



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 À 25MM

Edson Urtado, Erasmo Lima, Fernando Baino
Faculdade de Tecnologia de São Paulo- FATEC
Departamento de Soldagem, São Paulo – SP, Brazil.
edson.urtado@hypertherm.com.br

Resumo

O corte de metais vem ganhando destaque na indústria metal mecânica e requerendo maior atenção para a composição dos custos finais do produto. Antigamente o corte e a preparação das peças de um conjunto soldado eram executados na própria empresa.

Quando um consultor de corte de metais recebe uma consulta de qual o melhor processo para cortar uma chapa de aço ao carbono em espessuras entre 6 a 25 mm, se depara com várias possibilidades que poderão atender a esta primeira necessidade. O problema está em atender às outras necessidades implícitas no processo como: qualidade, produtividade e custo operacional.

Dentre os processos de corte disponíveis, concentraremos nos processos mais usuais na indústria do corte térmico de metais: O Oxicorte é o processo de maior utilização por ser de mais fácil aquisição e mais conhecido; o Laser reconhecido por obter cortes de alto nível de qualidade e o Plasma que apresenta crescimento na indústria metal mecânica. Após uma definição de qualidade e produtividade, bem como das características dos três processos de corte, apresentaremos o estudo das "entradas" ou necessidades requeridas por cada um destes processos, ou seja, os custos e as "saídas", à produção de cada um destes processos.

Palavras-chave: *corte térmico de metais, Plasma, custo operacional.*

Abstract

The metal cut comes increasing in the industry metal mechanics and requiring bigger attention to composition of the products final costs. In the past the cutting preparation were executed in the proper company.

Actual when a consultant of metal cut receives a consultation from which the best process to cut a plate of carbon steel in thicknesses between 6 - 25mm, he comes across with some possibilities that could take care of the first necessity. The problem is taking care of the other implicit necessities in the process as: quality, productivity and operational costs.

In the available processes of cut, we will concentrate in the process most usual in the industry of the thermal metal cut: The Oxifuel is the more used process, easier knowledge acquisition and more recognized. The Laser cutting is recognized for getting cuts of high level of quality and the Plasma cutting that growth in the industry presents metal mechanics. After a definition of quality and productivity, as well as of the characteristics of the three process of cutting, we will present the study of "entrances" or required necessities of these processes, the costs and the "exits", to the production of these processes.

Key-words: *thermal cutting of metals, Plasma cutting, operational costs.*

1. Introdução

A seleção de um processo, máquina ou ferramenta na indústria, seja ela de corte ou não, segue os critérios básicos para responder a questão do problema: Qual processo, máquina ou ferramenta irá entregar o produto com a qualidade requerida, no menor tempo e com o menor custo possível?

Para responder a esta questão, devemos analisar primeiramente o que se é requerido como qualidade, qual a expectativa dos clientes internos e externos quanto à qualidade. Na indústria do corte, bem como em outras atividades, qualidade tem sido conceituada como o produto isento de falhas. Mesmo sendo um conceito correto, não se está seguro que as falhas são funcionais, que elas tenham alguma razão para serem controladas. Portanto a qualidade é um termo que varia a cada caso, a cada necessidade e para cada tipo de cliente.

Partindo do pressuposto do empirismo da qualidade, a produtividade acaba sendo o principal diferenciador para a seleção de um processo de corte. Desta forma, é necessário entender o conceito de produtividade, quais são os seus fatores de entrada, e quais os recursos escassos mais importantes a serem estudados bem como qual o comportamento dos diferentes processos de corte de metais quanto à produtividade em relação a estes recursos.

Neste trabalho iremos limitar a discussão no corte do aço carbono e em espessuras onde os três processos – Oxicorte, Plasma e Laser - podem ser aplicados.

2. Conceitos

Antes de iniciar o trabalho, cabe uma definição dos conceitos de qualidade e produtividade para servir como base das conclusões referente a cada um dos processos de corte. Durante muito tempo, vimos estes dois conceitos serem discutidos de várias formas e, muitas vezes equivocados.

2.1 Qualidade

Dentre as definições de qualidade, a que mais torna o conceito claro e simples é a do engenheiro Joseph M Juran, que publicou em 1951 o “*Quality Control handbook*” (Manual do Controle de qualidade). Juran adota duas definições para qualidade:

- a) Qualidade são aquelas características dos produtos que atendem às necessidades dos clientes e, portanto, promovem a satisfação com o produto.
- b) Qualidade consiste na ausência de deficiências.

