

LOCALIZAÇÃO DE ESTAÇÕES DE CARREGAMENTO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS: UM ESTUDO DE CASO PARA A REGIÃO DA GRANDE VITÓRIA

Wanderleyson Marchiori Scheidegger

Coordenadoria de Engenharia Elétrica, Campus Vitória
Instituto Federal do Espírito Santo (IFES)
Av. Vitória, nº 1729 - Bairro Jucutuquara, 29040-780, Vitória, ES – Brasil
ee4you@hotmail.com

Mário Mestria

Coordenadoria de Engenharia Elétrica, Campus Vitória
Instituto Federal do Espírito Santo (IFES)
Av. Vitória, nº 1729 - Bairro Jucutuquara, 29040-780, Vitória, ES – Brasil
mmestria@ifes.edu.br; mmestria@uol.com.br

RESUMO

Este artigo apresenta a proposta de modelo para o problema de localização de estação de carregamento de veículo elétrico. Esse modelo corresponde a uma adaptação do problema das p -medianas com uma restrição no número máximo de clientes em cada estação de carregamento. Ele foi aplicado para a região da Grande Vitória no Espírito Santo usando três configurações diferentes. Foi abordado se a utilização de distâncias em linha reta ou rota real afetam os resultados nas configurações. Os resultados computacionais indicam que este modelo pode ajudar a futura implementação de estações de carregamento em uma área urbana.

PALAVRAS CHAVE. Planejamento de estação de carregamento, Veículo elétrico, Modelo das p -medianas.

Tópicos: PO na Área de Energia; L&T-Logística e Transportes; OC-Otimização Combinatória.

ABSTRACT

This paper presents a proposed model for the problem of electric vehicle charging station allocation. This model corresponds to an adaptation of the p -median problem with a constraint on the maximum client number in each charging station. It was applied for the region of Grande Vitória in Espírito Santo using three different configurations. It was discussed if the uses of straight line distance or real route affect the results in the configurations. The computational results indicate that this model can help the future implementation of charging stations at an urban area.

KEYWORDS. Charging station planning, Electric vehicle, p -Median model.

Paper topics: OR in Energy Area; L&T-Logistics and Transport; CO-Combinatorial Optimization.

1. Introdução

Nos dias de hoje muito se discute sobre a interferência do homem no meio em que vive. Desde a descoberta dos combustíveis fósseis a humanidade denigre em escala crescente a qualidade do ar em nosso planeta.

Segundo [Oreskes 2004], sem desacordos, os cientistas encontram nas atividades humanas causas do aquecimento da superfície da Terra. De acordo com a [CETESB 2007], com estimativas do ano de 2007, para a cidade de São Paulo, as *fontes móveis* são responsáveis por 90% da emissão de poluentes. Com o crescente número da frota de veículos automotores a combustão, algumas capitais brasileiras já demonstram considerável piora na qualidade do ar e consequentemente na qualidade de vida de seus moradores.

Conjuntamente à expansão da oferta de eletricidade pelas chamadas fontes limpas, surgem então a necessidade de substituição gradativa do meio de transporte à combustão pelo transporte elétrico, como consequência, uma considerável redução dos gases de efeito estufa no meio ambiente.

Analisando dados do [IBGE 2016] somente na região da Grande Vitória, que engloba as cidades de Vitória, Serra, Cariacica, Vila Velha e Viana o número de automóveis passou de 235.617 em 2005 para 433.939 em 2014, um acréscimo de 84,17% em apenas 10 anos. Desta forma mantendo-se este índice de crescimento de automóveis chegaremos aproximadamente a 800.000 veículos em 2023. Se considerar esta frota de automóveis circulando na cidade de Vitória, estabelece uma relação de mais de um automóvel a cada habitante no futuro próximo.

A região em questão, conhecida como a Região da Grande Vitória possui uma população de cerca de 1,7 milhões de habitantes e deslocamentos que em média não passam de 40 quilômetros, sendo, portanto, uma região propícia à instalação de uma rede de abastecimento de veículos elétricos.

