



Gerson Rafael Schuster

**PROPOSTA DE OTIMIZAÇÃO DE TEMPO NO PROCESSO
DE CORTE A LASER UTILIZANDO DIFERENTES GASES DE
ASSISTÊNCIA**

Horizontina

2013

Gerson Rafael Schuster

**PROPOSTA DE OTIMIZAÇÃO DE TEMPO NO PROCESSO DE
CORTE A LASER UTILIZANDO DIFERENTES GASES DE
ASSISTÊNCIA**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção, pelo Curso de Engenharia de Produção da Faculdade Horizontina.

ORIENTADOR: Ademar Michels, Doutor.

Horizontina

2013

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:

**“Proposta de otimização de tempo no processo de corte a laser utilizando
diferentes gases de assistência”**

Elaborada por:

Gerson Rafael Schuster

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia de Produção

**Aprovado em: 28/11/2013
Pela Comissão Examinadora**

**Doutor. Ademar Michels
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador**

**Doutor. Fabiano Cassol
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Mestre. Valtair de Jesus Alves
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Horizontina
2013**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família, em especial meus pais Lauri e Marli, minha namorada Luana, enfim a todos que de alguma forma estiveram presentes comigo na realização deste sonho.

AGRADECIMENTO

Agradeço a todos os familiares, amigos, colegas e professores, que contribuíram com a minha formação e que estiveram comigo nesse período acadêmico.

“Uma pessoa inteligente resolve um problema,
um sábio o previne”.

Albert Einstein

RESUMO

Nos atuais mercados competitivos, busca-se, acima de tudo, maiores lucros e crescimento sustentável, os quais podem ser obtidos, dentre outras formas, através de melhorias em processos dentro das empresas metalúrgicas. Atualmente existem diversas tecnologias utilizadas no corte de materiais, um dos processos mais utilizados é o corte a laser. O objetivo do trabalho é propor um estudo visando aumentar a produtividade do processo através da utilização de diferentes gases de assistência. A metodologia apresenta uma pesquisa aplicada, quantitativa, exploratória e descritiva, que foi realizada em uma empresa do ramo metal-mecânico, localizada na região noroeste do Rio Grande do Sul, na qual foram utilizadas ferramentas de programação computacional e equipamentos de corte a laser para a execução dos testes práticos. Mediante a realização deste trabalho, conclui-se que em chapas menos espessas, até 3 mm, os gases nitrogênio e o ar comprimido levam vantagem, sendo que em espessuras acima de 4 mm, o gás mais indicado é o oxigênio. Sendo assim, é possível definir qual o melhor tipo de gás a utilizar, baseando-se apenas nas espessuras de chapas mais cortadas pelo processo a laser.

Palavras-chave: Corte laser, Gases, Produtividade.

ABSTRACT

Nowadays in the competitive markets, it is looked for, above all higher profits and sustainable growth, which can be achieved among other ways, it could be through improvements in the company processes. Nowadays, there are various technologies used in materials cutting, where one of the most used processes is the laser cutting. The objective of this work is to propose a study to increase the productivity of the process through the use of different assistance gases. The methodology presents an applied research, quantitative, exploratory and descriptive, which was held in a company of the metal-mechanic sector, located in the northwestern region of Rio Grande do Sul, in which it were used computer programming tools and laser cutting equipment, in order to make the practice tests. Through this work, it was concluded that in thinner plates up to 3 mm, the gases nitrogen and compressed air have advantage, and in the other hand, in the plates above 4 mm thickness, the indicated gas is oxygen. Thus, it is possible to determine the best type of gas to be used, based on the thickness plates more cut by laser process.

Keywords: Laser cutting, Gases, Productivity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Geração do raio laser.....	15
Figura 2: Processo de corte a laser	17
Figura 3: Funcionamento do corte laser.....	20
Figura 4: Centro de corte a laser Bystronic	29
Figura 5: Peça teste.....	29
Figura 6: Coleta de tempos com Oxigênio	30
Figura 7: Coleta de tempos com Nitrogênio	30
Figura 8: Coleta de tempos com Ar comprimido	31
Figura 9: Coleta de dados.....	32

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO DA LITERATURA	14
2.1	CONCEITO E BREVE HISTÓRICO DO LASER	14
2.2	GERAÇÃO DO LASER	14
2.3	TIPOS DE LASER	15
2.4	APLICAÇÕES	16
2.5	CORTE LASER	17
2.5.1	TIPOS DE CORTE LASER	18
2.5.2	FUNCIONAMENTO	20
2.5.3	EQUIPAMENTOS	21
2.5.4	VANTAGENS	22
2.5.5	DESVANTAGENS	22
2.5.6	PARÂMETROS DE CORTE	23
2.5.7	CONSIDERAÇÕES SOBRE SEGURANÇA NO PROCESSO	24
2.6	CRITÉRIOS DE QUALIDADE	24
3	METODOLOGIA	26
3.1	MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS	26
3.2	MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	27
3.3	DESCRIÇÃO DA AMOSTRA	27
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	28
4.1	DEFINIÇÃO DO ESTUDO PRÁTICO	28
4.1.1	INFORMAÇÕES DO PROCESSO DE CORTE A LASER	28
4.2	INFORMAÇÕES COLETADAS	29
4.3	ANÁLISE DOS TESTES REALIZADOS	31
4.4	RESULTADOS FINAIS DA PESQUISA	32
5	CONCLUSÕES	34
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36
	APÊNDICE A – DADOS COLETADOS NOS TESTES PRÁTICOS	38

1 INTRODUÇÃO

Nos dias de hoje, a alta competitividade entre as empresas vem sendo impulsionada pela gestão de diversos processos de manufatura. O aumento da produtividade tem sido alcançado pela eliminação de desperdícios e pelo emprego de modernos sistemas produtivos. As organizações capazes de gerenciar melhor o aproveitamento de seus recursos, possuem um grande diferencial perante os concorrentes.

Toda empresa quando fabrica algum produto visa lucro. Para que isso aconteça, é preciso que ela produza com o menor custo possível. Portanto é preciso não só ter bons funcionários, boas instalações e maquinário moderno, é necessário que todo esse patrimônio seja usado da maneira mais produtiva possível. Um dos modos de garantir isso é aplicando o conhecimento tecnológico ligado ao processo de fabricação adotado.

O uso de máquinas de corte a laser é recomendado quando as peças apresentarem formas complicadas e for exigido um acabamento de superfície praticamente livre de rebarbas na região de corte. Essas características permitem a empresa racionalizar a produção, reduzindo perdas com não conformidades e aproveitando ao máximo a superfície da chapa.

Por ser um processo moderno e de alto investimento, o corte laser necessita ser aproveitado da melhor maneira possível, em termos de produtividade e qualidade. Uma das maneiras de aperfeiçoar esse processo consiste em definir o melhor tipo de gás a ser utilizado no corte de chapas de aço ao carbono de diferentes espessuras. Sendo assim, definiu-se o tema do projeto como uma proposta de otimização do processo de corte a laser utilizando diferentes gases de assistência.

O planejamento do corte de chapas, assim como a necessidade de redução dos custos e dos prazos de entrega dos produtos, tem levado muitas empresas do setor metal-mecânico a se modernizarem com a compra de máquinas de última geração, que requerem o uso de softwares de programação e permitem a utilização de diversas técnicas de corte.

