

Proposta de Sistema Computacional para Verificação do Estado de Funcionamento de Escadas Rolantes a Distância

Paulo Rogério da Silva
Douglas da Cruz Siqueira
Eduardo Hidenori Enari
Francisco Carlos Parquet Bizarria
prof_paulorogério@ig.com.br
eng_dcs@yahoo.com.br
enari@unitau.br
fcpb@inf.unitau.br

Universidade de Taubaté, Taubaté, São Paulo, Brasil

Resumo

O objetivo do presente trabalho é apresentar uma proposta de sistema computacional para verificação do estado de funcionamento de escadas rolantes por meio de comunicação sem fio. O sistema computacional proposto neste trabalho é composto de uma interface instalada diretamente no painel de controle da escada rolante com o objetivo de coletar informações que permitam identificar o estado de funcionamento desses equipamentos e transmiti-las para um computador remoto por meio de uma estrutura de rede sem fio construída sob o padrão *Bluetooth*. O sistema proposto possibilita que a inspeção periódica do estado de funcionamento seja feita sem a interrupção do serviço ao público, a qual ocorre somente quando a leitura de dados informar alguma não conformidade ou em períodos pré-estabelecidos pelo fabricante, para troca de peças por fadiga. Dessa forma, possibilita-se um ganho de qualidade e produtividade das equipes de manutenção, as quais poderão realizar uma quantidade maior de inspeções com menor tempo de execução do trabalho, aumentando-se o tempo de disponibilidade das escadas rolantes aos usuários. O presente trabalho apresenta a arquitetura básica de *hardware* e *software* desenvolvidos e discute questões de segurança e confiabilidade do sistema proposto, os possíveis ganhos de produtividade para as equipes de manutenção, bem como o aumento do tempo de disponibilidade dos serviços prestados por escadas e esteiras rolantes frente a indicadores mundiais de qualidade de serviço.

Palavras-Chave: *Escada rolante, bluetooth, sistema de monitoração, manutenção e produtividade.*

Proposal of a Computer System for Verification of the State of Operation of Escalators at the Distance

Abstract

The objective of the present work is to present a proposal of computer system for verification of the state of operation of escalator through communication without thread. The computer system proposed in this work it is composed of an interface installed directly in the panel of control of the escalator with the objective of collecting information that allow to identify the state of operation of those equipments and to transmit them for a remote computer through a net structure without thread built under the pattern Bluetooth. The proposed system makes possible that the periodic inspection of the operation state is made without the interruption of the service to the public, which only happens when the reading of data informs some non conformity or in periods established by the manufacturer, for change of pieces for fatigue. In that way, it is made possible a quality earnings and productivity of the maintenance teams, which can accomplish a larger amount of inspections with smaller time of execution of the work and an increase of the time of readiness of the escalator to the users. The present work presents the basic architecture of hardware and software developed and it discusses subjects of safety and reliability of the proposed system, the possible productivity earnings for the maintenance teams, as well as the increase of the time of readiness of the services rendered by escalator front to world indicators of service quality.

Keywords. **Escalator, bluetooth, monitor system, maintenance and productivity.**

I. INTRODUÇÃO

As escadas rolantes são meios de transporte para curtas distâncias utilizadas no deslocamento de pessoas entre pavimentos e andares diferentes, em locais com grande tráfego. Sendo equipamentos de funcionamento contínuo, estão sujeitas a condições de trabalho que causam grande desgaste de peças e fadiga de material, o que demanda constante verificação de seu estado de funcionamento, como parte de um processo de manutenção preventiva, a qual compreende também a realização de troca de peças e regulagens sempre que identificada sua necessidade ou em períodos pré-estabelecidos pelo fabricante.

O tempo médio entre paradas da escada rolante para manutenção preventiva ou corretiva que é caracterizado como o intervalo de tempo que a escada rolante fica disponível ao usuário sem falhas, também conhecido como *Mean Time Between Callbacks* (MTBC) é o índice fundamental para medir a disponibilidade do equipamento, bem como o custo de mão de obra. Quanto maior o MTBC, maior é o tempo da escada rolante em funcionamento e, conseqüentemente, menor o gasto com mão de obra e sobressalentes necessários na manutenção corretiva. A principal motivação para se buscar um aumento no MTBC vem do fato de equipamentos muito semelhantes aos instalados em outros países apresentarem índices de MTBC mais elevados. No Brasil, o MTBC é de cerca de 4.400 horas, enquanto no Japão esse índice chega a 8.600 horas, segundo uma fabricante de escadas rolantes.

