

Sistema SAEDE: Um Sistema de Gestão Otimizada do Atendimento Emergencial aos Usuários de Energia Elétrica

João Bosco Furtado Arruda¹, José Expedito Brandão Filho¹ Giovanni Cordeiro Barroso¹ Francisco Régis de Abreu Gomes¹ Francisco Eduardo de Lima Nascimento²

Resumo – Este trabalho tem o objetivo de apresentar as características principais do Sistema SAEDE, sistema computacional desenvolvido com o objetivo de auxiliar os monitores dos Sistemas de Atendimento Emergencial (SAE) das distribuidoras de energia elétrica a tratar os problemas desses sistemas de forma a satisfazer os clientes das distribuidoras, provendo respostas de forma otimizada e em tempo real àqueles problemas. O Sistema SAEDE considera o despacho de equipes de campo, a avaliação do nível dos serviços prestados por elas e a previsão dos tempos de chegada das equipes aos locais de atendimento, acompanhando a dinâmica do processo no sentido de prover informações consistentes aos usuários afetados por quebra do fornecimento de energia. Descreve-se, de forma sucinta, a arquitetura e as funcionalidades inerentes ao Sistema bem como sua aplicação ao caso de estudo da cidade de Fortaleza, cujo fornecimento de energia está sob a responsabilidade da Companhia Energética do Ceará – Coelce.

Palavras-chave – Apoio à Tomada de Decisão, Atendimento Emergencial, Nível de Serviço ao Cliente, Sistemas de Controle.

A interrupção no fornecimento de energia elétrica é um dos principais critérios usados para avaliar a qualidade do serviço de uma concessionária de energia elétrica. No Brasil, conforme a resolução N° 024 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) a qualidade relacionada à continuidade de no fornecimento de energia elétrica é medida pelos indi-

cadores: DEC (duração da interrupção) e FEC (número de clientes afetados) [1] e [2].

As exigências atuais dos clientes de energia elétrica são, também, refletidas pelos rigores impostos pelos órgãos reguladores, no sentido de exigir um serviço de qualidade e preço justo. Desta forma, as empresas vêm investindo cada vez mais em recursos humanos e tecnológicos nas atividades de planejamento, operação e manutenção do sistema, além de aspectos relacionados à segurança das instalações, dos trabalhadores e clientes, dentre outros fatores de relevância.

Neste contexto, as concessionárias se defrontam com os prejuízos causados para elas e seus clientes decorrentes da interrupção do fornecimento de energia elétrica. Esses serviços públicos são fiscalizados pela ANEEL, mediante avaliação de indicadores de interrupção de fornecimento de energia elétrica de conjuntos de unidades consumidoras (DEC e FEC) e indicadores de interrupções individuais de unidades consumidoras (DIC e FIC), conforme define a Resolução Normativa 024, de 27 de janeiro de 2000.

Em face disto, as distribuidoras sentem a necessidade de ferramentas de tecnologia da informação que visem auxiliar no processo de atendimento ao cliente, de modo a integrar o fluxo de informações, desde o registro da incidência, pelo cliente, na central de atendimento, até as equipes de campo. Além do mais, essas ferramentas podem auxiliar na otimização do processo de manutenção e no monitoramento, em tempo real, do sistema elétrico, o que implica na redução do número de reclamações recebidas em suas centrais de relacionamento.

O estudo que deu origem ao Sistema SAEDE demonstrou que, apesar de todos os investimentos realizados pelas concessionárias de distribuição de energia elétrica para a melhoria da qualidade dos serviços de atendimento emergencial (SAE), a maior parte delas não tem investido em sistemas automatizados que permitam auxiliar as equipes de atendimento emergencial (EAE) a gerir otimizada e em tempo real estes sistemas.

O gerenciamento dos SAE deve consistir, principalmente, em dimensionar, alocar e despachar as equipes de campo, além de estimar o tempo de chegada das equipes ao local da incidência reportada via central de relacionamento. Fica claro que, quando o dimensionamento, alocação e despacho são elaborados de forma otimizada, a partir de uma base de dados consistentes, é possível fornecer ao cliente uma previsão acurada do tempo de chegada das equipes aos locais de aten-

¹ 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 V Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (V CITENEL), realizado em Belém/PA, no período de 22 a 24 de junho de 2009.

¹ ‘Universidade Federal do Ceará’ (e-mails: barruda@glen.ufc.br; ebrandao@glen.ufc.br; gcb@fisica.ufc.br; regis@glen.ufc.br.).

² ‘Companhia Energética do Ceará’ (e-mail: eduardo@coelce.com.br).

dimento.

Assim, a questão central trata-se de dimensionar, alocar e despachar equipes de campo para atender as demandas de uma determinada área, bem como de definir rotas ótimas para atendimento às incidências para cada equipe, contribuindo para minimizar os custos operacionais de manutenção corretiva na rede de distribuição de energia elétrica e atendendo às metas dos indicadores de interrupção de energia elétrica (DEC, FEC, DIC e FIC).

