



XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2008 - 06 a 10 de outubro

Olinda - Pernambuco - Brasil

Robótica Aplicada na Melhoria dos Processos e Equipamentos de Linha de Frente

| Ronaldo A. Roncolatto | Oswaldo Horikawa | André Hirakawa |
|------------------------------|-------------------------|----------------------------|
| CPFL | USP | USP |
| roncolatto@cpfl.com.br | ohorikaw@usp.br | andre.hirakawa@poli.usp.br |

PALAVRAS-CHAVE

Manutenção
Robótica
Segurança

RESUMO

Este trabalho descreve a estratégia adotada pela CPFL com o objetivo de melhorar a produtividade, a eficiência e a segurança dos eletricitistas nas atividades voltadas para as redes de distribuição de energia elétrica. O foco das melhorias considera a aplicação dos conhecimentos e técnicas no campo da Mecatrônica e Robótica. Com tal propósito, esse trabalho apresenta o desenvolvimento de dois dispositivos: (a) um elevador automático, instalado em uma caminhonete, que visa ajudar o eletricitista a alcançar alturas elevadas, substituindo as escadas convencionais e (b) um balanceador de peso que auxilia os eletricitistas no processo da poda de árvores que se localizam nas proximidades das linhas de distribuição, reduzindo o esforço físico do eletricitista ao segurar e manipular o equipamento de poda.

1. INTRODUÇÃO

Os processos nas redes de distribuição de energia elétrica são ainda atividades que demandam o uso de uma grande área para sua execução, equipamentos de grande porte, mão de obra especializada e envolve altos custos e riscos. A maioria das atividades faz uso de ferramentas convencionais e requerem longos períodos de trabalho e que envolvem riscos potenciais. Dentre os riscos pode-se citar a queda do eletricitista e o desenvolvimento de lesões por esforço repetitivo ou pela postura desconfortável imposta ao eletricitista ao realizar a operação. Acidentes ou lesões geram altos custos para as empresas de distribuição de energia e as estatísticas mostram que cerca de 95% dos eletricitistas sofreram alguma lesão após trabalhar na manutenção de linhas de distribuição e 65% sofreram algum tipo de acidente [1]. Nos últimos anos, a necessidade de reduzir esse tipo de problema está aumentando, pois a idade média dos eletricitistas está aumentando com o passar dos anos [1]. Isto também é consequência das mudanças na legislação trabalhista, levando os eletricitistas a se aposentar cada vez mais tarde. Outro fator que impulsiona as companhias a melhorar a segurança em suas atividades são as crescentes exigências impostas pelas entidades governamentais.

Este cenário mostra como as melhorias no processo e na segurança são prioritárias tanto quanto outros aspectos relacionados à produtividade ou qualidade dos serviços. Em meio a essa situação, a CPFL -

Companhia Paulista de Força e Luz que atende cerca de 3.400.000 consumidores e a USP - Universidade de São Paulo iniciou um projeto focado na melhoria das atividades realizadas nas redes de distribuição de energia elétrica aplicando a mecatrônica e a tecnologia robótica para aprimorar o processo e a segurança do eletricista nos procedimentos.

Na metodologia adotada, os primeiros passos do projeto foram a realização de uma pesquisa bibliográfica do estado da arte de assuntos similares e as visitas a eventos científicos e feiras internacionais. Em todo o mundo, já foram desenvolvidos diversos equipamentos altamente automatizados – robôs, manipuladores ou veículos - visando à manutenção de linhas de distribuição. Como por exemplo o robô operado remotamente desenvolvido pela Nio et al. [2]. No entanto, a pesquisa e participação em congressos mostraram que, em vez de desenvolver um equipamento altamente automatizado para executar a manutenção, é prioritário para as condições atuais do Brasil o desenvolvimento de equipamentos que auxiliam e dão suporte ao eletricista para executar a atividade de manutenção [3].

Como exemplo das pesquisas realizadas nesse contexto, esse trabalho descreve o desenvolvimento de um sistema elevatório automático para uso dos eletricistas nas atividades de manutenção de redes urbanas de distribuição e também um dispositivo para auxiliar os eletricistas na atividade de poda de árvores.

