugosidade adequada da peça e sem danos metalúrgicos significativos (modificações na microestrutura do material como encruamento, tensões residuais, etc.).

Como conseqüência dos esforços contínuos para melhorar a qualidade dos produtos e os métodos de fabricação, têm sido desenvolvidas novas máquinas-ferramenta e materiais para as ferramentas de corte. Alguns tipos de materiais compostos, comprovadamente, provocam grandes dificuldades de usinagem, ou até mesmo impossibilidade, quando se torna necessário que sejam submetidos ao processo de retificação com rebolos convencionais.

Em operações típicas de fabricação, o rebolo é a interface entre a máquina e a peça. Para que o rebolo possa transferir a energia disponível na máquina para a operação de retificação, o mesmo deve apresentar, dentre outras característica, maior dureza do que a peça e, conseqüentemente, ser mais resistente ao desgaste abrasivo. Os cristais dos grãos abrasivos de CBN (nitreto de boro cúbico) se adequam e até superam este requisito, e por isso

são usados na fabricação de rebolos para a retificação de alta eficiência de materiais difíceis de serem retificados ("Difficult To Grind"- DTG)

Na retificação de materiais DTG, os rebolos convencionais perdem a capacidade de corte mais rapidamente, por serem menos resistentes ao desgaste, resultando em valores elevados de forças de corte, temperatura (gerada por atrito e riscamento do cavaco arrancado) e taxas de remoção de material reduzidas, afetando a rugosidade superficial e a precisão geométrica e dimensional das peças retificadas. De forma oposta, os rebolos de CBN tem prolongada a sua capacidade de corte, pois os grãos de CBN são mais resistentes ao desgaste e a sua alta condutividade térmica colabora no sentido de reduzir a elevação descontrolada do calor. Desta forma, fica reduzida a possibilidade de se causar danos metalúrgicos na peça.

O potencial de alto desempenho dos abrasivos CBN resulta de sua extrema dureza e resistência ao desgaste, aliadas às suas altas resistências à temperatura e condutibilidade térmica. No campos dos rebolos de CBN é observado um rápido crescimento do uso dos ligantes vitrificados na indústria. Esse tipo de ligante é frágil e extremamente resistente ao desgaste e possui uma boa estabilidade térmica. Uma outra vantagem significativa da utilização de ligante vitrificado em rebolos de CBN, resulta no fato do mesmo proporcionar boa porosidade e boas propriedades de auto afiação dos rebolos o que, usualmente, simplifica o método de condicionamento destes. Já os rebolos de CBN com ligante resinóide, além de serem submetidos a operação de dressagem (comumente realizada para os dois tipos de ligante citados), devem ser submetidos a uma operação de avivamento, para a exposição dos grão de CBN na região de corte e para o aumento da porosidade do ligante,

através de um processo de erosão do mesmo utilizando-se, comumente, uma barra de óxido de alumínio.

Um rebolo superabrasivo é fabricado para uma aplicação específica; ou seja, os seus constituintes devem ser trabalhados de forma a se obter uma ferramenta de corte que atenda às necessidades do usuário. Na Tabela 1 é apresentado um esquema básico mostrando alguns dos principais constituintes de um rebolo superabrasivo CBN.

Rebolos Superabrasivos	Material do núcleo	Alumínio, aço, resina, composto
	Dureza/Estrutura do ligante	G, N, ...
	Tipos de ligante	Resinóide vitrificado, metálico
	Tamanho do abrasivo	80/100(d181), 200/230(d6) ...
	Concentração do abrasivo	75, 100
	Tipo do abrasivo	RVG W, RVG 880 ...

Tabela 1 – Principais constituintes de um rebolo superabrasivo CBN

O ligante influencia a compatibilidade/retenção do abrasivo, a capacidade na obtenção de formas geométricas especiais do rebolo, a vida útil do rebolo e as características de desgaste deste. A alteração da dureza do ligante influencia diretamente nas variáveis de saída do processo. De forma geral tem-se que, se o ligante possuir baixa capacidade de retenção dos grãos abrasivos na superfície de corte do rebolo (rebolo mole), haverá desprendimento dos grãos e a renovação da superfície de corte.

O grão abrasivo influencia diretamente a vida útil do rebolo, a eficiência da operação de retificação e a qualidade superficial da peça retificada. A

escolha da granulometria dos grãos que irão ser utilizados na fabricação de um rebolo está associada ao que se pretende do processo. Se é desejável valores baixos de rugosidade superficial da peça, deve-se usar um rebolo fabricado com granulometria fina. O grau de friabilidade (facilidade para fraturar o grão em pedaços, sob uma determinada força de retificação ou impacto entre o grão e a peça, formando novas arestas) de um grão abrasivo também pode comprometer o processo de usinagem. Se for usado um rebolo com maior grau de friabilidade, haverá uma renovação mais acentuada e constante das aresta de corte fazendo com que o rebolo permaneça afiado. Consequentemente, a energia consumida é menor e a rugosidade superficial da peça melhora.

