

RENOVAÇÃO DE CÉLULAS AUTOMATIZADAS APLICADAS À VEDAÇÃO E PROTEÇÃO CONTRA BATIDA DE PEDRAS NA LATARIA DE VEÍCULOS

RENEWAL OF AUTOMATED CELL APPLIED TO SEALING AND PROTECTION AGAINST STONE BEAT ON VEHICLE BODYWORK

Data de entrega dos originais à redação em: 18/08/2014
e recebido para diagramação em: 19/03/2015.

Railson Borba da Rosa ¹
João Sinohara da Silva Sousa ²
Garabed Kenchian ³

As montadoras de automóveis têm tradição em automatizar seus processos buscando maior produtividade, qualidade, flexibilidade e melhorias ergonômicas das condições de trabalho. Dentre suas várias etapas produtivas estão as atividades de proteção e vedação de assoalho que são responsáveis pela exposição dos operadores a posturas inadequadas por longos períodos. Por causa disso, este tipo de atividades tem sido robotizada com o uso de novos recursos e tecnologias disponíveis e tentando-se minimizar o tempo de operação manual nessas condições. Este trabalho analisa a renovação da automação de três células responsáveis por esses processos com aumento de capacidade de produção, tornando as células de produção flexíveis para fabricação de dois novos modelos, com a implantação de melhorias ergonômicas e redução de consumo de material.

Palavras-chave: Automação. Vedação. Células de Manufatura Flexíveis. Ergonomia.

The automotive industry has a tradition in automating their processes in order to improve productivity, quality, flexibility and ergonomics of working conditions. Among several production steps, there are the underbody coating and the sealing activities, which are responsible for operators' exposure to bad work posture for long periods. This has led to the robotization of these activities with the use of new available resources and technology, in order to try to minimize the manual operation time under these circumstances. This paper analyzes the renewal of automation into three cells responsible for these processes with increasing production capacity, by making the manufacturing cells flexible for the production of two new models, with the implementation of ergonomic improvements and reduction of material consumption.

Keywords: Automation. Sealing. Flexible Manufacturing Cells. Ergonomics.

1 INTRODUÇÃO

Desde o início da revolução industrial empregam-se tecnologias de automação em busca de mais produtividade, flexibilidade e qualidade nos processos produtivos. Assim como a automação, a aplicação de métodos de manufatura enxutos é fundamental para a sobrevivência das empresas no mercado (QUINTELLA, 1998). Essa condição de mercado impulsiona todo o setor industrial, principalmente o automotivo, em buscar soluções inteligentes para minimizar os custos de produção e garantir os padrões de qualidade e de repetitividade.

Devido a esse cenário, faz-se o emprego de sistemas robotizados, integrando-os com outras etapas de produção, como manuseio de materiais, identificação de produto e sistemas de posicionamento (GROOVER, 2010). Assim, é possível processar diferentes modelos com os mesmos equipamentos, permitindo a centralização da manufatura e a maximização dos volumes de produção. Além disso, têm-se os benefícios

ergonômicos do uso de robôs nas atividades que expõem os operadores a posicionamento incorreto e redução de consumo de materiais.

O objetivo desse trabalho é apresentar o estudo de caso sobre a implementação de um projeto de renovação da automação nas etapas de vedação e proteção contra batida de pedras na lataria de veículos, composto de quatro metas: elevar a produção de 53 para 63 carrocerias por hora (aumento de 120 mil unidades por ano), flexibilizar as estações para 2 novos modelos, eliminar ou minimizar a necessidade de acabamento manual das vedações e reduzir o consumo de material.

2 METODOLOGIA

Inicialmente foi realizada uma breve fundamentação teórica, na sequência foram descritas as estações antigas e suas restrições: os tempos de ciclo de cada etapa dos processos, as limitações de memória dos equipamentos instalados, os responsáveis pela necessidade de acabamento manual e desperdício de material.

1 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Câmpus São Paulo – E-mail: < railsonborba@gmail.com >.

2 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Câmpus São Paulo.

3 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Câmpus São Paulo.

Com as causas das limitações identificadas, foram apresentadas as soluções para cada uma delas. Enfim, com o escopo do projeto concluído, foi realizado um novo detalhamento das células implementadas na planta do estudo de caso e uma nova análise delas quanto à capacidade, flexibilidade, ergonomia e consumo de material, comparando os resultados com os objetivos.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As etapas produtivas de uma fábrica podem ser integradas de forma a minimizar o manuseio de materiais e maximizar a utilização de recursos, sendo o princípio de manufatura em linha de produção, sem sistemas em paralelo, adequado para a fabricação de grandes quantidades de produtos similares e cujo o processo de manufatura possa ser separado em passos (GROOVER, 2010). Essa organização, representada na figura 1, se deve ao alto custo dos equipamentos necessários para esses processos, razão que também fundamenta a abordagem de manufaturar diferentes produtos na mesma planta, aumentando o volume de produção e, portanto, o rateio do investimento inicial.

As necessidades específicas de cada etapa produtiva, o custo de investimento, o custo operacional e a quantidade de modelos levam a decidir o tipo de implementação, sendo algumas células dedicadas com sistema automatizado específico e outras que permitem o emprego de técnicas flexíveis, essa comparação é demonstrada na figura 2.

Para viabilizar a implementação de automação no ramo automobilístico é necessário direcionar soluções de alguns problemas específicos como o transporte e posicionamento de carrocerias, garantia da aplicação dos materiais na posição correta, o desenvolvimento de um sistema de bombeamento e medição que permita o controle de vazão para materiais viscosos e abrasivos, assim como métodos e dispositivos de aplicação para esses materiais que viabilizem a implementação deles como atuadores em robôs.