2. ELEVADOR AUTOMÁTICO - ELEVADOR I

Atualmente, o equipamento mais utilizado para realizar a manutenção das linhas de distribuição é uma escada convencional de madeira instalada em uma caminhonete. As atividades de manutenção realizadas com o auxílio desse equipamento consistem na manutenção do sistema de iluminação pública e os cabos de energia que estão a uma altura de 5~10m do solo. A operação desse equipamento apresenta uma série de riscos: lesões ao eletricista devido à execução repetitiva de retirar e colocar a escada no caminhão; a queda do eletricista da escada entre outros. Para minimizar esses riscos foi desenvolvido um sistema de elevação automático.

O equipamento desenvolvido consiste basicamente de um sistema de elevação acoplado a uma caminhonete, que por meio de motores elétricos eleva o eletricista para locais altos. O primeiro protótipo do elevador possuía apenas dois graus de movimento, sendo que o primeiro executa o deslocamento na vertical, que conduz o eletricista até a altura desejada, e o segundo movimento permite armar o elevador para a posição de trabalho vertical ou desarmar o elevador para a posição de transporte na horizontal, de maneira automática.

A Figura 1 apresenta a estrutura do elevador composta por uma coluna telescópica com dois estágios e uma plataforma. Todos os movimentos são executados por guinchos elétricos com capacidade de 1,2 toneladas, polias e cabos de aços. Todo o sistema é monitorado por sensores de posição e controlado por um Controlador Lógico Programável - CLP. O CLP é responsável por coordenar as seqüências de movimento de cada operação automática, além de monitorar todo o sistema, através dos sinais dos sensores, para garantir a segurança da operação. O eletricista, sobre a plataforma, controla o movimento vertical utilizando o controle remoto.

Alternativamente, os comandos podem ser efetuados por meio dos botões do painel de controle localizado na lateral da caminhonete. A Figura 1 mostra ainda o Elevador I sendo testado com uma carga de 110kg sobre a plataforma. O equipamento é capaz de atingir 9m de altura, atendendo a especificação necessária para a atividade de reparo em lâmpadas de iluminação pública, uma atividade de manutenção muito freqüente executada pelas companhias elétricas (Figura 2).

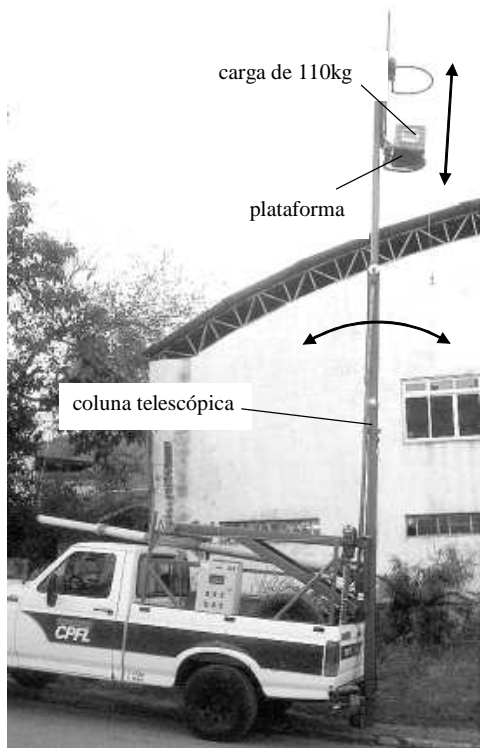


Fig.1 - Primeira versão do elevador automático

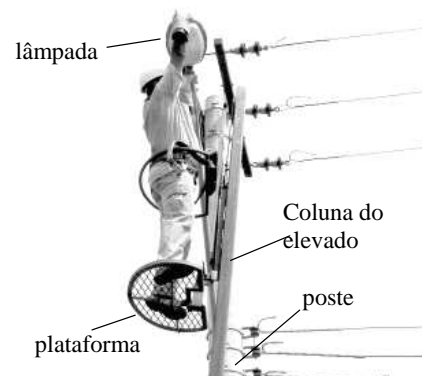


Fig.2. Eletricista alcançando a lâmpada com Elevador I.