Dada a abrangência geográfica da jurisdição das distribuidoras e, principalmente, a dispersão geográfica dos clientes, percebe-se a complexidade deste problema, pois existe uma enorme gama de alternativas viáveis para a localização das turmas emergenciais. Portanto, percebe-se que tanto a presença no atendimento às solicitações dos clientes quanto a decisão da localização espacial das turmas emergenciais constituem-se em fatores de alta relevância, em nível estratégico de planejamento, e envolvem diversos aspectos que devem ser considerados na escolha da localização daquelas equipes.

No entanto, o não uso de metodologia científica na escolha da posição pode levar a decisões com alto custo de oportunidade, pois elas envolvem, normalmente, recursos de capital intensivos e com significativos efeitos econômicos de longo prazo.

O contexto acima descrito embasou a idéia de se desenvolver o Sistema SAEDE, concebido com o objetivo de apoiar a decisão no atendimento emergencial aos clientes de distribuidoras de energia elétrica. Este sistema deveria ser capaz de, na sua primeira versão: a) Gerar soluções para minimizar tempos e custos naquele atendimento; e b) Contribuir para diagnosticar e responder prontamente aos problemas do atendimento emergencial no que tange às ocorrências prejudiciais à continuidade do fornecimento de energia elétrica.

Dessa forma, o presente artigo tem o objetivo de apresentar as principais características do Sistema SAEDE bem como os resultados advindos de sua aplicação na cidade de Fortaleza, sob jurisdição da Companhia Energética do Ceará - Coelce.

O projeto foi desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento do Setor Elétrico, cujas principais informações são: Código ANEEL: 0039-005/2007; Título: Desenvolvimento e Aplicação de Software para Previsão de Atendimento Otimizado de Emergência ao Cliente das Distribuidoras de Energia Elétrica: Aplicação ao Caso da Coelce; Financiado pela Companhia Energética do Ceará (Coelce); Executoras: GLEN/UFC/FCPC; Ciclo 2006/2007; Valor investido: R\$389.567,24.

I
I
.
P
R
O
B
L
E
M
Á
T
I
C
A

D
E

U
M

S
I
S
T
E
M
A

D
E

A
T
E
N
D
I
M
E
N
T
O

E
M
E
R
G
E
N
C
I
A
L

envolve as solicitações de atendimento dos clientes que são registradas no serviço da central de relacionamento, sendo, em seguida, direcionadas aos Centros de Operações, via sistema informatizado. Dos Centros de Operações, as reclamações são enviadas, de acordo com a prioridade, para as equipes de atendimento espalhadas pelos bairros e/ou municípios as quais se deslocam até a residência do cliente ou ao local da falha para solucionar o problema.

As decisões acerca do dimensionamento, alocação e despacho de equipes de campo estão concentradas nos centros de operações. Geralmente, dado um conjunto de incidências localizadas na região de abrangência do controle, e havendo disponibilidade de equipes de atendimento, o processo de alocação e despacho é feito manualmente, com base, principalmente, na experiência dos operadores. No entanto, é provável que o não uso de uma ferramenta computacional nesse processo de decisão acarrete em medidas não otimizadas, o que aumenta o custo de atendimento emergencial. Por exemplo, supondo que haja três ocorrências de igual prioridade, cuja ordem de chegada no sistema se deu da seguinte forma:

1ª ocorrência: Bairro A;

2ª ocorrência: Barro B;

3ª ocorrência: Bairro A.

Nesse processo de decisão, podem surgir as seguintes questões:

- Como decidir sobre a ordem de atendimento?
- Leva-se em consideração apenas a ordem de chegada?
- Deve-se considerar o roteamento?
- Até que ponto é possível considerar o roteamento para não afetar o tempo de chegada ao local da ocorrência priorizada?
- Como realizar esses *trade-offs*?

Outra questão a responder é: dada a natureza dinâmica e estocástica da chegada de incidências ao SAE, como dimensionar equipes que atendam, de modo otimizado, as incidências? Por fim, outro aspecto, de grande interesse para as distribuidoras, é fornecer ao cliente uma previsão mais acurada sobre o tempo de chegada da equipe ao local da ocorrência, considerando aspectos de tráfego e a distribuição geográfica das equipes disponíveis.

Normalmente, quatro problemas gerais são observados em sistemas de atendimento emergencial (SAE). Esses problemas foram definidos na etapa de diagnóstico do SAE/Coelce, que envolveu estudo de benchmarking no Brasil (estudo da literatura e visitas técnicas a algumas distribuidoras de energia elétrica em território nacional) e no Exterior (análise do estado da arte do setor). São eles [3]:

a) **Problema 1:** Inexistência de previsão do horário de chegada das equipes de atendimento no que concerne às incidências com prioridade dinâmica, demanda estocástica e

considerando uma abordagem de pesquisa operacional;

b) **Problema 2:** Inexistência de processo otimizado de despacho de equipes de atendimento emergencial aos locais com incidências prioritárias;

c) **Problema 3:** Inexistência de alocação dinâmica de equipes de atendimento emergencial com demanda estocástica e considerando uma abordagem de pesquisa operacional;

d) **Problema 4:** Inexistência de dimensionamento otimizado de equipes de campo no SAE.