Os robôs são dispositivos utilizados em células de produção e desenhados para substituir o homem nas operações insalubres, pesadas, etc.

Esses equipamentos são compostos basicamente de elos equivalentes aos ossos de um ser humano e juntas que seriam similares às articulações, tendo uma das extremidades engastada e na outra a ferramenta que é chamada de efetuador ou *tool*, é ela que desempenhará o trabalho (CRAIG, 2005).

A movimentação dos elos de um robô é realizada através da rotação das juntas, requerendo um mapeamento de sua dinâmica e cinemática, estabelecendo a relação entre seus eixos e determinando o quanto precisa movimentar em que sentido cada uma de suas junções, conforme representado na figura 3.

Esse mapeamento é possível através da representação de cada seguimento articulado em relação a um sistema de coordenadas, permitindo o levantamento da relação entre eles (CRAIG, 2005). Inicia-se pelo conceito de representação de um ponto em um sistema de coordenadas, verificando que a representação em um plano cartesiano é possível com a referência das distâncias nos respectivos eixos "X", "Y" e "Z" conforme ilustrado na figura 4.

A programação de robôs é realizada pela gravação da localização de pontos que eles devem percorrer durante a sua trajetória em relação a um sistema de coordenadas. Normalmente ele é escolhido de acordo com o tipo de robô e aplicação. Além dessas

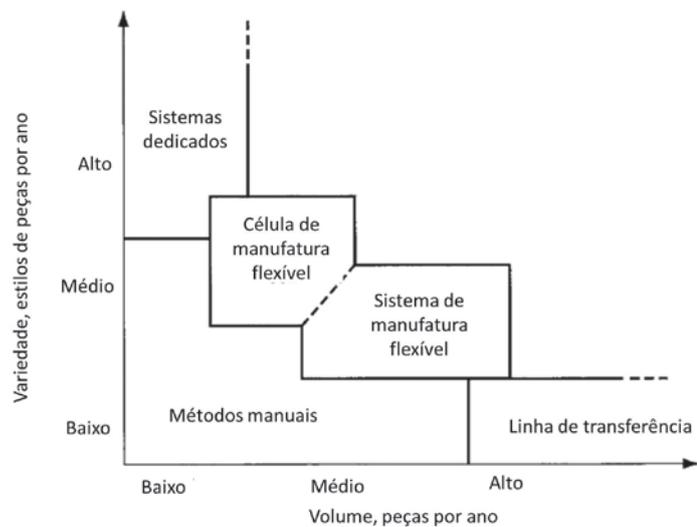


Figura 2 - Sistema Flexível contra outros Métodos de Automação. Fonte: GROOVER, 2010