3. ELEVADOR AUTOMÁTICO -ELEVADOR II

Uma segunda versão do elevador, Elevador II, foi desenvolvida visando ampliar a área de trabalho, permitindo ao eletricista alcançar mais componentes da linha de distribuição. O Elevador II foi projetado com os seguintes graus de movimento: (a) armar a coluna principal na posição de trabalho vertical ou desarmar para a posição de transporte horizontal; (b) movimentar a plataforma para o local de trabalho do eletricista, para cima e para baixo; (c) inclinar a coluna sobre um eixo horizontal (Fig. 3a); (d) girar a coluna em torno do eixo vertical (Fig. 3b).

Foram impostas ao Elevador II as seguintes especificações: (a) Altura máxima a ser alcançada pelo eletricista de 9m do solo; (b) Inclinação máxima da coluna de 15° a partir de um eixo vertical; (c) Rotação máxima da coluna de $\pm 90^\circ$ do eixo longitudinal da caminhonete e (d) Dimensão e peso adequados para ser instalado em uma caminhonete. As especificações acima foram determinadas respeitando-se as necessidades para a realização da manutenção em lâmpadas de iluminação pública e reatores, como mostra a Figura 3.

O principal componente do Elevador II é a coluna telescópica que tem o comprimento de 5m (comprimento da caminhonete) quando totalmente retraída e pode alcançar um comprimento máximo de 8m quando estendida. A plataforma onde o eletricista se acomoda, desliza ao longo da coluna. Como no Elevador I, guinchos elétricos com capacidade de 1,2 toneladas, cabos de aço e uma série de polias executam toda a movimentação. A coluna foi montada sobre uma base rotativa, permitindo a inclinação como mostra a Fig.3a. A base rotativa permite a rotação da parte superior da estrutura. Quando em posição de trabalho, a coluna se acopla a um fuso que permite um ajuste fino de inclinação da coluna. Um conjunto de correntes e rodas dentadas permite um ajuste fino na rotação horizontal da coluna.

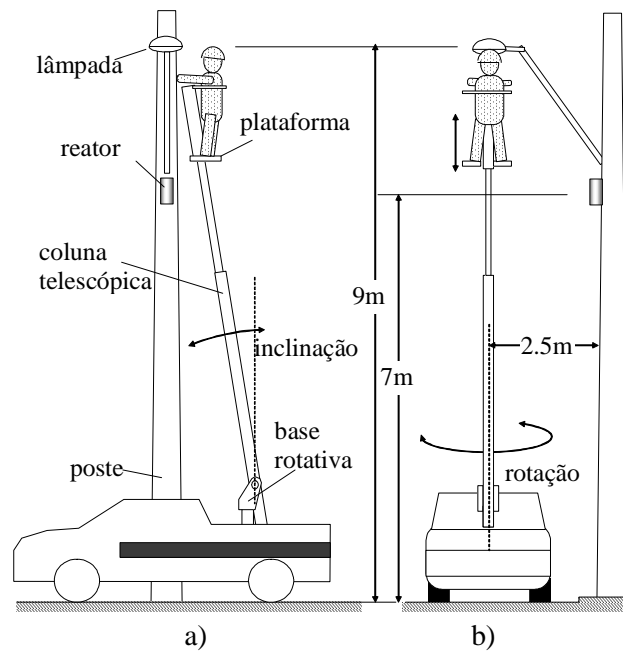


Fig.3. Elevador II

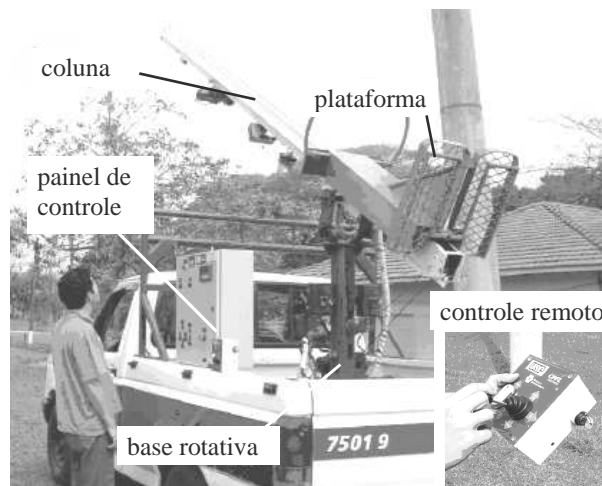


Fig. 4. Protótipo do Elevador II: a coluna se movimentando para a posição de trabalho vertical