O aumento na quantidade de inspeções na escada rolante é essencial para constatar irregularidades e prevenir uma futura paralisação. Atualmente, a verificação do estado de funcionamento desses dispositivos é feita por técnicos que necessitam acessar painéis de controle instalados nas extremidades de cada escada ou esteira rolante, causando a interrupção do funcionamento e, conseqüentemente, a insatisfação de seus usuários. Os painéis de controle possuem ligações com diversas partes da escada rolante para receber informações sobre seu estado de funcionamento, tais como sua velocidade média, pressão do óleo hidráulico, tração das correias, etc. Dentro dessa realidade, alguns fatores contribuem para o alto índice de MTBC:

- a necessidade de paralisação e isolamento da escada rolante, seja para a manutenção preventiva, seja para uma simples inspeção, gerando transtorno no tráfego das pessoas, dificultando o aumento da periodicidade. Os comandos eletrônicos da escada encontram-se em seu interior, próximo a uma de suas extremidades e o acesso dos técnicos a esses painéis é feito após o isolamento do equipamento;
- tempo médio de uma hora gasto para a execução da manutenção preventiva (inspeção do estado de funcionamento sem a necessidade de ajustes ou trocas de peças);
- a falta de conhecimento dos técnicos na interpretação dos códigos de falhas emitidos pela placa de comando da escada rolante. O painel de controle tem interface simplificada, que exhibe códigos sobre o seu estado de funcionamento, o que exige conhecimento do técnico sobre o significado de cada código.

Os fatos citados justificam as motivações e objetivos do presente trabalho: gerar um sistema computacional que permita aumentar a frequência das inspeções, diminuindo o tempo de inspeção e a necessidade de parada da escada rolante para aumentar o MTBC. Esse sistema deve também aumentar a eficácia e eficiência das equipes de inspeção, permitindo aumentar consideravelmente a quantidade de escadas rolantes inspecionadas em um dia de trabalho. Ao mesmo tempo, deve facilitar a leitura e compreensão dos códigos da placa controladora a fim de minimizar o tempo de inspeção e possíveis falhas na manutenção por conta de identificação errônea de problemas.

Este trabalho apresenta uma proposta de sistema computacional que permite a inspeção das escadas rolantes a distância, tendo acesso às informações do painel de controle, sem a necessidade de interromper o seu funcionamento e, conseqüentemente, sem indisponibilizar o serviço ao público. É apresentada a arquitetura básica de *hardware* e *software* necessários ao cumprimento dos objetivos deste trabalho. O acesso às informações da escada é feito a distância por meio de comunicação sem fio, baseada no sistema *bluetooth*. O sistema proposto possui uma interface por *hardware* acoplada ao painel de controle da escada rolante com a finalidade de transmitir, por meio de dispositivo *bluetooth*, informações que serão captadas e trabalhadas em um computador com aplicativo computacional desenvolvido para traduzir as informações recebidas às equipes de inspeção. O sistema proposto permite que cada escada possua uma identificação própria a fim de evitar dúvidas na leitura, quando em um mesmo ambiente existirem mais de uma escada rolante. Detalhes sobre segurança na comunicação também são discutidos neste trabalho.

I.I. A escada rolante

A nova geração de escadas rolantes presentes no mercado possui a mais alta tecnologia eletrônica e mecânica desenvolvida para o transporte vertical. Basicamente, é um sistema de transporte de pessoas no qual uma corrente de degraus, movida por um motor elétrico, transporta uma série de degraus de metal ao redor de um plano inclinado. O motor é instalado na treliça, possibilitando um deslocamento longitudinal, o que permite um reajuste adequado da corrente de acionamento. Em geral, são usados motores de tração com ventilação externa com potências de 5,5 a 7,5kW. Com velocidade controlada e uniforme, a escada rolante moderna proporciona um método de transporte bastante eficiente para um grande número de pessoas, entre dois pavimentos de um edifício. A capacidade teórica de transporte é calculada em função da largura do degrau e da velocidade nominal da escada rolante, variando entre 4500 e 13500 pessoas por hora, de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR NM 195 (1999).

A parte superior contém o motor elétrico de acionamento alimentado com corrente alternada, girando a, aproximadamente, 1200 rotações por minuto. O movimento é transferido aos degraus rolantes por intermédio de uma engrenagem de redução do tipo rosca sem-fim. A parte inferior contém as rodas dentadas de retorno dos degraus, bem como as chaves de segurança das correntes e as partes curvas dos trilhos. Essas curvaturas possibilitam que a escada rolante se movimente de um plano horizontal a um plano elevador, com ângulo de ascensão que, geralmente, varia de 30 a 35 graus. A superfície dos degraus é revestida por cobertura corrugada de alumínio ou borracha, para evitar escorregões e quedas. Os corrimãos móveis são feitos de camadas de lona e recobertos com capa de borracha ou plástico. Cada corrimão é montado em anel contínuo, sobre guias em forma de T, ao longo da parte superior da balaustrada e movimenta-se com a mesma velocidade dos degraus acionados em ambos os lados por polias de fricção. As balaustradas e suas paredes são desenhadas de modo a permitir uma passagem suave dos degraus e que todas as juntas fiquem dissimuladas para maior segurança. A largura dos degraus pode variar de 0,60 m a 1,00 m e sua velocidade de operação é de 0,5 m/s a 0,75 m/s. Durante toda a operação da escada rolante o freio permanece aberto. O freio atua quando ocorre uma parada de emergência, na interrupção de qualquer contato de segurança ou na falta de energia.