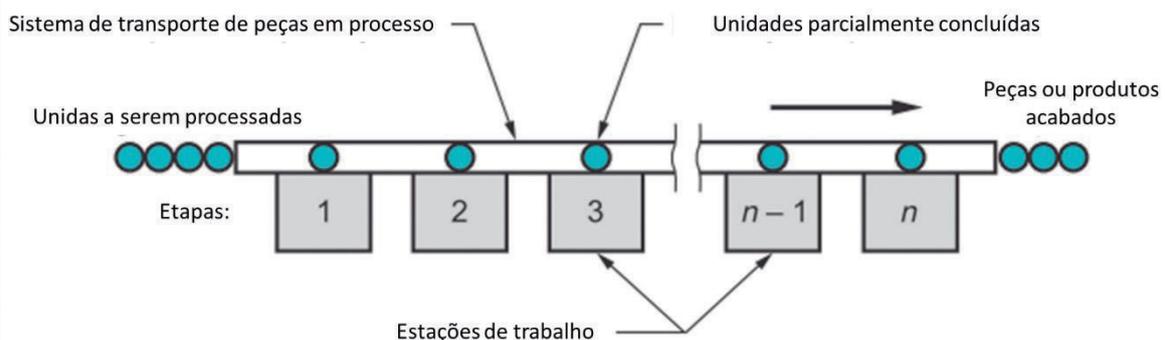


Figura 1 - Representação de Linha de Produção. Fonte: GROOVER, 2010

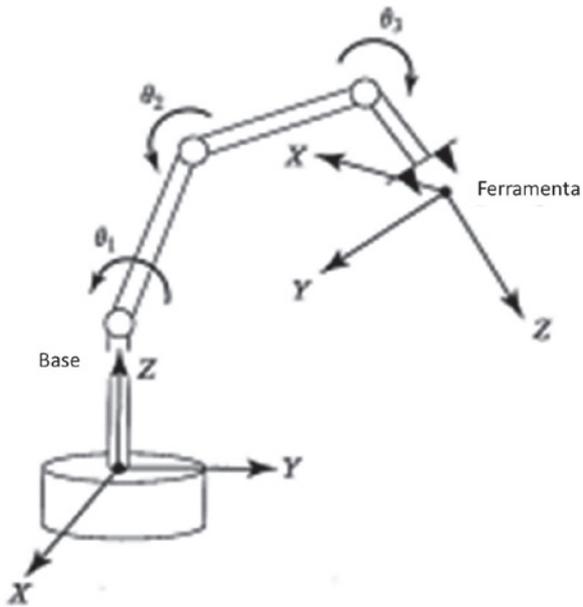


Figura 3 - Cinemática entre Junções de um Robô. Fonte: CRAIG, 2005

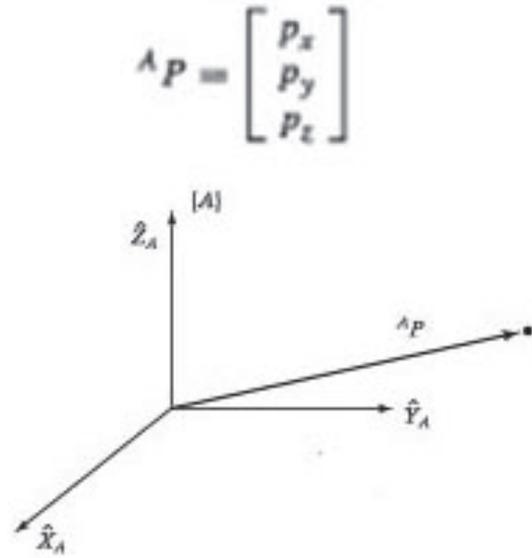


Figura 4 - Descrição de um Ponto em um Plano Cartesiano. Fonte: CRAIG, 2005

posições por onde o robô deve passar, descreve-se também com qual velocidade e qual o tipo de trabalho ele deve realizar com o efetuator.

Apesar de serem desenvolvidos para aplicação em automação flexível, os robôs podem ter características construtivas específicas conforme as necessidades de processo, influenciando nos graus de liberdade e na forma de movimentação. As configurações básicas disponíveis no mercado são o polar, o cilíndrico, o cartesiano, o braço articulado e o SCARA (*Selectively Compliant Assembly Robot Arm*), conforme figura 5.

Os eixos desses equipamentos são controlados por servo acionamento, que é um conjunto formado por dois equipamentos principais: o servo motor e o servo conversor. Esse conjunto possui a capacidade de seguir fielmente a referência, que pode ser velocidade, torque ou posição com boa repetitividade (STEPHAN, 2004).

Além de robôs, outros elementos são necessários para permitir a formação de uma célula de manufatura. Para determinar posicionamento, por exemplo, normalmente utilizam-se sensores de proximidade que são componentes eletrônicos capazes de detectar a aproximação de um objeto sem a necessidade de contato físico entre sensor e o acionador, dessa forma, aumentando a vida útil do sensor por não possuir peças móveis sujeitas a desgastes mecânicos. Eles também não

necessitam de energia mecânica para operar e são imunes a vibração e choques mecânicos (LIMA, 2008).

Para integrar esses elementos utilizam-se controladores lógico programáveis (CLP), de forma a facilitar a edição das lógicas de comando. O primeiro conceito desses dispositivos foi inventado por Dick Morley em 1968, buscando atender as especificações de um grupo de engenheiros da GM® (*General Motors*®). Elas estabeleciam que o controlador deveria ser de fácil programação e reprogramação, preferencialmente na planta, de fácil manutenção, confiável em ambiente fabril, menor que o sistema equivalente feito com relés e com custo competitivo (MIAZAKI, 2010).

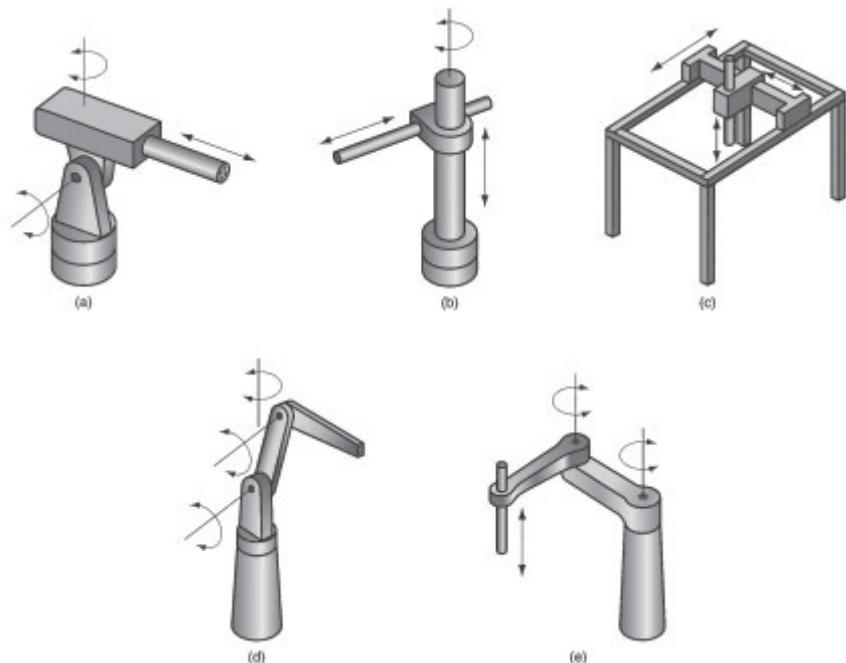


Figura 5 - Tipos de Robôs: (a) o polar, (b) cilíndrico, (c) cartesiano, (d) braço articulado e (e) SCARA. Fonte: GROOVER, 2010

O funcionamento desse dispositivo baseia-se numa varredura do barramento de entrada, execução da lógica programada, considerando a leitura do barramento de entrada e as condições do barramento de saída, atualizado esse último com o resultado da execução da lógica, iniciando-se uma nova varredura. O barramento de saída é responsável pelo acionamento do efetuador que controla o dispositivo que executará o trabalho final (MIAZAKI, 2010). Com o emprego desses CLP é possível integrar sistemas de transporte, identificação, sensoriamento e robôs para a formação de uma célula de manufatura flexível.

4 SISTEMA DE VEDAÇÃO E PROTEÇÃO CONTRA BATIDA DE PEDRA ORIGINAL

Devido aos diferentes requisitos das etapas produtivas de uma montadora de automóveis elas são executadas em áreas distintas, sendo normalmente divididas em: estamparia, funilaria, pintura e montagem. No prédio de pintura, além do processo decorativo podem ser realizadas outras etapas intermediárias destinadas à proteção contra corrosão, vedação, proteção contra batida de pedras e ornamentação, similar ao ilustrado na figura 6 (GOLDSCHMIDT, 2009).