Deve-se perceber que estes quatro problemas implicam não só em custos operacionais excessivos no atendimento emergencial como também no baixo nível de serviço prestado aos clientes das distribuidoras de energia elétrica no país. Este fato, por si só, justifica investimentos das distribuidoras em tecnologias que auxiliem a otimização do seu SAE.

de dados com uma estrutura que permita realizar consultas facilmente;

- **Informações sobre as incidências:** refere-se às incidências registradas, na central de relacionamento, de clientes afetados por algum tipo de interrupção do fornecimento de energia elétrica;
- **Informações de viaturas:** refere-se à localização geográfica das viaturas, levantadas através de um sistema de localização de veículos. Esse sistema deve alimentar constantemente o banco de dados, para que a rotina identifique o posicionamento de cada viatura em tempo real, na malha viária;
- **Base de dados geográficos:** refere-se a uma base de dados com informações sobre a geometria da cidade ou área qualquer, onde o Sistema SAEDE será aplicado. Dentre o grande número de informações necessárias, destaca-se: vértices de quadras; trechos de quadras; eixo de vias; direção de vias; sistema de numeração das vias, etc.

Os principais resultados do Sistema SAEDE são:

- **Acompanhamento e Avaliação do Nível de Serviço:** o Sistema SAEDE possibilita a realização de simulações para monitoramento do nível de serviço, refletido pelo tempo máximo de chegada de uma viatura ao local da incidência. Essas simulações consistem de duas situações: na primeira delas, calcula-se quantas equipes são necessárias para atingir o nível de serviço requerido pela gerência do SAE; na segunda, avalia-se qual o novo nível de serviço obtido caso seja acrescentado ou excluído uma equipe de atendimento emergencial.
- **Despacho de equipes:** o Sistema SAEDE contém rotina para definir qual viatura será escolhida para atender a uma determinada incidência, dada a distribuição espacial das viaturas, a localização da nova incidência e a quantidade de incidências que cada viatura terá que atender.
- **Roteamento das equipes:** o Sistema SAEDE define e apresenta, visualmente, a rota ótima que a viatura deve percorrer para atender as incidências para ela despachadas.
- **Tempo Previsto de Chegada de uma Equipe ao Local da Incidência:** esse resultado é dado em conjunto com o despacho, pois o tempo previsto de chegada é estimado ao mesmo tempo em que é definido o despacho da incidência.

Com o objetivo de abordar os problemas definidos, concebeu-se o Sistema SAEDE com a característica de considerar, ao mesmo tempo, as dinâmicas do atendimento emergencial otimizando as respostas, inclusive minimizando os tempos de deslocamento das equipes do ponto de origem (recepção da ordem de serviço) ao ponto de destino das ocorrências. Para a execução das rotinas desenvolvidas no Sistema SAEDE tornou-se necessária a montagem de uma estrutura computacional que engloba:

- **Informações sobre os clientes e elementos de rede:** consistem na identificação e localização geográfica de todos os clientes e elementos da rede elétrica (transformadores, alimentadores, etc.); essas informações devem estar registradas em um banco

A Figura 1 apresenta, sucintamente, o processo de aplicação do Sistema SAEDE.

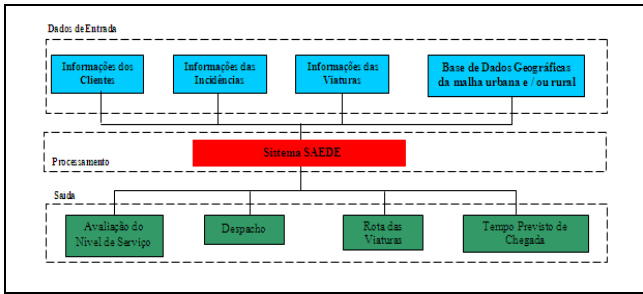


Figura 1. Estrutura simplificada do sistema SAEDE

A estrutura apresentada na Figura 1 mostra uma série de funcionalidades cuja operacionalização e saídas no Sistema SAEDE são feitas de forma a mais customizada possível para a distribuidora de energia elétrica, considerando suas práticas operacionais.

Aoki et al. [4] utilizaram a técnica multi-agentes para determinar a "melhor" equipe de campo e o "melhor" caminho que esta deveria efetuar para atender a uma incidência em um sistema de atendimento emergencial (SAE). Steiner et al. [5] aplicaram programação linear inteira, para otimizar o nú-

mero de equipes necessárias para atender aos serviços comercial e emergencial.

No caso do Sistema SAEDE, as principais funcionalidades estão fundamentadas em dois algoritmos: Heurística de Previsão e Re-Sequenciamento (HPRS), que considera toda a dinâmica do processo de atendimento emergencial de incidências no SAE [6], e o algoritmo de Dijkstra, utilizando-se a heurística de Hart-Nillson-Raphael [7]. O primeiro algoritmo foi desenvolvido pela equipe do GLEN/UFC utilizando técnicas de Redes de Petri [6]. A sua concepção e aplicação está apresentada no tópico a seguir.