Tendo como base os conceitos de Juran, as peças cortadas devem atender às necessidades dos clientes, sejam eles internos ou externos.

Os clientes internos, na indústria do corte de metais, são normalmente os setores de caldeiraria, montagem ou soldagem. Estes interessados no resultado final da empresa

exigem peças com qualidade funcional, ou seja, a peça não necessita estar perfeita ou bonita, mas sim que permita a seqüência de execução dos trabalhos para a obtenção do produto final, que pode ser um trator, um implemento agrícola ou um equipamento.

Já os clientes externos, que na indústria do corte são os compradores de peças cortadas, analisam a qualidade das peças mais profundamente, considerando além dos aspectos funcionais como aparência do corte, ângulo da superfície cortada, rugosidade, escória etc. Não que estas características não sejam importantes para a avaliação da qualidade da peça, porém em muitos casos ela não é funcional tornando desnecessária esta consideração.

Os processos de corte de metais vêm sendo aprimorados para, com o uso da tecnologia, aprimorar cada vez mais a qualidade das chapas cortadas. A grande preocupação é entregar uma qualidade consistente sem, necessariamente onerar o custo de produção.

2.2 Produtividade

Em essência, produtividade é uma medida da eficiência com que recursos de entrada (insumos) de um sistema de agregação de valor são transformados em saídas (produtos). Matematicamente podemos afirmar que produtividade pode ser obtida pelo total de saídas dividido pelo total de entradas.

O estudo de produtividade é frequentemente expresso como a fração entre as saídas do sistema considerando o recurso mais escasso (ou mais crítico) de entrada, ignorando, para efeitos práticos, os outros recursos menos escassos ou críticos.

Neste momento de crescimento da atividade industrial no Brasil, mesmo que modesto, os fatores de entrada mais escassos são, em ordem de importância o tempo e os recursos financeiros ou investimentos. Desta forma, iremos trabalhar com estes dois fatores de entrada como principais para definição e avaliação da produtividade dos processos de corte de metais.

A importância relativa destes fatores de entrada varia conforme as características de cada fábrica ou de cada negócio. Muitas vezes possui mesmo grau de importância. Porém o estudo em separado permite avaliar a influência de cada um para a produtividade total.

O tempo, cujo sua escassez não é privilégio da indústria do corte, é mais frequentemente referenciado como fator de entrada para o estudo de produtividade. Por isso é muito difundido o conceito de produtividade em corte de metais como metros cortados por uma unidade de tempo. Já o investimento ou recurso financeiro é mais comumente tratado como retorno. Mas o fato é que o investimento ou recurso financeiro pode ser estudado como entrada para o estudo de produtividade, ou seja, metros cortados por unidade monetária aplicada. O investimento em uma máquina deve ser amortizado em 10 anos, ou 120 meses. Assim, o custo mensal, neste caso a entrada, deve ser considerada em relação à saída, ou produto, que no caso da

indústria do corte seria a quantidade de metros cortados numa dada espessura. O valor da produtividade em relação ao investimento será a quantidade de metros cortados por unidade monetária referente ao custo de depreciação do bem (máquina de corte).

Como saídas ou produtos, será considerada a quantidade de metros cortados de chapas com a qualidade requerida (mas não necessariamente desejada) pelos clientes, sejam eles internos ou externos.

3. Definição do objeto do estudo

Já vimos em trabalhos anteriores que os metais em geral podem ser cortados por diferentes métodos e que na indústria do corte vários são os tipos de metais como aço ao carbono, aço inoxidável, alumínio, cobre e suas ligas, etc. Apesar da importância dos outros métodos e outros metais, consideramos de maior relevância o corte do aço carbono pelos processos Oxicorte, Laser e Plasma como de maior interesse da comunidade do corte devido à necessidade de maior esclarecimento e discussão sobre o comportamento destes processos no corte do aço ao carbono e como isto afeta o desempenho da indústria do corte.

Sendo assim, a seguir apresentaremos os processos, características e aplicação principalmente no corte do aço ao carbono.

4. Processos de Corte Térmico/Químico

Considera-se corte termo/químico os processos que se utiliza, de alguma forma, da energia térmica para seccionar os metais. Alguns dos processos são mais químicos, como o Oxicorte, e outros mais térmicos como o Plasma e o LASER. Contudo, nos três casos observas-se o aquecimento do metal cortado.