Nos últimos anos, sob circunstâncias altamente competitiva em indústrias, rebolos de CBN tem sido largamente usados em várias aplicações de produção maciça em retificação, e nesta aceitação do rebolo de CBN nas indústrias, o emprego dos rebolos de CBN com ligante vitrificado tem crescido rapidamente comparado a outros rebolos com outros tipos de ligantes, como resínóide ou metálico. As razões principais disto estão na sua maior durabilidade, melhor acabamento obtido, maior eficiência de retificação, maior resistência ao desgaste e uma maior força de retenção do cristal, além de um condicionamento mais fácil da superfície devido à porosidade induzida.

5 VANTAGENS DA RETÍFICA DE VIRABREQUINS COM CBN

O uso de retífica de alta velocidade com rebolos de CBN para a retificação específica de virabrequins produz uma série de vantagens, que estão listadas abaixo:

- Redução do tempo de retificação (aumento da velocidade de corte);
- Menos dressagem/ menos troca de rebolo/ maior vida do rebolo;
- Maior precisão;
- Maior flexibilidade (eliminação ou troca de componentes mecânicos por componentes elétricos e software);
- Projeto mecânico simplificado e componentes das máquinas uniformes para retificação de munhões e moentes, resultando numa menor operação e manutenção;
- Maior proteção e limpeza da máquina pela utilização de óleo como refrigerante;
- Geometria de corte constante devido a não variação do diâmetro do rebolo;
- Maior condutividade térmica do CBN;
- Redução do problema de descarte (menos resíduos de rebolo, corpo do rebolo pode ser reutilizado).

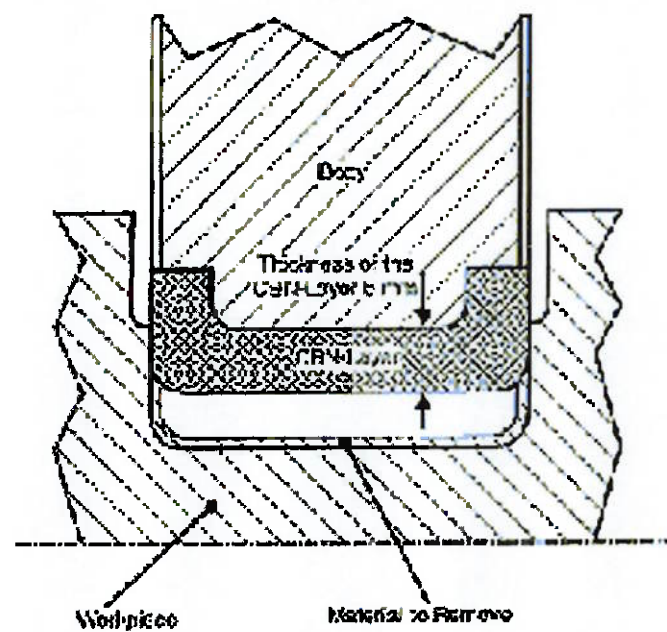


Figura 5.1 - Esquema de retificação de virabrequins com rebolo CBN

6 SÍNTESE DAS NECESSIDADES

O projeto irá se basear na determinação de um novo processo para a retificação de virabrequins que consiste na escolha de uma nova máquina para a retificação de moentes, com todos os dispositivos e ferramentas utilizados, como rebolo, ferramentas de dressagem e equipamentos de medida.

As características necessárias para essa operação são:

- Diâmetro: $56,500 - 0,013$ mm
- Largura: $39,05 - 0,10$ mm
- Circularidade: $6\text{ }\mu\text{m}$
- Retilidade: $6\text{ }\mu\text{m}$
- Raio: $5,05 - 0,3$ mm
- Rugosidade: $R_a = 0,4\text{ }\mu\text{m}$

Espera-se que com a utilização deste novo processo não haja mais a necessidade de lixar (polir) a peça acabada, utilizando-se portanto as dimensões do produto final como requisitos do processo. Além disso, espera-se obter uma redução no custo de operação da ordem de 40%.

7 SOLUÇÃO ENCONTRADA

Para resolver o problema determinado acima, contatou-se a fabricante de máquinas Ingersoll Naxos para se verificar as possibilidades de equipamentos que realizassem esta operação. Esta empresa, localizada em Midland, Michigan (EUA) foi fundada em 1970, sendo que a sua maior ênfase é o projeto e manufatura de equipamentos de alta qualidade para os processos de usinagem de virabrequins. Em 1997, essa empresa adquiriu a empresa alemã Naxos Union, famosa mundialmente pelos seu equipamentos de retífica de virabrequins, fornecendo então aos seus clientes a maior variedade em equipamentos de manufatura de virabrequins disponível no mercado mundial.

A alternativa fornecida por esta empresa para o caso proposto foi da utilização da máquina modelo PQS 500x1250. As características básicas dessa máquina são:

- Comprimento da peça: 750 – 1500 mm
- Peso da peça: max. 150 kg
- Máxima variação de comprimentos de peça: 500mm
- Avanço do rebolo (eixo x): máx. 365 mm
- Avanço do rebolo (eixo y): máx. 1250 mm
- Diâmetro do rebolo: 700 mm
- Largura do rebolo: de acordo com aplicação específica, no caso, 39 mm
- Velocidade de corte: 125 m/s
- Fluxo de refrigerante na peça: 450l/min
- Pressão do refrigerante: 10 bar

- Fluxo de refrigerante para limpeza do rebolo: 50 l/min
- Pressão para limpeza do rebolo: 40 bar
- Área total da fábrica necessária: 4,3 X 6,3 m²
- Peso da máquina com equipamentos regulares: 18.500 kg
- Detalhes da máquina:
 - Rotação da peça em torno da linha de centro
 - Percurso controlado na usinagem de moentes
 - Utilização de rebolos de CBN
 - Movimentação do cabeçote com motor linear (eixos x e z)
 - Medição da peça durante o processo
 - Sistema de estabilização de temperatura.

