

## **Guilhotina automática: da idéia ao produto**

**Gilberto Denis de Souza Leite Filho (UPE) [denis@mekatronik.com.br](mailto:denis@mekatronik.com.br)**

**Rodolfo Valença de Aguirre (UPE) [rodolfo@mekatronik.com.br](mailto:rodolfo@mekatronik.com.br)**

**Arnaldo Cardim de Carvalho Filho (UPE) [cardim@upe.poli.br](mailto:cardim@upe.poli.br)**

### **Resumo**

*Um estudo do processo de produção em uma fábrica de pré-moldados concreto possibilitou a identificação de alguns “gargalos” na produção. Após análise do sistema optou-se pela automação parcial do processo. Foi então estudado o desenvolvimento de uma guilhotina para otimizar o corte do aço usado na confecção dos elementos pré-moldados de concreto automaticamente. Ao substituir os processos manuais, cujo esforço repetitivo e a exposição do trabalhador as doenças ocupacionais evidentes, os resultados influenciaram na melhoria da qualidade do produto e na produtividade do sistema.*

*A ferramenta foi projetada de maneira que pudesse ser programada, de forma simples, pelo próprio operador após uma pequena capacitação no próprio posto de trabalho, mesmo aqueles com baixo grau de escolaridade. Desde o início, a proposta da equipe que projetou o produto, era o de desenvolver um produto competitivo, e com uma relação custo x benefício adequado. Dois protótipos foram produzidos e instalados, obtendo-se resultados satisfatórios.*

*Palavras-chave: automação; guilhotina; pré-moldados de concreto.*

### **1. Introdução**

Desde o ponto de vista tecnológico, a maioria dos processos produtivos no Brasil mesclam o processo tradicional (artesanal) com outras técnicas, resultando numa mecanização parcial dos sistemas produtivos. No setor da construção civil, há pouca mecanização, e é vista como um “fantasma” que de alguma forma irá substituir o homem pela máquina, não apenas nas operações mais pesadas, e sim, em toda a sua totalidade. Diante disso, existe o temor de que o setor deixe de cumprir o seu papel social, não seja capaz de absorver grande quantidade de mão de obra. No entanto, a mecanização e a automação industrial é vista como uma forma em que ocorrerá a substituição do homem pela máquina, para resultar em melhores condições de vida para o trabalhador, em face de redução do esforço físico e mental que se exige desses operários, gerando inúmeras doenças do trabalho. O uso de equipamentos mecânicos e automatizados melhorará a qualidade do trabalho realizado pelos operários, e até mesmo os facilitará, fato desejado para o setor construtivo brasileiro. Paradoxalmente, a industrialização da construção civil é vista como uma importante medida para atender a demanda de produtos da construção, entre eles a produção de habitações, a fim de suprir o déficit habitacional crescente. (Dacol, 1996)

A pré-fabricação de elementos e componentes de concreto armado para a construção civil, é caracterizada como uma atividade um tanto quanto acanhada, e pouco produtiva para atender a demanda do setor construtivo. Sem dúvida que a sua automação representará um importante passo para ampliar a produtividade e melhorar qualidade dos produtos que dela se originam.

Os processos de produção dos produtos derivados do cimento, ao serem mecanizados e automatizados resultarão mais produtivos, com ganhos significativos de produtividade, e com conseqüente redução dos custos de produção, principalmente por se instalar uma maior escala produção. Como conseqüência direta, pode-se ensejar a produção de construções mais baratas e com uma qualidade garantida, além de possibilitar um maior domínio e controle dos processos produção. Tornando possível, com tais medidas, atender, por exemplo, as construções de interesse social para a população de menor renda.

Por outro lado, o fruto dessa racionalização de processos, também se demandará uma redução nos desperdício e geração de resíduos, com evidente minimização no consumo de recursos naturais, resultando um produto mais respeitoso com o meio ambiente, e consoante com os princípios do desenvolvimento sustentável.