A seguir, faremos um breve resumo dos processos, suas características e aplicação.

4.1 Oxicorte

O ferro no seu estado metálico é instável, tendendo a se reduzir para o estado de óxido. Quando o ferro é exposto ao oxigênio, se dá a reação de oxidação do ferro. Esta reação é exotérmica, ou seja, libera calor.

Como a temperatura do ferro e o grau de pureza do oxigênio têm relação direta com a velocidade da reação, no processo Oxicorte o ferro é aquecido para aumentar a afinidade pelo oxigênio e um jato de oxigênio puro é liberado. O calor gerado por esta reação serve para manter o ferro aquecido, e com a adição contínua de oxigênio, o processo é mantido.

O óxido de ferro, produto da reação, tem temperatura de fusão inferior a do aço. Assim o processo se dá pela reação estimulada de oxidação do ferro, fusão do óxido de ferro e expulsão deste óxido por intermédio de um jato de oxigênio puro que além

de expulsar o material fundido, é fonte para manutenção do processo de oxidação do ferro, e assim manter a continuidade do processo.

Por ser um processo, primariamente químico, o tempo para a reação é o fator limitante para velocidade de deslocamento do corte. Porém, a reação química em cadeia permite cortes de elevada espessura.

Característica: Elevada espessura e baixa Velocidade

4.2 Plasma

O Plasma é um gás que submetido a uma diferença de potencial elétrico é capaz de conduzir energia elétrica. A temperatura deste gás é extremamente elevada (27.000 C) e como é muito maior que a temperatura de fusão do aço ao carbono, permite um deslocamento rápido do corte. A diferença de potencial, ou tensão elétrica, é obtida de uma fonte de energia que transforma a energia elétrica da rede em energia com característica de tensão e corrente necessárias para o processo.

O gás de Plasma utilizado para o corte de aço carbono é o oxigênio (o ar comprimido pode ser utilizado como uma segunda opção, com conseqüente redução de qualidade e velocidade de corte). O oxigênio além de servir como insumo para a formação do Plasma, serve como agente para a reação de oxidação do ferro. O processo Plasma a oxigênio é considerado como uma combinação de fontes de calor – a gerada pelo Plasma e o da reação exotérmica de oxidação do ferro.

Característica: Elevada velocidade de corte em médias espessuras.

4.3 Laser

O nome Laser é a abreviatura da descrição do processo em inglês: *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (Amplificação da luz através da emissão estimulada de radiação). O Laser é um sistema que produz calor devido à incidência de um feixe de luz altamente concentrado e de elevada potência, podendo ser utilizado para corte de materiais metálicos e não metálicos.

Meio ativo entende-se o material utilizado como conversor de energia elétrica em energia radiante. Este material caracterizará o Laser. O tipo de Laser mais comumente utilizado para o corte de aço ao carbono é o Laser de CO₂.

O oxigênio é utilizado como gás de assistência, e serve como insumo para a reação exotérmica de oxidação do ferro e para expulsar o metal fundido.

A principal característica do corte por Laser é a relativa pequena área de sangria (material removido), menos que 10% da sangria dos processos Oxicorte e Plasma, o que confere ao Laser uma elevada precisão, alta velocidade de corte, principalmente em espessuras finas.

Característica: Alta precisão e Alta velocidade em baixas espessuras.

Segue tabela com resumo comparativo entre os processos de corte térmico:

Característica	Oxicorte	Plasma	Laser
Qualidade	Boa angularidade; Grande zona térmica afetada; Níveis de escória exigem retrabalho; Não funciona bem em aço inoxidável ou alumínio.	Excelente angularidade; Pequena zona térmica afetada; Praticamente não forma escória; Corte com detalhamento fino de bom a excelente.	Excelente angularidade; Pequena zona térmica afetada; Praticamente não forma escória; Corte com detalhamento fino com sangria mais estreito de bom a excelente.
Produtividade	Velocidades de corte lentas; Tempo de pré-aquecimento aumenta tempos de perfuração.	Velocidades de corte muito rápidas para todas as espessuras; Tempos de perfuração bastante rápidos; Tochas de desconexão rápida maximizam a produtividade.	Muito rápido em material fino (menos de 6 mm – 1/4 pol.); e mais lento em material de maior espessura; Tempos de perfuração longos em material espesso.
Custo Operacional	A baixa produtividade e a necessidade de retrabalho geram um custo por peça superior ao corte a Plasma.	Longa durabilidade de consumíveis, boa produtividade e excelente qualidade de corte tornam o custo por peça inferior ao de outras tecnologias.	Altos custos por peça devido a requisitos de potência, consumo de gás, alto custo de manutenção e velocidades de corte relativamente baixas em material espesso.
Manutenção	Freqüentemente, as necessidades de manutenção simples podem ser executadas por equipes de manutenção internas.	Requisitos de manutenção moderados: diversos componentes permitem que a manutenção seja realizada por equipes de manutenção internas.	Tarefas complexas de manutenção exigem técnicos especializados.

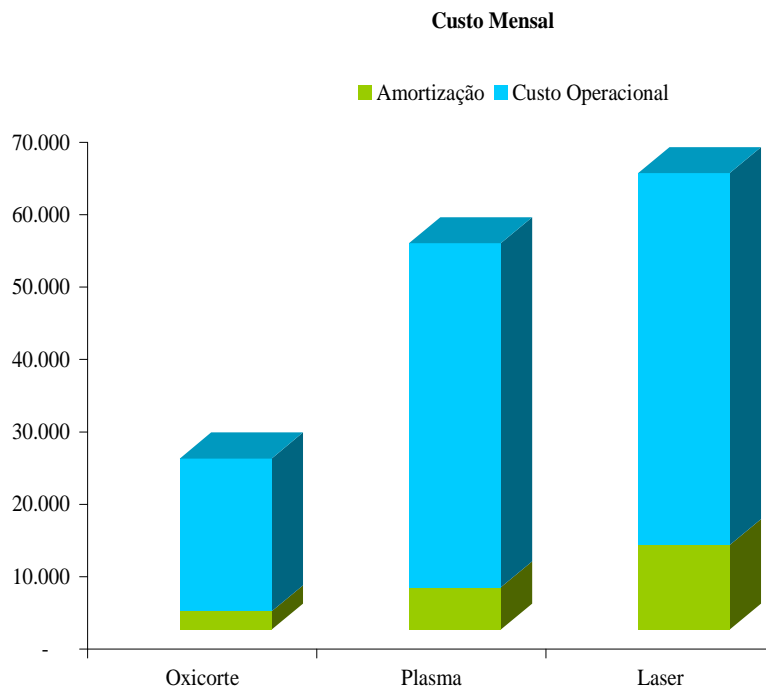
5. Características do produto e processo produtivo

Agora conhecido os conceitos de qualidade e produtividade e as características dos processos de corte, temos a primeira parte do trabalho de seleção do processo concluída. A segunda, e tão importante quanto, é a identificação das características requeridas pelo produto, disponibilidade financeira e tempo para execução do corte.

Os produtos podem ser classificados em função da espessura e do grau de complexidade dos contornos. As espessuras são classificadas em finas até 6,4 mm; médias entre 6,4 e 32mm e grossas acima de 32mm. O grau de complexidade é função do raio dos contornos; simples: contornos com raio superior a 15mm; média complexidade: contornos com raios entre 5 e 15mm; e alta complexidade: contornos com raio inferior a 5mm.

A disponibilidade financeira é um tema mais complexo de análise ou classificação principalmente porque está diretamente relacionado com questões de mercado, como nível de concorrência entre os fornecedores de máquinas, formas de financiamento, incentivos para compra agregada com outros produtos, nível de concorrência entre os processos, etc. Estes e outros fatores influenciam diretamente o custo de aquisição de máquinas. Recentemente as máquinas de corte Laser sofreram redução significativa no preço de mercado em função do aumento da concorrência entre os diferentes fornecedores e principalmente pelo avanço tecnológico do corte Plasma. O Plasma também sofreu redução de custos operacionais devido ao avanço tecnológico e principalmente pelo aumento da concorrência entre fornecedores de produtos para este processo. Somente o Oxicorte, com forte tendência de perda de participação de utilização na indústria do corte não sofre tanta mudanças tanto no custo de aquisição quanto no de operação.

Se restringirmos os valores relativos de aquisição das máquinas e custos de operação dos processos, teremos os custos mensais relativos representados no gráfico abaixo.



