

Robótica Aplicada às Melhorias das Tarefas de Eletricistas

Ronaldo A. Roncolato, Newton W. Romanelli, André Hirakawa, Oswaldo Horikawa, Victor Sverzuti e Ivo P. Lopes

Resumo – Com base na análise ergonômica das principais atividades relacionadas à manutenção de redes de distribuição de energia elétrica, a Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL) e a Universidade de São Paulo (USP) iniciaram um projeto sobre a aplicação de tecnologias e conhecimentos em Mecatrônica e em Robótica para melhorias na atividade de manutenção, estabelecendo estratégias de desenvolvimento. Como passos iniciais neste desenvolvimento, dois tipos de dispositivos são propostos e descritos neste trabalho. (a) Um elevador automático controlado por computador associado a uma caminhonete leve, que tem como finalidade auxiliar o eletricista na subida a posições elevadas em substituição a escadas convencionais. (b) Um balanceador de carga para auxiliar o eletricista na execução de poda de vegetação ao redor das redes de distribuição, reduzindo o esforço para sustentar e manipular o equipamento de poda, mantendo os índices de produtividade.

Palavras-chave – elevador, ergonomia, inspeção, redes de distribuição.

I. INTRODUÇÃO

A maioria dos processos de manutenção de redes de distribuição de energia elétrica envolve o uso de equipamentos grandes e pesados, exigindo um longo período de trabalho e uma ampla área de trabalho, impondo uma série de dificuldades no atendimento de chamadas. A maioria das atividades de manutenção ainda é executada através do uso de ferramentas convencionais baseados no esforço físico do eletricista. Além disso, verifica-se em anos recentes um aumento na faixa etária média dos eletricistas. Por exemplo, na CPFL, esta média é entre 40 e 50 anos. Isto é consequência de alterações na legislação trabalhista. Concomitantemente, a legislação está sendo constantemente modernizada de modo a estabelecer normas cada vez mais rigorosas que visam assegurar segurança aos eletricistas. Para melhorar a segurança mantendo o padrão de qualidade e eficiência na exe-

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica regulado pela ANEEL e consta dos Anais do VI Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (VI CITENEL), realizado em Fortaleza/CE, no período de 17 a 19 de agosto de 2011.

R. A. Roncolato e N. W. Romanelli trabalham na Companhia Paulista de Força e Luz, CPFL (e-mails: roncolato@cpfl.com.br; newton@cpfl.com.br).

A. Hirakawa e O. Horikawa trabalham na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP (e-mails: arhiraka@usp.br; ohorikaw@usp.br).

V. Sverzuti e I. P. Lopes são alunos do Programa de Mestrado em Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da USP (e-mails: victor.cpfl.pd@gmail.com; ivo.cpfl@gmail.com).

cução das tarefas de manutenção, as companhias de eletricidade vêm dispendendo grande esforço na padronização: de estruturas das linhas de distribuição, dos elementos utilizados nas estruturas, dos procedimentos de manutenção e das ferramentas a serem empregadas.

Com o avanço da Mecatrônica e da Robótica, muitas companhias de eletricidade ao redor do mundo têm dedicado esforços visando à automação da manutenção. Neste sentido, um exemplo representativo é o robô desenvolvido pela Kyushu Electric Power Company (KEPCO, Japão) em conjunto com a empresa Yaskawa Electric Co. (Japão) [1]. Este robô é destinado à manutenção de redes de distribuição energizadas. Entre outras características, o robô é equipado com funções de controle cooperativo, reconhecimento de ambiente e outras funções avançadas. O robô consiste de um braço manipulador com 7 graus de liberdade com ferramentas intercambiáveis. O eletricista se posiciona dentro de um cesto isolado, e deste local controla os braços através de um joystick. Todo o equipamento é instalado na ponta de um guindaste, e conduzido até a altura das redes de distribuição. Além deste robô, outras companhias japonesas de eletricidade desenvolveram seus próprios manipuladores. Entretanto, a experiência destas companhias mostrou que a introdução de equipamentos de elevado nível de automação afeta a eficiência na execução da manutenção. Apesar do fácil acesso às tecnologias de automação, em países como os EUA e Japão, a maioria das tarefas de manutenção ainda são realizadas por eletricistas com o auxílio de varas isoladas de manobra, escadas e cestos aéreos. Estas observações destacam a importância da correta definição do nível de automação a ser introduzido na tarefa de manutenção.

A estratégia adotada pela CPFL e a USP consiste em: i) com base em um estudo ergonômico, identificar as atividades de maior risco e que exigem maiores esforços físicos para o eletricista e, ii) para cada atividade escolhida, desenvolver ferramentas que auxiliam o eletricista, definindo um nível adequado de automação. A meta final não é a redução no número de eletricistas, mas sim, atingir melhorias efetivas na segurança dos eletricistas assegurando uma eficiência de trabalho igual o superior ao atual, com redução de esforços físicos.