Os contatos de segurança existentes na escada rolante são fundamentais para garantir a segurança dos usuários e interrompem imediatamente o funcionamento da escada rolante em situações de falhas mecânicas e elétricas. Uma escada rolante possui em média 20 contatos de segurança (contato de ruptura da corrente de acionamento, contato das placas porta-pentes, contato de tensão da corrente de degraus, contato de cedimento de degrau, contatos na entrada dos corrimãos, contato da cobertura do patamar, etc). O comando eletrônico é composto por uma placa microcontrolada normalmente localizada na parte inferior da escada rolante. Na maioria, são equipadas com um *display* e teclas para navegação (IHM). O *display* pode mostrar o estado operacional, informação de falha e avisos, todos codificados. A Figura 1 ilustra as principais partes e componentes de uma escada rolante.

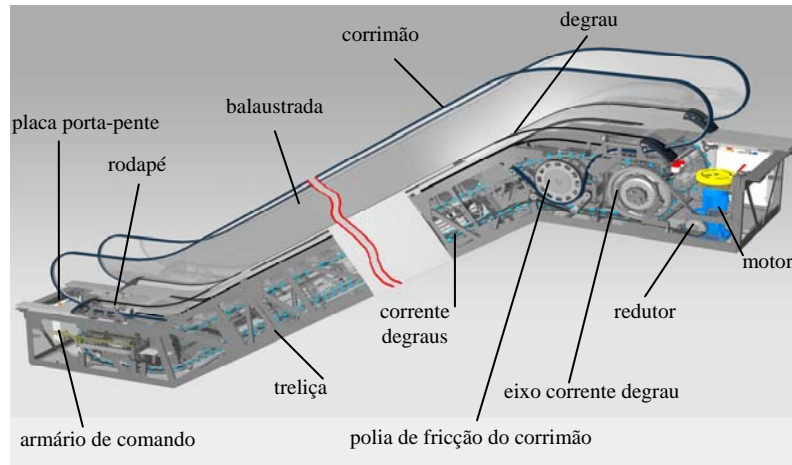


Figura 1. Principais partes e componentes de uma escada rolante

I.2. Sistema de Inspeção

Como descrito na seção anterior, o comando eletrônico monitora a escada rolante recebendo as informações de diversos dispositivos em um *display* simplificado. Essas mesmas placas de comando possuem uma saída serial no padrão RS485 para permitir a conexão com outras placas de comando. A comunicação entre placas de comando é feita para que certas informações coletadas pelas placas de comando sejam processadas em redundância para evitar problemas decorrentes do mau funcionamento dessas. O comando eletrônico possui também uma interface serial RS232 por meio da qual são feitas sua programação e testes. Na opção testes, essa saída serial transmite os dados coletados pelo comando eletrônico, conforme são exibidos em seu *display*.

Inicialmente, optou-se por construir uma solução que realizasse a menor alteração possível no *hardware* da placa de comando. Assim, os dados seriam obtidos junto à placa de comando, por meio da saída serial RS232 e transmitidos para um dispositivo computacional fora da estrutura da escada. Esse dispositivo receberia os dados e realizaria o trabalho de disponibilizá-los para a equipe técnica responsável pela inspeção. O esquema geral da arquitetura do sistema é mostrado na Figura 2.



Figura 2. Arquitetura geral do sistema de inspeção

As seções seguintes apresentarão uma discussão sobre os componentes do sistema e as razões que levaram à utilização de cada item desse sistema.

II. Elementos do Sistema

Para o desenvolvimento e experimento do sistema proposto neste trabalho, foram necessárias a utilização, configuração, aquisição e criação dos seguintes elementos: escada rolante para realização de testes do sistema, sistema de comunicação de dados baseado no padrão *Bluetooth*, composto de adaptador *RS232xBluetooth*, adaptador *USBxBluetooth*, adaptador controle de fluxo, sistema de inspeção, *Software BlueSoleil*, *Software Docklight* (analisador de protocolos) e um microcomputador.

II.I. Escada rolante

A escada rolante utilizada no experimento foi cedida por uma fabricante de escadas rolantes, a qual é utilizada como simulador no Centro de Treinamento situado na sua matriz, o que possibilitou verificar o comportamento do sistema proposto em um cenário próximo da realidade. Essa escada rolante possui as características citadas na introdução deste trabalho.