A estratégia do algoritmo intitulado HPRS é satisfazer, da melhor maneira possível, três objetivos de um SAE, ou seja: i) atender às incidências de maior prioridade; ii) encontrar uma sequência de atendimento das incidências com deslocamento menor que a sequência atual ou considerando a minimização de incidências atrasadas; e iii) assegurar que o desvio entre a nova previsão e a previsão inicial não seja muito grande.

Dessa forma, a idéia do algoritmo é inserir a nova incidência no grupo de incidências com mesma prioridade, resequenciando-as de forma que seja encontrada uma sequência de atendimento, com distâncias percorridas pelas equipes de campo menores que aquelas simplesmente obtidas inserindo a nova incidência no fim da fila de espera. Para respeitar a necessidade de atender às incidências de maior prioridade, em detrimento das incidências de menor prioridade, a regra de despacho FIFO (First In First Out) insere a nova incidência no fim da fila das incidências de mesma prioridade, ao invés de inserir no fim da fila de todas as incidências.

Já a heurística HPRS, inicialmente, insere a nova incidência na mesma posição que seria inserida pela regra de despacho FIFO. Dessa forma, as incidências ficam agrupadas por prioridade e as de maior prioridade são atendidas antes das de menor prioridade. Em seguida, é executada a regra de designação para determinar qual equipe de campo atenderá à nova incidência, fornecendo uma previsão temporária do horário de resposta da nova incidência. Se houver incidências de menor prioridade em espera, a previsão do horário de resposta em relação a elas deverá ser refeita, pois as previsões atuais serão atrasadas em relação às previsões iniciais. Sendo assim, um dos três objetivos do SAE (Atender às incidências de maior prioridade) é cumprido.

Para atender a outro objetivo do SAE, ou seja, encontrar uma sequência de atendimento das incidências com deslocamento menor que a sequência atual, é executado um algoritmo de busca local em cada grupo de incidências que possuem a mesma prioridade.

A busca local é implementada através de um algoritmo Steepest Descent (SD). Um algoritmo desse tipo consiste em executar todos os movimentos v de uma vizinhança Z ; no momento em que uma solução melhor que a atual é encontrada, reinicia-se a busca do ponto inicial. Se toda a vizinhança é pesquisada e nenhuma solução melhor que a atual é encontrada, significa que a solução atual é um ótimo local para a vizinhança Z . Então, a execução da busca local é encerrada. No algoritmo SD foi utilizado o movimento *shift* (inserção), mostrado na Figura 2. O movimento *shift* selecio-

na a incidência da posição i_1 e a insere na posição da incidência i_2 , obrigando que as incidências no intervalo fechado entre i_1 e i_2 sejam deslocadas no sentido de i_1 , com $1 \leq i_1 \leq n$, $1 \leq i_2 \leq n$, $i_1 \neq i_2$, $i_1 - 1 \neq i_2$, em que n é o número de incidências de cada grupo de prioridade. O movimento v é definido pelo seguinte par de incidências $v = (i_1, i_2)$. A vizinhança é composta pelo conjunto de movimentos $Z = \{ (i_1, i_2) \mid i_1, i_2 \in \{1, 2, \dots, n\}, i_2 \notin \{i_1, i_1-1\} \}$ de cardinalidade $(n - 1)2$, em que a condição $i_2 \notin \{i_1, i_1-1\}$ evita a redundância de movimentos.

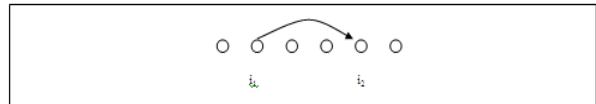


Figura 2. Representação do movimento *shift*

Para atender ao último dos três objetivos, ou seja, assegurar que o desvio entre a nova previsão e a previsão inicial não seja muito grande, foram criados dois parâmetros de controle: o tempo de adiantamento máximo (E_{max}), definido como o maior adiantamento tolerado entre a nova previsão e a previsão inicial; e o tempo de atraso máximo (T_{max}), definido como o maior atraso tolerado entre a nova previsão e a previsão inicial. A cada movimento do algoritmo SD, é calculada a Distância Percorrida Total (DPT^*) da nova sequência. Se esta é menor que a Distância Percorrida Total da sequência inicial (DPT^0), verifica-se, para todas as "i" incidências do mesmo grupo que tiveram uma nova previsão, qual o desvio, em minutos - ΔP_i , entre a previsão inicial e a nova previsão. Se o atraso for menor que T_{max} , ou o adiantamento for menor que E_{max} , então a nova sequência é aceita como sequência atual; caso contrário, o processo de busca continua. Quando o algoritmo SD executa todos os movimentos e nenhuma sequência melhor é encontrada, a busca local é encerrada. A previsão temporária da nova incidência é substituída pela previsão inicial e são apresentadas as novas previsões das incidências alteradas. Na Figura 3 são apresentados resumidamente todos os passos da heurística HPRS.