II. ESTUDO ERGONÔMICO

Um estudo de Ergonomia detalhado foi realizado com relação às atividades de manutenção na CPFL. Como resultado, uma série de tarefas foi apontada como aquelas que oferecem maiores níveis de risco e esforços físicos para os eletricistas. São por exemplo, atividades envolvendo o manu-

seio, transporte e escalada de escada convencional em madeira ou em fibra de vidro e a atividade de poda de vegetação com o uso de serras hidráulicas.

A poda de vegetação é realizada usando-se um cesto aéreo unitário ou duplo. No caso de cesto duplo, dois eletricitistas se posicionam. Mantendo uma distância segura da rede elétrica, os eletricitistas se deslocam até a melhor posição para a poda. A figura 1 mostra uma foto desta atividade em execução. A poda é realizada com o uso de uma serra hidráulica com aproximadamente 2 m de comprimento e 7 kg de peso. Um dos eletricitistas segura o galho a ser podado e o parceiro realiza o corte com o uso da serra hidráulica. Embora se busque uma posição adequada, existem galhos que se encontram numa posição muito difícil para os eletricitistas atingirem, exigindo dos mesmos um grande esforço físico em posturas muitas vezes desconfortáveis. Após algumas horas de trabalho, os eletricitistas já se cansam e com isto, aumenta o risco dos eletricitistas cometerem uma falha que pode resultar num acidente.



Figura 1. Poda de vegetação.

Com relação à poda de vegetação, a Ergonomia indicou os seguintes riscos: i) postura curva, ii) braço estendido em posição suspensa (posição estática), iii) coluna flexionada, iv) extensão e elevação dos braços, v) aplicação de força, vi) manutenção de carga e vii) repetição de um mesmo padrão de movimento. Após a análise, esta atividade foi avaliada como sendo uma atividade que apresenta riscos ergonômicos de médios para elevados, sendo portanto uma atividade que oferece grande risco de uma desordem musculo esquelético. Os riscos ergonômicos estão relacionados principalmente aos membros superiores.

Análises similares foram realizadas com relação a outras atividades executadas pelos eletricitistas em posições elevadas com o uso de escadas. O estudo mostrou que o problema na execução de tarefas pelos eletricitistas em posições elevadas, está no manuseio da escada e na posição desconfortável dos pés sobre os degraus da escada. Outro problema verificado foi a inspeção de componentes de um ponto que geralmente é realizado a partir do solo, o que acaba por ser uma atividade de baixa eficiência.

Visando melhorias nas condições de segurança nas atividades acima mencionadas, sem afetar a qualidade e eficiência de execução das tarefas, dois projetos estão em andamento: o primeiro auxilia o eletricitista para o seu trabalho em posi-

ções elevadas, em alturas da ordem de 9m do solo, e o segundo, auxilia o eletricitista a manusear cargas.

III. TRABALHO EM POSIÇÕES ELEVADAS

A partir da análise das tarefas realizadas em posições elevadas é possível distinguir dois tipos de atividades: um que exige a intervenção direta do eletricitista sobre a linha de distribuição e outro, que pode ser realizado pelo eletricitista com o mesmo estando no nível do solo.

A. Elevador Automático

Muitas atividades de manutenção são executadas ao redor da cruzeta em redes de distribuição elétrica e ao redor de lâmpadas de sistemas públicos de iluminação que estão a uma altura entre 7 e 9 m do nível do solo. Uma análise simples mostrou que a incidência de manutenção em torno destes dois componentes é notavelmente elevada. Geralmente os caminhões dotados de cesto aéreo é a solução mais adequada, mas além do elevado custo, existem muitas situações em que o cesto aéreo não pode ser empregado. É o caso, por exemplo, de operação em ruas estreitas, ou ruas com um intenso fluxo de veículos, onde a presença do caminhão com o cesto aéreo pode piorar as condições de tráfego. Assim, o uso combinado de escada e uma caminhonete leve é ainda hoje a melhor solução em muitas atividades de manutenção. Entretanto, a manipulação de escadas com elevado peso (30Kg ou mais) aumenta os riscos ergonômicos além de riscos imediatos de acidente.

Dois protótipos de elevador foram desenvolvidos. A segunda versão, o Elevador II, contem melhorias relacionadas à versatilidade, peso reduzido e segurança. O Elevador II (figura 2) foi desenvolvido focando-se no seu na manutenção de sistema público de iluminação, incluindo a troca de lâmpadas, luminárias e reatores.

