



## XIX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2010 – 22 a 26 de novembro

São Paulo - SP - Brasil

### Gestão estratégica das ordens de serviço: uma abordagem para despacho centralizado

**Vinícius Jacques Garcia**

**UNIPAMPA**

[vinicius.garcia@unipampa.edu.br](mailto:vinicius.garcia@unipampa.edu.br)

**Daniel Pinheiro Bernardon**

**UNIPAMPA**

[daniel.bernardon@unipampa.edu.br](mailto:daniel.bernardon@unipampa.edu.br)

**Maurício Sperandio**

**UNIPAMPA**

[mauricio.sperandio@unipampa.edu.br](mailto:mauricio.sperandio@unipampa.edu.br)

**Gilson Loser**

**AES Sul**

[Gilson.loser@aes.com](mailto:Gilson.loser@aes.com)

**Cléverton do Vale**

**AES Sul**

[cleverton.Vale@aes.com](mailto:cleverton.Vale@aes.com)

**James Fernandes**

**AES Sul**

[james.Fernandes@aes.com](mailto:james.Fernandes@aes.com)

#### **PALAVRAS-CHAVE**

Despacho centralizado

Ordens de serviço

Otimização combinatória

Agrupamento

Roteamento

#### **RESUMO**

Este trabalho propõe uma abordagem para despacho centralizado de ordens de serviço, técnicas e comerciais, para as concessionárias de distribuição de energia elétrica. A partir do conhecimento prévio de todas as ordens a serem executadas e do conjunto de equipes disponíveis, se faz necessário o emprego de técnicas computacionais para se obter a solução mais adequada quanto à designação (despacho) das ordens para as equipes e à definição das seqüências (rotas) de atendimento. Como resultado principal tem-se o aumento da produtividade das equipes. Porém, devido ao grande volume de ordens e de critérios envolvidos (tipos de ordens, localização e disponibilidade de equipes, prazos de atendimento, níveis de prioridade, indicadores, entre outros) este problema não é de fácil solução. Assim, este trabalho propõe o desenvolvimento de uma metodologia e software para gestão estratégica das ordens de serviço, contemplando o tratamento combinado do problema de agrupamento com o problema de roteamento de veículos, de tal modo que o tempo necessário para execução do algoritmo desenvolvido seja reduzido e que a resposta seja satisfatória do ponto de vista operacional das distribuidoras. Para comprovação da eficiência da metodologia proposta, são realizados estudos de casos com dados reais de uma concessionária de energia elétrica.

#### **1. INTRODUÇÃO**

Nas concessionárias de energia elétrica, há um grande volume de serviços demandados pelos consumidores ou em função de manutenções nos sistemas de distribuição. Esses serviços são denominados ordens de serviço e classificam-se em três categorias:

- Comerciais: envolvem tipicamente serviços de atendimento comercial, por exemplo, aqueles relacionados com a revisão de medidores, ligação ou corte de fornecimento de consumidores;
- Técnicas: caracterizadas por atividades de inspeção e/ou manutenção periódica em equipamentos da rede de distribuição;
- Emergenciais: eventos na rede elétrica que prejudiquem a segurança e/ou à qualidade do serviço prestado ao consumidor, com conseqüente deslocamento de equipes de atendimento de emergência.

Neste trabalho, a solução proposta abordará o despacho centralizado das ordens comerciais e técnicas, e a definição das rotas de atendimento das mesmas pelas equipes disponíveis. Posteriormente será agregado nos estudos as ordens emergenciais.

Em alguns casos relacionados com as ordens comerciais, há regulamentações da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) que dispõem sobre o prazo máximo de atendimento para determinadas ordens de serviço, sendo que a não observação implica multas ao prestador de serviço [1]. Outro aspecto de grande pertinência é a diversidade dos tipos de ordens e os tipos de equipes de execução: algumas delas realizam somente um certo conjunto de ordens de serviço.

A gestão dos recursos envolvidos nas solicitações de serviços nas redes de distribuição de energia envolve o processamento de uma grande quantidade de dados, correspondente às informações dos clientes, aos recursos humanos e aos materiais da companhia.