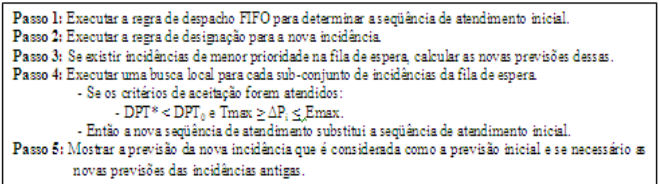


Figura 3. Os passos da heurística HPRS

Para efeito de teste do algoritmo, foi realizada uma aplicação com dados hipotéticos [7], considerando 45 incidências e três equipes de atendimento emergencial. Foram realizadas três simulações, considerando três grupos de 15 incidências cada. O objetivo da aplicação era comparar a estratégia FIFO com a estratégia HPRS. Os resultados obtidos mostraram que a que a heurística HPRS reduz o tempo de resposta quando comparada à regra de despacho FIFO. A simulação do primeiro grupo de incidências foi de -4,81%, no segundo grupo foi de -15,41% e no terceiro grupo foi de -24,76%. Os adiantamento e atraso médios foram de 3,07 min e 22,94

min, no primeiro grupo de incidências, 20,91 min e 33,77 min, no segundo grupo e 37,90 min e 36,94 min no terceiro grupo.

Considerando uma tolerância de adiantamento e atraso de 60min, os desvios apresentados estão dentro do aceitável, tendo em vista que o maior desvio registrado foi de 37,90-min. A heurística HPRS também se mostrou ainda mais eficiente que a regra de despacho FIFO quando é maior o número de incidências, como é o caso dos dias atípicos. A diferença entre os Tempos Médios de Respostas da heurística HPRS e da regra de despacho FIFO foi de -4,81% e -24,76%, respectivamente, no primeiro e terceiro grupos de instâncias. Esse resultado é interessante, já que os dias atípicos são os mais complicados para o SAE.

Quanto às funcionalidades, o Sistema SAEDE possui várias com o objetivo de automatizar o máximo possível os processos operacionais, possibilitando a melhoria na gestão do serviço de atendimento emergencial. Tais funcionalidades estão apresentadas, sucintamente, a seguir.

A. As abordagens da Rotina HPRS

A Rotina HPRS [7] foi concebida com a flexibilidade de ser executada com base em duas funções-objetivo: uma para minimizar deslocamentos e outra visando minimizar incidências atrasadas. O usuário pode escolher a função-objetivo de sua preferência no próprio Sistema, dependendo das prioridades definidas na operação (ver tela na Figura 4).



Figura 4. Tela para escolha da função-objetivo no Sistema SAEDE

B. Os Cálculos das Distâncias de Deslocamento

O Sistema SAEDE calcula as distâncias de deslocamento das viaturas considerando o tecido urbano, ou seja, as distâncias reais formadas pelo conjunto de trechos viários que ligam um ponto a outro. Além disso, essas distâncias são calculadas a partir de uma heurística que determina o caminho mínimo entre dois pontos definidos pelo usuário. No entanto, é necessário que haja uma base de dados geográficos no formato adequado [8]. O Sistema SAEDE possui uma tela de indicação do caminho mínimo para atendimento de

incidências, produzido no Sistema na sala de controle do SAE, e com possibilidade de ser enviado ao *palmtop* da equipe no campo.

C. Os Despachos Automáticos

O procedimento de despacho automático do Sistema SAEDE é feito quando se deve alocar uma viatura para atender a uma incidência no Sistema. O procedimento é feito da seguinte maneira:

i) Para cada viatura disponível ou que está programada para ingresso, o sistema encontra a incidência que possui, ao mesmo tempo, o maior tempo de normalização e uma prioridade imediatamente maior ou igual à prioridade da incidência que acaba de ingressar no sistema. Por exemplo, caso uma incidência “K”, de prioridade “1”, ingresse no sistema atendido por três viaturas, as quais possuem incidências já despachadas, conforme apresenta o exemplo hipotético da Figura 4, o sistema calcula o tempo de chegada das equipes à referida incidência considerando ela “furar” a fila, conforme mostra a figura. Esse posicionamento da incidência nas filas é diferente para cada abordagem escolhida da rotina HPRS, conforme já mencionado;

	V1		V2		V3	
	Incidência	Prioridade	Incidência	Prioridade	Incidência	Prioridade
	A	0	D	0	F K	0
K →	B	0	E	1	G →	3
	C	2 K →		1	H	3

Figura 5. Procedimento de despacho de uma incidência recém-ingressa no sistema.

ii) O Sistema SAEDE, então, calcula o possível tempo de chegada de cada viatura à incidência K. Este cálculo considera os seguintes componentes de tempo, para cada incidência: tempo de liberação da equipe para início dos trabalhos; tempo de deslocamento das equipes; tempo de preparo das equipes no momento em que chega ao local até o início do reparo; tempo de reparo; tempo de preparo das equipes no momento em que finaliza o reparo até o momento em que dá início ao deslocamento para atender a nova incidência;

iii) Depois de calculados os tempos, o sistema escolhe a viatura de menor tempo total de chegada ao local da incidência;

iv) Por fim, o sistema realiza o procedimento de “atualização em cascata” (conforme descrito na alínea D).

Além do caso em que uma incidência é recém-ingressa no SAE, o procedimento de despacho automático é realizado, também, nos seguintes casos:

✓ Quando há mudança de prioridade de uma incidência: neste caso quando as incidências adquirem prioridades “0” ou “1”, conforme regras de mudanças de prioridade definidas pela distribuidora, o sistema realiza um novo despacho automático, de acordo como mostrado na Figura 4.