## **2. Automação da fabricação dos pré-moldados de concreto**

Um estudo da produção realizado em uma unidade de fabricação de pré-moldados nos permitiu observar que para as fábricas de pré-moldados de pequeno porte, alguns aspectos assemelham-se a agrupamentos de manufaturas. A diversidade de técnicas, métodos e ferramentas, aplicados na produção, somada ao baixo custo da mão de obra disponível para o setor, inviabiliza a automação completa de uma linha de produção, ou seja, desde a seleção da matéria prima até a estocagem e expedição do produto acabado.

Considerando o caráter seriado da produção, três linhas tiveram seus processos produtivos estudados: produção nervuras para lajes, placas de revestimento de pisos e caixas para condicionadores de ar.

Através do estudo dos diagramas de fluxos desses processos, foi possível observar o emprego de tempo e mão de obra em cada uma das etapas. Essa análise possibilitou a identificação dos respectivos “gargalos” na produção, justificando as intervenções para a busca da melhoria da produtividade do sistema.

Relacionando aos custos de produção, o grau de complexidade da atividade e a importância do ser humano em cada atividade, identificou-se que etapa da fabricação que melhor responderia a uma intervenção através da automação industrial.

A identificação ocorreu sob os seguintes critérios:

- a) Produção seriada;
- b) Capacidade produtiva da fábrica;
- c) Quantidade de mão-de-obra empregada.

Constatou-se, então, um nó comum ao sistema produção. Ou seja, um determinado ponto do fluxo de produção da fábrica era comum aos demais pontos estudados, e agregava significativo custo aos produtos produzidos. Esse setor correspondia ao de confecção das armaduras de aço para as peças pré-moldadas. Nele são confeccionadas as armaduras de aço que compõem as estruturas de concreto armado, é, pode-se dizer que ele cumpre o papel de fornecedor interno, na cadeia cliente-fornecedor. Ao fornecer as componentes – armaduras - para os demais setores da indústria, conforme mostra a Figura 1, a seguir apresentada.

Em outras palavras, reduzir o custo da confecção das armaduras significa reduzir custos em outros setores do processo de fabricação. Pois além de economia de mão-de-obra, a automação desse processo reduz a exposição do trabalhador a ruídos e esforços repetitivos, causadoras das doenças ocupacionais, proporcionando também uma diminuição considerável nas perdas de aço ocasionadas pela imprecisão inerente ao processo corte manual. O que reduz os índices de perdas e fonte de geração de resíduos, tornando o processo mais racional.



Figura 1. Diagrama inter-relacional entre o setor de corte de aço e demais setores da fábrica.

### 3. O setor de armação da fábrica de pré-moldados de concreto

O setor de armação da indústria de pequeno porte que fabrica pré-moldados de concreto, se caracteriza por evidentes atividades artesanais. Isso justificado por uma variedade de itens com mesma geometria e dimensão o que resulta em atividades visivelmente repetitiva, como ocorre no corte repetido do aço. O aço consumido pelas indústrias de pré-moldados, em geral são aços de pequena bitola e, portanto, fornecido pelas siderúrgicas em bobinas. Para ser trabalhado, se faz necessário um estiramento, e depois de medido efetua-se o corte. A exceção fica para a fabricação de alguns elementos com geometria circular.

As máquinas para estiramento do aço, ou desbobinamento, estão disponíveis no mercado em diversos modelos, sejam com configurações operacionais manual e/ou e semi-automática. Em ambas, o processo de estiramento é o mesmo, um sensor fim-de-curso controla as operações, paralisado o sistema diante de alguma anormalidade. A maioria das indústrias de pré-moldados de concreto, principalmente no nordeste brasileiro, região onde se realizou tal estudo, fabrica a denominada “linha leve” dos pré-moldados de concreto. O sistema de estiramento e corte do aço é constituído: por uma máquina estiradeira (1), uma guilhotina manual acoplada a ela (2), e uma calha (3), conforme Figura 2, a seguir apresentada.