Observando-se apenas o problema de decidir quais serão as ordens de serviço que cada equipe executará, é possível relacioná-lo com o problema de agrupamento capacitado [5][9]. No entanto, um requisito fundamental é que cada equipe tenha a rota definida para o seu conjunto de ordens, o que envolve também o problema de roteamento de veículos [4][6].

Considerando a grande demanda destas atividades e os recursos limitados das concessionárias (humanos e materiais), vislumbra-se a necessidade de aprimorar o atendimento, a classificação e a programação das ordens de serviço, na concepção centralizada de despacho. Tal propósito facilita a padronização dos processos de atendimento com o objetivo de aumentar a produtividade e reduzir os custos de deslocamento e comunicação entre os centros de operação e as equipes.

Apesar de já existirem algumas soluções de mercado para despacho de ordens e rota de equipes, elas não consideram as políticas próprias das concessionárias para gestão de recursos e, geralmente, também não envolvem a integração com os respectivos sistemas corporativos. Além disto, há oportunidade para o desenvolvimento e aplicação de métodos mais eficientes e robustos para solução destes problemas.

Assim, neste trabalho é proposta uma metodologia para definir o conjunto de ordens, com a respectiva seqüência de execução, para cada equipe de trabalho disponível para os atendimentos. As seções 2 e 3 apresentam a formulação dos problemas, despacho e rotas, e a metodologia proposta para solução dos problemas, respectivamente. Já nas seções 4 e 5 são apresentados os resultados práticos com dados reais das concessionárias de energia elétrica e as considerações finais, respectivamente.

## **2. Formulação dos Problemas**

### **2.1 Despacho de Ordens**

Despachar ordens de serviço compreende classificá-las em um número de grupos igual ao número de equipes disponíveis. Normalmente, no dia anterior à execução das ordens, os operadores das concessionárias fazem o planejamento das ordens de serviço para as equipes disponíveis no horizonte de 24 horas à frente, considerando as ordens comerciais e técnicas. A Figura 1 ilustra um cenário com a sinalização da localização georeferenciada das equipes e das ordens de serviço, no sistema que monitora as execuções das ordens na concessionária de energia elétrica.



**Figura 1 : Cenário de monitoramento das ordens de serviço e equipes na concessionária.**

Uma definição própria do problema pode ser aquela que se baseia em um grafo orientado  $G = (N, E)$ , possibilitando uma modelagem completa do problema através de um conjunto nós (ordens, equipes) e outro de arcos (deslocamentos), em que:

- $N = O \cup B \cup R$  é o conjunto de nós, sendo  $O$  o conjunto de ordens de serviço,  $B$  é o conjunto de nós que representam as bases operacionais das equipes e  $R$  é o conjunto de nós que também representam as bases mas são utilizados para definir o retorno das equipes à origem. Associado a cada nó  $i \in O$  há um tempo de atendimento  $a_i$  e uma prioridade  $p_i$ . A cada nó  $i \in B$  está relacionada uma jornada de trabalho  $w_k$ .
- $E = \{(i, j) : i, j \in N, i \neq j, i \notin R, j \notin B\}$  corresponde ao conjunto de arcos que relacionam os nós. Nenhum arco pode começar em algum nó pertencente ao conjunto  $R$  e nenhum arco pode terminar em algum nó pertencente ao conjunto  $B$ . Define-se também um tempo de viagem  $t_{ij}$  associado a cada arco  $(i, j) \in E$ .

Para representar uma determinada decisão do problema, define-se uma variável de decisão  $x_{ijk}$  tal que:

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{se a equipe } k \text{ percorre o arco } (i, j), \forall k \in B, \forall (i, j) \in E \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Como o objetivo é definir os grupos de ordens para cada equipe, vislumbra-se que o tempo total de deslocamento seja minimizado em razão de que a produtividade está intimamente relacionada com o tempo que as equipes despendem quando do deslocamento para atendimento das ordens.

Dessa forma, a função objetivo a seguir prevê a minimização da soma de todos os deslocamentos das equipes, respeitando a prioridade de atendimento das ordens. Foram criados três grupos de ordens: prioridade 0 - ordens comerciais reguladas; prioridade 1 - demais ordens comerciais; prioridade 2 - ordens técnicas.