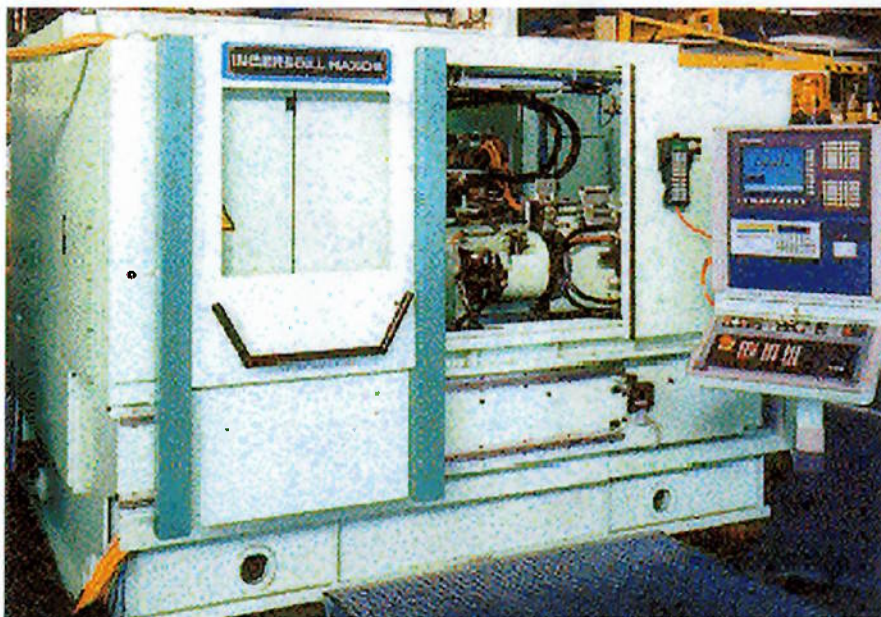


Figura 7.1 - Máquina Ingersol Naxos

Esta máquina possui um sistema de retificação de moentes em torno da linha de centro denominada de *"Pin Chasing Method"*, no qual o cabeçote do

rebolo é comandado numericamente através de um motor linear, ocorrendo então a movimentação do rebolo no eixo x. Definindo-se meio curso como a distância entre a linha de centro dos munhões e a linha de centro dos moentes, verifica-se que a movimentação linear total deste rebolo será de duas vezes o meio curso.

Num ciclo total da peça na máquina, ocorrerá remoção de material por toda a extensão do diâmetro da peça.

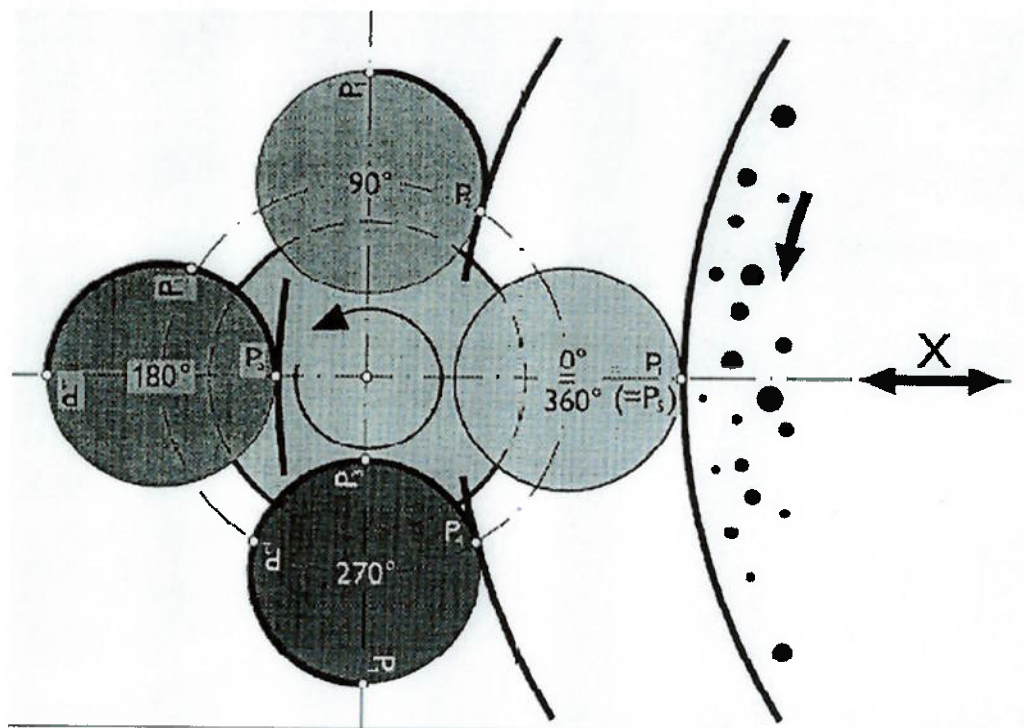


Figura 7.2 - Esquema do método pin chase

Atualmente, o sistema utilizado para retificar moentes é o de placa de arraste, fazendo com que a peça gire em torno da linha de centro do moente.