O raio laser é formado pela emissão de um feixe de luz e uma mistura de gases como o CO₂ (Dióxido de Carbono), He (Hélio) e N₂ (Nitrogênio). Além desses

gases no momento do corte são utilizados gases de assistência como o O₂ (Oxigênio), o N₂ (Nitrogênio) e o ar comprimido, que tem a função de remover o material fundido e os óxidos da superfície cortada.

Considerando aquilo que foi citado anteriormente e levando em consideração as necessidades da empresa, foi definido para este trabalho o seguinte problema de pesquisa: “É possível aumentar a produtividade utilizando diferentes gases de assistência para otimizar o processo de corte a laser?”

A possibilidade de realizar um estudo sobre o processo de corte a laser vem de encontro aos assuntos abordados na Engenharia de Produção e também com a experiência prática adquirida diariamente como operador e programador de centros de corte a laser em uma indústria metalúrgica.

As justificativas para o desenvolvimento deste trabalho estão nos ganhos que as organizações apresentam ao tornar altamente otimizados e confiáveis seus processos produtivos, possibilitando aos gestores tomarem ações antecipadas.

Como objetivo geral destaca-se, propor um estudo visando diminuir o tempo do processo de corte a laser através da utilização de diferentes gases de assistência.

Os objetivos específicos definem-se como:

- Realizar um levantamento de dados referente à corte laser, estudando as características fundamentais deste processo;
- Fazer experimentos comparativos entre algumas espessuras de chapas de aço ao carbono 1020 e simulações de corte, de acordo com os parâmetros estipulados pelo fabricante da máquina;
- Analisar como a utilização dos gases de assistência oxigênio, nitrogênio e ar comprimido, influenciam no tempo e na qualidade do corte.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Com o objetivo de identificar as questões centrais relativas ao tema do projeto, a revisão da literatura torna-se importante para o delineamento e encaminhamento do trabalho.

2.1 CONCEITO E BREVE HISTÓRICO DO *LASER*

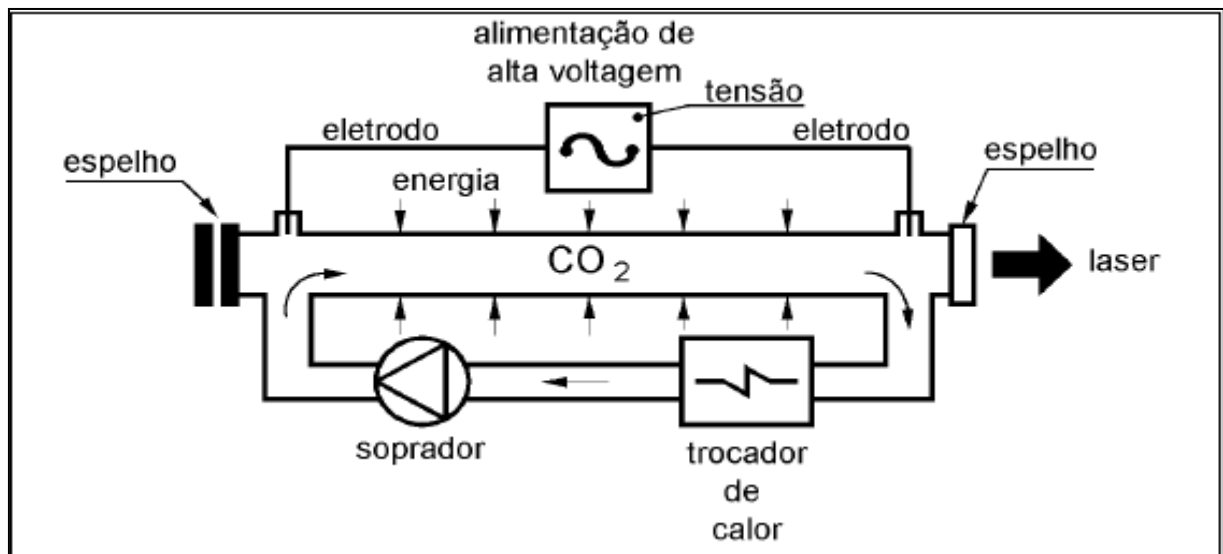
Segundo Joaquim e Ramalho (2010), o termo laser é uma abreviatura da descrição do processo em inglês: *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*. Em uma tradução livre para o português podemos dizer que significa: amplificação de luz através da emissão estimulada de radiação.

Já Bagnato (2001), fala que a luz laser é monocromática, de alta intensidade, direcional e coerente. Justificando assim o grande uso científico e tecnológico da mesma.

As primeiras pesquisas que conduziram à invenção do feixe de laser foram realizadas por Albert Einstein em 1917, falam sobre os fenômenos físicos de emissão espontânea e estimulada essenciais ao funcionamento desse processo. Townes confirmou experimentalmente em 1954 o fenômeno através da aplicação da emissão estimulada à amplificação de ondas ultracurtas. O primeiro laser, um sólido de rubi, excitado por uma lâmpada fluorescente de vapor de mercúrio e filamento helicoidal, foi construído em 1960 por Maimann. Poucos meses depois os Laboratórios da AT&T Bell desenvolveram um laser gasoso de He-Ne, e somente alguns anos depois surgiria um laser de CO₂ (CABRAL, 2009).

2.2 GERAÇÃO DO *LASER*

A Fundação Roberto Marinho (1997), diz que os elétrons dos átomos de carbono e oxigênio, que compõem o CO₂, ocupam determinadas posições dentro da estrutura do átomo. Essas posições são chamadas de níveis energéticos. Esses níveis energéticos podem ser entendidos como regiões ao redor do núcleo dos átomos. Um dispositivo chamado soprador faz circular CO₂ dentro de uma câmara, como mostra a Figura 1.

Figura 1 - Geração do raio *laser*

Fonte: Fundação Roberto Marinho, 1997.

A câmara mostrada na Figura 1 tem dois eletrodos ligados a uma fonte de alta-tensão. Esses eletrodos criam um campo elétrico que aumenta a energia do gás dentro da câmara. Em razão desse acréscimo de energia, os elétrons dos átomos que formam o CO₂ se excitam e mudam de nível orbital, passando a girar em níveis mais externos. Após algum tempo, os elétrons voltam ao seu nível energético original. Nessa volta, eles têm de eliminar a energia extra-adquirida. Existem duas maneiras de se perder energia: por colisão e por emissão espontânea. No primeiro caso, quando o elétron se choca com outro, sua energia é consumida. Na emissão espontânea, ocorre uma liberação de energia na forma de luz. Esta luz emitida estimula a emissão contínua, de modo que a luz seja amplificada, gerando assim o raio laser (FUNDAÇÃO ROBERTO MARINHO, 1997).