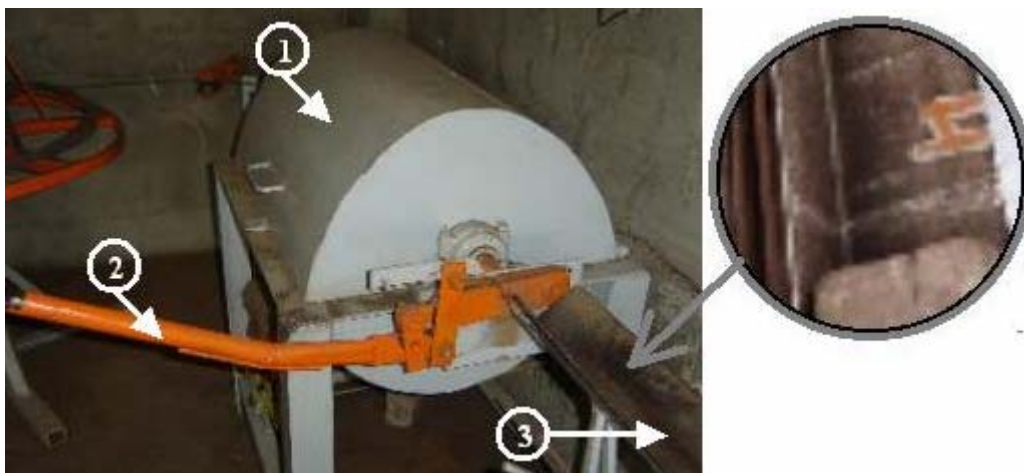


Figura 2 – Máquina para estirar o aço bobinado. (Foto: LEITE FILHO, 2005).

#### **4. Corte do aço: manual x automático**

O trabalho com as guilhotinas manuais demanda para a empresa a necessidade de especialmente treinado, para operar com movimentos repetitivos a referida máquina. Necessita ainda que estar equipado com os EPI's (equipamentos de proteção individual: óculos, luvas, avental de raspa de couro e abafador de ruídos) para evitar as doenças ocupacionais. Além de ser fadigante, esforço exigido para o corte do aço nas guilhotinas manuais pode acarretar sérios problemas de saúde ocupacional, e, o controle ocorre sempre por meio visual, resultando numa operação de total responsabilidade do operador, como o posicionamento do fim-de-curso na calha, a distancias colocadas, algumas vezes, que impossibilita garantir o melhor resultado.

Através da realização de um *benchmark* foi possível conhecer soluções para medição e corte de aço, adotadas por outras indústrias do seguimento, assim como, o estado da arte nessa área. Identificamos desde máquinas com controlador eletrônico, capazes de cortar o aço com precisão, até equipamentos eletromecânicos que precisão menor, porém bastante eficiente. Nesses, a medição da barra se realiza através do posicionamento de um dispositivo fim-de-curso em uma calha. Portanto, a guilhotina é acionada ao toque do aço no dispositivo de controle.

Alguns pontos foram identificados como negativos nos equipamentos, disponíveis no mercado, com formato semi-automáticos para corte de aço.

- a) Fica sob responsabilidade do operador o posicionamento do fim de curso, comprometendo assim a exatidão do equipamento.
- b) Não há contador de peças, ficando também sob responsabilidade do operador a referida tarefa.
- c) Para que uma nova medida seja programada na máquina é preciso paralisar o processo e re-posicionar o mecanismo de fim-de-curso.
- d) Essa guilhotina é parte de uma estiradeira de aço, não podendo ser comercializada em separado para acoplá-la a uma estiradeira comum.

#### **5. A idéia: desenvolver uma guilhotina automática**

Com a preocupação de assegurar que solução adotada viesse melhorar a produtividade das empresas de pré-moldados de concreto, algumas premissas básicas foram definidas para serem cumpridos ao longo do desenvolvimento do equipamento.