II.III. Conector rs232 bluetooth

Optou-se, neste trabalho, pelo padrão de comunicação *Bluetooth* por razões técnicas e econômicas. Conforme Miller M. (2001), o padrão de comunicação sem fio *Bluetooth* é uma tecnologia para transmissão de dados e voz entre dispositivos eletrônicos. Foi projetado visando prover uma interface universal para equipamentos, além da remoção dos cabos e diminuição do custo de conexões, tudo isso por meio da utilização de sinais de radiofrequência gratuitos para estabelecer a comunicação.

A banda de radiofrequência utilizada pelo *Bluetooth* opera na faixa entre 2,4 GHz e 2,48 GHz, a mesma utilizada por instrumentos industriais, científicos e médicos, denominada ISM (*Industrial, Scientific and Medicine*), deixando-o teoricamente suscetível a interferências. Entretanto, o protocolo *Bluetooth* divide a banda passante em 79 canais e altera a frequência aproximadamente 1600 vezes por segundo, tornando improvável que dispositivos terceiros utilizando também a mesma banda ISM interfiram em uma conexão.

A conexão entre dispositivos *Bluetooth* é efetuada por meio de redes locais chamadas de *Personal Área Networks* (PANs) ou *piconets*. Em uma rede *piconet*, uma unidade *Bluetooth* pode assumir o papel de mestre ou escravo, na qual o mestre é o dispositivo que inicia a rede e os demais que se conectam a ela são os escravos. O número máximo de conexões a um dispositivo mestre é oito, o que limitaria bastante a criação de redes de comunicação e trocas de dados, não fosse a possibilidade de conexão em *scatternets*. As *scatternets* são redes mais abrangentes, nas quais um dispositivo escravo em uma *piconet* pode exercer o papel de mestre em outra.

Dos protocolos que constituem a pilha de protocolos *Bluetooth*, alguns são específicos, como SDP, L2CAP e LMP, e outros são adotados de outras tecnologias, como é o caso do IP, UDP, TCP, PPP, RFCOMM, OBEX, etc, conforme documento *Bluetooth Specification* (2007). De todos eles, somente alguns são relevantes para o trabalho proposto: L2CAP, RFCOMM, OBEX e SDP. O L2CAP (*Logical Link Control and Adaptation Protocol*) representa uma interface entre os protocolos adotados e os protocolos específicos do *Bluetooth*. Ele é responsável por multiplexar, segmentar em pacotes e reorganizar os dados vindos das camadas superiores. Acima do L2CAP está o RFCOMM (*Radio Frequency Communication*), protocolo que emula a interface serial RS-232. Ele proporciona compatibilidade aos serviços das camadas superiores que usam este tipo de interface. O protocolo OBEX (*Object Exchange*) executa transferências de objetos, que podem ser entendidos como arquivos ou simplesmente *bytes*. O SDP (*Service Discovery Protocol*), diferentemente dos anteriores, é um protocolo usado para obter informações sobre dispositivos próximos, como serviços disponíveis, nome e endereço *Bluetooth*.

Conforme citado na seção anterior, o controle eletrônico da escada rolante possui uma interface serial RS232 que será utilizada pelo sistema proposto. Assim, dentre os protocolos citados, o presente trabalho optou pelo protocolo RFCOMM, uma vez que a conexão com o controle eletrônico da escada rolante se fará por meio dessa interface RS232. A partir de uma pesquisa de Mercado, verificou-se a existência de dispositivos de comunicação *Bluetooth* integrados a uma interface serial RS232. Alguns desses dispositivos são listados na Tab. (1).

Tabela 1. Modelos e fabricantes de adaptadores RS232 x Bluetooth

Modelo	Fabricante / Representante
Bluetooth RS-232 adaptor kit	LM Technologies
F2M01 Bluetooth RS-232 Plug	Free2Move
Socket Bluetooth RS-232 Adaptor	Socket
Bluecom	Naxos Tecnologia

Os dispositivos citados apresentam grandes vantagens dentro da arquitetura proposta neste trabalho. Isso se dá pelo fato de esses dispositivos atuarem como conector serial e transmissor *Bluetooth* na arquitetura

proposta. No presente trabalho, os autores fizeram opção pelo modelo *Bluecom* da Naxos Tecnologia. Esse modelo tem como características básicas:

- Fonte de alimentação 7,5V.
- Sistema *Bluetooth* classe 1: sinal de transmissão atinge distâncias teóricas de 100 metros.
- Dependendo da aplicação, existem dois estados em que o adaptador pode operar *Master* ou *Slave*. Se configurado no modo *Master*, o adaptador irá varrer a vizinhança na tentativa de encontrar algum dispositivo *Bluetooth* que possua o endereço MAC *Address* pré-definido bem como o código PIN. Se encontrado, eles irão estabelecer uma conexão sem fio automaticamente. Se configurado no estado escravo, o adaptador irá esperar por outro dispositivo *Bluetooth* para criar uma conexão.
- Sistema de Segurança com *Personal Identification Number* (PIN): desabilitando essa função, qualquer dispositivo *Bluetooth* pode conectar-se com esse adaptador sem checagem do código PIN. Se estiver habilitado, então deverá ser fornecido o código PIN (máximo de 12 dígitos) antes do sincronismo. O acesso é feito somente a partir de dispositivos *bluetooth* externos que possuam o PIN.
- Parâmetros de *hardware* da porta COM (taxa de transmissão, *bit* de parada e *bit* de paridade). Essas informações devem coincidir com os parâmetros de comunicação da placa de comando da escada rolante.

II.III. Receptor bluetooth

Foi utilizado neste trabalho um receptor *Bluetooth* com saída USB (*Universal Serial Bus*). As vantagens que esse dispositivo apresenta são o seu baixo custo e a possibilidade de se conectar à grande maioria dos computadores existentes.

Diferentemente do adaptador *Bluecom*, a configuração do adaptador *Bluetooth* USB é realizado por meio de *software*. O *software* utilizado no experimento foi o *BlueSoleil* (2007) que, uma vez carregado na memória do computador, reconhece automaticamente um adaptador *Bluetooth* inserido na porta USB. A grande vantagem desse *software* é a possibilidade de associar o adaptador *USBxBluetooth* a uma porta serial virtual, desta forma, emulando uma comunicação RS-232.

A partir do momento em que um dispositivo é associado a uma porta serial virtual (por exemplo: COM5), sempre que uma aplicação solicitar essa porta serial, o *software BlueSoleil*, residente na memória, conectará automaticamente o dispositivo que esteja associado a esta porta virtual, levando em consideração os parâmetros de comunicação associados a ela. Semelhantemente, sempre que uma aplicação fechar a conexão, o *BlueSoleil* encerrará a conexão associada a essa porta serial virtual.

II.IV. Adaptador controle de fluxo

Após inúmeros testes, tentando realizar uma comunicação sem fio com a escada rolante, foi constatada a necessidade do desenvolvimento de um adaptador com o objetivo de controlar o fluxo de dados entre o adaptador *RS232xBluetooth* instalado na placa de comando da escada rolante com o receptor *USBxBluetooth* instalado no *laptop*. Analisando a estrutura de pinos da saída RS-232 da escada rolante, constatou-se somente a utilização dos pinos TX, RX e GND, ou seja, verificou-se que o controle de fluxo deve ser gerenciado por *software*.

Para que a comunicação fosse realizada, foi necessário, então, trabalhar a conexão dos pinos 7 e 8 do adaptador *Bluecom*, com o auxílio de um adaptador, o qual foi denominado adaptador de controle de fluxo. Na figura 3 é ilustrado o esquema de ligação do adaptador.

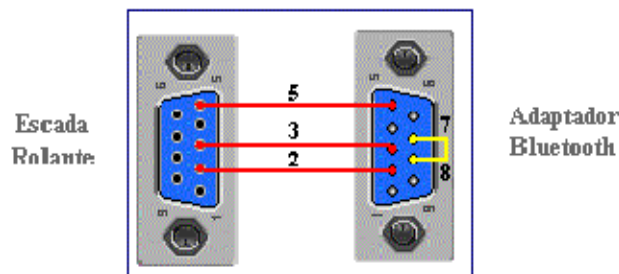


Figura 3. Esquema de ligação do adaptador controle de fluxo

II.V. Extração do protocolo de comunicação da escada rolante

O pleno conhecimento do protocolo de comunicação da escada rolante é imprescindível para o desenvolvimento de qualquer programa de monitoração alternativo. Porém, normalmente o protocolo de comunicação de um equipamento não

está disponível ou é desconhecido pelo desenvolvedor do programa alternativo. A dificuldade da extração do protocolo aumenta bastante quando o fabricante do equipamento não está envolvido no projeto ou quando também desconhece o protocolo de comunicação.

Devido à variação de tecnologias entre os fabricantes de escadas rolantes e ao fato de cada um possuir um protocolo de comunicação proprietário obedecendo a um conjunto de regras bem distintas, o desenvolvimento de uma metodologia de extração de protocolo é essencial para o mapeamento dos sinais de comunicação da placa de comando da escada rolante, possibilitando, desta forma, o desenvolvimento de um aplicativo alternativo.