2.3 TIPOS DE LASER

Segundo Weschler (2000), existem vários tipos de laser. O material gerador do laser pode ser sólido, gasoso, líquido ou semicondutor. Normalmente o laser é designado pelo tipo de material empregado na sua geração:

- Lasers de estado sólido possuem material de geração distribuído em uma matriz sólida (como o laser de rubi ou o laser Yag de neodímio:ítrio-alumínio-granada). O laser neodímio-Yag emite luz infravermelha a 1.064 nanômetros.
- Lasers a gás (hélio e hélio-neônio, HeNe, são os lasers a gás mais comuns) têm como principal resultado uma luz vermelha visível. Lasers de CO₂ emitem energia no infravermelho com comprimento de onda longo e são utilizados para cortar materiais resistentes.
- Lasers Excimer (o nome deriva dos termos excitado e dímeros) usam gases reagentes, tais como o cloro e o flúor, misturados com gases nobres como o argônio, criptônio ou xenônio. Quando estimulados eletricamente, uma pseudomolécula (dímero) é produzida. Quando usado como material gerador, o dímero produz luz na faixa ultravioleta.
- Lasers de corantes utilizam corantes orgânicos complexos, tais como a rodamina, em solução líquida ou suspensão, como material de geração do laser. Podem ser ajustados em uma ampla faixa de comprimentos de onda.
- Lasers semicondutores, também chamados de lasers de diodo, não são lasers no estado sólido. Esses dispositivos eletrônicos costumam ser muito pequenos e utilizam baixa energia. Podem ser construídos em estruturas maiores, tais como o dispositivo de impressão de algumas impressoras a laser ou aparelhos de CD.

Conforme Tinoco (2011), na indústria de processamento de material, os lasers utilizados são todos de elevada potência e tem vindo a ser alvo de evoluções significativas ao longo dos últimos anos.

2.4 APLICAÇÕES

Ao longo de três décadas, depois de descoberta, a tecnologia laser era restrita a aplicações em laboratórios de pesquisas e pouco utilizada na indústria, devido à baixa confiabilidade e durabilidade dos equipamentos. A partir de 1990, com a evolução da eletrônica e o desenvolvimento da engenharia, estes equipamentos tornaram-se mais confiáveis e conquistaram espaço em diversos setores de aplicação (ALMEIDA, 2007).

Mais recentemente, entretanto, algumas aplicações na área médica e odontológica tornaram-se mais comuns. O “velho e irritante” motorzinho do dentista já pode ser encontrado em sua versão laser. O bisturi perdeu a lâmina e virou laser. Já se usa o laser para destruir acúmulos de gordura no interior de veias e artérias. Enfim, essa tecnologia tornou-se, nas mãos de hábeis cirurgiões, um instrumento de vida. Na indústria, essa tecnologia é usada na soldagem, no tratamento térmico e no corte de materiais (FUNDAÇÃO ROBERTO MARINHO, 1997).

O maior grupo de aplicações do laser de alta potência é como ferramenta de corte (Figura 2), permitindo a obtenção de peças com extrema precisão e rapidez (AMOROS, 2008).

Figura 2 - Processo de corte a laser



Fonte: Bystronic, 2013.

2.5 CORTE LASER

Segundo Weiss (2012), o processo de corte a laser é, atualmente, bastante usado para efetuar corte em perfis definitivos e, em muitos casos, pode substituir os processos de fabricação como furação e estampagem.

De acordo com Moraes e Borges (2010), no processo por laser, a energia elétrica é transformada em uma luz com um só comprimento de onda (λ), que concentra energia de forma muito eficaz. O meio para formação do laser pode ser sólido (rubi-YAG) ou gasoso (CO_2 , N_2 ou He). Como nos demais processos de corte térmico, no corte por laser é empregado um gás de assistência, dentre os quais os mais utilizados são: o oxigênio, o nitrogênio ou o ar comprimido. A definição da combinação entre o gás de assistência e o metal cortado é feita conforme a espessura, a velocidade e a qualidade de cortes necessárias, para as peças a serem obtidas.

Segundo Joaquim e Ramalho (2010), o corte de materiais por laser é um processo bastante flexível por produzir superfícies de corte com alta qualidade. Uma de suas principais utilizações é sem dúvida a execução de pequenos lotes (protótipos), uma vez que não é necessária a construção de ferramental. Outras aplicações importantes são:

- Corte de geometrias complexas difíceis de produzir por outros processos;
- Corte pulsado preciso, para aços ferramenta;
- Materiais difíceis de cortar por outros processos, como por exemplo: titânio, alumínio;
- Materiais não metálicos: madeiras, placas de propaganda, tecidos, etc.

De acordo com a Bystronic (2013), a elevada flexibilidade na fabricação, unida a uma quase infinita gama de materiais e formas, justifica o reconhecimento mundial do corte laser.

2.5.1 Tipos de corte laser

O corte de materiais por laser é essencialmente um processo termoquímico em que o material é removido através de alterações químicas e de fase podendo para os materiais metálicos, distinguir-se basicamente em cinco tipos: corte por vaporização, corte por fusão, corte por fusão reativa, corte frio e oxicorte assistido por laser (FARO, 2006).

No corte por vaporização, a energia do feixe é suficiente para aquecer o material acima do seu ponto de ebulição e o material deixa a superfície sob a forma de vapor. Inicialmente, a incidência do feixe na superfície provoca o seu aquecimento. Então, à medida que a temperatura aquece, a refletividade da superfície diminui e como tal dá-se uma rápida subida de temperatura até ao ponto de ebulição, levando à formação de vapor. O vapor deixa a superfície com uma velocidade elevada arrastando consigo partículas criando uma cavidade cilíndrica (FARO, 2006).

Segundo Bystronic (2007), no corte por fusão, a peça é aberta em um determinado local por fusão e a massa fundida é expelida com a ajuda de um fluxo de gás (nitrogênio). O transporte do material ocorre exclusivamente na fase líquida,

por isto fala-se em corte por fusão a laser. Esse corte é adequado para a produção de bordas de corte isentas de óxido em materiais ferrosos.

Se o processo de corte por fusão for assistido por um gás reativo, tipicamente oxigênio, então uma nova fonte de energia é adicionada ao processo e que resulta da reação exotérmica do gás com o material. A função do gás de corte não é apenas a remoção da matéria fundida, mas também promover a reação exotérmica. A reação inicia-se na superfície superior, quando a temperatura atinge a temperatura de ignição. O óxido forma-se e é arrastado ao longo da fenda, cobrindo a superfície de corte. O aumento de energia proveniente da reação exotérmica depende do tipo de material, mas as velocidades de processamento são normalmente o dobro das possíveis para corte por fusão sem reação exotérmica (FARO, 2006).

O corte frio é uma técnica recentemente introduzida com o aparecimento dos lasers de excímeros de alta potência. Estes lasers emitem radiação ultravioleta capaz de quebrar as ligações químicas por absorção de fótons, assim o material é suprimido sem qualquer aquecimento. Este tipo de corte é usado em aplicações de alta definição, gravação, aplicações médicas, etc (FARO, 2006).

No caso do oxicorte assistido por laser, se o feixe laser for usado como fonte de ignição de um metal sob uma corrente de oxigênio, em certas condições, é possível cortar espessuras muito elevadas com potência relativamente baixa. Este processo é no essencial idêntico ao tradicional processo de oxicorte, com a mesma dimensão de fenda de corte, aproximadamente 4 mm (FARO, 2006).