O sistema de motor linear utilizado possui as seguintes vantagens:

- Sistema do motor livre de desgaste (fuso de esfera e engrenagens)
- Motor sem rolamentos (tarefa é executada por guias de carregamento)
- Fácil de instalar
- Melhora na performance de aceleração.

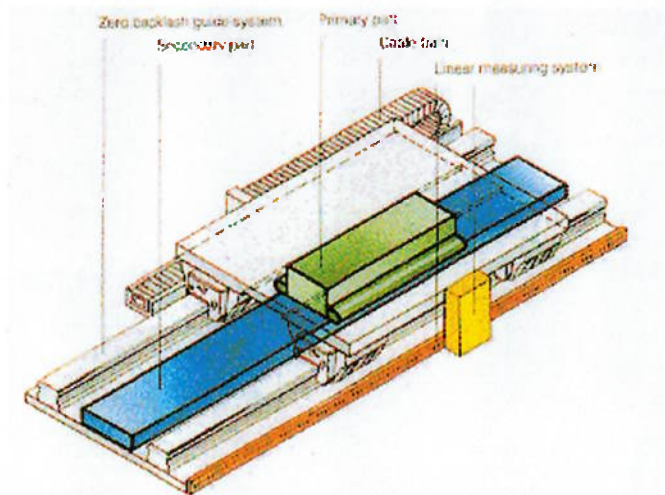


Figura 7.3 - Esquema do motor linear

A seguir, será descrito alguns detalhes construtivos da máquina:

Base da Máquina: construção em aço soldável, revenido, com:

- Alta robustez
- Ângulos de superfície desenvolvidos para otimizar a descarga de fluido refrigerante

Fixação e Rotação da Peça:

- O virabrequim é fixado e referenciado pelos munhões que já foram retificados anteriormente
- A tensão é colocada na peça através de discos de molas

- Essa tensão é ajustada individualmente de acordo com a tarefa a ser executada
- Cabeçote de fixação é aberto hidraulicamente

Posicionamento radial:

- O posicionamento do virabrequim é localizado por um ponto fixo na superfície de referência da peça. O ângulo entre a superfície de referência e os moentes é corrigido pelo controle CNC.

Posicionamento axial:

- O ajuste ocorre uma vez por virabrequim em ambos os espelhos com um sistema automático de medida que corrige o comando numérico.

Dispositivo de Medida:

- Medidor de diâmetro em processo fabricado pela Marposs do tipo FENAR-L com a unidade conectada direta com o comando CNC. Esse dispositivo de medida move-se automaticamente com o movimento do moente. O dispositivo de medida, montado no cabeçote do eixo árvore, é acionado na peça automaticamente.

Cabeçote do rebolo:

- Motor linear na direção do eixo x
- Motor linear na direção do eixo z
- Escala linear para posicionamento nos eixos x e z
- Sistema automático de balanceamento do rebolo, fabricado pela Marposs, integrado ao eixo árvore da retífica
- Lubrificação automática com ar e óleo no eixo árvore da retífica

Dispositivo de dressagem:

- Unidade de dressagem para rolo de diamante

- Utilizado na dressagem do diâmetro
- Movido eletricamente através de servo motor
- Regulagem contínua da rotação de trabalho para até 12000 rpm
- Unidade adicional de dressagem para a calibração lateral do rebolo, necessários para a retificação dos espelhos e raios.

Segundo o fabricante da máquina, os requisitos de qualidade obtidos com produtos similares, fabricados pela Volvo Truck Co. na sua fábrica de Skövde, na Suécia, com o mesmo equipamento são os seguintes:

- ♦ Desvio do Diâmetro: $2 \mu\text{m}$
- ♦ Circularidade: $2,5$ a $3,5 \mu\text{m}$
- ♦ Cilindricidade: 3 a $4 \mu\text{m}$
- ♦ Retilidade: $1,5 \mu\text{m}$
- ♦ Rugosidade: $R_a = 0,25$ a $0,3 \mu\text{m}$

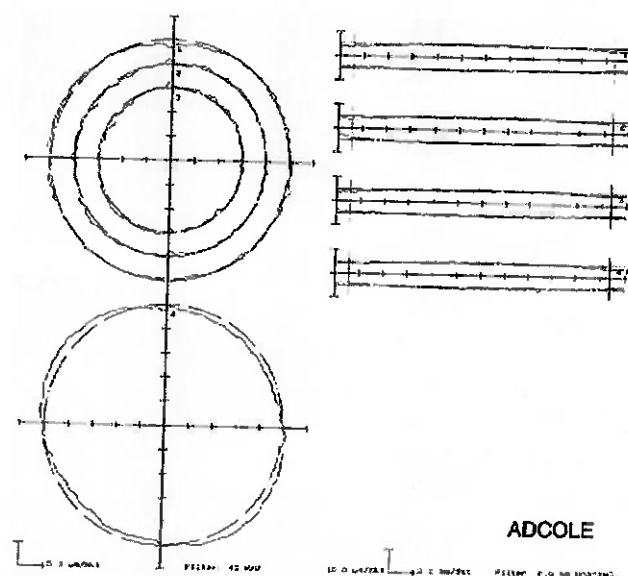


Figura 7.4 - Gráficos de retilidade e circularidade

8 ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA

Para se estimar a viabilidade financeira do projeto, será comparado os custos atuais de usinagem, de ferramenta e de dressagem, com uma estimativa dos custos com a nova tecnologia.