✓ Inclusão ou Exclusão de Equipes: conforme apresentado na alínea “E”, o Sistema SAEDE realiza uma reconfiguração automática da matriz viaturas *versus* incidência, na medida em que equipes são excluídas ou incluídas no sistema de atendimento. Nessas reconfigurações, todas as equipes são re-despachadas automaticamente. A Figura 6 mostra a tela de reconfiguração do Sistema SAEDE.



Figura 6. Tela de reconfiguração do Sistema SAEDE.

D. Atualização em “Cascata”

O Sistema SAEDE gerencia um conjunto de incidências que são atendidas por um conjunto de viaturas. Um exemplo de matriz viatura *versus* incidência formada está apresentado pela estrutura simplificada da Figura 6. A Figura 6 apresenta um conjunto de 03 viaturas para as quais foram alocadas algumas incidências. Para cada incidência, estão contabilizados dois tipos de tempos: o tempo de deslocamento – T_d , compreendido entre o instante em que a viatura está liberada para atender a incidência (seja no início do turno ou após a finalização de um atendimento) até o instante em que a viatura chega ao local; e o tempo de reparo – T_r , compreendido entre o instante de tempo em que o técnico chega ao local da incidência, até o instante de tempo em que o técnico finaliza o atendimento. Existem outras componentes de tempo consideradas no sistema de atendimento; porém, para o exemplo que se segue, a consideração das duas componentes referidas é suficiente.

Viaturas					
V1		V2		V3	
Incidências	Tempos	Incidências	Tempos	Incidências	Tempos
A	$T_{da}; T_{ra}$	E	$T_{de}; T_{re}$	G	$T_{dg}; T_{rg}$
B	$T_{db}; T_{rb}$	F	$T_{df}; T_{rf}$	H	$T_{dh}; T_{rh}$
C	$T_{dc}; T_{rc}$			I	$T_{di}; T_{ri}$
D	$T_{dd}; T_{rd}$			J	$T_{dj}; T_{rj}$

T_d : Tempo de Deslocamento para incidência “i”;
 T_r : Tempo de reparo da incidência “i”

Figura 7. Exemplo de matriz viaturas *versus* incidências.

Para calcular, por exemplo, o tempo de finalização da ocorrência “D” da Figura 7, alocada para a viatura “V₁”, considerando como instante inicial o início de deslocamento da viatura para a incidência “A”, tem-se:

$$\text{Tempo de finalização da ocorrência “D”} = T_{da} + T_{ra} + T_{db} + T_{rb} + T_{dc} + T_{rc} + T_{dd} + T_{rd} \quad (1)$$

Em se tratando o SAE de um sistema dinâmico, os valores de T_d definidos podem mudar a cada instante. Como a estrutura de atendimento é sequenciada, a mudança de tempo de uma incidência causa mudanças nos tempos de atendimento de todas as incidências subsequentes. Essas mudanças dão-se por um ou mais dos seguintes motivos:

- ✓ Há a entrada de uma incidência de maior prioridade, que “fura” a fila das incidências de menor prioridade;
- ✓ Existem diferenças nos tempos de deslocamento e reparo registrados e os confirmados pelos técnicos de campo;
- ✓ Há a inclusão ou exclusão de uma equipe de atendimento.

Em função disso, o sistema executa um processo de “atualização em cascata”, ou seja, quando um dos tempos de uma incidência sofre modificação, os demais tempos das incidências subsequentes também sofrem modificação.

E. Reconfigurações do Sistema

As reconfigurações do Sistema SAEDE são realizadas quando há acréscimo ou decréscimo de equipes no SAE. O procedimento de reconfiguração é realizado considerando que as incidências estão em fila indiana, organizada pelos critérios de prioridade e hora de ingresso no sistema, nesta ordem.

Para a execução de todas as previsões, despachos e simulação que o sistema executa, são definidos alguns parâmetros. Esses parâmetros dizem respeito a: velocidades médias do carro (caminhão, cesta aérea e carro pequeno) e da moto, adiantamento e atraso máximos admitidos (quando o sistema é executado com o objetivo de minimizar incidências atrasadas) e tempo de preparação. Neste caso, o tempo de preparação diz respeito ao tempo compreendido entre o final de um reparo em uma incidência e o início de deslocamento para outra incidência (ver Figura 7).

F. Simulações para Avaliação do Nível de Serviço

O Sistema SAEDE permite que o usuário realize simulações para avaliação do nível de serviço do atendimento emergencial, podendo essas simulações ser feitas de dois modos. Primeiramente, o Sistema solicita ao usuário que informe qual o valor (padrão) de um indicador (como, por exemplo, o tempo máximo de chegada no local da incidência) que ele pretende alcançar e o Sistema SAEDE, então, calcula quantas equipes são necessárias para que se atinja o valor padrão definido. Por outro lado, o Sistema também fornece o valor do indicador caso o operador inclua ou exclua um determinado número de equipes. O Sistema SAEDE possibilita abordar outro indicador, desde que esteja relacionado com os dados de entrada e saída do Sistema (ver Figura 8).