Existem ainda o corte autógeno e com a utilização de ar comprimido. O corte autógeno diferencia-se do corte por fusão a laser pela utilização de oxigênio como gás de corte. Através da interação do oxigênio com o metal aquecido há uma reação que tem como consequência um aquecimento adicional do material. Em função deste efeito, no corte de aço de construção é possível atingir velocidades que em chapas a partir de 6 mm, são muito maiores que no corte por fusão. No corte autógeno a laser, o corte de contornos finos e geometrias de ângulos agudos é muito crítico (risco de queima). Entretanto, a carga calorífica pode ser limitada por meio da operação por pulsos (BYSTRONIC, 2007).

O corte por ar comprimido é uma combinação de corte por fusão e corte autógeno. O corte por fusão detém a maior participação, pois o ar comprimido contém cerca de 72% de oxigênio. A peça de trabalho sofre um derretimento localizado e o material fundido é expelido com auxílio da corrente de gás. Através da

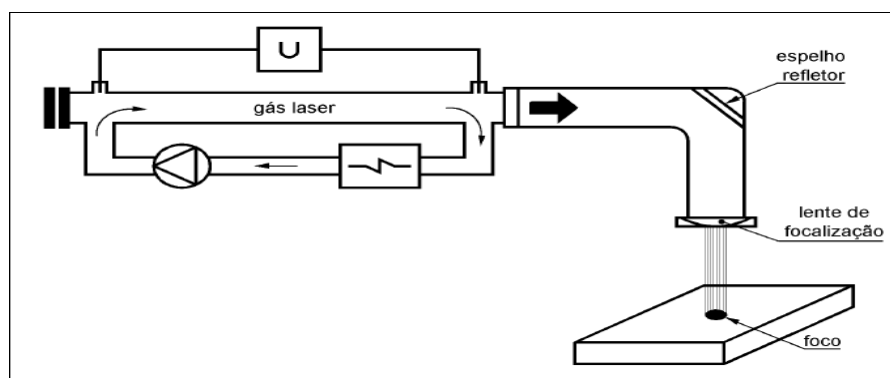
interação do componente oxigênio com o metal aquecido há uma reação que tem como consequência um aquecimento adicional do material. Devido a esse efeito, as velocidades de corte para determinadas espessuras de chapa são superiores às correspondentes no corte por fusão puro. O corte por ar comprimido gera uma borda de corte afetada pela oxidação, sendo apropriada à fabricação econômica em espessuras de chapa com até 3 mm. É possível usinar aço de construção, aço à prova de ácidos e alumínio. A borda inferior da chapa pode apresentar uma rebarba. No corte por sublimação a laser, o material evapora diretamente na área da fenda de corte, sem passar pela fase líquida (BYSTRONIC, 2007).

2.5.2 Funcionamento

Conforme Souza (2011), o processo é baseado na energia termelétrica para remoção de material em que o metal é fundido e vaporizado por feixe colimado de luz monocromática intensa chamada laser. O sistema produz um feixe de luz concentrado, obtido por excitação dos elétrons de determinados átomos, utilizando um veículo ativo (sólido ou gás). Este feixe de luz produz intensa energia na forma de calor.

Conforme Fundação Roberto Marinho (1997), essa luz é guiada e novamente amplificada por meio de espelhos, até que, no cabeçote da máquina, é concentrada, através de lentes, num único ponto: o foco. O direcionamento permite a concentração de energia em um ponto inferior a 0,25 mm de diâmetro, Figura 3.

Figura 3 - Funcionamento do corte laser



Fonte: Fundação Roberto Marinho, 1997.

O sistema de corte a laser combina o calor do raio focado com a mistura de gases (dióxido de carbono, nitrogênio e hélio) para produzir uma potência capaz de vaporizar a maioria dos metais. O hélio auxilia ainda na dissipação do calor gerado pelo campo elétrico (FUNDAÇÃO ROBERTO MARINHO, 1997).

2.5.3 Equipamentos

Conforme Joaquim e Ramalho (2010), os sistemas de corte a laser não podem ser operados manualmente, pois o processo envolve alta concentração de energia, uma vez que o feixe deve ser muito concentrado e o corte ocorre a velocidades muito altas.

O equipamento mais comum consiste em mesas móveis, com capacidade de movimentação segundo os eixos x, y e z. Os eixos x e y determinam as coordenadas de corte, enquanto o eixo z serve para corrigir a altura do ponto focal em relação à superfície da peça, pois, durante o corte, esta distância é afetada por deformações provocadas na chapa, pelo calor decorrente do próprio processo. As coordenadas de deslocamento geralmente são comandadas por um sistema CAD (*Computer Aided Design*, em português significa, projeto assistido por computador), acoplado à mesa de corte (JOAQUIM e RAMALHO, 2010).

Nas máquinas de corte a laser o material a ser cortado normalmente encontra-se em forma de chapas ou tubos. A chapa é colocada sobre uma grade, apoiando-se em vários pontos. Sobre ela, o cabeçote laser movimenta-se em duas direções: longitudinal e transversal. Esses movimentos são transmitidos por motores elétricos, controlados por computador. Pelo cabeçote laser flui um gás, chamado gás de assistência, que tem por função, entre outras, remover o material fundido e óxidos da região de corte. O gás normalmente usado para esta finalidade é o oxigênio, porque ele favorece uma reação exotérmica, isto é, libera calor, aumentando ainda mais a temperatura do processo e, por consequência, a velocidade de corte. Entretanto, o nitrogênio pode ser preferido como gás de assistência quando forem necessárias superfícies livres de óxidos, como no corte de aços inoxidáveis (FUNDAÇÃO ROBERTO MARINHO, 1997).

Os equipamentos de corte a laser têm sofrido evoluções em diversos aspectos. No campo da potência, o crescimento tem sido contínuo, sendo hoje possível encontrar no mercado máquinas de corte a laser equipadas com geradores

de CO₂ com potência de 6000 *watts*. Com o objetivo de aumentar a produção, os sistemas de movimentação têm sofrido melhorias permitindo maiores velocidades e acelerações. No campo da automação, é comum encontrar hoje em dia o posicionamento automático do ponto focal, a regulagem automática da pressão, a monitoração do processo em tempo real, etc. Alguns equipamentos propõem níveis de automação ainda mais evoluídos, tais como troca automática do cabeçote de corte, troca e centragem automática do bico de corte (FARO, 2006).

2.5.4 Vantagens

De acordo com a Trumpf (2013), são muitas as vantagens do uso do corte a laser, justificando o amplo emprego atualmente verificado em todos os setores da indústria metal-mecânica. Podemos ressaltar as seguintes vantagens:

- Uma única ferramenta de corte para todo o contorno;
- Não existe desgaste da ferramenta;
- Alta qualidade do corte;
- Corte sem contato mecânico;
- Trabalho com peças tridimensionais;
- Programação flexível.

Uma máquina de corte a laser moderna de alta velocidade permite a redução dos custos de produção em até 40%. Graças aos acionamentos lineares, as velocidades de corte alcançam até 40 m/min. Chapas com espessuras de 25 mm podem ser cortadas com o laser CO₂, com facilidade e economia (TRUMPF, 2013).

2.5.5 Desvantagens

Segundo Joaquim e Ramalho (2010), as principais desvantagens do processo de corte laser são:

- Elevado investimento inicial;
- Dificuldade em cortar materiais refletivos;
- Dificuldade em cortar materiais de boa condutividade térmica;
- Formação de depósitos de Carbono livre na superfície de corte de materiais orgânicos;

- Liberação de produtos tóxicos;
- Necessidade de adequação do leiaute de plantas já instaladas;
- Necessita integração a sistema CNC (Comando Numérico Computadorizado);
- Necessidade de gás de assistência.