Para a monitoração do tráfego de dados da escada rolante pela porta RS-232, foi utilizado um aplicativo analisador de protocolo, a saber, *Docklight* versão 1.6.8 (2007), permitindo a verificação dos sinais emitidos pela escada rolante nos formatos caracteres, decimal, hexadecimal ou binário. O *Docklight* é uma ferramenta de simulação para análise de protocolo de comunicação serial (RS-232, RS-485/422 e outros). Ele permite monitorar a troca de dados entre dois dispositivos consecutivos ou testar a saída serial de um único dispositivo, possibilitando enviar mensagens, definidas pelo usuário, de acordo com o padrão configurado e, assim, simular o comportamento de um dispositivo.

Uma das etapas importantes para a extração do protocolo de comunicação é a configuração da porta de comunicação, ou seja, o terminal e o equipamento monitorado devem ter a mesma configuração a fim de permitir que as informações possam ser transmitidas ou recebidas.

Como essa informação também era desconhecida, a solução encontrada para minimizar a busca da configuração da porta foi pesquisar as possíveis configurações do microcontrolador da placa de comando da escada rolante. Com as especificações do microcontrolador foi possível detectar todas as configurações da sua porta de comunicação (velocidade de transmissão de dados em *bits* por segundo (bps), *bits* de paridade, paridade, *bits* de parada e controle de fluxo). Com base nas características do microcontrolador, foram constatados somente 5 possibilidades de configuração para a porta de comunicação. Com o objetivo de encontrar os parâmetros de comunicação definidos pelo fabricante, a escada rolante foi conectada ao *software* analisador de protocolos (*Docklight*), cujos parâmetros foram alternados até que a comunicação da escada rolante com o terminal fosse estabelecida.

II.VI. Mapeamento dos códigos de falhas

Uma vez que a comunicação entre a escada rolante e o terminal foi concretizado, o foco é direcionado para o mapeamento das falhas. Nessa etapa, foi necessário simular cada falha, observar a reação do controle eletrônico da escada, no protocolo de comunicação e assim coletar os códigos gerados pela placa de comando. Como comprovação, foram geradas as mesmas falhas em diversas situações e constatada sempre a mesma codificação. Com o conhecimento dos códigos de falhas gerados pela placa de comando da escada rolante, torna-se possível o desenvolvimento de um *software* aplicativo para o sistema de inspeção.

II.VII. Software aplicativo do sistema de inspeção

O *software* desenvolvido para o sistema de inspeção proposto é um protótipo que permite:

- configurar a porta de comunicação;
- solicitar uma conexão com a escada rolante;
- solicitar o estado atual da escada rolante;
- decodificar e interpretar o sinal recebido;
- demonstrar o estado atual da escada rolante utilizando uma interface amigável, evitando qualquer decodificação por parte do usuário.

Para o desenvolvimento do *software* aplicativo do sistema de inspeção, que irá permitir a comunicação com a escada rolante, foi utilizada a componente *Tserial/NG* V2.0.1.5, desenvolvida por Ekkehard Domming (2007), com o objetivo de utilizar as propriedades e eventos desenvolvidos especificamente para o acesso e controle de portas de comunicação serial (COM). Como a componente foi desenvolvida para ser integrada em programas desenvolvidos na plataforma Delphi, o sistema de inspeção de escadas rolantes foi desenvolvido utilizando o Delphi versão 7 da Borland (2007).

Além da facilidade da integração da componente no sistema de inspeção, esta componente é de domínio público (*freeware*) e utiliza somente a WinAPI e as funções do Delphi, não necessitando nenhum *software* auxiliar. Essa componente permite configurar a porta de comunicação, detectar o recebimento de dados por meio de evento, além de possuir eventos adicionais para monitorar os sinais da porta de comunicação, conforme a codificação obtida durante os ensaios para mapeamento dos códigos de falha.

III. Simulação do Sistema Proposto

Com o conhecimento do protocolo de comunicação e com os elementos citados anteriormente, é possível criar um cenário e simular uma situação a fim de verificar a viabilidade do sistema computacional para verificação do estado de funcionamento de escadas rolantes a distância. As etapas dessa simulação estão divididas sequencialmente nas seções seguintes.

III.I. Preparação da escada rolante

Para que a escada rolante possa enviar os sinais via sistema de comunicação *Bluetooth* quando solicitado pelo sistema de inspeção, primeiro será necessária a instalação do adaptador de controle de fluxo e, posteriormente, a instalação do adaptador *Bluecom*. O adaptador *Bluecom* foi previamente configurado de acordo com os parâmetros de comunicação da escada rolante (taxa de transferência, *bit* de paridade e *bit* de parada) coletados por meio do método de extração de protocolo, comentado anteriormente. O adaptador *Bluecom* pode ser alimentado por meio de uma fonte externa ou por meio do pino 9, mas como o pino 9 da saída RS-232 da placa de comando da escada rolante não possui uma alimentação, será necessária a utilização de uma fonte externa que poderá, futuramente, ser ligada no próprio armário de comando. Como o adaptador *Bluecom* foi definido como *Slave* (escravo), a escada rolante aguardará uma solicitação de conexão efetuada pelo dispositivo *Bluetooth* definido como *Master*, cujo endereço já está estabelecido e pré-configurado, não existindo o risco de outro dispositivo *Bluetooth* efetuar uma conexão com a escada rolante indevidamente. Na Figura 4 é ilustrada essa ligação.