- a) *Praticidade*: O equipamento deveria ser de fácil instalação. Bastando que para tanto, fosse necessário apenas a disponibilidade de ligação desse à rede local de energia elétrica e ao um circuito de ar comprimido a uma pressão padrão, geralmente já disponíveis em fábricas do setor.
- b) *Operabilidade*: A operação da guilhotina deveria ser simples e eficaz. A idéia era que o operador, através de uma interface homem-máquina com visor e teclado pudesse programar o equipamento informando as quantidades e comprimentos dos diversos varões de aço a serem cortados.
- c) *Acessibilidade*: O layout do controlador deveria ter combinação de posicionamento e cores, de tal maneira que, um operário da construção civil, com o mínimo de escolaridade e a capacidade de conhecer os números, possa programar com facilidade o equipamento. Assim as operações de programação seriam simples e de fácil execução por qualquer um dos funcionários do quadro da empresa. Não formatando uma dependência direta da máquina com pessoal altamente especializado.

d) *Versatilidade*: O equipamento deveria ter uma entrada para receber a barra estirada de aço, após a saída da máquina estiradeira. O equipamento deveria ser de formato universal, para que a guilhotina pudesse facilmente ser acoplada à outra máquina de mesmas características.

e) *Mantenabilidade*: O equipamento deveria ser composto de peças de reposição facilmente encontradas no mercado ou reproduzíveis em oficinas. Ainda mais, todas as peças que precisassem de reposição periódica deveriam ser de fácil acesso e requerer o mínimo de ferramentaria e conhecimento técnico em mecânica necessário.

f) *Robustez*: A estrutura do equipamento deveria ser tal, que, mesmo exposto a severas condições de funcionamento, mantivesse um bom desempenho, não sujeito a quebras ou avarias.

g) *Economia*: O preço final do equipamento deveria ser tal ordem, que, o período de amortização do investimento no equipamento não ultrapasse um ano e meio. (1½ ano)

h) *Perfil Ambiental*: Ele deveria promover uma redução nas perdas de aço e do ruídos no ambiente de trabalho.

i) *Segurança*: O equipamento deveria ser seguro, e, ainda, oferecer a oportunidade de ser operado remotamente, caso a assim a fábrica o desejasse.

## **6. O desenvolvimento da idéia**

Não há que se estabelecer limites quando se pensa nas maneiras de implementar o desenvolvimento de um equipamento. O desafio está lançado e, para desenvolvê-lo, construí-lo com baixo custo, mantê-lo com condições de robustez e a confiabilidade necessária, há que se esforçar para alcançar tais objetivos.

O ponto de partida para o desenvolvimento do equipamento, no caso a guilhotina, foi desenvolver o dispositivo sensor. O equipamento deveria autonomamente medir o comprimento do aço e cortá-lo quando o comprimento programado fosse atingido. Concluída essa etapa, partir-se-ia para desenvolver o dispositivo de corte do aço, com o seu acionamento, e, elementos que garantissem a estabilidade do sistema como um todo, tornando-o o menos sensível às alterações do ambiente exterior.

## **7. O desenvolvimento do produto**

### **7.1 O projeto e a construção da guilhotina**

O desenvolvimento da guilhotina foi o resultado de um conhecimento adquirido pela equipe a medida que cursavam a graduação no curso de Engenharia Mecatrônica na Escola Politécnica Pernambuco, como bolsistas de um programa de Iniciação Científica. Como o curso de Engenharia Mecatrônica é alicerçado no curso de Engenharia Mecânica, o desenvolvimento dos dispositivos mecânicos necessários para a construção do equipamento foram os primeiros a surgirem, restando aos demais o aguardo do início dos estudos de eletrônica e controle de processos. Tal fato dificultou o desenvolvimento do projeto de forma concomitante, porém não comprometeu o resultado final.

Porém com as informações extraídas artigos técnicos em revistas especializadas e consultas a rede de Internet, nas *websites* especializadas de fabricantes de componentes (ver relação de bibliografia consultada). E ainda contando-se com o auxílio do corpo docente da Escola Politécnica para o esclarecimento das dúvidas e obtenção de respostas aos questionamentos sobre os diversos assuntos que envolviam a construção e desenvolvimento de uma máquina automática, foi possível avançar na busca de soluções e criação de alternativas para atender as necessidades do produto que se desejava produzir. Assim, partindo-se de uma análise comparativa com as opções disponíveis no mercado de equipamentos que cumprissem as

mesmas funções daquele que se estava desejando desenvolver. Foram priorizados soluções, e métodos mais práticos, adequados ao estado de conhecimento da equipe na época, considerando a sua inexperiência inicial no tratamento de problemas com um certo de nível de complexidade.