Além desses fatores Urtado, Lima e Bairo (2008), destacam limitações como, tempos de perfuração longos em material espesso, e que tarefas complexas de manutenção nos equipamentos de corte exigem técnicos especializados.

2.5.6 Parâmetros de Corte

Conforme Joaquim e Ramalho (2010), os principais parâmetros de corte a serem controlados são apresentados a seguir:

- A potência do feixe é que determinará a capacidade do laser em interagir com um dado material e iniciar o corte. Como regra geral, um aumento de potência permite cortar com velocidades maiores, mantendo a mesma qualidade de corte, ou cortar materiais de maiores espessuras. Entende-se por modo a distribuição da energia pela secção transversal do feixe. Este parâmetro se relaciona com o ponto focal, influenciando diretamente a qualidade do corte;
- A velocidade de corte deve ser determinada juntamente com a potência e a pressão e vazão do gás de assistência. Quando se utiliza de um valor muito elevado, aparecem estrias na superfície de corte, rebarbas na parte posterior das superfícies de ataque da radiação, ou ainda em casos extremos pode-se até não se conseguir efetivar o corte por a penetração ser insuficiente. Com velocidades baixas, observa-se um aumento da zona termicamente afetada (ZTA) e um decréscimo na qualidade de corte;
- A vazão do gás de assistência deve ser suficiente para remover o material fundido proveniente do corte. Vazões mais elevadas devem ser utilizadas nos casos de corte de materiais reativos como plásticos, madeiras ou borrachas. Nos cortes de metais, pode ser utilizado o oxigênio, pois este proporcionará uma reação exotérmica, aumentando ainda mais a temperatura, e possibilitando com isto velocidades de corte ainda maiores;

- O ponto focal é o ponto de máxima concentração de energia do feixe. Deve ser colocado na superfície para chapas finas, ou ligeiramente abaixo da superfície para chapas grossas, com valor máximo de 1/3 da espessura.

Segundo Almeida (2007), a definição destas variáveis de entrada e o controle operacional do processo determinam o modo de inteiração do feixe laser durante a ação do corte, resultando no acabamento superficial do material usinado.

2.5.7 Considerações sobre segurança no processo

O feixe laser é uma fonte de luz muito intensa e pode causar danos severos, especialmente em contato com os olhos. Geralmente, a intensidade de um laser de corte não focalizado está acima do limite de segurança, por isso sempre que a blindagem do feixe laser for removida para manutenções, por segurança, deve-se usar óculos de proteção contra a radiação emitida pelo feixe de luz (AGA, 2005).

Conforme Aga (2005), as máquinas a laser contêm componentes de alta voltagem. Durante a manutenção das mesmas, podem ocorrer choques severos ou morte, se houver um manuseio inadequado do suprimento de energia. Este tipo de trabalho deve ser executado apenas por técnicos treinados e autorizados.

Durante o corte a laser, há emissões de gases e fumos particulados que podem ser prejudiciais à saúde. O pessoal de operação deve ser protegido por bons sistemas de extração de fumos, tanto de captação na fonte, quanto de ventilação geral do ambiente de trabalho. Os sistemas de extração de fumos das máquinas modernas têm filtros que removem as impurezas do ar (AGA, 2005).

2.6 CRITÉRIOS DE QUALIDADE

Segundo Urtado, Lima e Baino (2008), os processos de corte de metais vêm sendo aprimorados para aumentar a qualidade das chapas cortadas. A grande preocupação é entregar uma qualidade consistente sem, necessariamente onerar o custo de produção.

Conforme Almeida (2007), a qualidade do processamento a laser de um determinado material está diretamente relacionada a um grande número de fatores.

Os parâmetros listados a seguir assumem um papel fundamental no nível de acabamento e devem ser ajustados com precisão para otimizar o corte laser :

- Densidade de potência;
- Modo transversal do feixe;
- Polarização da luz;
- Velocidade do processo;
- Características do material;
- Geometria e diâmetro do bico;
- Distância entre bico e peça;
- Distância focal;
- Tipo, pressão, fluxo e pureza do gás;
- Energia e duração temporal do pulso laser;
- Distribuição energética no ponto focal.

Como visto, o corte laser envolve vários parâmetros, os quais influenciam diretamente no processo. Assim, a escolha do melhor conjunto de parâmetros torna-se uma tarefa extremamente complexa, e depende dos objetivos propostos. Portanto, primeiro determina-se o objetivo principal: a qualidade do acabamento, precisão dimensional, velocidade de corte, custos, entre outros. Esta tarefa é realizada principalmente com base na experiência dos operadores e na exigência da peça (ALMEIDA, 2007).

3 METODOLOGIA

O intuito deste trabalho é apresentar uma pesquisa aplicada, quantitativa, exploratória e descritiva, que foi realizada em uma indústria metal-mecânica, localizada na região noroeste do estado do Rio Grande do Sul, na qual foram utilizadas ferramentas de programação computacional e equipamentos de corte a laser para a execução dos testes práticos.

No desenvolvimento do projeto foi realizada primeiramente uma pesquisa bibliográfica, seguida de informações extraídas de artigos e teses de mestrado e doutorado. Buscaram-se informações sobre diversos sistemas de corte laser e suas aplicações, bem como, um pequeno histórico do surgimento dessa tecnologia.

Depois realizou-se experimentos comparativos e simulações entre algumas espessuras de chapas de aço ao carbono 1020, de acordo com alguns parâmetros de avanço, potência e pressão definidos pelo fabricante da máquina. Por fim, analisou-se como a utilização dos gases de assistência oxigênio, nitrogênio e ar comprimido, influenciam no tempo e na qualidade do corte.

3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

As etapas da pesquisa são as seguintes:

- Tema: definiu-se o tema do projeto como uma proposta de otimização do processo de corte a laser utilizando diferentes gases de assistência.
- Problema de pesquisa: “É possível aumentar a produtividade utilizando diferentes gases de assistência para otimizar o processo de corte a laser?”;
- Objetivo: propor um estudo visando diminuir o tempo do processo de corte a laser através da utilização de diferentes gases de assistência;
- Referencial teórico: breve conceito e apanhado histórico sobre o surgimento do laser, seguido pela geração, tipos e aplicações; então concentra-se o estudo principal sobre o corte laser, abordando os tipos de corte, funcionamento e equipamentos do sistema, bem como suas aplicações, vantagens e desvantagens, parâmetros de corte e por fim enumeram-se alguns critérios a serem monitorados para controlar a qualidade no processo;

- Metodologia: explicação de como será feito o projeto e suas etapas de execução utilizando a pesquisa aplicada;
- Aplicação: analisar como a utilização de diferentes gases de assistência influencia no tempo e na qualidade do corte laser.

3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Na execução e desenvolvimento da pesquisa foram utilizados softwares de programação para realizar simulações computacionais e centros de corte a laser, bem como os gases de assistência oxigênio, nitrogênio e ar comprimido, na realização de testes práticos.