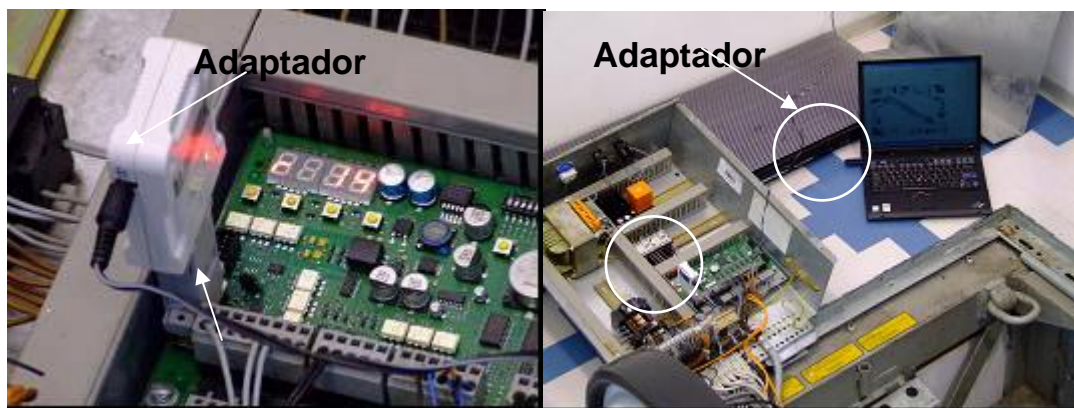
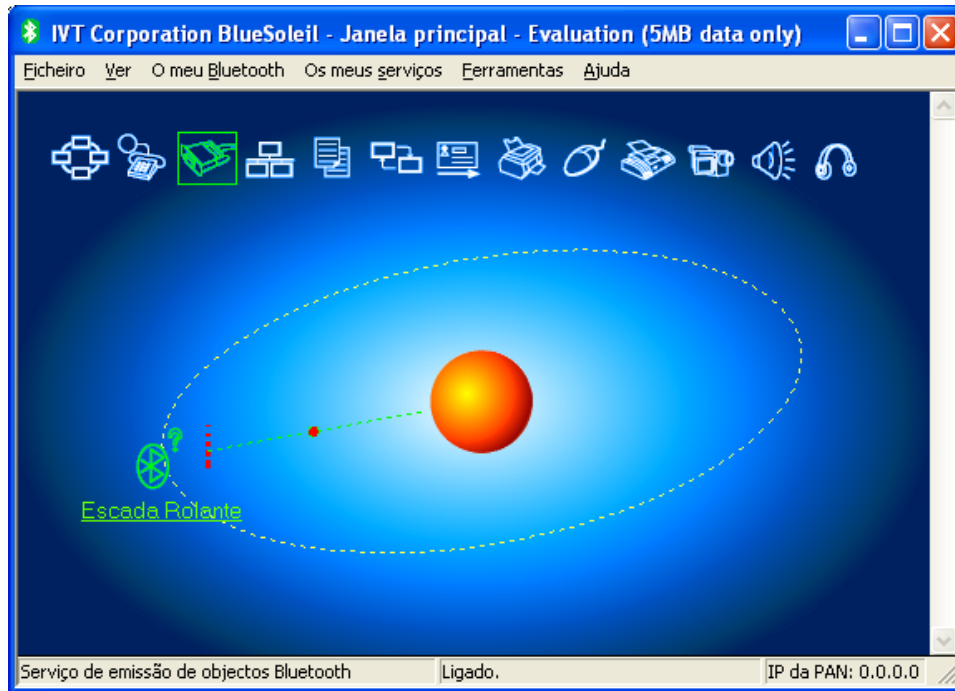


Figura 4. Ligação dos adaptadores na placa de comando e no terminal (*laptop*)

III.II Preparação do terminal

Para efetuar uma conexão com a escada rolante, o adaptador *USBxBluetooth* deverá ser instalado no *laptop* em uma porta USB, o qual deverá ser reconhecido automaticamente pelo *software BlueSoleil* instalado no *laptop*. Por meio do sistema de inspeção proposto, a conexão com a escada rolante será efetuada imediatamente após a escolha da opção conectar (botão conectar), desde que os parâmetros de comunicação estejam coincidindo com os parâmetros de comunicação definidos na escada rolante. A partir desse momento, a escada rolante estará pronta para enviar o seu estado atual a cada solicitação efetuada no *laptop* (botão solicitação de *status*). Na Figura 5, podemos observar a conexão do sistema *BlueSoleil* instalado no terminal (*laptop*), com a escada rolante.