Dos processos executados nessa área, o de vedação contra entrada de água, pó e cheiros na carroceria e o de proteção contra batida de pedra no assoalho das unidades utilizam materiais que além de requererem secagem, precisam ser aplicados entre duas etapas de pintura específicas: após a proteção contra corrosão e antes da aplicação do fundo nivelador, permitindo que a cura deles seja realizada em conjunto com esse material, compartilhando da mesma estufa.

4.1 Descrição das células automáticas antigas

As etapas em estudo do processo de pintura de carrocerias iniciam-se pela vedação de assoalho e a sua respectiva estação de verificação e reparo, que precedem a estação de proteção contra batida de pedra. Essas duas atividades são realizadas com a carroceria suspensa em um gancho aéreo, sendo que a unidade vai para a estação de vedação de interiores após ser transferida do gancho aéreo para um convencional.

A sequência de passos da célula é gerida por três controladores diferentes: o do sistema de transporte, o da célula e o do robô. O fluxo é similar para as três estações, sendo apresentado na figura 7.

O ciclo de operação dessas células tem início na identificação da unidade, essa informação é obtida por um leitor de código de barras, identificando o número do gancho de transporte. De posse dessa informação, o CLP de transporte acessa um banco de dados buscando as características da carroceria em questão. Esse banco de dados foi carregado quando a carroceria entrou no processo de pintura e passou por um leitor de código de barras, vinculando as informações do código de barras ao número do gancho de transporte da unidade.

Então, o controlador de transporte envia as especificações da carroceria (como modelo e opcionais) para o CLP da célula. Esse, de posse das características da unidade, verifica a disponibilidade da célula e libera a entrada caso esteja apta para iniciar um novo processo. Com essa liberação, o CLP do transportador inicia a transferência da unidade, parando-a quando o sensor de carroceria em posição é acionado e fechando o centrador. Ao receber o sinal de carroceria em posição e de que o centrador está fechado, o controlador da