3.3 DESCRIÇÃO DA AMOSTRA

Para facilitar na coleta de dados, nos testes foram utilizados lotes padrões de 10 peças, para cada tipo de gás e espessura de chapa. Mas vale ressaltar que os gráficos apresentados nos resultados da pesquisa expressam o tempo de corte de uma peça apenas.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 DEFINIÇÃO DO ESTUDO PRÁTICO

O presente trabalho foi realizado no Departamento de Produção de Primários, setor no qual inicia-se o processo de fabricação das peças. Na área de Primários temos como processos produtivos: desbobinamento de chapas, corte e estampagem, corte a laser e dobramento. De acordo com a complexidade do produto exigido pelo cliente, são definidas as etapas dos processos produtivos pelos quais esse produto atravessará até ser montado no produto final. Dessa forma são definidas as tecnologias utilizadas para manufatura das peças, e com o passar das etapas do processo de manufatura, vai aumentando o valor agregado ao mesmo, bem como os custos do produto.

O propósito do estudo é realizar experimentos comparativos e simulações computacionais entre algumas espessuras de chapas de aço ao carbono 1020, de acordo com alguns parâmetros estipulados nas máquinas, a fim de analisar como a utilização dos gases de assistência: oxigênio, nitrogênio e ar comprimido, influenciam no tempo e na qualidade do corte laser.

4.1.1 Informações do processo de corte a laser

Para realização do estudo foram levantadas uma série de informações relacionadas à operação de usinagem em centros de corte a laser, concentrou-se a pesquisa no fabricante Bystronic.

O processo de fabricação de peças na empresa em estudo ocorre da seguinte maneira: primeiramente são montados arranjos de peças dentro das chapas na forma de planos de corte, depois esses planos são cortados em centros de corte a laser e depositados sobre paletes de metal, em seguida esses paletes são transportados com a ajuda de empilhadeiras até a área destinada à separação e segregação das peças.

Os centros de corte a laser utilizados na empresa onde foi realizado o presente trabalho possuem tecnologia Bystronic conforme a Figura 4.

Figura 4 - Centro de corte a laser Bystronic



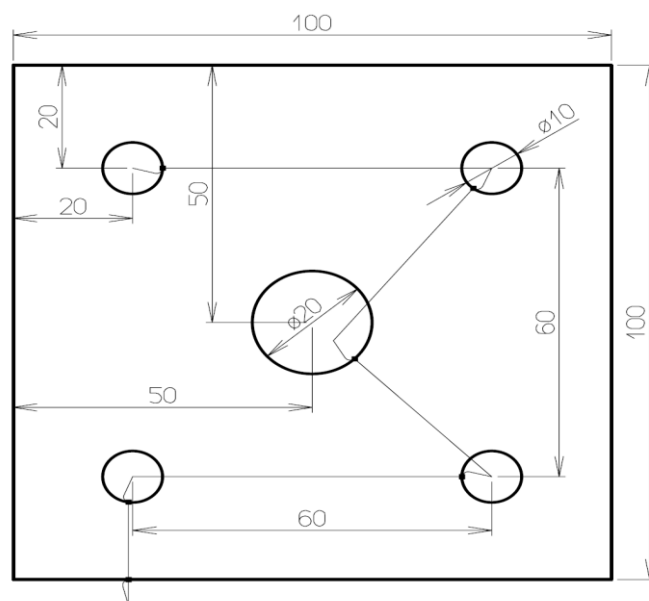
Fonte: Bystronic, 2013.

A máquina utilizada na realização dos testes e simulações é do modelo Byspeed 3015. Ela possui área máxima de corte de 1500 mm de largura por 3000 mm de comprimento, tem potência de 4400 *watts*. As matérias-primas usadas são chapas de aço ao carbono 1020, decapadas e oleadas.

4.2 INFORMAÇÕES COLETADAS

No presente trabalho foram coletadas várias informações referentes ao tempo de corte da peça teste (Figura 5), fabricada com diferentes espessuras de chapas de aço ao carbono, cortadas com os seguintes gases de assistência: oxigênio, nitrogênio e ar comprimido.

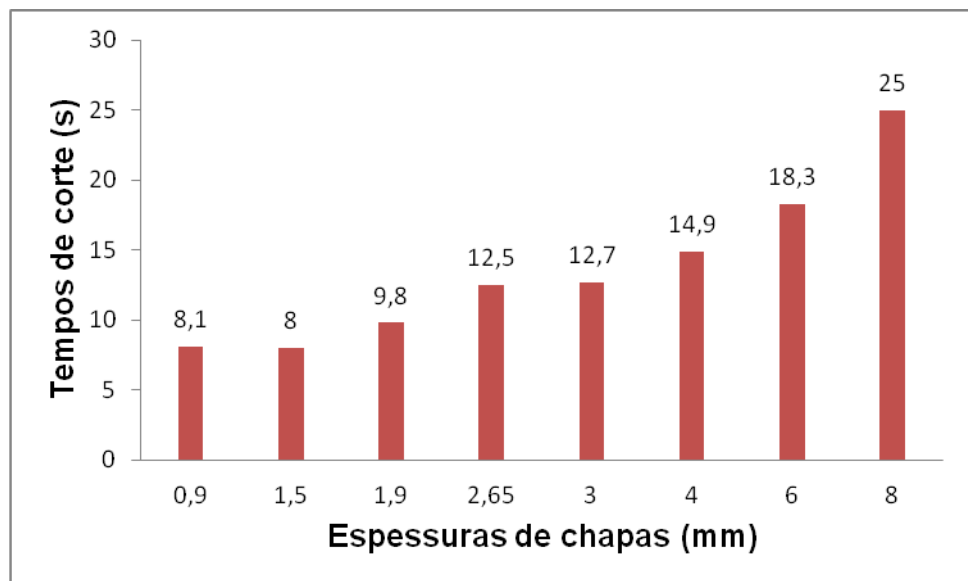
Figura 5 - Peça teste



Fonte: Elaborado pelo autor, 2013.

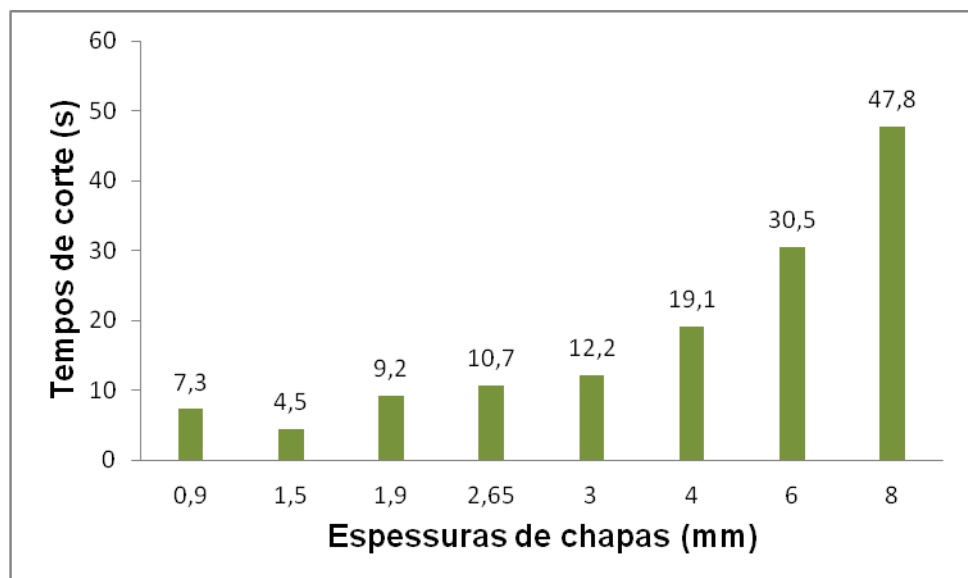
Os testes e simulações foram realizados focando nas seguintes espessuras de chapas: 0,9 mm, 1,5 mm, 1,9 mm, 2,65 mm, 3 mm, 4 mm, 6 mm e 8 mm. Para facilitar a coleta dos dados para cada matéria-prima, foram registrados os tempos referentes a um lote de 10 peças, e depois divididos e demonstrados individualmente, conforme as Figuras 6, 7 e 8.