Comparação de Custos de Usinagem	
Por virabrequim 6 cilindros retificado com rebolo CBN comparado com rebolos tipo DR (utilizados atualmente)	
	Moentes
Tempo de ciclo com rebolo DR (incluindo carga e descarga)	21 minutos
Tempo de ciclo com rebolo CBN (incluindo carga e descarga)	8,7 minutos
Economia de Tempo	12,3 minutos
Custo estimado de produção (máquina) por hora	R\$ 133,00
Redução de custos por virabrequim devido a redução de tempo máquina	R\$ 27,27

Tabela 2- Comparação de custos de usinagem

Comparação de Custo de Dressagem		
Por virabrequim 6 cilindros retificado com rebolo CBN comparado com rebolos tipo DR (utilizados atualmente)		
	Moentes	
Tipo de Rebolo	CBN	DR
Ferramenta de Dressagem	Rolo Dressador	Chapelona Dressadora
Preço por ferramenta de dressagem	R\$ 2.800,00	R\$ 550,00
Número de rebolos por dressador	2	2
Vida do rebolo	8900	585
Custo de dressagem por virabrequim	R\$ 0,16	R\$ 0,47
Redução de custos por virabrequim	R\$ 0,31	

Tabela 3 - Comparação de custos de dressagem

Comparação de Custo de Ferramenta		
Por virabrequim 6 cilindros retificado com rebolo CBN comparado com rebolos tipo DR (utilizados atualmente)		
	Moentes	
Tipo de Rebolo	8.1.1.1 CBN	DR
Dimensões	700x39 largura	1060 x 39 largura
Preço do Rebolo	R\$ 30.000,00	R\$ 2.400,00
Dimensão utilizável/raio (μm)	5	175
Quantidade retirada por dressagem/ raio (μm)	30	50
Dressagem após n colos	320	1
Colos por virabrequim	6	6
Vida do rebolo, i.e, quantidade de virabrequins por rebolo	8900	585
Custo de rebolo por virabrequim	R\$ 3,37	R\$ 4,10
Redução de custo por virabrequim	R\$ 0,73	
Tempo de troca de rebolo (horas)	5	3
Custo de produção por hora	R\$ 133,00	R\$ 133,00
Custo por troca de rebolo	R\$ 665,00	R\$ 399,00
Custos devido ao tempo morto da máquina	R\$ 0,07	R\$ 0,68
Redução de custo devido ao tempo morto da máquina	R\$ 0,61	
Redução total por operação de retifica	R\$ 1,34	

Tabela 4 - Comparação custo de ferramenta

Portanto, a redução de custos por virabrequim será:

$$K = K_E + K_R + K_D = R\$28,92$$

O custo total para a fabricação deste virabrequim, incluindo matéria-prima, o processo de forjamento, custos indiretos de fabricação e embalagem, é de R\$ 253,00, o que significa que com este novo método de retificação, haverá uma redução do custo do virabrequim da ordem de 11,3%. Além disso, com o preço de venda a R\$ 300,00, o lucro passará de 16% para 25%.