Seguindo a mesma arquitetura de controle e estratégia do Elevador I, sensores de posição monitoram todo o sistema e um CLP supervisiona e controla todas as ações do sistema. Os movimentos são monitorados e limitados por sensores. Além dos sensores para definir os limites, também foram instalados limitadores mecânicos para garantir a segurança na operação.

O eletricitista se posiciona na plataforma e pode comandar todos os movimentos do elevador via um controle remoto sem fio. Todos os movimentos também podem ser controlados através de um painel de controle localizado na caminhonete. Caso ocorra alguma situação de emergência, o eletricitista, presente no solo, pode pressionar o botão de emergência para interromper a operação em execução. Quando a rotina de emergência é ativada, todos os motores param, os comandos do controle remoto são ignorados e nenhuma rotina automática é executada e apenas comandos provenientes do painel de controle são permitidos.

Além de permitir tarefas automáticas, como armar a coluna para a posição de trabalho vertical, ou para a posição de transporte horizontal, o CLP é responsável também por monitorar uma série de sinais enviados pelos sensores para garantir a segurança durante a operação do Elevador II.

O Elevador II foi construído e submetido a diversos testes em campo. A Fig. 4 mostra o protótipo com a coluna sendo armada, na sua posição vertical de trabalho. A Fig. 5 mostra uma foto do protótipo sendo testado com uma carga de 120kg. Cordas foram utilizadas para estabilizar o sistema em caso de situações adversas e por motivos de segurança. O elevador foi testado movimentando a plataforma posicionada em todas as situações consideradas críticas. A posição mostrada na Fig.5 é a mais crítica: 90° de rotação (ortogonal ao eixo longitudinal da caminhonete), 15° de inclinação (inclinação máxima) e a plataforma a cerca de 9m do solo (altura máxima). Essa condição excede as condições para as quais o sistema foi projetado e mesmo assim, o elevador se manteve estável e nenhuma deformação anormal ou dano estrutural foi observado. Todas as rotinas automáticas foram testadas, incluindo a rotina de emergência e o sistema operou conforme esperado, atendendo todas as especificações do projeto.

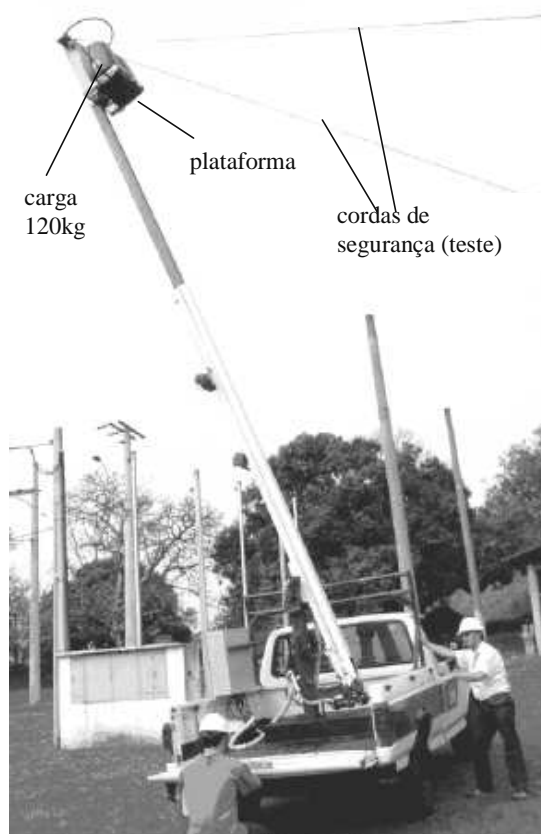


Fig. 5. Protótipo do Elevador II – teste com carga.