Uma maneira de reduzir custos de deslocamentos e auxiliar na tomada de decisão é através do uso de ferramentas da Pesquisa Operacional (PO), que segundo [Hillier 2010], é aplicada a problemas que envolvem a condução e coordenação das atividades em uma organização. A PO foi usada pela primeira vez durante a Segunda Guerra Mundial onde os organismos responsáveis pela defesa utilizaram o conhecimento de cientistas para assessorar e contribuir na solução de problemas que, antes, se consideravam de atribuição puramente militar [Ellenrieder 1971]. Assim, desta forma, o objetivo neste trabalho é organizar e projetar uma rede de abastecimento de veículos elétricos na Região da Grande Vitória, apoiado numa tomada de decisão de um modelo.

Serão escolhidos pontos de carregamento de veículos de vinte candidatos e que atenda, com o menor custo em unidades de distância a um determinado número de clientes espalhados por esta região. Não serão analisados os custos de implantação das estações por considerar custos iguais para todos os pontos de carregamento. Serão avaliadas as discrepâncias entre as configurações encontradas levando em consideração a tabela de distâncias medidas em linha reta e através das rotas reais das ruas/avenidas. Iremos avaliar se é viável utilizar apenas as distâncias em linha reta (coordenadas geográficas) para uma configuração com um número razoável de clientes.

O artigo é estruturado da seguinte forma: na segunda seção uma revisão da literatura para o problema de localização de estações de carregamento de veículo elétrico é apresentada, na terceira seção a metodologia é descrita, na quarta seção resultados e discussões são realizados e na última seção são mostradas as conclusões.

2. Trabalhos Relacionados ao Problema de Localização de Estações de Carregamento de Veículo Elétrico

A evolução da eletro-mobilidade é impulsionada por potenciais benefícios ambientais que os veículos elétricos trazem e devido ao aumento de hidrocarbonetos presentes na atmosfera nos quais induz a busca por soluções alternativas no sentido de quebrar a dependência da

mobilidade nos combustíveis fósseis [Baouche 2014a]. Estes autores, no entanto, ressaltam que um desenvolvimento da eletro-mobilidade de larga escala trará novos desafios e várias questões de pesquisa, tal como a localização ótima de estações de carregamento, o tempo de recarga da bateria e as limitações de autonomia.

O artigo de [Baouche et al. 2014a] resume o estado da arte de modelos de localização e seu impacto sobre a estratégia de alocação de estações de carregamento de veículos elétricos. O trabalho destes autores concentra-se nos modelos de localização das facilidades que consistem em definir a melhor localização como candidata, o tipo e o número de terminais das estações de carregamento a serem atribuídos na rede, a fim de satisfazer uma demanda de mobilidade requerida. O trabalho ainda fornece a taxonomia de modelos de localização discretos onde a formulação de três classes fundamentais de modelos de localização é revisada: cobertura, modelos de p -medianas [Daskin e Maass 2015] e modelos de dispersão. Em seguida, neste trabalho, a classe estocástica destes modelos é introduzida.

Em [Shao-Yun et al. 2012] foi apresentado um modelo de planejamento de estações de carregamento de veículos elétricos para a zona urbana que considera a estrutura da rede, informação do fluxo de veículos, estrutura do sistema de distribuição e restrições de capacidade. Os autores consideraram em primeiro lugar, o número mínimo e máximo de estações de carregamento estimado de acordo com a capacidade mínima e máxima da estação de carga. Em segundo lugar, o planejamento ótimo para cada estação de carregamento foi encontrado. As localizações iniciais foram determinadas usando o método de coordenadas. O diagrama de Voronoi ponderado foi utilizado para dividir a área de serviço. O modelo dos autores, ainda, selecionou os locais das estações com o objetivo de minimizar a soma dos custos das perdas dos usuários no caminho para a estação de carregamento e os investimentos das linhas de estações. As alocações de estações de carregamento foram otimizadas usando a teoria das filas. Por fim, o modelo considerou tanto os benefícios da empresa de energia como os dos usuários de veículos elétricos pela minimização dos custos para toda a sociedade. Os resultados do estudo de caso evidenciam que os métodos e modelos foram viáveis para o planejamento de estações de carregamento na área urbana.