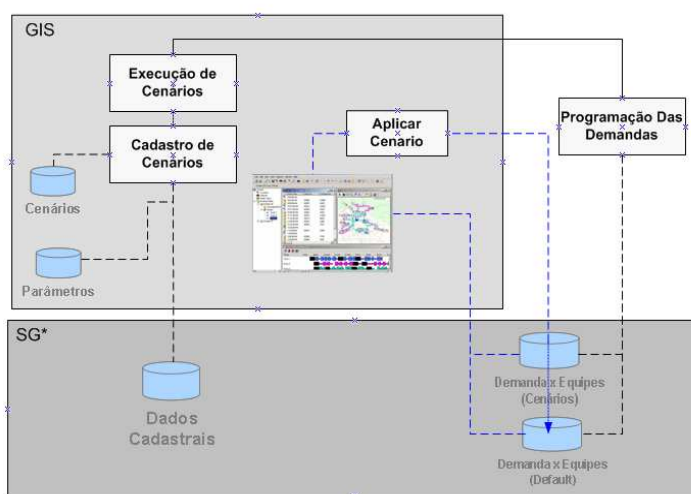
$$\text{Min} \sum_{k \in B} \sum_{(i, j) \in E} t_{ij} x_{ijk} + \sum_{i \in O, i \neq j} \sum_{j \in N, i < j} \sum_{k \in B} (1 - x_{ijk} - x_{jik})$$

As restrições impostas são as seguintes:

- Toda equipe não poderá exceder a sua jornada de trabalho, e neste tempo deve estar incluído o tempo de deslocamento e o tempo de atendimento das ordens designadas;
- Cada ordem de serviço é atendida por somente uma equipe;
- As respectivas bases operacionais são a origem e o destino final de todas as equipes.

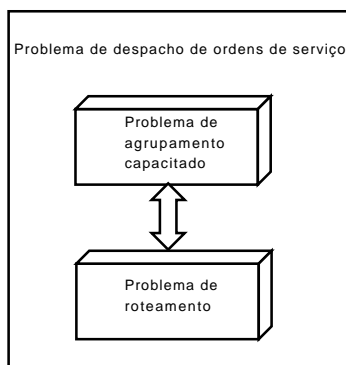
### 3. METODOLOGIA PROPOSTA

A concepção que é escopo desta metodologia apresentada neste artigo se baseia no despacho automático de ordens de serviço, previsto em um projeto intitulado “Gestão estratégica de operações”, cuja representação simplificada é apresentada na Figura 2. Considerando os dados das equipes e a demanda diária de serviços, é realizada uma programação para atendimento considerando os cenários de disponibilidade e algumas restrições operacionais. Estes cenários são passíveis de registro e também a possibilidade de estudo sobre o impacto da aplicação destes no parâmetro real.



**Figura 2 : Representação simplificada do projeto “Gestão estratégica de operações”.**

Para resolver os problemas definidos na seção anterior é proposta uma divisão hierárquica do despacho de ordens em dois níveis: no nível superior encontra-se o problema de agrupamento capacitado, enquanto que o nível inferior inclui o problema de roteamento. A Figura 3 ilustra esta concepção de resolução.