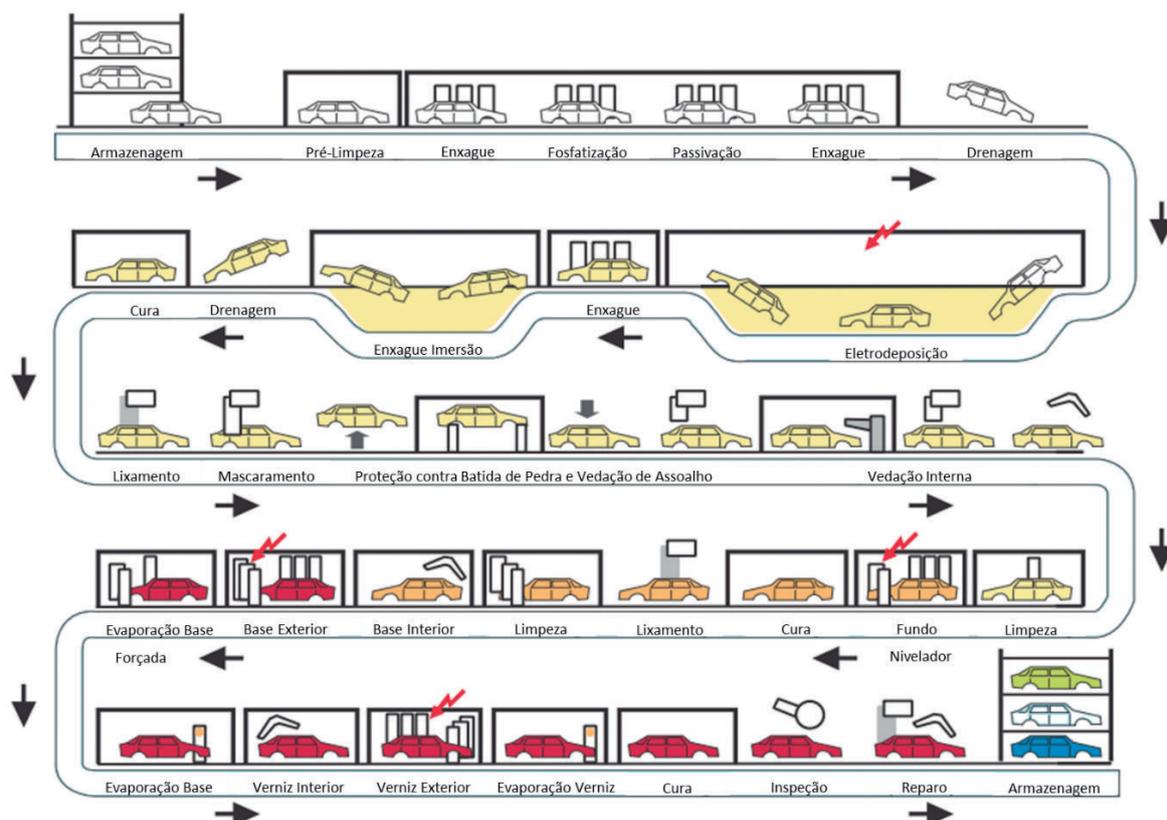


Figura 6 - Processos Realizados na Área de Pintura. Fonte: GOLDSCHMIDT, 2009

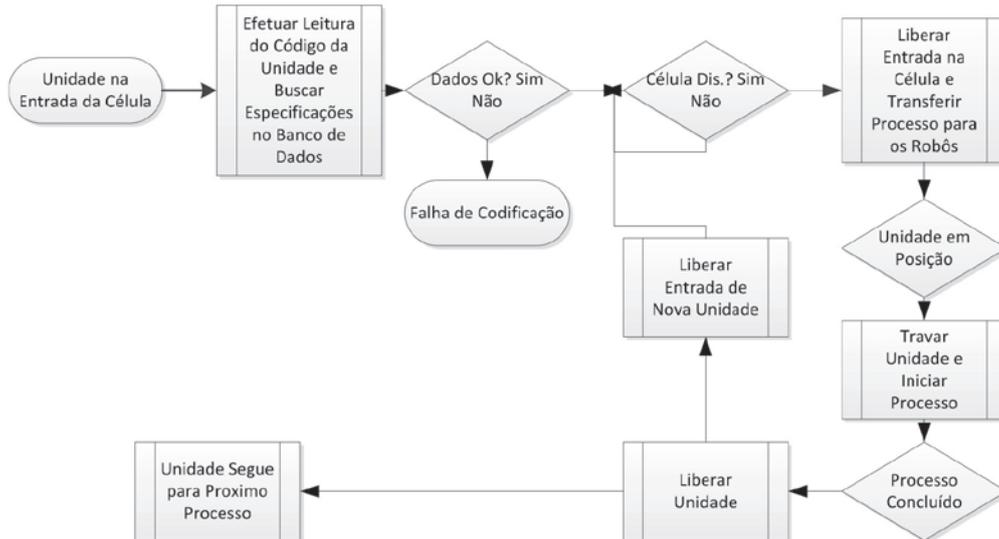


Figura 7 - Fluxo de Operação das Células

célula cruza as especificações da carroceria com uma planilha de referência, identificando a qual código de trabalho será enviado para as unidades centrais de processamento dos robôs (CPU). Essas unidades buscam em sua memória qual programa deve ser executado em função do código recebido.

O primeiro processo a ser executado é a verificação da posição da carroceria pelo sistema de visão (solução adotada para minimizar os problemas de localização). A topologia do sistema de visão dessa célula era centralizado e utilizava um dos dois robôs como mestre para efetuar o processamento e identificação da posição dos alvos da carroceria dentro da célula, estabelecendo o plano de referência para ela e verificando o quanto está deslocado em relação ao zero da célula. Assim, esse controlador efetua cálculo da matriz de transformação para corrigir a posição dos pontos da trajetória dos robôs.

As estações eram compostas por robôs *Joint-Linked Fanuc®* com capacidade de suportar uma ferramenta de até 16 kg, sendo que a de vedação de interiores tinha dois robôs M16iL® com braço alongado, montados sobre trilhos e equipados com um bico de filete sem assistência de ar comprimido, conforme a figura 8(a). Já a célula de proteção contra batida de pedra utilizava três robôs M16i® com braço padrão fixos em pedestais e equipados com duas pistolas de borrifação sem assistência de ar comprimido, posicionadas com 45° de defasagem entre elas de forma a minimizar a movimentação, apresentando uma abertura em torno de 200 mm de leque e com distância de aplicação (entre a ponta da pistola e a superfície que receberá o material) de 250 mm, figura 8(b). Por fim, a estação de vedação de interiores tinha três robôs S500® com braço alongado e equipados com um bico de filete sem assistência de ar comprimido, conforme a figura 8(c).

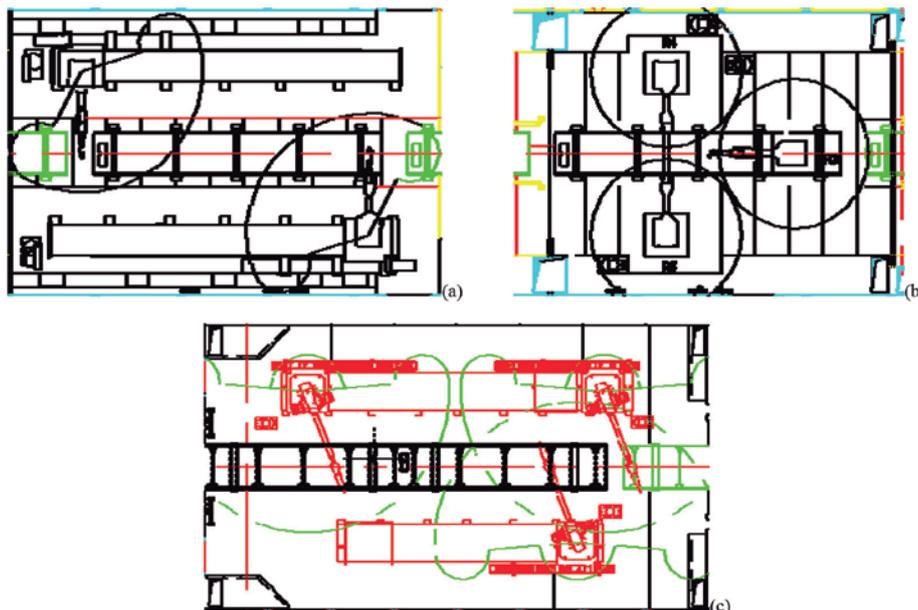


Figura 8 - Células: (a) Vedação de Assoalho, (b) Proteção contra Batida de Pedras e (c) Vedação de Interiores

4.2 Análise das restrições das células antigas

Para determinar os fatores que limitavam a capacidade de produção das estações automáticas foram levantados os tempos demandados para cada um dos subprocessos do sistema, desde a identificação da carroceria até a conclusão do processo de vedação, apresentados na tabela 1.

Esses tempos de ciclo foram medidos considerando uma quantidade de 18m lineares de vedação de assoalho, 4m² de cobertura para proteção contra batida de pedra e 14m lineares de vedação de interior seguindo as necessidades do produto atual. Além disso, o cálculo da capacidade líquida foi baseado em dados históricos de tempo para reparo e demais intervenções nessas células que representavam uma perda de 10%.