As principais especificações do Elevador II são: altura máxima a ser atingida pelo eletricitista, de 9m do nível do solo; inclinação máxima da coluna a partir da vertical, de 15°; rotação da coluna de $\pm 90^\circ$ do eixo longitudinal do veículo e tamanho / peso adequados para a instalação numa caminhonete leve.

O equipamento foi ainda projetado para atender aos seguintes requisitos de mobilidade: a) posicionar a coluna principal na posição vertical de trabalho e recolher para a posição horizontal de transporte; (b) mover a plataforma, onde o eletricitista se posiciona, para cima e para baixo; (c) inclinar a coluna principal em torno de um eixo horizontal; e (d) girar a coluna em torno do eixo vertical. O elemento central do elevador é uma coluna telescópica feita em aço com um comprimento de 5 m (o comprimento da caminhonete) quando totalmente retraído, e 8 m, quando totalmente estendido. Incluindo a altura do piso da caminhonete, o elevador permite atingir uma altura de aproximadamente 9m. Uma plataforma desliza ao longo da coluna içando o eletricitista até o nível da luminária. Os mecanismos aqui empregados incluem: (a) cabos de aço e polias para os movimentos de posicionar e recolher a coluna, (b) cabos de aço e polias para içamento da plataforma, (c) fuso e porca para a inclinação da coluna e (d) uma roda dentada e uma corrente para o giro da coluna. Os movimentos são produzidos por

guinchos elétricos com capacidade para 1,2 toneladas.

De modo a assegurar a segurança das operações e, na medida do possível, uma operação automática, todos os movimentos são monitorados por sensores e controlados por meio de um Controlador Lógico Programável – CLP (figura 4). O comando de operação é enviado ao CLP via rádio a partir de uma unidade de controle remoto. Para segurança, os comandos podem também ser emitidos a partir do painel de controle no nível do solo.

O Elevador II foi testado de modo a validar as suas funcionalidades e especificações. Para tanto foi usada uma carga de 120 kg sobre a plataforma (figura 5).

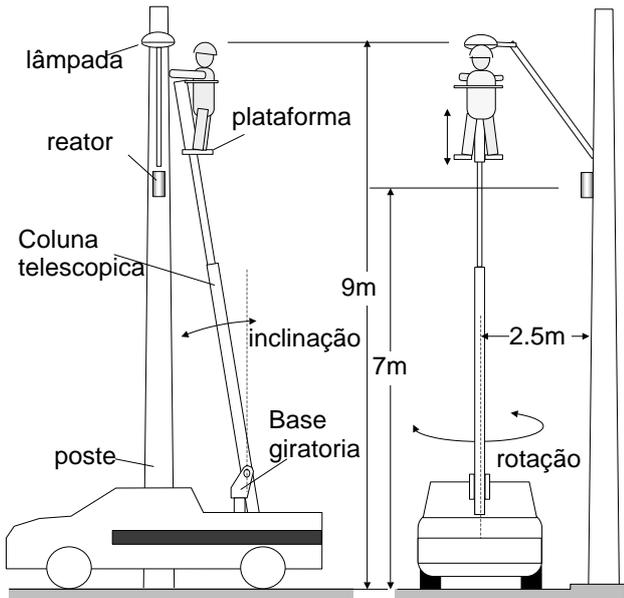


Figura 2. Especificações e operação do Elevador II.

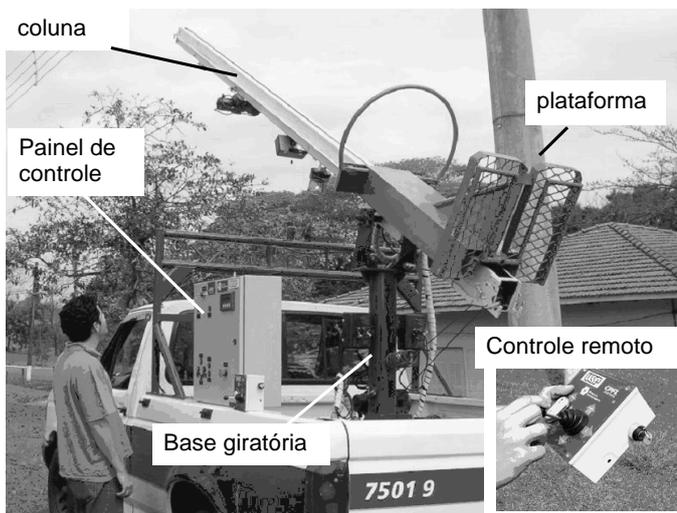


Figura 3. O Elevador II em campo.