Figura 5. Conexão *BlueSoleil* x escada rolante

III.III. Simulação de falha técnica na escada rolante

A fim de simular uma situação de uma falha técnica, a escada rolante foi colocada em operação no modo de subida; posteriormente, foi solicitado o estado da escada por meio do sistema de inspeção, o qual sinalizou a operação normal em modo de subida. Simulando uma situação corriqueira, o contato do corrimão posicionado na parte inferior da escada rolante do lado esquerdo foi acionado, simulando um objeto estranho preso no corrimão. Após a paralisação da escada, devido ao contato de segurança do corrimão ter sido acionado, foi solicitado novamente o estado atual da escada cujo sistema de inspeção detectou e interpretou a falha corretamente, inclusive ilustrando a localização do defeito. Nessa situação, o técnico simplesmente iria verificar se existiria algo na entrada do corrimão e reinicializaria a escada rolante sem a necessidade de executar o seguinte procedimento: isolamento da escada rolante, abertura do patamar, retirada do armário de comando, abertura do armário de comando, verificação do IHM da placa de comando, decodificação da falha e execução do serviço. Na Figura 6, podemos observar o comportamento do sistema de inspeção no momento da falha citada nesta seção.



Figura 6. Falha interpretada pelo sistema de inspeção

III.IV Resultados dos ensaios

Após realizar os ensaios com o sistema ligado à escada rolante e simular diversas situações de não conformidade, verificou-se:

- Nos casos em que o sistema de inspeção não detectava problemas na escada rolante, o tempo de parada caiu para zero, uma vez que não houve a necessidade de isolamento para acesso ao comando eletrônico da escada rolante.
- Houve uma grande queda no tempo de reação dos técnicos às mensagens mostradas pelo sistema, que era de cerca de 30 minutos, considerando o isolamento da escada rolante, a abertura do painel de controle, leitura e identificação da não conformidade e o início da ação corretiva, para 15 minutos, com os técnicos necessitando somente realizar o isolamento da escada e o início da ação corretiva.
- Houve um aumento na segurança que os técnicos demonstraram ao interpretar as mensagens mostradas pelo sistema.

Não foi feito um levantamento do aumento do MTBC neste trabalho, uma vez que seria necessário que várias escadas tivessem o sistema acoplado e o tempo médio fosse levantado ao longo de um período considerável de tempo.

IV. CONCLUSÃO

Na simulação efetuada com o sistema proposto neste trabalho, foi constatada uma grande oportunidade de ganho de produtividade dos técnicos, bem como um aumento significativo de inspeções na escada rolante sem a necessidade de sua interrupção, possibilitando um aumento no índice MTBC. Na simulação efetuada, o tempo que demandaria para a verificação da falha de contato do corrimão seria, aproximadamente, de 30 a 40 minutos, pois o técnico teria de localizar e posicionar os bloqueios de segurança, abrir a plataforma inferior, retirar o armário de comando da escada rolante, abrir a tampa, verificar e interpretar o código de falha sinalizado pelo IHM, utilizando um manual de falhas. Porém, utilizando o sistema proposto, a falha foi detectada em apenas 5 minutos. Nos casos em que não se detectaram falhas, a escada continuou à disposição dos usuários.

Como etapas futuras no desenvolvimento do presente sistema, podem ser citadas: o desenvolvimento de um sistema de controle que permita acionar o controle eletrônico da escada a distância, uma nova versão preparada para ser executada em dispositivos portáteis como *handhelds*, como os *palmtops* ou *Pocket PC*, os quais apresentam menores dimensões e maior portabilidade para os técnicos e realizar estudos efetivos para o levantamento dos índices de MTBC.

V. REFERÊNCIAS

ABNT [Associação Brasileira de Normas Técnicas]. **NBR NM 195**: Escadas rolantes e esteiras rolantes – requisitos de segurança para construção e instalação. São Paulo: ANBT, 1999.

BLUESOLEIL. **BlueSoleil** (standard version). 2007. [online]. Disponível em: <http://www.bluesoleil.com>.

BLUETOOTH. **Bluetooth Specification**. 2007. [online]. Disponível em: <http://www.bluetooth.org>.

BORLAND. **Delphi 2007**. 2007. [online]. Disponível em: <http://www.borland.com>.

DOCKLIGHT. **RS232 Terminal/RS232 monitor**. 2007. [online]. Disponível em: <http://www.docklight.de>.

DOMMING, E. **DomIS - TserialNG V2.0.1.5**. 2007. [online]. Disponível em: <http://www.domis.de>.

MILLER, M. **Descobrimdo Bluetooth**. Rio de Janeiro: Campus, 2001.