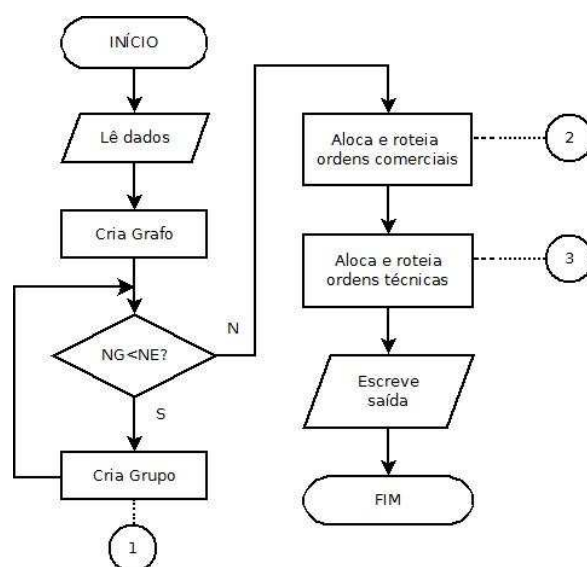


**Figura 3 : Visão hierárquica do problema de despacho de ordens de serviço.**

Pretende-se, com esta abordagem, otimizar a solução, tratamento de forma combinada o problema de despacho na forma de um agrupamento capacitado e o de roteamento, considerando ainda a heterogeneidade na jornada de trabalho das equipes que estarão associadas à capacidade dos respectivos agrupamentos. A resolução deste problema de agrupamento é feita com o uso de um

algoritmo construtivo baseado naquele desenvolvido por Ahmadi e Osman [1], aqui mais uma vez contemplando a divisão do problema em duas etapas: localizar o centro de cada um dos grupos e depois alocar as ordens de modo que a jornada de trabalho não seja excedida e que as ordens comerciais sejam atendidas primeiro. Esta última observação tem muita importância porque é imposto que este tipo de ordem esteja no início da rota das equipes.

A inovação proposta no algoritmo desenvolvido prevê que a cada ordem de serviço alocada a uma equipe seja feito o roteamento para verificar o tempo necessário para atendimento do respectivo conjunto. Caso este tempo não exceda a jornada de trabalho, esta alocação é considerada factível, caso contrário, ela é de pronto descartada. Conclui-se, portanto, que a associação entre o problema de agrupamento e o problema de roteamento se dá durante a avaliação de uma solução: a cada ordem incluída em um conjunto verifica-se a rota mais adequada e o tempo requerido. A Figura 4 ilustra o fluxograma que representa o algoritmo desenvolvido.



**Figura 4 : Fluxograma do algoritmo desenvolvido.**

O algoritmo tem o início com a leitura dos dados que definem o problema (etapa “Lê dados”), incluindo os dados das ordens e das equipes. A seguir é criado o grafo  $G$  mencionado na seção 2. (etapa “Cria Grafo”). A repetição que segue se destina a criação dos grupos de ordens geograficamente distribuídas segundo as coordenadas informadas. Nesta etapa, define-se um centro para o respectivo grupo que necessariamente corresponde a uma ordem de serviço e servirá de referência para o agrupamento das demais ordens na etapa de alocação. O teste “ $NG < NE$ ” compreende a verificação se o número de grupos é menor que o número de equipes informado, caso seja verdadeiro é criado um novo grupo, caso seja falso parte-se para a alocação das ordens nas etapas seguintes. Nas etapas 2 e 3 apontadas na Figura 4 são designadas as ordens aos grupos criados na etapa 1. Primeiro considera-se as ordens comerciais que ocuparão prioritariamente a jornada de trabalho das equipes segundo o limite de horas informado. A seguir são alocadas as ordens técnicas restantes, novamente observando-se a carga horária das equipes disponíveis.