4. DISPOSITIVO DE ASSISTÊNCIA A PODA DE ÁRVORES

A manutenção para o controle da vegetação é uma importante atividade que impede que a vegetação local interfira no bom funcionamento de uma rede de distribuição e para que os acessos estejam em condições que permitam o transito dos veículos de manutenção os quais transportam pessoal, ferramentas e instrumentos.

Existem diversos motivos pelos quais esse tipo de manutenção deve ser realizado, como, por exemplo, garantir altos níveis de confiabilidade ao sistema de fornecimento de energia [4]. As interrupções causadas pela vegetação vão desde uma simples queda momentânea até quedas que podem interromper por um dia inteiro a produção de uma indústria [5]. Em vista desta situação é fácil entender o porquê dos grandes gastos das companhias de energia com manutenção da vegetação e que chegam à ordem de milhões de dólares [6].

Os seguintes itens desta seção explicam os procedimentos adotados para podar árvores e como o “Balanceador”, que é o equipamento desenvolvido neste trabalho, consegue auxiliar na operação de poda, aumentando a produtividade e a segurança.

Os seguintes itens desta seção explicam os procedimentos adotados para podar árvores e como o “Balanceador”, que é o equipamento desenvolvido neste trabalho, consegue auxiliar na operação de poda, aumentando a produtividade e a segurança.

Procedimentos e riscos

A tarefa de poda consiste basicamente em utilizar um cesto aéreo duplo no qual os eletricitistas entram e, utilizando os equipamentos de segurança necessários, se posicionam na altura desejada (entre o topo das árvores e os cabos condutores) que é regulamentada por normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) para que não ocorra nenhum contato entre a vegetação e as torres ou cabos de energia que possa provocar o desligamento da linha por descarga elétrica. Esse tipo de manutenção depende da vegetação local, do crescimento e da altura da vegetação [7][8]. A Fig. 6 apresenta uma foto da operação de poda, realizada utilizando-se uma serra hidráulica com aproximadamente 2m de comprimento e com peso de aproximadamente 7kg.

Na operação, um dos eletricitistas segura o galho a ser cortado e o outro usa a serra hidráulica para cortar. Após cortar o galho, os eletricitistas olham ao redor e após constatar que não há nenhum risco, deixam o galho cair no chão e inicia-se novamente o procedimento de poda até que todos os galhos que estejam próximos à linha de energia tenham sido cortados.

Porém existem galhos que se localizam em lugares de difícil acesso, onde mesmo procurando a melhor posição para fazer a poda, o eletricitista precisa trabalhar em posições desconfortáveis. Após algumas operações os eletricitistas ficam exaustos e isso aumenta o risco de cometerem erros que podem gerar acidentes.

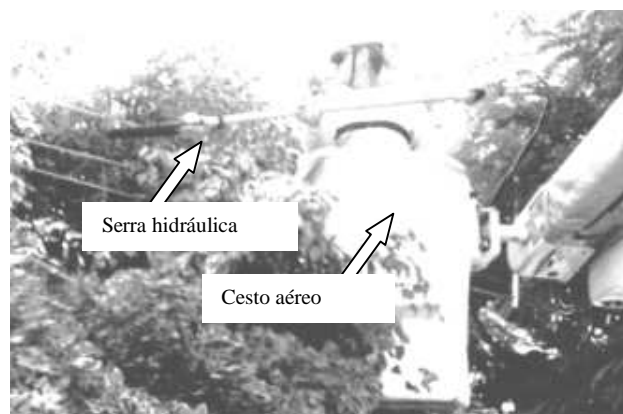


Fig. 6. Operação de poda de árvores

Entidades como a CPSC (U.S. Consumer Products Safety Commission) alertam sobre os perigos em se trabalhar sob essas condições. Uma pesquisa realizada nos Estados Unidos e baseada em dados de cortadores profissionais ressaltou que em 1999 ocorreram nos Estados Unidos 28.500 acidentes envolvendo cortes com serra hidráulica. A quantia gasta com indenizações chegou à ordem de 350 milhões de dólares por ano [9]. Estes números explicam os constantes investimentos que as companhias de eletricidade realizam para aumentar a segurança nas operações de poda. No caso do Brasil, não há números oficiais a respeito desse assunto, no entanto, é razoável supor que o Brasil se encontra em situação similar, apesar de diferenças nos valores. Devido ao elevado risco desta operação as companhias de eletricidade sempre alertam seus consumidores para que jamais tentem cortar ou remover árvores próximas das linhas de energia.