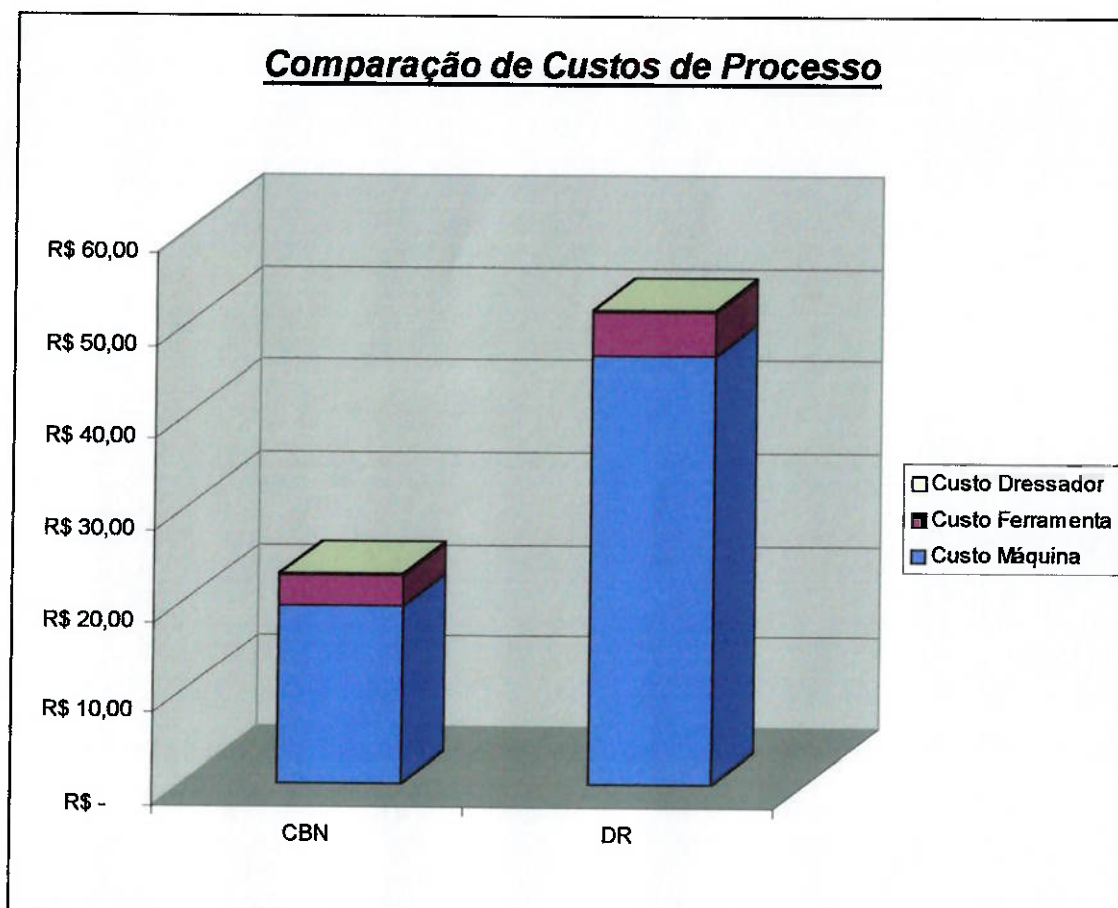


Gráfico 1 - Comparação de custos de processo

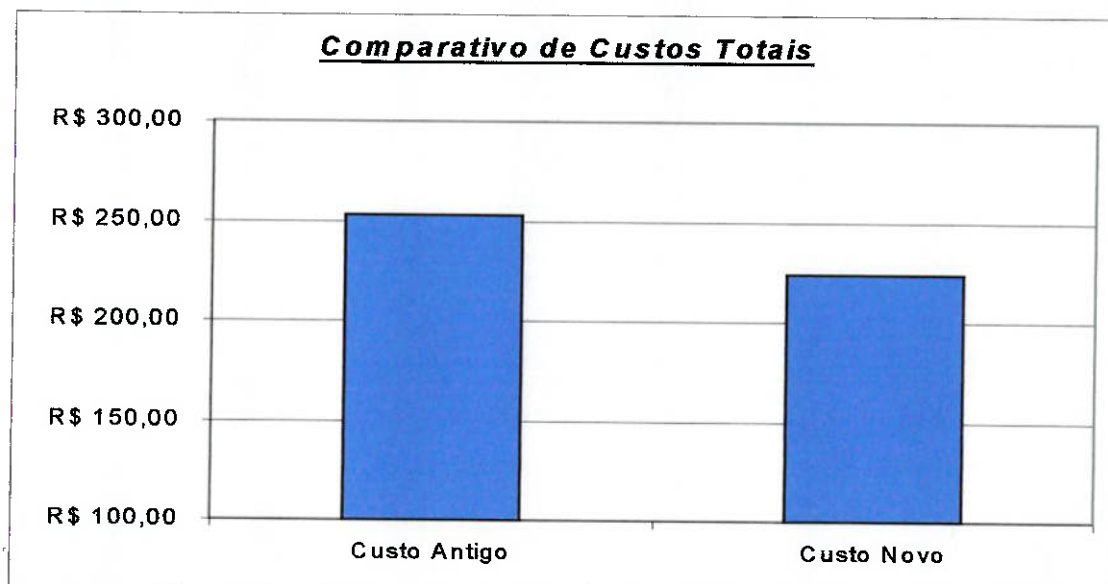
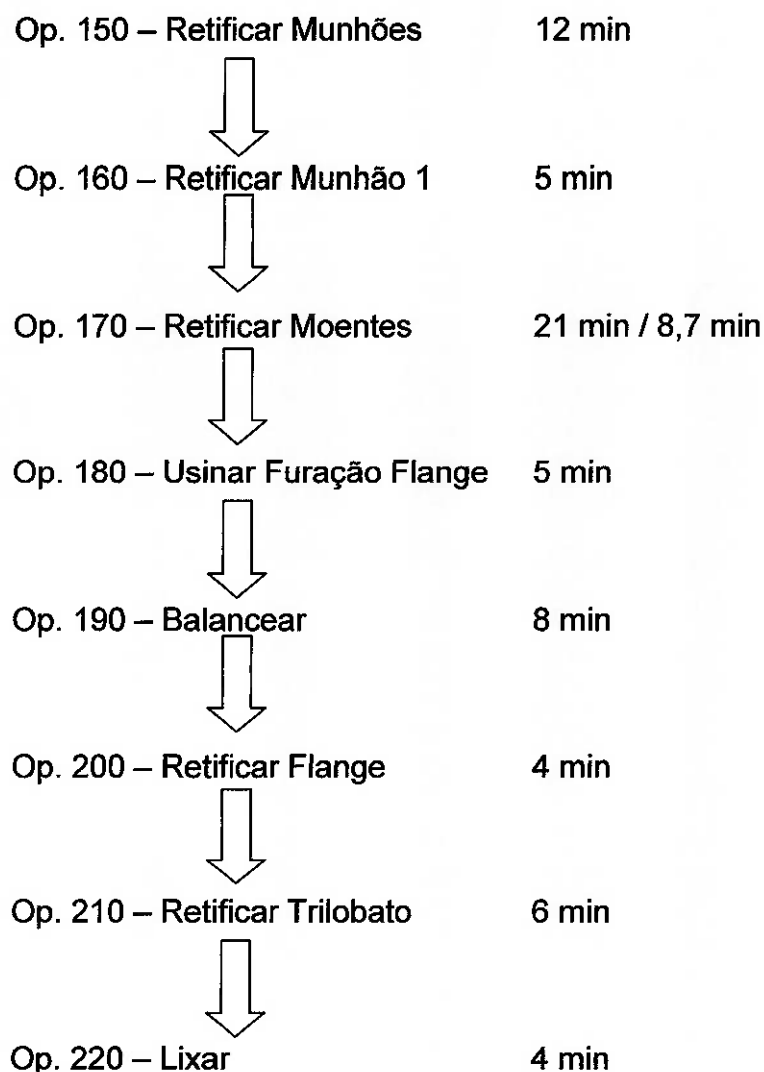