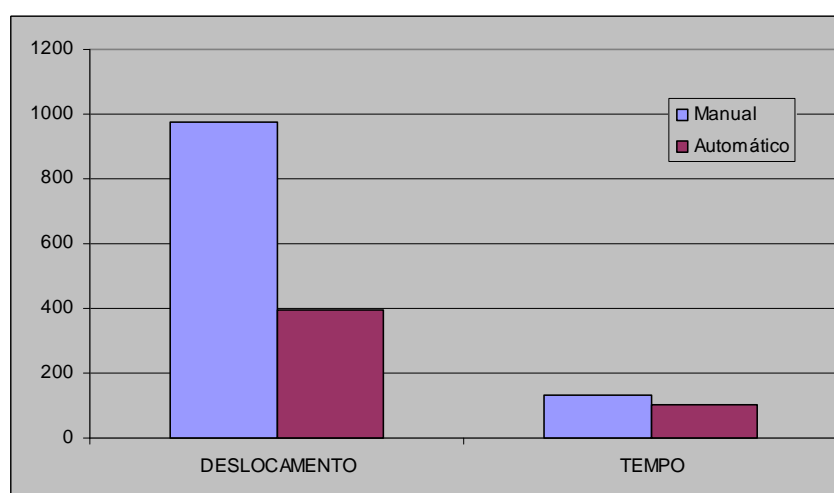
Nas etapas numeradas de 1 a 3 no fluxograma da Figura 4 está previsto o uso de uma versão modificada do algoritmo construtivo de Ahmadi e Osman [2], cujo desempenho é muito satisfatório em razão de contemplar uma medida de densidade no espaço geográfico em que se encontram as ordens. As modificações realizadas se referem basicamente à forma como os grupos são criados e na forma como as ordens são atribuídas às medianas: considera-se que a densidade calculada de cada mediana em potencial será obtida por meio do cálculo das demandas que uma determinada equipe é capaz de executar; a designação de uma determinada ordem a um grupo deve obrigatoriamente respeitar a capacidade que esta equipe poderia executar e também o limite de tempo para atendimento. Especialmente neste último aspecto é que se encontra a principal contribuição do artigo: além da demanda de tempo de cada ordem, também é respeitado o tempo de trabalho que prevê o tempo de deslocamento.

#### 4. RESULTADOS

O estudo de caso elaborado tem por objetivo demonstrar a conveniência da aplicação da metodologia proposta neste artigo, com a execução do algoritmo elaborado para criar os conjuntos de ordens e as respectivas rotas de execução. A proposta é comparar os resultados obtidos com aqueles já produzidos pela forma de despacho atualmente empregada na companhia.

Foi contemplado um cenário em que 290 ordens de serviço devem ser alocadas para 5 equipes, considerando a região de concessão de Santa Maria. Foram avaliados basicamente dois aspectos fundamentais na atribuição destas ordens às equipes: o deslocamento e o tempo total que foi necessário para atender às ordens.

Para fins de comparação, foi nomeada a distribuição realizada atualmente para as equipes na companhia como despacho “manual” e a distribuição proposta nesse artigo como despacho “automático”. A Figura 5 e a Tabela 1 apresentam o resultado desta comparação, onde é possível observar a sensível redução de quase 60% na distância percorrida (deslocamento) e de quase 22% no tempo necessário para a execução das ordens e para a visita dos pontos., que afetará o tempo de trabalho a partir da consideração de uma velocidade média constante e pré-definida.



**Figura 5 : Comparação entre o despacho manual e o despacho automático.**

	<b>Deslocamento (km)</b>	<b>Tempo (h)</b>
<b>Manual</b>	974,71	132,58
<b>Automático</b>	395,44	103,62