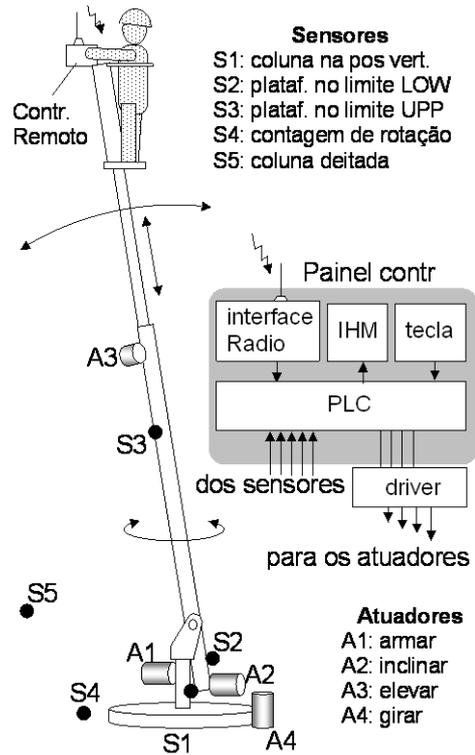


Figura 4. Elevador II- sistema de controle



Figura 5. Protótipo do Elevador II.

Após a conclusão do Elevador II, outro protótipo está sendo construído no momento. O novo equipamento terá as mesmas especificações do Elevador II, mas terá melhorias como maior velocidade e segurança nos movimentos, baixo nível de ruído e redução geral no peso do equipamento. Para aumentar a velocidade e segurança dos movimentos, o novo protótipo, o Elevador III empregará atuadores hidráulicos. Somente um guincho elétrico é mantido para movimento de subida e descida da plataforma. Serão empregados 2 cabos de aço de modo a melhorar a segurança. Os atuadores hidráulicos serão responsáveis pelo movimento de rotação, de posicionamento / recolhimento e inclinação da coluna principal. Isto reduz o ruído e aumenta a velocidade. O Elevador III irá empregar um inclinômetro de dois eixos que medirá a inclinação da rua e, por conseguinte, da coluna principal. Baseado na informação dos sensores, os movimentos da coluna serão monitorados de modo que nunca ultrapasse a inclinação máxima admissível. Além disso, no Elevador III, a maioria dos elementos estruturais serão construídos em alumínio reduzindo assim o peso sobre a caminhonete leve.

O Elevador é uma solução mais interessante que o caminhão com cesto aéreo não somente pelo seu baixo custo, mas também porque permite o uso de caminhonetes leves em vez dos caminhões mais pesados usados para cesto aéreo.

B. Vara de manobra robotizada

O Elevador teve como objetivo conduzir o eletricitista a posições elevadas. Mas existem outros processos em que não é necessário que o eletricitista vá até posições elevadas. É o caso de inspeção de cruzetas de postes. Geralmente, o ele-

tricitista inspeciona a cruzeta do nível do solo usando binóculos. A precisão da inspeção é baixa porque a deterioração da madeira da cruzeta se inicia na parte superior da cruzeta, que não pode ser vista pelo eletricitista que se posta no nível do solo. Visando melhorias nesse procedimento de inspeção, um equipamento é desenvolvido para ajudar o eletricitista a acessar visualmente e a partir do nível do solo, a parte superior das cruzetas. O equipamento deve ser leve o suficiente para ser transportado pelo eletricitista sem o uso de qualquer veículo, deve atingir a altura correspondente à face superior das cruzetas, e transportar uma câmera que captura a imagem da face superior da cruzeta e enviar ao eletricitista no nível do solo.

Neste desenvolvimento, muitos tipos de robôs foram estudados de acordo com o número de juntas: discreto, tipo serpente e os contínuos [2]-[7]. A arquitetura contínua, que inclui os robôs que não possuem juntas discretas nem juntas rotativas identificáveis, é selecionada uma vez que os seus movimentos são baseados em deformações elásticas de sua estrutura, possibilitando o desenvolvimento de um robô leve e compacto.

O robô desenvolvido, denominado de Vara de Manobra Robotizada – VMR, emprega uma coluna telescópica de 3 estágios, capaz de atingir a altura da cruzeta e capaz de transportar uma câmera em sua extremidade. A coluna tem um diâmetro máximo de 60mm. No protótipo, foram utilizados tubos comerciais de PVC para instalações hidráulicas residenciais devido ao reduzido peso, uma elevada precisão dimensional e reduzido custo. A figura 7 mostra o esquema do VMR. Um cabo, que corre através da parte interna da coluna, é usado para estender a coluna até a altura desejada.