Gráfico 2 - Comparativo de custos totais

A linha de acabamento do virabrequim da Volvo Penta possui o seguinte fluxograma, com os respectivos tempos de operação:



Conforme pode ser verificado no fluxograma acima, a aquisição deste novo equipamento proporcionará um aumento da capacidade mensal de produção da linha, pois estaremos reduzindo o tempo de produção da operação gargalo. Esta capacidade é definida pela seguinte fórmula:

$$Cp = \frac{60}{t_{op}} . h_{trab} . d_{trab} . \varepsilon$$

Para uma eficiência de 90%, mês de 20 dias trabalhados, e máquina operando em 3 turnos (21 horas), obtém-se as seguintes capacidades de produção:

Tempo Gargalo (min)	Horas Trab. (horas)	Dias Trab. /mês	Eficiência (%)	Capacidade (peças/mês)
20	21	20	90	1134
12	21	20	90	1890

Tabela 5 - Cálculo da capacidade de produção

Atualmente, o cliente (Volvo Penta) monta uma média de 1600 motores/mês. A produção atual da Sifco não atende completamente a sua demanda de virabrequins, o que fez com que a Volvo Penta desenvolvesse um novo fornecedor espanhol, o qual possui um preço mais elevado, mas que completa a sua necessidade de virabrequins.

Com a esta nova máquina, a Sifco passará a ser fornecedor exclusivo da Volvo Penta, atendendo completamente as suas necessidades, tanto na quantidade de peças, como na qualidade do produto. Isto irá gerar um aumento nas receitas da empresa da ordem de R\$ 180.000,00/mês, que é o equivalente ao fornecimento de mais 600 virabrequins/mês ao valor de venda de R\$ 300,00 cada. O lucro adicional com esse aumento de carteira será de R\$45.000,00, que é 25% do valor total de venda (os custos representam os outros 75%).

O motor que utiliza este virabrequim deve permanecer no mercado por pelo menos mais 6 anos, quando será lançado no mercado o novo projeto de motores de barcos e lanchas da Volvo Penta. Portanto, para as análises financeiras, será considerado os "savings" para o período de 6 anos. Após isso,

ou a máquina é vendida, ou então utilizada na retificação de outro produto. Pode-se considerar que o valor desta máquina no final deste período é equivalente a 30% do valor de compra.

8.2 Investimento Inicial

O investimento inicial para este projeto é de R\$ 2,5 milhões, que é o equivalente ao custo da máquina mais ferramental, instalação e treinamento (operacional, manutenção elétrica e mecânica). Esse valor deve ser pago da seguinte forma:

- 30% na solicitação da compra
- 60% quando for apresentado os documentos de envio
- 10% após a aprovação técnica do equipamento.
- 10% do preço total do equipamento será garantido por “performance bonds” válidos até o final do período de garantia, que é de 12 meses após a aprovação do equipamento.

A máquina tem o prazo de um ano após a solicitação de compra para ser enviada ao cliente.

8.3 Payback do Investimento

Os períodos de payback são geralmente usados como critério para a avaliação de investimentos propostos. O período de payback é o tempo exato necessário para a empresa recuperar seu investimento inicial em um projeto, a partir das entradas de caixa. Se o período de payback for menor do que 4 anos, que é o tempo máximo aceitável da empresa, aceita-se o projeto. Caso contrário, este é rejeitado.

O payback é calculado pela seguinte fórmula:

$$PB = \frac{II}{EC}$$

onde o denominador é o investimento inicial, e o divisor são as entradas anuais de caixa (savings).