O tempo para execução do trabalho é função da necessidade do cliente interno ou externo em obter o produto ou a peça cortada. Neste caso, a velocidade de corte será fator importante que irá influenciar diretamente na seleção do processo. Os processos têm comportamentos bem distintos quanto à velocidade de corte em relação à espessura. Para o Oxicorte a mudança de velocidade é relativamente pequena com a variação de espessura. A velocidade varia de 0,7 m/min para uma espessura de 6,4mm e 0,3 para 25mm. Já o Plasma e o Laser apresentam grande variação de velocidade inversamente proporcional em função da espessura, dependendo do tipo e potência dos equipamentos.

Para espessuras finas, o Laser tem a maior velocidade, em espessuras médias o Plasma é mais veloz. O Oxicorte é relativamente lento quando comparado com os outros demais processos nas espessuras onde um dos outros dois processos podem ser aplicados.

6. Seleção do Processo

Agora com base em todos os conceitos e considerações apresentadas, podemos concluir e selecionar o melhor processo para cada necessidade e característica do produto e da célula ou fábrica de corte de aço carbono.

Para efeito de estudo e para conclusão deste trabalho, iremos considerar todas as outras variáveis aqui não mencionadas como iguais para os diferentes processos.

6.1 Fundamentado na qualidade

Para não tornar os critérios de qualidade muito amplos, iremos considerar a qualidade como o controle dimensional das peças cortadas, o ângulo da superfície de corte e o acabamento da superfície de corte. Nestes casos a seleção é bastante direta e simples.

O Laser deverá sempre ser preferido na proporção em que se reduz a espessura e se aumenta a exigência de precisão dimensional (em décimos de milímetros) e o grau de complexidade dos contornos da peça. Já na proporção em que a espessura incrementa, a superfície do corte se torna com má aparência com sulcos ou estrias visíveis e transversais à chapa.

Apesar do Plasma obter superfícies de corte lisas e de excelente aparência, o ângulo de corte e o controle dimensional (que no caso do Plasma está na ordem de milímetros inteiros) são críticos. À medida que a espessura aumenta o ângulo da superfície de corte melhora sensivelmente tendendo a um ângulo reto.

O Oxicorte, apesar de entregar um ótimo desempenho quanto ao ângulo da superfície de corte, apresenta a mesma característica de precisão dimensional do Plasma. À medida que a espessura reduz, o aparecimento de escória de difícil remoção se torna crítico e requer técnicas especiais para controle.