**Tabela 1: Dados para o despacho manual e para o despacho automático.**

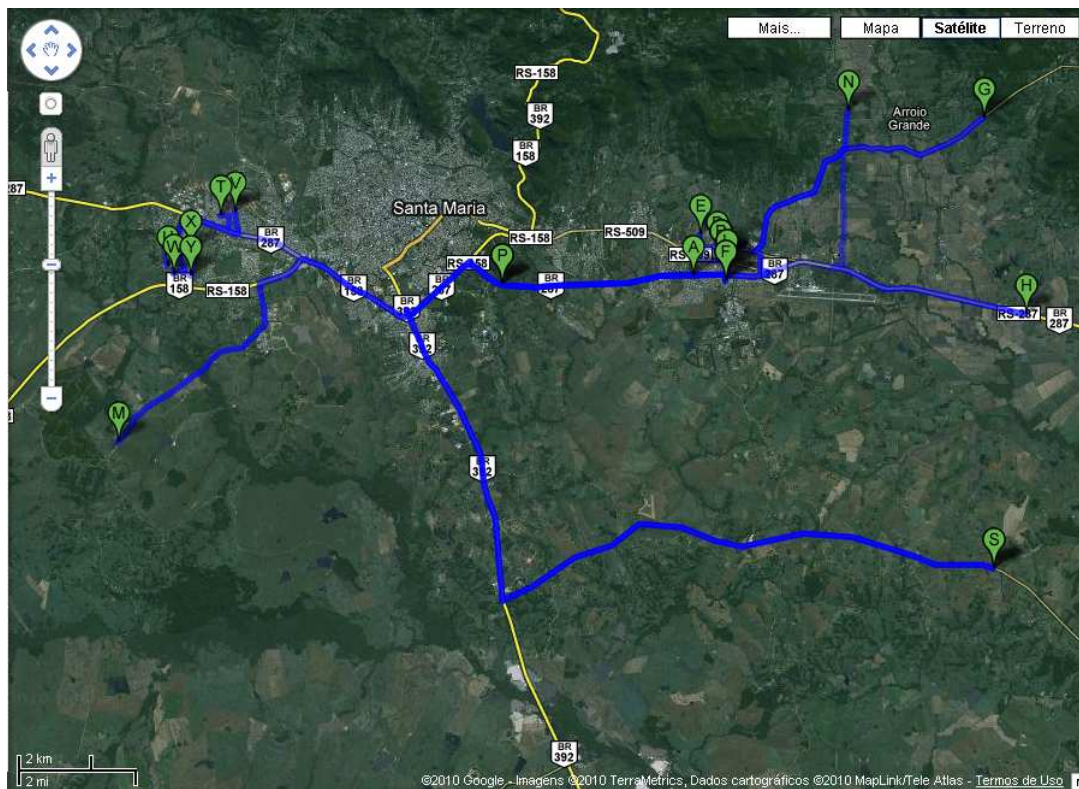
Para uma visualização sobre o comportamento do algoritmo, ilustra-se na Figura 6 o despacho manual e na Figura 7 o despacho automático. É possível observar o adensamento realizado no caso automático, demonstrando a contribuição da metodologia proposta na concentração dos locais de atendimento das ordens.

Um aspecto que deve ser mencionado é o se refere ao requisito de tempo computacional, na maioria dos computadores pessoais não é necessário mais do que 2 segundos para a execução de um cenário como o que foi apresentado anteriormente.

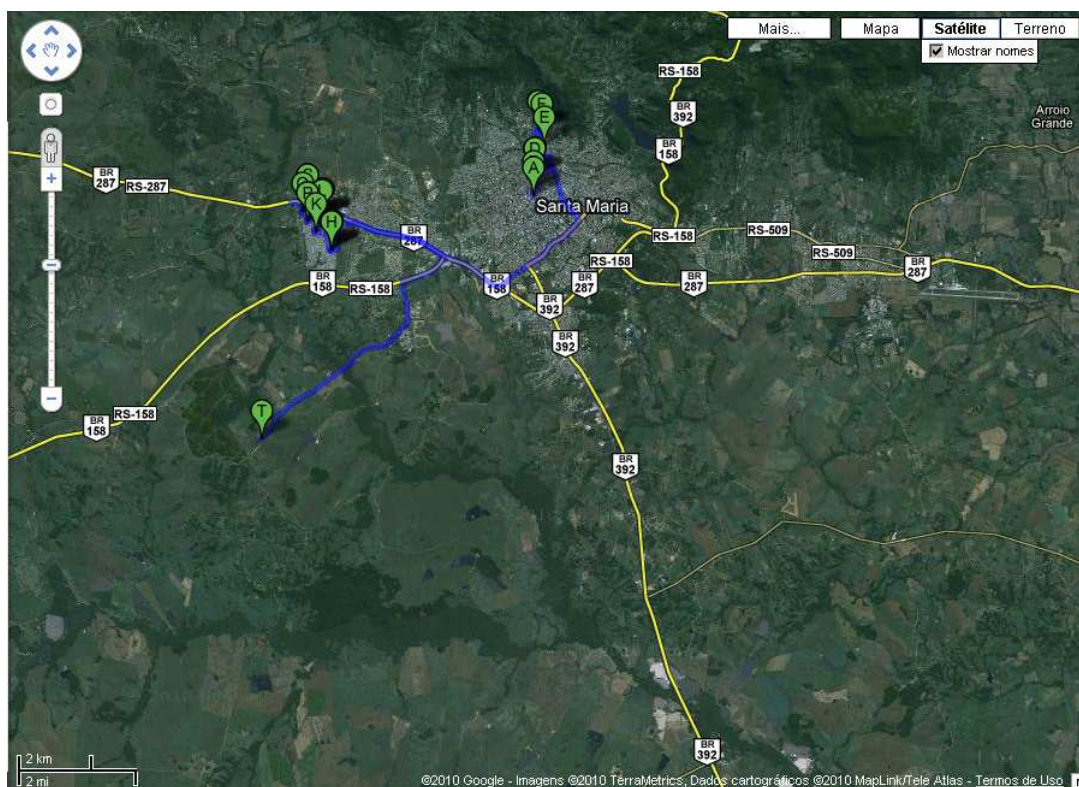
#### 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresenta uma metodologia para despacho automático e centralizado de ordens de serviço em companhias de distribuição de energia elétrica. Esta metodologia é capaz de definir o conjunto de ordens que cada equipe executará com as respectivas seqüência de atendimento.