Velocidade Carro:	15	km/h
Velocidade Moto:	30	km/h
Adiantamento:	60	min
Atraso:	60	min
Tempo Preparação:	10	min

Previsão

Minimizar incidências atrasadas

Minimizar deslocamento

Reconfiguração

Minimizar incidências atrasadas

Minimizar deslocamento

Salvar Editar Cancelar

Figura 8. Parâmetros do Sistema SAEDE

G. O Artificio da Pseudo-incidência

O artificio da pseudo-incidência foi criado com o objetivo de permitir que o Sistema SAEDE aloque mais de uma viatura a uma única incidência. Quando o usuário deseja visualizar apenas os detalhes de uma incidência “i” qualquer, existe um comando em que o Sistema permite que o usuário aloque mais uma equipe. Quando isso é feito, uma nova incidência é despachada automaticamente, considerando todas as equipes do SAE, exceto aquela que está atendendo a incidência “i”. Essa nova incidência, na realidade, é a incidência “i”; por isso, é chamada de pseudo-incidência.

H. Escala das Equipes

No Sistema SAEDE, as equipes estão disponíveis para o despacho automático desde o momento em que são programadas para ingresso. Por outro lado, o Sistema não considera para despacho as equipes em horários de intervalo ou quando tem o turno finalizado. O Sistema considera, para isto, as previsões de início e fim de turno e início e fim de intervalo.

A aplicação do Sistema SAEDE ao caso piloto de Fortaleza exigiu alguns procedimentos inicialmente não previstos no Projeto. No que concerne à base de dados geográficos, houve inviabilidade de utilização da base de dados da SYNAPSIS, empresa de suporte de informática à Coelce, tendo em vista não só uma significativa (em face do cronograma do Projeto) demora no repasse dos dados necessários como também o fato de que os dados disponibilizados não apresentavam formato adequado, exigindo um tempo demasiado grande para sua correção e ajuste.

Dessa forma, usou-se uma base de dados do GLEN/UFC, concebida com outros recursos, devendo ser utilizada exclusivamente para fins de pesquisa, o que permitiu a sua utilização dentro do escopo do Projeto, mas com restrições de disponibilidade para uso interno da Coelce, que deverá disponibilizar, por aquisição ou montagem própria, uma base de dados consistente, que permita a aplicação do Sistema SAEDE – Versão 1.0, com características de configuração na topologia arco-nó.

No que tange aos dados de identificação e localização dos Postos de Controle e Referência (PCR’s), a sua utilização foi fundamental para os testes de validação das rotinas desenvolvidas, pois permitiu que o Sistema SAEDE abordasse casos próximos da realidade.

Finalizadas as etapas de testes e ajustes, o Sistema SAE-DE tornou-se mais amigável ao usuário e adaptável às práticas do atendimento emergencial da Coelce. Isso foi possível graças ao envolvimento, nessas etapas, de grande parte dos técnicos envolvidos com o atendimento emergencial da distribuidora, que sugeriram adaptações ao sistema, as quais foram devidamente nele incluídas.

É importante ressaltar que todas as funcionalidades do Sistema SAEDE estão condizentes com as particularidades repassadas pelos técnicos da Coelce. No entanto, o desenvolvimento do projeto permitiu que outras necessidades fossem visualizadas pelos técnicos do GLEN/UFC e outras sugeridas pelos técnicos da Coelce, as quais não estavam no escopo inicial do Projeto. A principal delas é a montagem de base de dados geo-referenciadas, sem a qual as funcionalidades do Sistema SAEDE não podem ser executadas.

Finalmente, em função do exposto, as equipes do GLEN/UFC e Coelce discutiram a necessidade de continuação do Projeto SAEDE, através de Versão 2.0 do Sistema, a qual contemplaria outros aspectos pertinentes à operacionalização do SAE/Coelce, visando fornecer ferramentas ainda mais refinadas para a tomada de decisão e buscando sempre a melhoria contínua da qualidade dos serviços prestados aos clientes da distribuidora.

V
I
.
C
O
N
C
L
U
S
Õ
E
S

V
I
I
.
A
G
R
A
D
E
C
I
M
E
N
T
O
S

O presente artigo apresentou as principais características do Sistema SAEDE, desenvolvido para subsidiar a gestão de sistemas de atendimento emergencial aos clientes de distribuidoras de energia elétrica. Ficou claro que a aplicação do Sistema do SAEDE em qualquer SAE permite automatizar e otimizar processos operacionais, o que reflete positivamente nos custos operacionais e no nível de serviço prestados aos clientes pelas distribuidoras de energia elétrica.

A aplicação piloto do Sistema SAEDE, feita ao caso da Companhia Energética do Ceará – Coelce, na cidade de Fortaleza, demonstrou que, dada uma adequada base de dados geo-referenciados, o Sistema agrega bastante valor aos serviços prestados pelas distribuidoras, ao melhorar sensivelmente o nível dos serviços que presta aos seus clientes, agindo em consonância com as normas estabelecidas pela ANEEL.