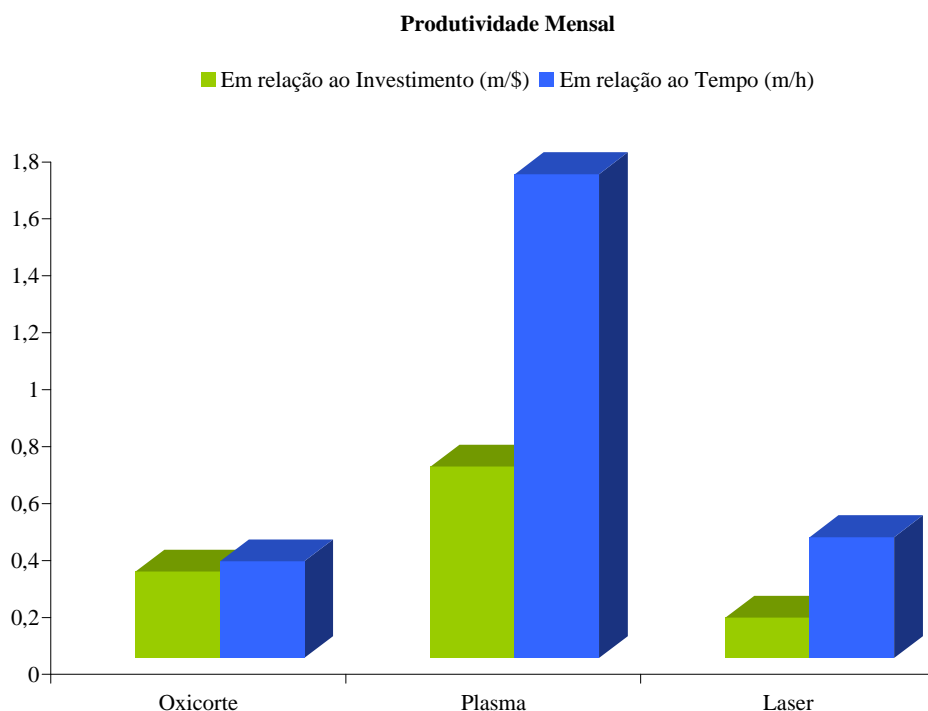
6.2 Fundamentado na produtividade

O Oxicorte deverá sempre ser preferido para aplicações em chapas grossas – acima de 25mm - principalmente devido ao baixo custo de aquisição e operacional. Como a velocidade dos demais processos nesta espessura é relativamente baixa, estimam-se resultados superiores de produtividade em relação aos dois recursos escassos aqui estudados. O Plasma poderá ser considerado nos casos de exigência de maior produtividade em relação ao recurso tempo e quando houver a possibilidade de desconsiderar a produtividade em relação ao investimento.

O Plasma deverá sempre ser preferido para aplicações em chapas médias – entre 6,4 e 25mm – principalmente devido à alta velocidade de corte em relação aos demais processos. O resultado de produtividade em relação ao investimento pode ser objeto de discussão quando comparada com o processo Oxicorte. Contudo, devido ao elevado ganho de velocidade, o resultado de produtividade em relação ao recurso tempo é consideravelmente maior que o Oxicorte. O Laser poderá ser considerado nos casos de exigências de maior qualidade em peças de contornos de média ou alta complexidade nestas espessuras e quando houver a possibilidade de desconsiderar a produtividade em relação ao investimento e tempo.

O Laser deverá sempre ser preferido para aplicações em chapas finas – abaixo de 6,4mm – principalmente devido à alta velocidade de corte em relação aos demais processos. A produtividade em relação ao investimento pode ser objeto de discussão quando comparada com o processo Plasma. Contudo, devido ao elevado ganho de velocidade, o resultado de produtividade em relação ao recurso tempo é consideravelmente maior que o Plasma. O Plasma poderá ser considerado quando houver a possibilidade de desconsiderar a produtividade em relação ao tempo e aos requisitos de qualidade em peças de contornos de média ou alta complexidade.

Para melhor compreender o conceito de produtividade na indústria do corte e o comportamento dos diferentes processos, recorreremos ao uso da representação gráfica abaixo que mostra a produtividade relativa entre os três processos em relação aos recursos financeiros e tempo no corte de chapas de aço carbono de 12,7mm de espessura:



A mudança do comportamento do gráfico de produtividade somente é representativa quando a espessura extrapola para maior que 50mm com melhoria nos resultados de produtividade do Oxicorte. Contudo, nesta espessura o Laser não é aplicado. A produtividade do Laser para espessuras até o limite inferior de 6,4mm permanece inferior a do Plasma. À medida que a espessura diminui, a produtividade do Laser aumenta em relação ao Plasma.

7. Conclusão

Para a seleção do processo de corte, definitivamente deve-se observar a capacidade do processo produzir cortes conforme as exigências de qualidade requerida para a peça cortada. Com os avanços tecnológicos das máquinas, equipamentos e acessórios, a qualidade entre os processos Oxicorte, Plasma e Laser são bastante similares em espessuras médias e peças de contornos simples ou de média complexidade. Em espessuras finas e principalmente em peças de contornos de alta complexidade, o Laser torna-se a única opção para a satisfação do cliente interno ou externo.

A produtividade torna-se assim o fator determinante para a seleção do processo de corte. Numa ampla faixa de espessura entre 6,4 e 25mm o Plasma representa maior produtividade que os processos Oxicorte e Laser em relação aos dois recursos escassos mais importantes na indústria, o recurso financeiro e o tempo. O Plasma também pode ser considerado como opção alternativa dependendo da possibilidade de desconsideração dos requisitos de qualidade – para espessuras finas – ou de produtividade em relação ao recurso financeiro – para espessuras grossas.

A consulta e análise para cada necessidade e aplicação devem ser elaboradas com auxílio de profissionais especializados para a seleção do processo com melhor resultado de produtividade e qualidade.

8. Referências Bibliográficas

[1] CORRÊA, Henrique L, Administração de produção e operações: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica / Henrique L. Corrêa, Carlos A. Corrêa. – 2 ed. São Paulo : Atlas, 2006

[2] HYPERTHERM. Manual de operação do sistema HPR260