No trabalho de [Moreira 2013] consistiu no estudo do impacto da presença conjunta de Veículos Elétricos e Produção Renovável numa rede de Distribuição de Média Tensão. Os impactos referiram-se aos aspectos técnicos do bom funcionamento das redes como perdas, perfis de tensão ou existência de congestionamentos nas linhas, e procurou-se fazer uma ligação entre o carregamento do Veículo Elétrico (VE) e existência da produção renovável a nível local de modo a coordená-los com vista a obter melhores níveis de funcionamento das redes. O trabalho de [Moreira 2013] também considerou como critérios de avaliação, o custo da energia consumida e o aproveitamento da produção renovável para efetuar o carregamento. O trabalho deste autor ainda verificou os impactos das diferentes estratégias de carregamento dos VEs, sendo que a estratégia de Seguimento da Produção Renovável foi a que teve menor impacto negativo nas redes, considerando as perdas, as tensões mínimas, os congestionamentos e o total de limites violados por dia.

Em [Lam et al. 2014] o problema de localização de estações de carregamento de veículo elétrico foi estudado para encontrar os melhores locais para a construção de estações de carregamento em uma cidade. Neste problema um veículo elétrico deve sempre ser capaz de acessar a estação de carregamento dentro de sua capacidade em qualquer lugar da cidade. Neste trabalho os autores: (1) estudaram os locais onde estações de carregamento devem ser construídas em uma cidade de tal forma que podemos minimizar o custo de construção com cobertura estendida para toda a cidade; (2) formularam o problema como um problema de otimização, com base na acessibilidade da estação de carregamento e cobertura na cidade; (3) e ainda concentraram nos aspectos humanos em longo prazo, em vez dos aspectos tecnológicos.

No trabalho de [Baouche et. 2014b] foi apresentada uma metodologia para a localização ótima de estações de carregamento de veículo elétrico. A metodologia proposta é baseada em dois modelos de localização clássicos (*Fixed Charge Location* e p -Dispersão). Em vez de fixar as estações de carregamento em zonas de demandas especificadas, o modelo dos autores se

concentra em minimizar o custo total das viagens a partir das zonas de demandas para a localização da estação de carregamento, incluindo o custo de investimento dos servidores. A demanda da energia foi derivada a partir de um modelo de consumo do veículo desenvolvido como parte da biblioteca VEHLIB [TRIGUI et al. 2004] no qual consistem de viagens realistas geradas a partir de ferramentas de roteamento e enriquecidas com perfil de elevação.

Estes trabalhos da literatura nos deram inspiração para estabelecer um modelo para o problema de localização de estações de carregamento de veículos elétricos e testá-lo numa área urbana.

3. Metodologia

A formulação matemática baseada no problema da p -medianas [Krömer e Platoš 2014], visando à minimização de distâncias da função objetivo, foi modelada de acordo com os seguintes parâmetros:

- m = Conjunto de clientes da demanda;
- n = Conjunto de candidatos a estações de carregamento;
- p = Número de estações (medianas);
- k = Máximo de clientes atendidos por cada estação;

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m d_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1; \quad \forall i = 1 \dots m; \quad \forall j = 1 \dots n \quad (2)$$

$$x_{ij} - y_j \leq 0; \quad \forall i = 1 \dots m; \quad \forall j = 1 \dots n \quad (3)$$

$$x_{ij} \leq k; \quad \forall i = 1 \dots m; \quad \forall j = 1 \dots n \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^n y_j = p \quad (5)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}; \quad \forall i = 1 \dots m; \quad \forall j = 1 \dots n \quad (6)$$

$$y_j \in \{0,1\}; \quad \forall j = 1 \dots n \quad (7)$$

As variáveis de decisão incluem:

$$x_{ij} \begin{cases} 1 & \text{se o cliente } i \text{ for atribuído à facilidade } j \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad y_j \begin{cases} 1 & \text{se a facilidade } j \text{ faz parte da solução} \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