O método de aplicação de massa de vedação instalados nos robôs era o de filete sem assistência de ar, permitindo a extrusão do material com secção de meia elipse de diâmetro máximo de 10 mm (após colisão do material com a junção a ser calafetada), com consumo padrão de 0,04772 litros por metro linear e utilizando um sistema de bombeamento comum entre a linha de vedação manual e automática. Com esse tipo de padrão de aplicação, a área coberta é muito pequena para garantir a vedação e requeria acabamento manual que se trata de espalhar o material sobre a junção, pressionando-o contra a carroceria garantindo a calafetação. Essa atividade requer que o operador fique com o braço elevado acima da altura do ombro, sendo o comprimento total de filetes que necessitavam de acabamento manual por unidade era de 10030 milímetros, que representavam 177 segundos de operação.

5 RENOVAÇÃO DO SISTEMA DE VEDAÇÃO E PROTEÇÃO CONTRA BATIDA DE PEDRA

As metas do projeto são: elevar a produção de 53 para 63 carrocerias por hora (aumento de 120 mil unidades por ano), acrescentando-se 10% para compensar as paradas de manutenção tem-se 70 unidades por hora brutas. Quanto a flexibilidade o projeto requer a introdução de dois novos modelos, que somados aos 3 atuais totalizam 5. Já no que se refere à ergonomia almeja-se minimizar e preferencialmente eliminar a necessidade de pincelamento das vedações. Por fim, tem-se como meta reduzir o consumo de material.

Em termos de conteúdo os dois novos veículos possuem como especificação de produto 24m lineares de calafetação de assoalho, 4m² de aplicação de PVC contra batida de pedra e 18m lineares de calafetação interna. Com base nesse escopo de projeto e das limitações das células buscou-se nas tecnologias disponíveis no

mercado soluções viáveis para modificar as células e atender os requisitos desse projeto.

5.1 Soluções para as restrições das células

Considerando-se a necessidade de aumento de velocidade com maior conteúdo fez-se uma análise das possíveis soluções para cada etapa de processo, iniciando pelo tempo de transporte que já em comboio representa 12 segundos considerando que o comprimento do gancho de transporte de 4,5m e o espaçamento entre eles de 0,5m esse tempo de ciclo representa uma velocidade de 25 metros por minuto. Essa velocidade linear é classificada como alta para os padrões de segurança conforme (GCS-1-30327), dessa forma, a velocidade linear de transporte das unidades não poderia ser aumentada. Além disso, ela é a menor parcela de tempo de ciclo dentro dos subprocessos das células.

Partindo-se para o próximo item, o sistema de visão demandava 20 segundos para efetuar o reconhecimento das unidades e determinação da matriz de correção de trajetória. Somente depois dessa etapa que se inicia de fato o trabalho dos robôs e atualmente existem sistemas de visão 2D com tempo de ciclo inferior a 2s. Por isso esse critério foi incluído como requisito no memorial descritivo, aceitando-se tanto a opção integrada ao controlador de um dos robôs como a de gabinete específico desde que atendessem a essa especificação.

Assumindo a implementação dessas modificações para minimizar o tempo de ciclo dessas etapas de processo, foi analisado o tempo para a aplicação dos materiais. Considerando a velocidade bruta de 70 unidades por hora que equivale a 51 segundos de tempo de ciclo para a célula, sendo 12 destinados ao transportador e 2 destinados ao sistema de visão, restam 37 segundos para o processo de aplicação.

Esses critérios de tempo de ciclo para o sistema de visão e para o processo fizeram parte da especificação do memorial descritivo, assim como os requisitos de movimentação dos robôs, conforme norma (GTR 34885-H). Nela é recomendado 500 mm/s como velocidade máxima para deslocamento dos robôs, largura de filete de 25 a 30 mm com altura de 2,5 a 3mm para vedação e largura de borrifação de 200 mm com altura de 0,3 a 0,5 mm para proteção contra batida de pedras. Também foi realizada uma análise de processo, que se assemelha a programação virtual da aplicação, para verificar se os robôs propostos conseguem atingir os pontos de aplicação e efetua-la dentro do tempo previsto, caso contrário é adicionado mais um robô ou proposto outro modelo, conforme resultado da análise de alcance. Essa simulação é ilustrada pela figura 9.

Com base nos resultados dessa simulação,

chegou-se a necessidade de quatro robôs para a estação de vedação de assoalho sobre trilhos para permitir o alcance nos pontos de aplicação, 4 robôs para a célula de PVC em pedestal e 6 robôs para a estação de calafetação interna.

Tabela 1 - Tempos de Ciclo

Processo	Célula 1	Célula 2	Célula 3
Transportador	12 s	12 s	12 s
Sistema de Visão	20 s	20 s	20 s
Processo	33 s	31 s	33 s
Total	65 s	63 s	65 s
Capacidade Bruta	55 carros/hora	57 carros/hora	55 carros/hora
Capacidade Líquida (-10%)	49,5 carros/hora	51,3 carros/hora	49,5 carros/hora

Analisou-se a possibilidade de reuso das células existentes com as respectivas modificações para atender o projeto. Todavia os controladores antigos não eram capazes de se comunicarem com os sistemas de visão rápidos e não comportavam a adição de dois novos modelos, sendo necessário atualizar as unidades centrais de processamento (CPU) dos robôs. Essa opção foi adicionada no processo de compras, porém, o único concorrente para ela era o fornecedor original das células antigas.