O uso de ferramentas computacionais foi de fundamental importância para o desenvolvimento desse projeto. Primeiro por proporcionar condições de simular funcionalidades do equipamento e dessa maneira, eliminar diversas inconsistências de projeto ainda na fase de modelagem. E segundo por resultar num ganho considerável de tempo, e avanço na compreensão do funcionamento do sistema. Utilizaram-se exaustivamente ferramentas computacionais para projeto mecânico do equipamento, fato que não aconteceu com o projeto eletrônico e de controle do sistema, que, inicialmente foi todo desenvolvido de forma manual.

Durante a fabricação foram identificados diversos detalhes que não haviam sido previstos na fase de projeto. Partes desses imprevistos foram resultantes da então inexperiência da equipe executora. Assim muitos desses detalhes tiveram suas soluções definidas em bancada, e outros, foram estudados, corrigidos e aplicados.

Como resultado prático desse estudo, dois protótipos foram construídos, o primeiro denominado P1 foi totalmente projetado, desenvolvido, construído e instalado pela equipe executora, tendo como data marco de implementação o mês de março de 2004. O P1 foi instalado numa empresa de pré-moldados, parceira do projeto, para averiguar o seu desempenho em serviço. Na Figura 3, apresenta-se P1 já instalado e em funcionamento.

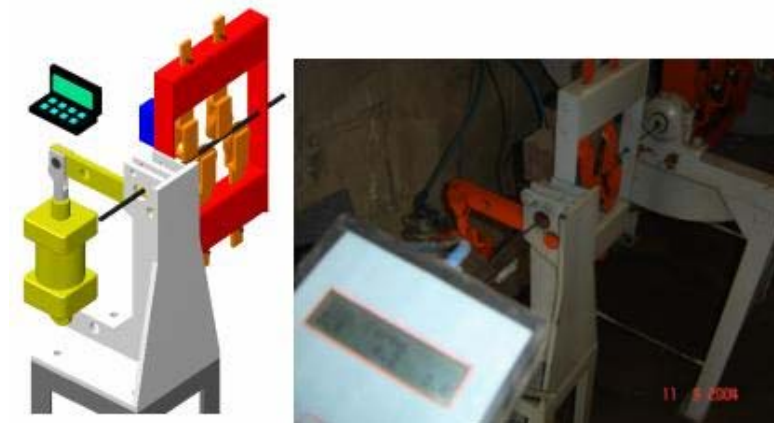


Figura 3. Primeiro projeto da guilhotina automática (P1). (Foto:LEITE FILHO, 2005)

## 7.2 Escopo de funcionamento do protótipo P1

O sistema de controle da guilhotina permite ao usuário inserir informações como quantidades e comprimentos das barras de aço a serem cortadas, até 10 series diferentes. No momento de iniciar as operações de corte, o sistema questiona ao usuário qual bitola de aço será cortada, de modo a realizar as compensações automáticas que assegurem exatidão do equipamento de corte. Depois de iniciado os cortes, ficam registrados no visor algumas informações do tipo: característica do aço que está sendo cortado (por exemplo: bitola do aço), e, realiza uma contagem regressiva, em tempo real, das peças cortadas.

O operador poderá, a qualquer momento, apagar a programação feita e incluir uma nova programação, pois o equipamento foi dotado de uma memória “e2prom”, cujo caráter não volátil, armazena informações mesmo após o desligamento do equipamento. Nessa memória

ficam armazenados os dados referentes à programação do equipamento. Dessa maneira, nada será perdido caso ocorra falta de energia elétrica, ou, desligamento acidental do controlador.