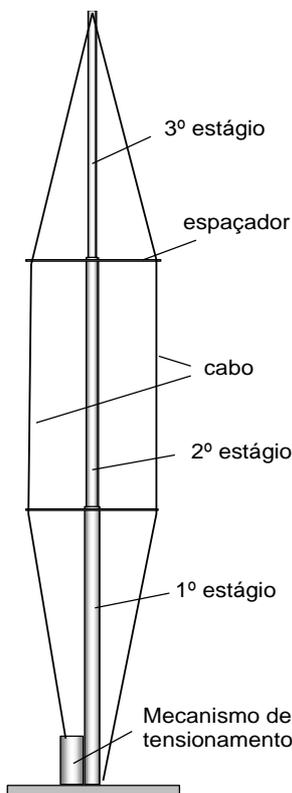


Figura 7. O mecanismo da Vara de Manobra Robótica.

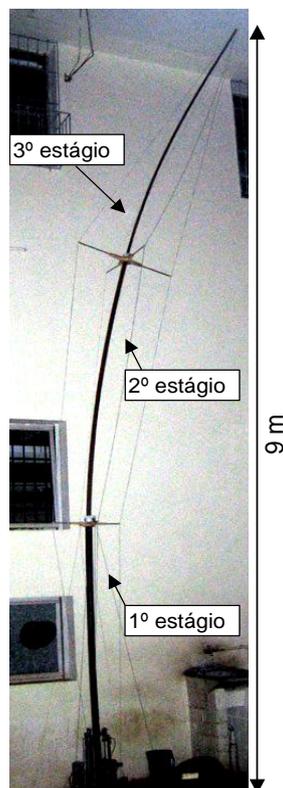


Figura 8. Protótipo

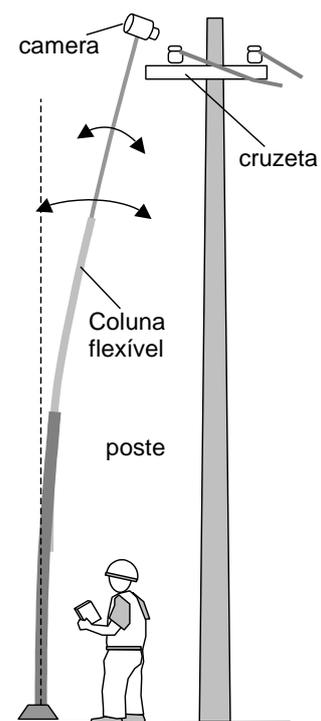


Figura 9. Aplicação

Uma das pontas do cabo é fixada ao terceiro estágio, e a outra ponta, a um guincho. A coluna possui baixa rigidez de flexão. Assim, se a coluna é estendida acima de uma determinada altura, a coluna se flete devido ao peso próprio. Portanto, espaçadores e tirantes são usados para manter a coluna estável nos mesmos moldes de torres atirantadas. Na parte inferior da coluna, são instalados mecanismos de tensionamento dos cabos. Estes tensionadores soltam os cabos quando a coluna é estendida e recolhem os cabos quando a coluna é retraída. Assim que a coluna atinge a altura desejada, o mecanismo de tensionamento traciona o cabo num dos lados da coluna e solta o cabo na posição oposta. Tensionando-se este segundo cabo, a coluna é fletida na direção oposta. Desta forma, o mecanismo de tensionamento faz com que a extremidade da coluna descreva um movimento praticamente linear. Um segundo mecanismo de tensionamento realiza o movimento numa direção ortogonal ao primeiro.

Nos testes com o equipamento (figura 8), a extremidade da coluna atingiu deslocamentos de até 1,5m a uma altura de 9m, apresentando boa repetibilidade numa sequência de movimentos repetidos. Este curso de movimentação é o suficiente para a inspeção de cruzetas. O controle de trajetórias mais complexas constitui tema de futuras etapas do projeto.

A figura 9 mostra uma possível aplicação do VMR. Na figura, uma camera digital é instalada na ponta do dispositivo. A imagem capturada é transmitida via sinal de rádio para um computador de mão nas mãos de um electricista. Movimentando o VMR, a camera é posicionada até que se obtenha uma imagem adequada para a inspeção. O resultado da avaliação das condições da cruzeta, assim como as suas fotos, pode ser armazenado no computador de mão e posteriormente transmitido à central de gerenciamento de manutenção.

IV. MANIPULAÇÃO DE CARGAS

Este conjunto de trabalhos está focado em dispositivos que prestam assistência ao electricista no manuseio de cargas, especificamente, uma serra hidráulica para poda de vegetação. O requisito básico com relação ao dispositivo é a minimização do esforço muscular do electricista para suspender com os braços a serra hidráulica sem afetar a mobilidade durante a atividade de poda. Aqui, duas soluções são estudadas. Uma solução é totalmente mecânica. Esta solução é interessante do ponto de vista de aplicação. A ausência de

qualquer eletrônica, fontes de energia, motor etc, é favorável à robustez do equipamento. A outra solução é um refinamento da primeira solução. Enquanto que na solução mecânica o balanceamento da carga apresenta algumas imprecisões, na solução mecatrônica, tais imprecisões são minimizadas.