Após analisar a operação de poda, concluiu-se que fatores como o tempo e o difícil acesso aos galhos não são mais críticos do que segurar a serra hidráulica durante toda a operação. Com o objetivo de ajudar o electricista a segurar a serra hidráulica foi desenvolvido um equipamento que alivia o peso da serra hidráulica, o qual recebeu o nome de “Balanceador” e será explicado no próximo item.

Descrição do Sistema

Com o objetivo de desenvolver um equipamento para auxílio na poda de árvores, foram estudados diversos tipos de robôs e mecanismos. Considerando que normalmente os galhos que precisam ser cortados se localizam nas proximidades da linha de transmissão, na qual passam altas tensões, chegou-se a escolha da utilização de sistemas mecânicos ao invés de eletrônicos, que poderiam causar acidentes elétricos e necessitam de uma fonte de energia. Em resumo, pode-se dizer que o sistema deve ser mecânico, isolado, de fácil manutenção e grande mobilidade.

A Figura 7 mostra o princípio de funcionamento do Balanceador. O Balanceador aplica uma força que se opõem ao peso da serra, reduzindo o esforço empregado pelos electricistas e permite grande mobilidade durante a operação de poda. Ao reduzir o esforço, o trabalhador consegue aumentar sua produtividade e conseqüentemente evita acidentes produzidos pelo cansaço.

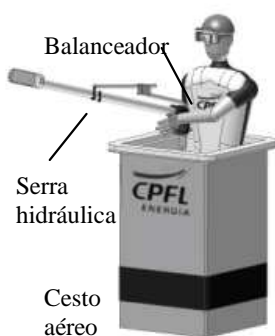


Fig. 7. Balanceador: Sistema mecânico

Partes principais e mobilidade do sistema

Levando-se em consideração as especificações descritas anteriormente foram construídas três diferentes versões do equipamento. As três versões possuem as mesmas características em termos de mobilidade, variam, porém em relação mecanismo utilizado para aliviar o peso da serra hidráulica. A mobilidade do sistema foi analisada calculado o volume de trabalho, que representa as posições máximas necessárias em uma operação de poda. A estrutura foi dimensionada considerando que o volume de trabalho atendesse as necessidades ilustradas na Fig. 8.

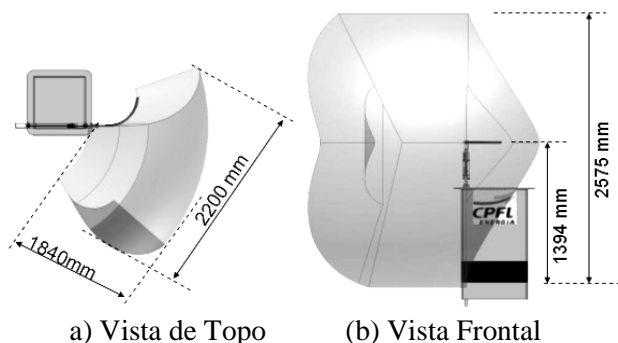


Fig. 8. Volume de trabalho

Para calcular o volume de trabalho foi necessário testar o equipamento e analisar as posições necessárias para realizar a operação de poda de maneira confortável e sem que o Balanceador bloqueasse os movimentos realizados pelo eletrícista.

A Figura 9 ilustra a primeira versão do equipamento que utiliza uma mola helicoidal para produzir a força de balanceamento transmitida por um mecanismo de barras articuladas. Foram realizados diversos testes com a primeira versão e constatou-se que os mecanismos de barras articuladas poderiam ser substituídos por algo mais leve e de mais fácil manutenção. A Fig. 10 ilustra a segunda versão do Balanceador, que utiliza também uma mola helicoidal para gerar a força que balanceia o peso da serra, porém usa um cabo de aço para transmitir a força da mola para o sistema. As alterações feitas colaboraram para tornar o protótipo mais simples, com menos peças móveis, e conseqüentemente, mais leve. Porém, percebeu-se que o sistema poderia ser ainda mais simples. Na última versão ilustrada na Fig 11 foi usado um mecanismo de apenas um segmento e uma mola a gás para gerar a força de balanceamento. Esta última versão é mais leve que as anteriores sendo mais fácil de instalar e efetuar os procedimentos de manutenção.