As entradas anuais de caixa serão consideradas como a redução de custo de processo referentes a adoção de nova tecnologia, mais os lucros referentes a maior volume de vendas. Para a fabricação de 1600 virabrequins/mês, esse valor será o seguinte:

$$EC = (45000 + 1000 \times 28,92) \times 12 = R\$887.040,00/\text{ano}$$

E o payback fica:

$$PB = \frac{887.040}{2.500.000} = 2,81 \text{ anos}$$

Portanto, como o payback é menor do que 4 anos, o projeto é viável.

8.4 Valor Presente Líquido

Por considerar explicitamente o valor do dinheiro no tempo, o valor presente líquido é considerado uma técnica sofisticada de análise de orçamentos de capital. Esse tipo de técnica, de uma forma ou de outra, desconta os fluxos de caixa da empresa a uma taxa especificada. Essa taxa, frequentemente chamada de taxa de desconto, custo de oportunidade ou custo de capital, refere-se ao retorno mínimo que deve ser obtido por um projeto, de forma a manter inalterado o valor de mercado da empresa.

Utilizando-se o VPL, tanto as entradas como as saídas de caixa são traduzidas para valores monetários atuais. O critério para a aceitação através

da técnica do VPL é a seguinte: se o VPL for maior que zero, aceita-se o projeto. Caso contrário, o projeto deve ser rejeitado.

O valor presente líquido, como mostrado na equação abaixo, é obtido subtraindo-se o investimento inicial (*I*) do valor presente das entradas de caixa, descontadas a uma taxa igual ao custo de capital da empresa, *k*, que é de 16%.

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{EC_t}{(1+k)^t} - I$$

O fluxo de capital neste investimento ocorrerá de acordo com a tabela abaixo:

Ano (t)	Investimento	Entrada de Caixa
0	R\$ 750.000,00	
1	R\$ 1.750.000,00	
2		R\$ 887.040,00
3		R\$ 887.040,00
4		R\$ 887.040,00
5		R\$ 887.040,00
6		R\$ 1.637.040,00

Tabela 6 - Fluxo de caixa

Nota-se que no último ano as entradas de capital são maiores pois há o valor de venda da máquina, equivalente a 30% do valor inicial.

Inserindo-se estes dados no modelo, obtemos a seguinte equação:

$$VPL = \frac{887.040}{(1+0,16)^2} + \frac{887.040}{(1+0,16)^3} + \frac{887.040}{(1+0,16)^4} + \frac{887.040}{(1+0,16)^5} + \frac{1.637.040}{(1+0,16)^6} - 750.000 - \frac{1.750.000}{(1+0,16)^1}$$

$$VPL = R\$283.200,00$$

Isso significa que o retorno desse investimento, no período de seis anos, será de R\$283.200,00, o que justifica o investimento.

8.5 Taxa Interna de Retorno

A taxa interna de retorno, apesar de ser consideravelmente mais difícil de calcular, é a técnica mais sofisticada para a avaliação de alternativas de investimento. A TIR é definida como a taxa de desconto que iguala o valor presente das entradas de caixa ao investimento inicial referente a um projeto. A TIR, em outras palavras, é a taxa de desconto que faz com que o VPL de uma oportunidade de investimento iguale-se a zero (já que o valor presente das entradas de caixa é igual ao investimento inicial).

O critério de decisão, quando a TIR é usada para tomar decisões do tipo “aceitar-rejeitar”, é o seguinte: se a TIR for maior que o custo de capital, aceita-se o projeto; se for menor, rejeita-se o projeto.

Matematicamente, a TIR é obtida resolvendo-se a equação abaixo para o valor de k que torne o VPL igual a zero.

$$\$0 = \sum_{t=1}^n \frac{EC_t}{(1 + TIR)^t} - II$$

Utilizando-se os dados da nova máquina, a equação fica:

$$0 = \frac{887.040}{(1+k)^2} + \frac{887.040}{(1+k)^3} + \frac{887.040}{(1+k)^4} + \frac{887.040}{(1+k)^5} + \frac{1637.040}{(1+k)^6} - 750.000 - \frac{1.750.000}{(1+k)}$$

Resolvendo-se essa equação, obtém-se o seguinte valor para k :

$$k = 24,16\% \text{ ao ano}$$

Como esse valor é maior do que o custo de capital da empresa, que é de 16% ao ano, deve-se aceitar o projeto.

8.6 Conclusões Financeiras

Conforme visto anteriormente, pelos três métodos de análise de orçamento de capital o projeto é viável. Portanto, a recomendação para este caso é que deve-se comprar a máquina proposta, pois além de aumentar a qualidade do produto, esta trará benefícios financeiros para a empresa.

9 BIBLIOGRAFIA

- 1) Bianchi, Eduardo Carlos, 1999, - "Retificação com rebolos de CBN como meio para a melhoria da qualidade e competitividade". XV COBEM, Águas de Lindóia – SP, 10p.;
- 2) Vitrazon, 1999 – Unicorn International – CBN Grinding Wheels. Publicação feita pela empresa Unicorn. 9p.;
- 3) Nussbaum, Guillaum, 1990 – Rebolos e Abrasivos, Tecnologia Básica. Ed Ícone;
- 4) Saint-Gobain Abrasives, 1999 – Grinding Technology – Technology Awareness Presentation, Apostila.
- 5) Gitman, Lawrence J., 1997 – Princípios de Administração Financeira – Ed. Harbra, 7ª edição