A. Balanceador de Serra Hidráulica – Solução Mecânica

Este dispositivo é inspirado no mecanismo de alavanca pivotada que compensa a carga através de um contrapeso. Contudo, o uso de um contrapeso é inconveniente uma vez que o espaço disponível num cesto aéreo é muito limitado. Uma solução seria substituir o contrapeso por uma mola helicoidal. Assim, o desenvolvimento do balanceador foi iniciado considerando o uso de molas helicoidais. Entretanto, a força gerada pela mola via consideravelmente enquanto a alavanca se move, impondo muitas dificuldades no projeto do mecanismo. Desta forma, num segundo passo, a mola helicoidal foi substituída por mola a gás. A mola a gás é um dispositivo disponível comercialmente que consiste de um pistão e um cilindro, contendo gás pressurizado dentro. Embora seja denominada mola, este dispositivo fornece um esforço praticamente constante não importando a posição do pistão. Através da mola a gás, foi possível se chegar a um protótipo com real funcionalidade e aplicabilidade.

A figura 10 mostra o esquema do balanceador montado sobre o cesto aéreo. O balanceador consiste de 4 partes principais.: braço principal, suporte da mola a gás, mecanismo de ajuste da força de contrabalanceamento, braço auxiliar e base. O braço principal é feito em fibra de vidro e tem um comprimento de aproximadamente 1,2m. Este braço possui na extremidade, um gancho sobre o qual a serra é apoiada. O corpo é composto por um tubo de aço pivotado e sobre o qual, o braço principal é fixado. A mola a gás é conectado, de um lado ao braço principal, e do outro lado, ao corpo. Finalmente, a base é montada sobre o cesto aéreo. Assim, o braço principal é capaz de girar em torno do pivo. A mola a gás fornece a força que contrabalança o peso da serra hidráulica apoiada sobre o gancho. O dispositivo é equipado com um mecanismo de ajuste da força de contrabalanceamento, permitindo o manuseio de diferentes cargas. O braço principal pode girar no plano horizontal em torno de um pivo na extremidade do braço auxiliar. O braço auxiliar, por sua vez, pode girar livremente em torno de um apoio na extremidade da base. Estes graus de liberdade rotativos asseguram um amplo volume de trabalho ao balanceador. O braço e a base são feitos em fibra de vidro. As demais partes

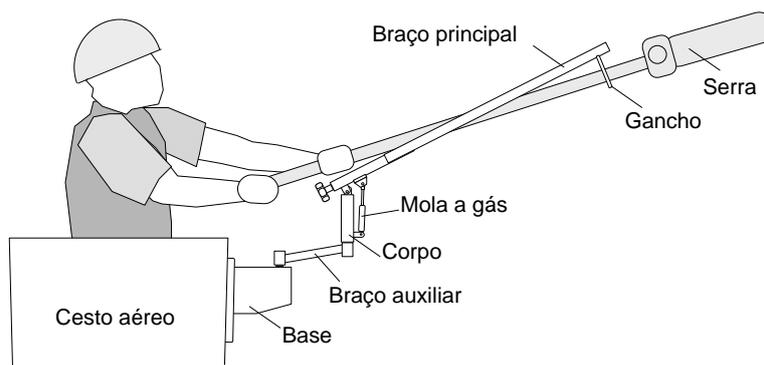


Figura 12. Esquema do Balanceador Automático (BA).

são feitas em aço e posteriormente recobertas por fibra de vidro. Desta forma, o dispositivo é isolado eletricamente evitando acidentes com a linha primária de distribuição.

Algumas unidades do balanceador foram construídas e no momento, estão sendo testadas em campo, em atividades reais de poda de vegetação (figura 11).

B. Balanceador de Serra Hidráulica – Solução Mecatrônica

Devido à simplicidade, a solução mecânica do balanceador apresentou algumas imprecisões no contrabalanceamento do peso da serra hidráulica. Uma solução para minimizar tais imprecisões é por meios mecânicos, mas isto torna o mecanismo muito complexo (ver, por exemplo, a solução mecânica proposta por Hirose [8]). Portanto, partiu-se para uma solução mecatrônica e é introduzido o conceito dos Dispositivos Inteligentes de Assistência (Intelligent Assist Device – IAD) [9]~[10]. A idéia básica do IAD é ajudar o operador humano reduzindo o esforço de manipulação de uma carga. O IAD interfere no movimento somente para a execução de posicionamentos de precisão e evitar a ultrapassagem dos limites do volume de trabalho. O balanceador mecatrônico denominado de Balanceador Automático (BA) é desenvolvido seguindo as idéias do IAD e usando um mecanismo mais simples de modo a assegurar baixo custo.