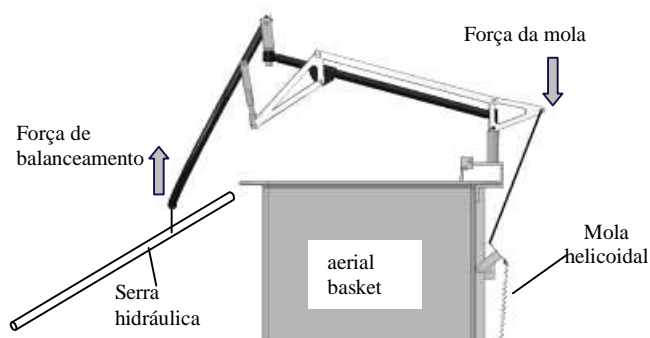


Fig. 9. Balanceador versão 1



Fig. 10. Balanceador versão 2



Fig. 11. Balanceador Versão 3

Em seguida, serão apresentados os resultados de alguns dos testes realizados para medir a força efetiva empregada pelo eletricitista ao utilizar as diferentes versões do Balanceador.

Testes e resultados

Os testes consistem basicamente em instalar o Balanceador em uma estrutura similar a um cesto aéreo e o uso de um dinamômetro para medir a força efetuada para levantar a serra em diferentes posições de trabalho (Fig. 12). A força medida pelo dinamômetro equivale à força que o trabalhador deve aplicar para levantar a serra com o auxílio do Balanceador. Tendo como referência a altura do braço do Balanceador na horizontal, a força exercida pelo eletricitista foi medida em diversas alturas. Os resultados obtidos com a primeira versão são apresentados na Fig. 13.

Observa-se na Fig. 13 que a primeira versão do Balanceador reduz o esforço aplicado pelo eletricitista em 50%. Na segunda versão os resultados mudaram de forma significativa, pois o esforço aplicado pelo trabalhador foi ainda menor. Porém na última versão foram obtidos os melhores resultados, o Balanceador conseguiu reduzir o esforço do operador a 30% do que ele exerceria durante uma operação convencional sem o uso do equipamento.

Em testes de campo, eletricitistas avaliaram positivamente a ajuda do equipamento no aumento da eficiência da operação de poda, reduzindo efetivamente o esforço empregado ao manipular a serra hidráulica. Entretanto foram sugeridas algumas melhorias que deveriam ser feitas para aumentar o volume de trabalho. Os testes de campo também mostraram que o Balanceador proporciona mais estabilidade ao segurar a serra, permitindo cortes mais precisos.

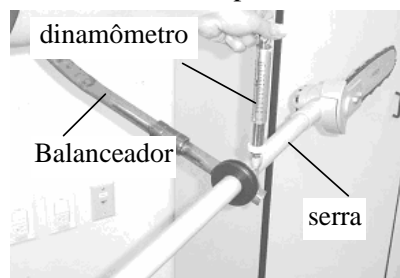


Fig. 12. Medição da força de balanceamento

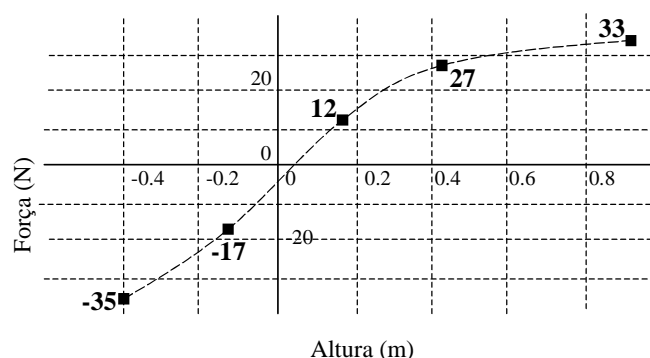


Fig. 13. Força x altura (primeira versão)

Torna-se claro que o Balanceador, apresentado neste trabalho, é uma solução adequada para ajudar os eletricitistas na poda da vegetação, melhorando as condições de trabalho do eletricitista, reduzindo os esforços envolvidos durante o procedimento de poda e aumentando a segurança do eletricitista. Todos esses ganhos contribuíram para a melhora na eficiência do trabalho. Os próximos passos no

desenvolvimento do Balanceador incluem a redução do tamanho e peso do equipamento e melhorias no volume de trabalho.