Já no que se refere à ergonomia, as estações que apresentavam impactos eram as de vedação devido a necessidade de acabamento manual. A escolha do método de aplicação foi baseada na comparação de robustez para cobrir furos e fendas, de forma a minimizar a necessidade de intervenção. O método de filete fino foi o que apresentou melhor desempenho. Além disso, devido às posições das junções do assoalho e do interior, foi necessário a utilização de um aplicador com mais um grau de liberdade, introduzindo mais um eixo na movimentação dos robôs. Com esse recurso foi possível obter a margem de tolerância conforme mostrado na figura 10.

Para permitir o ajuste de viscosidade do material destinado aos robôs sem influenciar as estações manuais, foi incluída nas especificações a instalação de um sistema bombeamento específico para os robôs. Além dessa medida, fez-se uma análise do método de controle de vazão e o mais economicamente viável foi o de medição de fluxo, com monitoramento de pressão e correção de variações de viscosidade pela medição da temperatura do material de aplicação.

5.2 Implementação

Com a definição das modificações necessárias para aumentar as capacidades das células, a conclusão de que os controladores antigos não comportariam os programas dos cinco modelos necessários e do melhor método de aplicação para minimizar a necessidade de acabamento manual e consumo de material, foi possível traçar duas opções: reforma ou troca por células novas. De forma a incluir outros fornecedores na concorrência, foi considerado no processo de compra a opção de células novas, para as quais mais fornecedores se habilitaram. Essa foi a opção mais viável, sendo que o para troca das células antigas por novas foi melhor do que o da opção de reforma.

5.3 Novas células automáticas

As novas estações utilizam robôs *Joint-Linked Dürr*® com capacidade de suportar uma ferramenta de até 16 kg, sendo que a de vedação de assoalho emprega quatro robôs EcoRS16-2® com braço

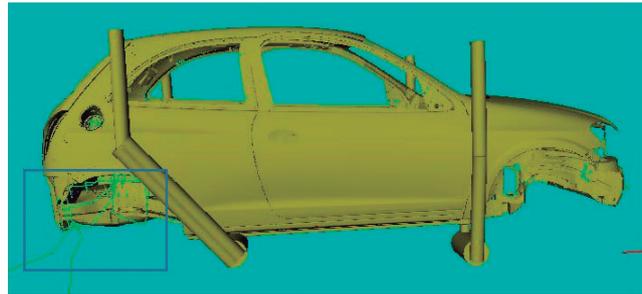


Figura 9 - Análise de Processo (trajetória programada virtualmente)

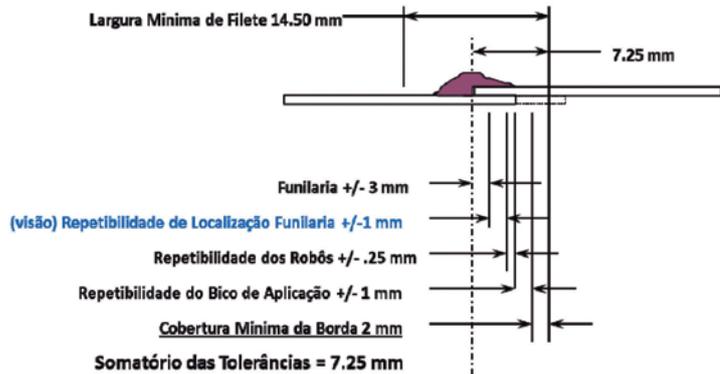


Figura 10 - Tolerâncias Dimensionais

padrão montados sobre trilhos e equipados com uma pistola multifuncional de filete fino, com aplicadores em três diferentes ângulos e mais um eixo adicional, conforme a figura 11(a). Já a célula de proteção contra batida de pedra utiliza quatro robôs EcoRS16-2® com braço padrão fixos em pedestais e equipados com uma pistola de borrifação sem assistência de ar comprimido, apresentando uma abertura em torno de 200 mm de leque e com distância de aplicação (entre a ponta da pistola e a superfície que receberá o material) de 250 mm, figura 11(b). Por fim, a estação de vedação de interiores tinha seis robôs EcoRS30 L16-2® com braço alongado e equipados similar ao recurso disponível na célula de calafetação de assoalho, conforme a figura 11(c).

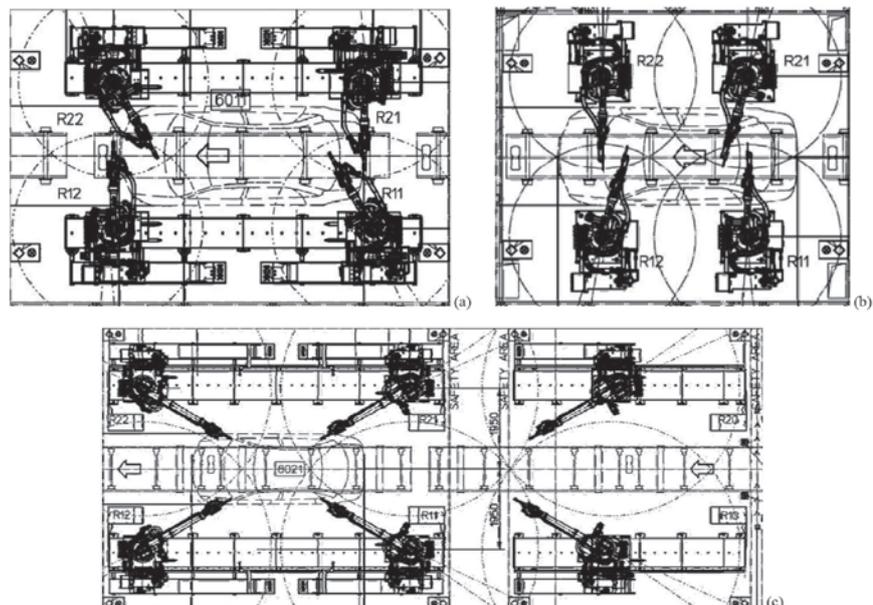


Figura 11 - Novas Células: (a) Vedação de Assoalho, (b) Proteção contra Batida de Pedras e (c) Vedação de Interiores

6 Resultados e Análise

Os resultados obtidos com a implementação das modificações podem ser apresentados divididos em capacidade, flexibilidade, ergonomia e consumo. A tabela 2 mostra os volumes de produção que as células ficaram habilitadas em comparação com os valores originais.