É importante ressaltar que o Sistema SAEDE contém funcionalidades outras que as previstas no seu escopo original, complementares para efeito da gestão do atendimento emergencial de uma distribuidora de energia elétrica, tendo contemplado as funcionalidades do SAE/Coelce. Essas funcio-

nalidades, que não estão relacionadas diretamente com as funcionalidades de automatização do atendimento emergencial, previstas no Projeto, foram fundamentais na etapa de testes do Sistema SAEDE.

Além disso, as funcionalidades previstas no Sistema SAE-DE podem ser apresentadas somente com a participação das funcionalidades de apoio. Por esta razão, resolveu-se replicar as funcionalidades já existentes no Sistema da Coelce, chamadas de funcionalidades secundárias, e integrá-las com as funcionalidades previstas no Sistema SAEDE, chamadas de funcionalidades primárias.

Finalmente, os aspectos reportados neste trabalho contemplam todas as funcionalidades previstas no Sistema SAEDE, estando consoantes com os objetivos específicos iniciais do Projeto. Além das funções principais, a equipe do GLEN/UFC agregou outras complementares a estas, para que fosse possível simular o processo de operação do atendimento emergencial como um todo, tornando evidente o potencial das ferramentas concebidas para a automatização do SAE/Coelce [9].

Os autores agradecem à ANEEL, pela oportunidade dada ao desenvolvimento da Pesquisa, e à Coelce, em nome de todos os seus técnicos que contribuíram para o desenvolvimento do Sistema SAEDE, em especial à engenheira Selma Helena Almeida.

Os autores também registram que a concepção e desenvolvimento do Sistema SAEDE contou, ainda, com a colaboração dos seguintes técnicos: Prof. Dr. Carlos Augusto Uchoa da Silva, Prof. Dr. Ronaldo Fernandes Ramos, Prof. Dr. José Lassance de Castro Silva, Eng. Msc Francisco Ivan de Oliveira, Analista em Informática Francisco Edilson do Nascimento, e estagiários do Curso de Computação da UFC José Augusto Baltazar Alves e Paulo Eduardo Juvêncio Néri.

V [8] GLEN/UFC. Desenvolvimento e Aplicação de Software para Previsão
I de Atendimento Otimizado de Emergência ao Cliente das Distribuidoras de
I Energia Elétrica: Aplicação ao Caso da Coelce – Projeto SAEDE. Relatório
I Técnico IV: Arquitetura Computacional e Base de Dados do Sistema SAE-
I DE. Grupo de Estudo e Pesquisa em Infra-estruturas de Transporte e Logis-
. tica da Energia Universidade Federal do Ceará, Dezembro 2008.

R [9] GLEN/UFC. Desenvolvimento e Aplicação de Software para Previsão
E de Atendimento Otimizado de Emergência ao Cliente das Distribuidoras de
F Energia Elétrica: Aplicação ao Caso da Coelce – Projeto SAEDE. Relatório
E Final de Pesquisa. Grupo de Estudo e Pesquisa em Infra-estruturas de
R Transporte e Logística da Energia Universidade Federal do Ceará, Dezem-
Ê bro 2008.

N
C
I
A
S

B
I
B
L
I
O
G
R
Á
F
I
C
A
S

[1] *Resolução Normativa ANEEL N° 24, de 27 de Janeiro de 2000*, Agência Nacional de Energia Elétrica, 2000.

[2] *Resolução Normativa ANEEL 520, de 17 de Setembro de 2002*, Agência Nacional de Energia Elétrica, 2002.

[3] GLEN/UFC. Desenvolvimento e Aplicação de Software para Previsão de Atendimento Otimizado de Emergência ao Cliente das Distribuidoras de Energia Elétrica: Aplicação ao Caso da Coelce – Projeto SAEDE. Relatório Técnico I : Caracterização e Diagnóstico do Sistema de Atendimento Emergencial da Coelce. Grupo de Estudo e Pesquisa em Infra-estruturas de Transporte e Logística da Energia Universidade Federal do Ceará, Abril 2008.

[4] A. R. AOKI, “Sistema Multi-Agente para o atendimento de ocorrências na rede de distribuição de energia elétrica”, *VI Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente. Bauru, Brasil, 2003*.

[5] M.T.A STEINER, C.E.S. C OSTA; D.M.B. COSTA, E.A. FILHO, V.C. ZAMBENEDETTI. “Técnicas da pesquisa operacional aplicadas à logística de atendimento aos usuários de uma rede de distribuição de energia elétrica.” *SISTEMAS & GESTÃO*, v. 1, n. 3, p. 229-243, setembro de 2006.

[6] GLEN/UFC. Desenvolvimento e Aplicação de Software para Previsão de Atendimento Otimizado de Emergência ao Cliente das Distribuidoras de Energia Elétrica: Aplicação ao Caso da Coelce – Projeto SAEDE. Relatório Técnico III: Descrição e Resultados Parciais da Aplicação dos Algoritmos Elaborados para Abordagem do Problema de Atendimento Emergencial. Grupo de Estudo e Pesquisa em Infra-estruturas de Transporte e Logística da Energia Universidade Federal do Ceará, Agosto 2008.

[7] P. T. NEVES, “Variações e aplicações do algoritmo de Dijkstra” Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Computação, 2007.