4. CONCLUSÕES

Até o estágio atual dos trabalhos, estudos e desenvolvimentos, dois problemas relacionados a processos em linhas de distribuição de energia elétrica foram tratados: (a) ajudar o eletricista a alcançar e trabalhar em lugares altos com menos esforço e maior segurança e (b) ajudar o eletricista a podar árvores e vegetação. Esses dois equipamentos continuarão a ser aperfeiçoados com testes de campo em nossas Estações Avançadas de Campo, sendo que na próxima etapa do projeto será desenvolvido um estudo ergonômico com uma série maior de atividades operacionais. Os tipos de atividades desempenhadas pelos eletricistas serão observadas e analisadas. As atividades que apresentarem os maiores riscos, necessidade de esforço físico e tempo de execução serão definidas como o objeto para o desenvolvimento de novos equipamentos de auxílio aos eletricistas, com a utilização de automação e técnicas de robótica.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] N. C. Fiedler, et al., “Avaliação dos riscos de acidentes em atividades de poda de arvores na arborização urbana do distrito federal”, Revista Árvores, ano/vol. 30, Sociedade de Investigação Florestais Viscosa, Brasil pp;223-233.
- [2] S. Nio and Y. Maruyama, “Remote-operated robotic system for live-line maintenance work”, Publicado em ESMO-93 Sixth International Conference on Transmission and Distribution Construction and Live Line Maintenance, 1993, Publicado em ESMO-93, 12-17 Setembro. 1993. pp.425 – 435.
- [3] R. A. Roncolatto, N. W. Romanelli, A. R. Hirakawa, O. Horikawa, M. Silvério and S. Amancio, “Automatic Elevator System for Maintenance Services”, Publicado em ESMO 2006 - IEEE PES 11th International Conference on Transmission and Distribution Construction, Operation and Live-Line Maintenance, Outubro/2006, Albuquerque, New Mexico, USA.
- [4] G. Paula, “Right-of-way maintenance: Changing options,” *Elect. World T&D Special Rep.*, vol. 203, no. 9, pp. S5–S8, Setembro. 1989.
- [5] E. S. Ulrich, “Utility line clearance in our urban forests,” *J. Arboriculture*, vol. 13, no. 2, pp. 62–64, Fevereiro. 1987.x
- [6] W. R. Lovlace, “Vegetation management of distribution line right-ofway: Are you getting top value for your money?,” Publicado no. *39th Annu. Rural Electric Power Conf.*, 1996, pp. B5-1–B5-3.
- [7] Cidade de São Paulo - Departamento de Saúde, “Requisitos técnicos para a atividade de poda de árvores e afins” (2007, setembro.).
www.prefeitura.sp.gov.br/.../saude/vigilancia_saude/trabalhador/0001/5_pagina_saude_do_trabalhador.doc
- [8] Universidade de Bakersfield, Califórnia – CSUB (2007, setembro.), “Tree Trimming Operating Procedure”, Rev. 7/98. Disponível: www.csubak.edu/BAS/srm/EHS/Forms/pdf/TREEPRO.pdf.
- [9] Michigan Occupational Safety and Health Administration, (2007, Sept.) General Industry Safety, “Part 53. Tree Trimming and Removal”. Disponível: www.michigan.gov/miosha

Participaram também da elaboração deste trabalho:

Newton Westin Romanelli - CPFL (newton@cpfl.com.br)

Danilo M. Vieira - USP (daniomecprec@yahoo.com.br)

Rogério Yamamoto - USP (yama.issamu@gmail.com)

Vitor C. Finotto - USP (vitor_mecprec@yahoo.com.br)