Tabela 2 – Resultados de Capacidade

Célula	Valores Originais		Pós Implementação	
	Tempo (s)	Carros/h	Tempo (s)	Carros/h
#1 - Vedação de Assoalho	65	53	51	70
#2 - Proteção contra Batida de Pedra	63	57	44	81
#3 - Vedação Interna	65	55	48	75

Além desses resultados de capacidade, flexibilizou-se as células adicionando-se dois novos modelos. Assim as células ficaram habilitadas para produzirem até cinco tipos de veículos diferentes (três já existentes na planta e os dois adicionais).

Quanto à análise ergonômica das novas células, foi possível reduzir o conteúdo de operação manual em 70% nas estações de acabamento de vedação, conforme apresentado na figura 12.

Como último objetivo tinha-se a redução de consumo de material nas células de vedação, tendo-se empregado o método de aplicação de filete fino com sistema de bombeamento específico para as células automáticas (permitindo ajustar a viscosidade de acordo com o desempenho dos robôs sem impactos na nas estações manuais). Reduziu-se o consumo padrão de 0,04772 litros por metro linear para 0,04390 litros por metro linear.

7 Conclusão e Perspectivas

Confrontando os resultados discutidos no item anterior com os objetivos do projeto, conclui-se que em termos de aumento de capacidade os objetivos foram atingidos com o aumento de mais de 30% no número de carros por hora, além de implementar a flexibilização introduzindo mais dois modelos na planta.

Já no que se refere à ergonomia, foi possível reduzir a exposição dos operadores a condições de

postura inadequada em 70%, além de obter 8% de redução no consumo de material para vedação.

Considerando esses dois últimos objetivos existe a possibilidade de melhorar ainda mais os resultados, focando no ajuste do perfil do filete aplicado utilizando um sistema de controle de vazão direta, como os servos dispensadores integrados.

Por fim, nesse estudo de caso foi evidenciado que a concorrência influencia nos custos de automação sendo que para a aplicação desse trabalho foi mais vantajoso a contratação de novas células (com concorrência) do que

reformular as antigas (de fonte única).

REFERÊNCIAS

- CRAIG, John J. *Introduction to Robotics: Mechanics and Control*. 3. Ed. Estados Unidos: Prentice Hall, 2005.
- ERGONOMIA - MOVIMENTAÇÃO MANUAL – PARTE 3, **ABNT/CEE-136**: Manipulação de Cargas Leve sem Alta Frequência de Repetição, Brasil, 2013.
- GOLDSCHMIDT, Artur. **BASF Handbook on Basics of Coating Technology**. 2. Ed. Alemanha: BASF, 2007.
- GROOVER, Michael P. **Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems**. 4. ed. Estados Unidos: Wiley, 2010.
- LIMA, Hudson Legnar. “**Sensores Indutivos**”. Departamento de Engenharia Elétrica, UFRN, Rio Grande do Norte, Brasil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 200129500, 28 novembro 2008.
- MIAZAKI, Alison Akio Paulo. **CLP - Controladores Lógico Programáveis**. São Paulo, Brasil, USP, PCS2038, 2010.
- NORMA GLOBAL DE TRANSPORTADORES GM, **GCS-1-30327**: Transportadores de “Skids”, Detroit – Estados Unidos: GM, 2012.

QUINTELLA, Heitor M. *Automação da Produção e Mudança Organizacional: Modelos de Análise e o Caso Brasil*. ENGEP, Brasil, ART469, 1998.

REQUISITO TÉCNICO GLOBAL GM, **GTR 34885-H**: Robôs para Aplicação de Massa de Vedação e Líquido para Abatimento de Ruído - Equipamentos Elétricos e Programas - Sistema de Visão, Detroit – Estados Unidos: GM, 2011.

STEPHAN, Richard M. **Guia de Aplicação de Servo Acionamentos**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2004.

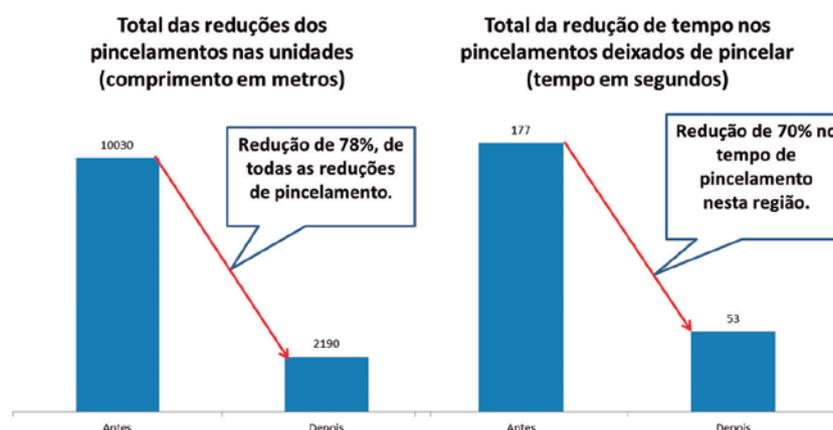


Figura 12 - Redução de Pincelamento Interno