O BA é baseado no balanceador mecânico. Aqui, as im-

precisões na força de balanceamento foram causadas pela variação no arranjo geométrico entre o braço principal e a mola a gás. Como consequência, a força de balanceamento aplicado pela mola ao braço acaba variando. Um mecanismo acionado por um motor elétrico foi então desenvolvido para ajustar a inclinação da mola a gás, figura 12. Um sensor angular detecta a posição angular do braço principal. Com base na leitura do sensor, um controlador (um microprocessador) aciona o motor elétrico até que a mola a gás atinja uma inclinação adequada que contrabalança a carga de forma perfeita. A inclinação adequada para cada posição de trabalho e medida previamente, antes da operação. Assim, um mapa de erros é obtido e armazenado na memória do controlador. Em lugar deste processo de calibração é ainda possível empregar um modelo matemático do dispositivo. Baseado no modelo, o controlador calcula o mapa de erro correspondente à carga que será aplicada, e que é informada ao controlador através de uma interface homem-máquina. Esta função atribuí ao dispositivo, uma capacidade para se adaptar a diferentes cargas.

O BA foi construído e os testes demonstraram a sua eficácia no balanceamento de carga ao longo de todo espaço de trabalho do braço principal. Além disso, observou-se que o consumo de energia elétrica do BA é extremamente baixo. O tempo de resposta do BA a uma variação na posição de



Figura 11. O Balanceador

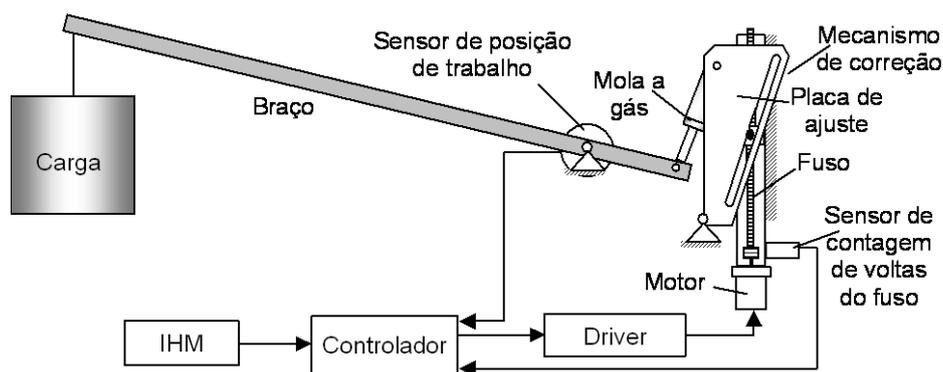


Figura 12. Esquema do Balanceador Automático (BA)

trabalho foi inferior a 10s.

C. Sistema Basculador de Escadas

Para redução de esforços físicos dos eletricitistas no manuseio das escadas de madeira ou fibra de vidro, foi desenvolvido também protótipo de dispositivo mecânico para retirada e colocação manual de escadas nos veículos operacionais (caminhonetes), denominado de basculador de escadas.

Esse dispositivo se trata de um sistema baseado em soluções mecânicas que vêm a facilitar a operação de manuseio das escadas, proporcionando benefícios sob o ponto de vista de saúde e segurança no trabalho.

Em função dos resultados altamente positivos obtidos nas instalações piloto feitas em caminhonetes Hilux da CPFL Paulista, o dispositivo foi padronizado e atualmente todas as novas caminhonetes adquiridas já vem com o basculador instalado, a um custo muito baixo (R\$ 900 por unidade).