Figura 6 - Coleta de tempos com Oxigênio



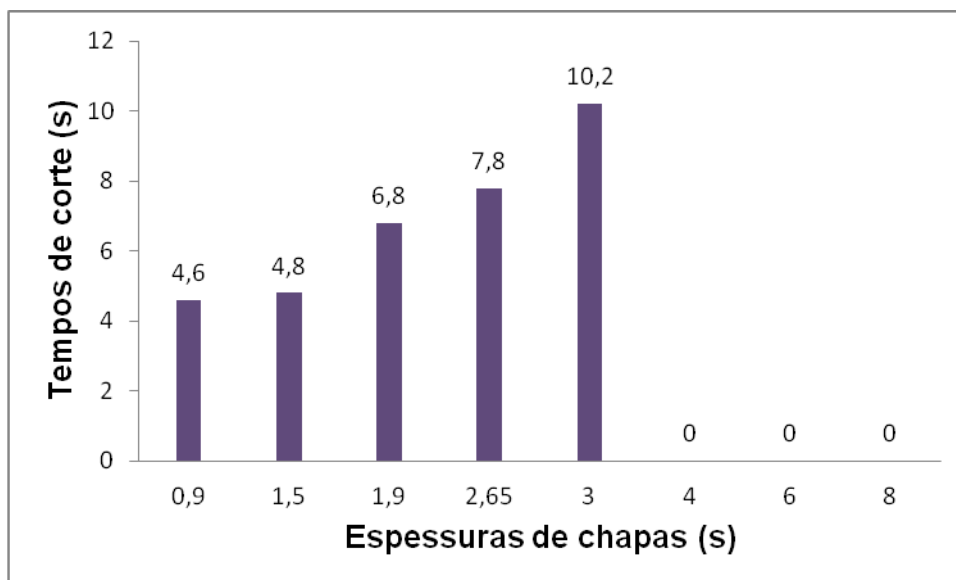
Fonte: Elaborado pelo autor, 2013.

Figura 7 - Coleta de tempos com Nitrogênio



Fonte: Elaborado pelo autor, 2013.

Figura 8 - Coleta de tempos com Ar comprimido



Fonte: Elaborado pelo autor, 2013.

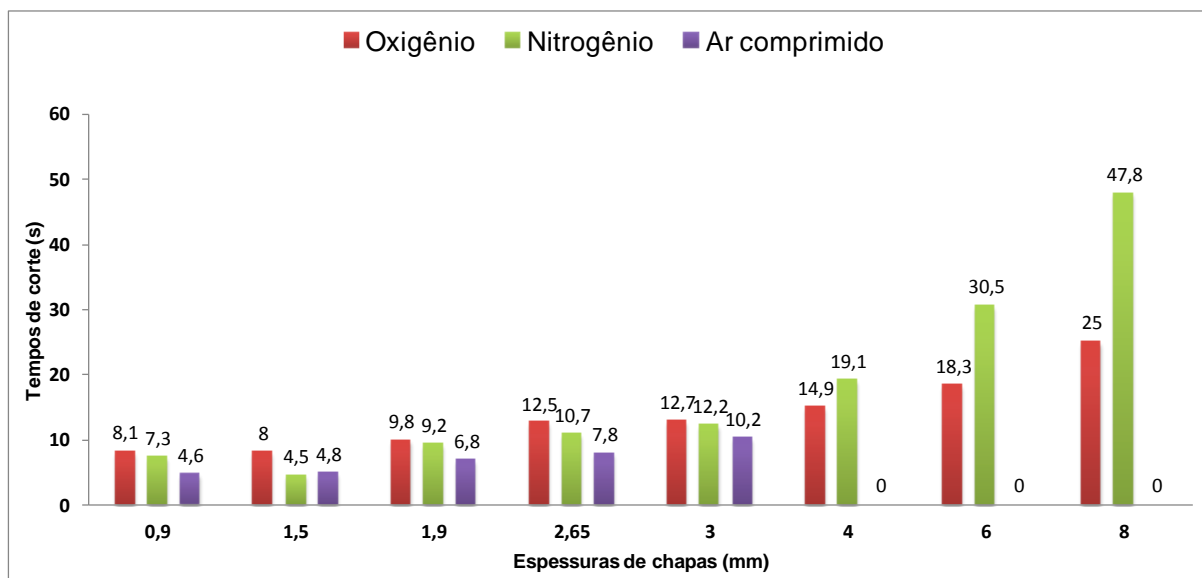
Em chapas com espessuras acima de 3 mm não se aplica o corte com ar comprimido, pois o mesmo gera uma superfície de corte com baixa qualidade, gerando muita rebarba na borda das peças. Nessa faixa de espessuras o oxigênio leva vantagem em relação ao nitrogênio.

4.3 ANÁLISE DOS TESTES REALIZADOS

Na Figura 9, podemos verificar que em chapas de espessuras de 0,9 mm a 3 mm, o ar comprimido tem tempos de corte menores em relação ao oxigênio e ao nitrogênio, com exceção da espessura de 1,5 mm onde o nitrogênio leva pequena vantagem.

Destaca-se ainda, que o gás oxigênio nas espessuras acima de 4 mm obtém grande vantagem em relação ao nitrogênio em termos de menor tempo de corte. Isso deve-se ao fato do oxigênio favorecer uma reação exotérmica, fator esse que aumenta a energia no processo de corte, resultando em um considerável ganho de velocidade, mesmo em chapas com espessuras maiores.

Figura 9 - Coleta de dados



Fonte: Elaborado pelo autor, 2013.

Apesar de o nitrogênio utilizar maior tempo de corte do que os outros dois gases, ele tem a vantagem de produzir uma superfície de corte livre de óxidos gerados pela ação do oxigênio no momento do corte. Esses óxidos criam uma película fina sobre a borda da peça que dificulta a fixação da tinta, por exemplo, no momento do tratamento superficial dos itens.

4.4 RESULTADOS FINAIS DA PESQUISA

Após a realização das simulações e experimentos práticos, pode-se concluir que em chapas com espessuras variando de 0,9 a 3 mm, o ar comprimido obteve vantagem em termos de menor tempo de corte em relação aos outros dois gases de assistência.