O controlador do protótipo P1 não possuía teclado numérico completo, e, sua programação era feita através de pressionamento repetido de determinadas teclas com sobreposição de informações.

### 7.3 Instalação do protótipo P1

A incrível a diferença entre o ambiente dos laboratórios da academia e do ambiente industrial, foram evidenciados quando do funcionamento do protótipo na indústria, principalmente aqueles decorrentes das variações da temperatura do ambiente e nível de ruídos elétricos.

O equipamento funcionou perfeitamente no laboratório. Inúmeros testes realizados constatavam estar o produto pronto para instalação na indústria. Porém, o “chão-de-fábrica” é cheio de surpresas e elementos imprevisíveis. O resultado é que o P1 tão perfeito no ambiente acadêmico não sobreviveu ao primeiro corte da guilhotina.

Desde o ponto de vista mecânico o equipamento apresentou algumas falhas, obrigando a se efetuar as correções necessárias em alguns detalhes como o formato da lâmina de corte, que apresentava grandes concentrações de tensões em um único ponto e não resistiu aos primeiros cortes, rompendo-se. A solução foi substituir a lâmina por outra de aço mais resistente.

No campo eletrônico, o grande problema ocorreu devido a sensibilidade do controlador à ruídos da rede elétrica, principalmente aqueles oriundos da partidas de motores e acionamentos de válvulas. Esse problema foi solucionado com a utilização de uma fonte de tensão estável e a aplicação de filtros de ruídos.

### 7.4 Avaliação do desempenho do Protótipo P1

Para analisar o desempenho da guilhotina automática em relação ao processo manual, foram feitas amostragens de 30 peças de mesma medida, 3040mm, em ambos os processos. As barras de aço foram medidas uma a uma e as medições foram inseridas em uma planilha para geração do Gráfico 1.

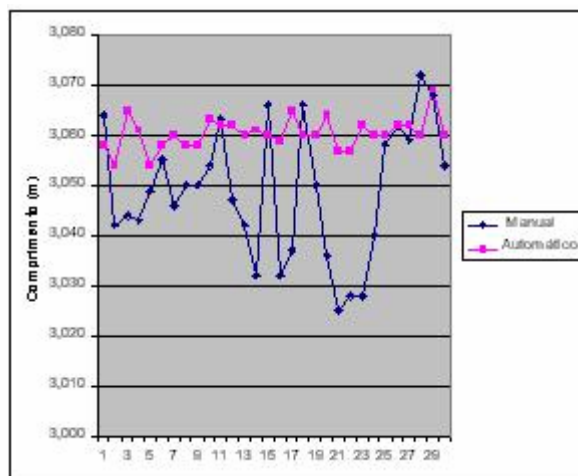


Gráfico 1 – Variação do comprimento de corte entre os processos manual e automático

A diferença de precisão nos processos manual e automático, visto através do Gráfico 1 é perceptível. A máquina automática corta o aço com um erro máximo de  $\pm 10,0\text{mm}$  no

comprimento determinado pelo operador, enquanto no processo de corte manual esse erro aumenta para 30mm.

### **7.5 O produto: Adequação à fabricação seriada**

Após as avaliações de desempenho do protótipo P1, foram realizadas as respectivas correções, principalmente no sistema eletrônico do produto, ou seja, no controlador numérico. O sistema de controle que passou a compor o outro protótipo, agora denominado de P2 foi projetado diferente do P1, utilizando softwares especializados e o que permitia já a produção em escala do produto.

Os aperfeiçoamentos desenvolvidos e instalados ao novo equipamento projetado permitiram agregar maior robustez, confiabilidade, conectividade e acessibilidade e mantabilidade que o anterior. Desde julho de 2005 que esse novo equipamento encontra-se em operação e dando respostas satisfatórias de desempenho.

Com o primeiro protótipo instalado e funcionando, o desafio era adequá-lo à fabricação em série, fato que concretizado com o desenvolvimento do protótipo P2. Nessa etapa que também envolveu proteção intelectual do invento, foram feitas as devidas tramitações junto ao Instituto Nacional de Propriedade Intelectual (INPI), entidade responsável por essa tarefa no Brasil.