**Figura 6 : Despacho manual realizado para uma das 5 equipes, com a respectiva seqüência de atendimento.**



**Figura 7 : Despacho automático realizado para uma das 5 equipes, com a respectiva seqüência de atendimento.**

A modelagem do problema de despacho como uma subdivisão hierárquica, envolvendo o problema de agrupamento capacitado e o problema de roteamento, permitiu um bom desempenho do algoritmo tanto no que se refere ao tempo computacional como também na qualidade da solução proposta. A conformação geográfica se mostrou satisfatória na medida em que facilitou a tarefa de rotar o atendimento das ordens.

Os resultados foram promissores no que tange à redução da distância percorrida, justamente porque o tempo de execução das ordens não foi abordado como passível de análise. A partir da possibilidade de realizar um deslocamento menor é possível vislumbrar um melhor aproveitamento das equipes em suas jornadas de trabalho, com o conseqüente aumento da produtividade e da disponibilidade em caso de ordens de emergência.

Trabalhos futuros contemplarão investigações aprofundadas sobre outros algoritmos auxiliares para aprimorar a redução do deslocamento, com especial ênfase na definição das rotas de atendimento.

## **6. AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem o apoio técnico e financeiro da concessionária de energia elétrica AES SUL Distribuidora Gaúcha de Energia SA, por meio do projeto de Pesquisa & Desenvolvimento intitulado “Gestão Estratégica operacional - otimização de rotas e despachos de ordens de serviço”.

## **7. REFERÊNCIAS**

- [1] Agência Nacional de Energia Elétrica, Resolução 456, 29 de novembro de 2000: estabelece, de forma atualizada e consolidada, as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica.
- [2] Ahmadi S., and Osman I.H., 2005. Greedy random adaptive memory programming search for the capacitated clustering problem. *European Journal of Operational Research* 162(1):30–44.
- [3] Chiou Y-C, and Lan L.W., 2001. Genetic clustering algorithms. *European Journal of Operational Research* 135: 413–27.
- [4] Choi, E., Tcha, D-W., 2007. A column generation approach to the heterogeneous fleet vehicle routing problem. *Computers & Operations Research* 34: 2080-2095.
- [5] França P. M, Sosa N. M, and Pureza V., 1999. An adaptive tabu search algorithm for the capacitated clustering problem. *International Transactions in Operational Research* 6:665–78.
- [6] Haghani, A., Jung, S., 2005. A dynamic vehicle routing problem with time-dependent travel times. *Computers & Operations Research* 32: 2959-2986.
- [7] Lorena L.A, and Senne E.L.F., 2004. A column generation approach for the capacitated p-median problems. *Computers & Operations Research* 31:863–76.
- [8] Mehrotra, A. Johnson, E. L. and Nemhauser, G.L., 1998. An optimization based heuristic for political districting, *Management Science* 44(8): 1100–1114.
- [9] Osman I, Christofides N., 1994. Capacitated clustering problems by hybrid simulated annealing and tabu search. *International Transactions in Operations Research* 1(3):317–36.
- [10] Ríos-Mercado, R. L., Fernández, L., 2007. A reactive Grasp for a commercial territory design problem with multiple balancing requirements. *Computers & Operations Research* 3: 755-776.