A função objetivo (1) busca minimizar as distancias entre os clientes e as estações escolhidas entre os candidatos a estações de carregamento. A restrição (2) garante que todo cliente será atendido por uma estação de carregamento. A restrição (3) garante que nenhum cliente será atendido por locação sem estação de carregamento. Em (4) toda estação atenderá somente um número k de clientes. A restrição (5) garante que haverá apenas a quantidade p de estações escolhidas. Por fim, as restrições (6) e (7) determinam que as variáveis de decisão assumam valor binário.

A localização de p -medianas é reconhecida como um problema NP [Garey e Johnson 1979]. Neste problema, consideramos os vértices distribuídos num grafo completo. Assim, o

problema em questão considera todas as distâncias conhecidas. Não iremos considerar a necessidade de formulação de um algoritmo de relaxação [Glover 1968] dada ao conjunto de instâncias estudado neste trabalho. Utilizaremos na resolução o método simplex que segundo [Shamir 1987] é eficiente para a resolução do problema proposto.

Foram selecionados vinte candidatos a estações de carregamento na Região da Grande Vitória. Para a escolha foi utilizado como critérios locais de grande movimentação de pessoas como instituições de ensino, centros comerciais e estações de transporte. Os locais listados foram agrupados mais na região central que abriga a maior quantidade de clientes em potencial. Os locais estão descritos conforme Tabela 1.

Tabela 1. Candidatos a estações de carregamento de veículos elétricos

1	Aeroporto de Vitória	11	Shopping Mestre Álvaro
2	ArcelorMittal Tubarão	12	Masterplace Mall – Reta da Penha
3	Boulevard Shopping Vila Velha	13	Palácio Anchieta
4	Convento da Penha	14	Praça do Papa
5	Estação Ferroviária Pedro Nolasco	15	Sambão do Povo
6	Faculdade Estácio de Sá de Vitória	16	Shopping Moxuara
7	IFES – Campus Serra	17	Shopping Vila Velha
8	IFES – Campus Vitória	18	Shopping Vitória
9	IFES – Campus Cariacica	19	UFES – Campus Goiabeiras
10	Katsumi Louge (Praia de Camburi)	20	UFES – Campus Maruípe

Os clientes foram selecionados aleatoriamente com o objetivo de cobrir a maior área possível ao redor dos candidatos a estações de carregamento, Figura 1. Ao todo foram selecionados no máximo trinta e cinco clientes e realizados testes com três configurações diferentes do número de clientes. A primeira configuração com vinte e cinco, a segunda com trinta e a terceira com trinta e cinco clientes.