Figura 13. Sistema “basculador”- Cotas



Figura 14. Sistema “basculador”- Instalação na lateral da caminhonete



Figura 15. Sistema “basculador”- Instalação na lateral da caminhonete

V. CONCLUSÕES

Baseado numa análise de Ergonomia, duas atividades foram consideradas como sendo de elevado risco em termos de doenças de trabalho: i) trabalho em posições elevadas e ii) manipulação de cargas. O primeiro tipo de atividades é representado pela manutenção com o uso de escadas e o segundo, pela atividade de poda de vegetação. Visando melhorias nas condições de segurança nas atividades mencionadas, sem afetar a qualidade e eficiência do trabalho, o projeto foi conduzido de modo a desenvolver dispositivos que ajudam o eletricitista nas duas atividades. Soluções incluindo elevados níveis de integração e automação foram deliberadamente evitadas. Com relação ao trabalho em posições elevadas, um elevador automático, o Elevador II foi desenvolvido. O Elevador II foi projetado considerando a manutenção de sistemas de iluminação pública além de algumas atividades na rede secundária de distribuição. A solução é mais simples do que os caminhões dotados de cesto aéreo e permite o uso de pequenas caminhonetes, sendo assim adequado para uso em áreas urbanas de intenso tráfego. Ao mesmo tempo, é uma solução mais interessante que uma escada manual sob o ponto de vista a Ergonomia. Também com relação ao trabalho em posições elevadas, um dispositivo de inspeção de cruzetas, foi apresentado a Vara de Manobra Robotizada. Trata-se de um dispositivo que melhora a precisão da inspeção sem a necessidade do eletricitista subir até a altura da cruzeta. A inspeção pode ser feita a partir do nível do solo. Com respeito à manipulação de cargas, foi considerada a atividade de poda de vegetação com o uso de uma serra hidráulica. Aqui se apresentou uma solução puramente mecânica, o Balanceador. A sua função foi a de minimizar o esforço por parte do eletricitista em suspender a serra hidráulica com os braços, sem afetar a sua mobilidade. Também foi apresentado um balanceador macatrônica, o Balanceador Automático-BA que proporciona um balanceamento mais preciso da carga além da possibilidade de adaptação a diferentes cargas. Os trabalhos futuros envolvem melhorias no Elevador e no Balanceador até que se chegue a um produto para produção em massa e aplicação imediata. A Vara de Manobra Robótica é um tema para uma aplicação em prazo mais longo. Após a conclusão destas duas atividades, outras atividades indicadas no estudo de Ergonomia serão consideradas e as respectivas soluções Robóticas, desenvolvidas.

Finalmente foi desenvolvido um protótipo a base de sistemas mecânicos, o basculador de escadas para caminhonetes operacionais, o qual em função dos bons resultados e baixo custo, já está padronizado para todos os novos fornecimentos desse tipo de veículo, podendo ser adaptado também em caminhonetes existentes.

VI. REFERÊNCIAS

- [1] S. Nio and Y. Maruyama, “Remote-operated robotic system for live-line maintenance work”, in *Proc. from ESMO-93 Sixth Int. Conf. on Transmission and Distribution Construction and Live Line Maintenance*, pp. 425-435.
- [2] G. Robinson, J. B. C. Davies, “Continuum Robots - A State of the Art”, *Proc. 1999 IEEE Conf. on Robotics and Automation*, pp.2849-2854.

- [3] G. Chen, "Design modeling and control of a micro-robotic tip for colonoscopy", Phd Thesis, INSA of Lyon, 2005.
- [4] I. D. Walker et al., "Continuum robot arms inspired by cephalopods", *Proc. 2005 SPIE - Unmanned Ground Vehicle Technology VII*, vol. 5804 314, pp.595-596.
- [5] W. Kier and K. Smith, "Tongues, tentacles and trunks; the biomechanics of movement in Muscular Hydrostats", *Zoological J. of the Linnean Society*, vol. 83, pp.307-324, 1985.
- [6] G. S. Chirikjian, "Theory and Applications of Hyperredundant. Robotic Mechanisms", Ph.D. thesis, Dept. of Applied Mechanics, California Inst. of Technology, 1992.
- [7] G. Robinson and J. B. C. Davies, "Continuum Robots - A State of the Art", *Proc. 1999 IEEE Conf. on Robotics and Automation*, pp.2849-2854.
- [8] S. Hirose, T. Ishii and A. Haishi, "Float Arm V: Hyper-Redundant Manipulator with Wire-Driven Weight-Compensation Mechanism", *Proc. 2003 Int. Conf. on Robotics & Automation*, vol. 1, pp 368-373.
- [9] J. Krüger, R. Bernhardt and D. Surdilovic D., "Intelligent Assist System for flexible Assembly", *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 55(1), pp 29-32, 2006.
- [10] M. Peshkin and J. E. Colgate, "Cobot", *Industrial Robot*, 26(5), pp 335-341, 1999.
- [11] K. Kosuge and N. Kazamura, "Control of a Robot Handling an Object in Cooperation with a Human" *Proc. 1997 IEEE Int. Workshop on Robot and Human Communication*, pp. 142-147.
- [12] H. Kazerooni, "Human – Robot Interaction via the Transfer of Power and Information Signals", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 20(2), pp. 450-463, 1990.
- [13] A. Kochan, "A cobotic solution for surgical applications", *Industrial Robot: An Int. J.*, 31(6), pp. 478-480, 2004.
- [14] A. Ohya, "Human Robot Interaction in Mobile Robot Applications" *Proc. 2002 11th IEEE Int. Workshop on Robot and Human Interactive Communication*, pp. 5-10.
- [15] M. V. Damme, F. Daerden and D. Lefeber, "A Pneumatic Manipulator used in Direct Contact with an Operator", *Proc. 2005 Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 4494-4499, 2005.