Constatou-se ainda que o gás nitrogênio, leva vantagem sobre o oxigênio apenas em espessuras de chapas que variam de 0,9 a 3 mm, acima dos 4 mm o seu tempo de corte torna-se bem mais elevado. Porém, é necessário ressaltar que o nitrogênio permite a obtenção de uma superfície de corte livre de oxidação, sendo de fundamental importância em peças que recebem um tratamento superficial, como pintura ou zincagem posterior ao corte, eliminando assim a necessidade de uma operação posterior de remoção de óxidos, por exemplo.

Apesar de o oxigênio gastar mais tempo em chapas finas, como 0,9 a 3 mm, ele leva grande vantagem de tempo em espessuras acima dos 4 mm. Fator esse que faz o gás de assistência ser o mais utilizado na empresa em estudo.

Sendo assim, é importante analisar primeiramente quais as espessuras de chapas que mais tem demanda no processo de corte a laser, e só depois definir qual o melhor gás de assistência a ser utilizado.

Ao termino da pesquisa é possível entender que atualmente a produtividade, aliada à qualidade, são fatores indispensáveis para o sucesso das organizações, pois proporcionam reduções consideráveis nos desperdícios e custos com retrabalho, aumentando assim a lucratividade.

5 CONCLUSÕES

O maior desafio das empresas atualmente, não está somente em escolher o melhor processo de fabricação para trabalhar, é necessário que ele seja explorado e usado da melhor maneira possível, evitando os desperdícios no processo, mantendo assim um alto nível de produtividade e qualidade.

O propósito deste trabalho foi propor um estudo visando aumentar a produtividade do processo de corte a laser, através da utilização de diferentes gases de assistência, como oxigênio, nitrogênio e ar comprimido.

Primeiramente, iniciou-se o trabalho com uma pesquisa bibliográfica, seguida de informações extraídas de artigos e teses de mestrado e doutorado. Buscaram-se informações sobre diversos sistemas de corte laser e suas aplicações, bem como, um pequeno histórico do surgimento dessa tecnologia.

Em seguida, realizou-se experimentos comparativos e simulações de acordo com alguns parâmetros de avanço, potência e pressão definidos na máquina. Por fim, analisou-se como a utilização dos gases de assistência oxigênio, nitrogênio e ar comprimido, influenciam no tempo e na qualidade do corte.

Depois de realizar os testes práticos, vimos que cada gás de assistência tem sua importância para o processo de corte, mas que é necessário primeiro definir qual serão as espessuras de chapas com maior demanda no processo. No caso da empresa em estudo o uso do gás oxigênio tem maior aplicação.

Finalizando, a realização desse trabalho foi de grande importância, pois possibilitou um grande aprendizado referente ao conceito de corte a laser e as principais aplicações dessa tecnologia. Também foi possível entender quais são as principais dificuldades encontradas pelas empresas, na escolha do melhor gás de assistência e finalmente compreender a importância que isso tem em termos de ganhos de produtividade e qualidade.

Como recomendação para trabalhos futuros seria importante trabalhar os custos de produção do processo de corte laser, utilizando cada um dos diferentes gases citados no trabalho, a fim de buscar uma melhor relação de custo e benefício. Mas, seria de fundamental importância, passar a utilizar mais os gases nitrogênio e ar comprimido, pelo bom desempenho alcançado em chapas de menor espessura. Pode-se ainda analisar se é vantajoso possuir uma operação posterior, onde faz-se

a remoção dos óxidos provenientes do corte laser quando utilizados os gases oxigênio e ar comprimido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGA – *Aktiebolaget Gasaccumulator*. **Fatos sobre: Técnicas de corte LASER**. Apostila Técnica, 2005.

ALMEIDA, I. A. **Otimização do Processo de Usinagem de Titânio com Laser Pulsado de Neodímio**. 2007. Tese (Doutorado) – Tecnologia Nuclear – IPEN, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

AMOROS, Roberto Torres. **Avaliação de tensões residuais em chapas planas de aço carbono, destinadas a processos de corte a laser, pelo método da anisotropia planar**. Curitiba, 2008.

BAGNATO, V. S. **Os fundamentos da luz laser**. Física na Escola, vol.2, n. 2, 2001.

BYSTRONIC. **Byspeed 3015 - Tecnologia de corte**. Pinhais: Bystronic LASER AG, 2007.

BYSTRONIC. **Corte a laser**. Disponível em: <http://www.bystronic.com.br/cutting_and_bending/br/pt/products/laser/index.php>. Acesso em: 29 abr. 2013.

CABRAL, M. A. S. **Processos metalúrgicos: corte a laser, plasma e oxicorte**. UNIFOA – Engenharia Mecânica. Volta Redonda, 2009. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAaalcAH/corte-a-plasma-laser-oxicorte>>. Acesso em: 12 abr. 2013.

FARO, T. M. C. C. B. **Estudo e otimização do corte laser de alta velocidade em chapa metálica fina**. Dissertação de mestrado – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2006.

FUNDAÇÃO ROBERTO MARINHO. **Processos de fabricação**, v. 4: mecânica. São Paulo: Globo, 1997. 160 p.

JOAQUIM, R.; RAMALHO, J. **Soldagem laser**. Apostila Técnica, 2010.

MORAIS, W. A.; BORGES, H. C. **Adequações nas práticas dos novos processos de corte e dobra para otimizar o desempenho de aços planos**. Technol. Metal. Mater. Miner., São Paulo, v. 7, n. 1-2, p. 54-60, jul.-dez. 2010.

SOUZA, A. J. **Apostila Processos de Fabricação por Usinagem (Parte 1)**. UFRGS – Departamento de Engenharia Mecânica. Porto Alegre, 2011.

TINOCO, J. M. A. **Desenvolvimento de um sistema de troca automática do nozzle de corte para máquinas de corte por laser**. Dissertação de mestrado – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2011.

TRUMPF. **News Trumpf Brasil 2010**. Disponível em: <<http://www.br.trumpf.com/imprensa/assessoria-trumpf-brasil/news-trumpf-brasil-2010/corte-uma-das-principais-aplicacoes-do-laser-no-setor-metal-mecanico.html>>. Acesso em: 22 abr. 2013.

URTADO, E.; LIMA, E.; BAINO, F. **Comparativo entre a produtividade e custo operacional dos processos térmicos oxicorte, plasma e laser, para cortar o material aço carbono entre as espessuras de 6 a 25 mm.** Faculdade de Tecnologia de São Paulo-FATEC, Departamento de Soldagem, São Paulo, Brasil, 2008.

WEISS, Almiro. **Processos de fabricação mecânica.** Curitiba: Livro Técnico, 2012. 264 p.

WESCHLER, M. "**HowStuffWorks - Como funciona o laser**". Publicado em 01 de abril de 2000. Disponível em: < <http://ciencia.hsw.uol.com.br/laser.htm>>. Acesso em: 11 abr. 2013.

APÊNDICE A – DADOS COLETADOS NOS TESTES PRÁTICOS

Coleta dos tempos de corte em (s)			
Espessuras de chapas (mm)	Oxigênio	Nitrogênio	Ar comprimido
0,9	8,1	7,3	4,6
1,5	8	4,5	4,8
1,9	9,8	9,2	6,8
2,65	12,5	10,7	7,8
3	12,7	12,2	10,2
4	14,9	19,1	0
6	18,3	30,5	0
8	25	47,8	0