### **8. Considerações Finais**

- Os dispositivos mecânicos robustos e de fácil manutenção garantem o bom funcionamento da máquina e pequena necessidade de manutenção. Na verdade, essas considerações foram priorizadas durante o desenvolvimento do trabalho, visto que, as fábricas de pré-moldados realizam sua manutenção preventiva e corretiva com pessoal próprio, e, sem a devida qualificação para tal.
- Seu controlador dedicado com interface homem máquina foi projetado para proporcionar uma instalação rápida e segura. O software de controle foi desenvolvido e maneira a facilitar a operação com o equipamento e atribuir ao operador o mínimo de influência sobre o processo. Esses implementos viabilizam a aplicação de alta tecnologia em ambientes caracterizados pela presença de trabalhadores de baixo grau de escolaridade, como é o caso da construção civil.
- A segurança de cortes exatos e precisos, proporcionada pelo uso do sistema automático, possibilita a diminuição do desperdício do aço, nesse caso as margens de segurança, necessárias para compensar a imprecisão do corte manual. A economia gerada pela diminuição desse desperdício, somada à redução do uso de mão de obra, o que pode resultar numa rápida amortização do investimento.
- Os dois protótipos da máquina estão em funcionamento, sendo periodicamente avaliados seus resultados e desgastes mecânicos. O operador que anteriormente cortava aço agora se capacita para confeccionar armaduras.
- Os detalhes que conferem praticidade e velocidade na instalação dos protótipos foram identificados durante a fase de instalação do equipamento, e foram registrados e materializados em forma de melhorias no protótipo P2.
- O protótipo P2 está sob avaliação contínua de desempenho e tem apresentado resultados que viabilizam a industrialização desse projeto com um mínimo de ajustes. A previsão é para lançamento do equipamento ao mercado ainda em 2005.
- A Guilhotina Automática desenvolvida nesse trabalho assegura à indústria de pré-moldados, economia, praticidade e segurança, conforme resultado da análise inicial realizada no setor.



E sem perder de vista a viabilidade mercadológica do equipamento, uma vez que o um dos propósitos era industrializá-lo, seus periféricos foram selecionados de modo a agregar uma excelente relação custo-benefício.

### **9. Referências bibliográficas consultadas**

DACOL, Silvana. *O potencial tecnológico da indústria da construção civil: uma proposta de modelo*. São Paulo:UFSC, 1996. 120 p.

OGATA, Katsuhiko. *Engenharia de Controle Moderno*. 4ª Ed. São Paulo: Pearson / Prentice Hall, 2003. 800 p.

BOYLESTAD, Robert L. *Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos*. 8ª Ed. São Paulo: Pearson / Prentice Hall, 2004. 696 p.

SOUZA, David. *Desbravando o PIC*. 8ª Ed. São Paulo: ERICA, 2003. 272 p.

SHIGLEY, Joseph. *Theory of Machines and Mechanisms*. 3ª Ed. London: MCGRAW-HILL-UK. 1978. 354 p.

WERNECK, Marcelo. *Transdutores e Interfaces*. 1ª Ed. Rio de Janeiro: LTC,1996. 244 p.

MORIS, Alan S. *Measurement & Instrumentation Principles*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2001. 475p.

### **10. Agradecimentos**

Nossos sinceros agradecimentos a Escola Politécnica de Pernambuco, unidade da Universidade de Pernambuco, ambiente no qual foi possível desenvolver esse projeto. Ao corpo docente e funcionários da POLI/UPE, pelo apoio e a dedicação ao longo dessa jornada. Ao Prof. Dr. Arnaldo Cardim de Carvalho Filho pela orientação desse projeto. Ao CNPq, que através do programa de bolsa de Iniciação Científica UPE/CNPq, financiou parte desse estudo. A INDARC, empresa parceira que abriu suas portas e permitiu a realização do referido projeto.