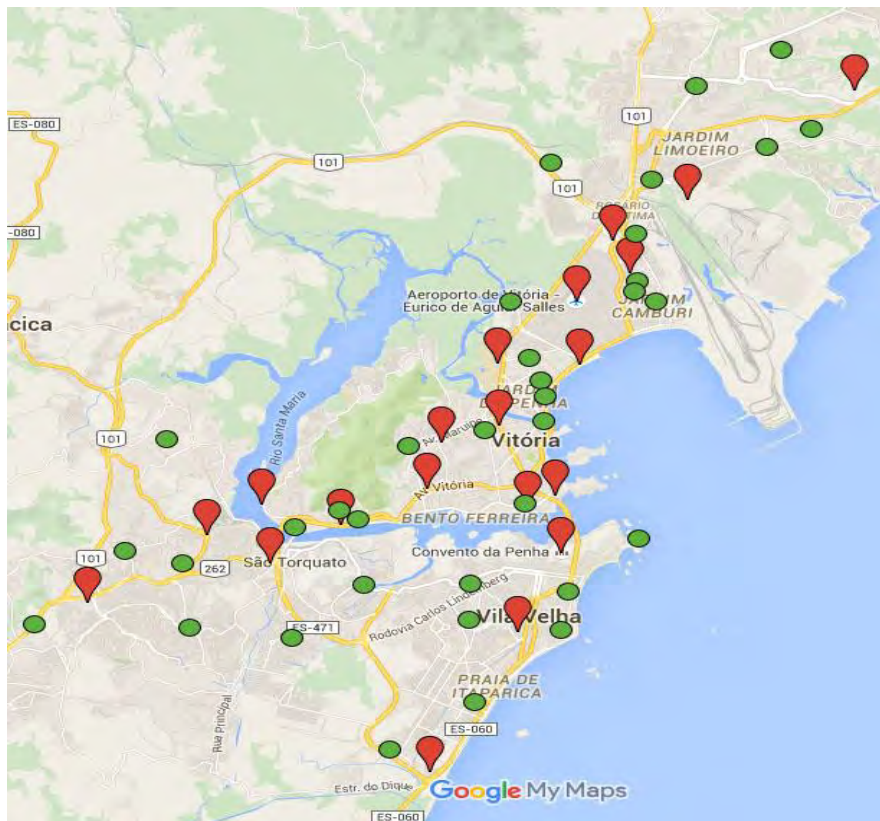


Figura 1 - Locais escolhidos – Em vermelho os candidatos a estações e em verde os clientes.

A matriz de distâncias reais foi preenchida com a menor distância percorrida de automóvel pelas ruas da cidade de todos os clientes até os candidatos a facilidades. Para mensurar as distâncias foi utilizado o mapa do Google [Google Maps 2016] onde foi traçada cada rota e levada em consideração a menor distância. Para o preenchimento da matriz de distâncias em linha reta foram utilizadas as coordenadas geográficas e através do software MatLab release 2015a [MATLAB 2015] foi implementada uma rotina para a conversão dos valores e cálculo das distâncias.

O modelo matemático proposto foi implementado no solver IBM® ILOG CPLEX versão 12.6 [IBM 2015] onde cada configuração de número de clientes foi executada em uma máquina de arquitetura 64 bits, processador INTEL® Core™ i7, de 2,4 GHz e 8 GB de memória RAM. De cada configuração de número de clientes foi executada uma rotina para um número de um a dez medianas escolhidas, por exemplo, para a configuração de vinte e cinco clientes foram executadas rotinas para cada número p , de um a dez, de medianas escolhidas, logo, foram dez execuções ($p=1, \dots, 10$) com a matriz de distâncias em linha reta e dez execuções com a matriz de distâncias reais, totalizando vinte execuções para cada configuração de número de clientes. Estes procedimentos foram executados uma vez utilizando a matriz de distâncias reais e outra a matriz de distâncias em linha reta. Os resultados das funções objetivo foram calculados e a porcentagem (% FO), ver Tabela 2, para ($p=1, \dots, 10$) foi também calculada considerando a relação rota real sobre linha reta. Além de comparar as funções objetivo, avaliamos quais candidatos foram escolhidos e o número de iterações.

Foram implementadas três configurações: a primeira assumindo que cada estação de carregamento atenda no máximo cinco clientes ao mesmo tempo; a segunda, sete clientes e a terceira nove clientes. Em todas as configurações foram utilizados no máximo os trinta e cinco clientes escolhidos e todos os vinte candidatos a estações de carregamento, conforme Tabela 1. Para os cálculos também foi utilizada a matriz de distâncias reais. Os mapas com as configurações escolhidas foram plotadas no Google® My Maps para melhor visualização da distribuição na cidade.

4. Resultados e Discussões

Os dados obtidos no processamento estão dispostos conforme as Tabelas 2, 3 e 4, onde temos nas últimas seis colunas, o número total de estações (p), as estações escolhidas, o tempo de processamento do solver, número de iterações, valor da função objetivo e a porcentagem (%FO), respectivamente.

Tabela 2. Testes computacionais com a configuração de 25 clientes.

	p	Número da estação escolhida	Tempo (s)	Iterações	Objetivo	% FO	
25 Clientes	Real	1	20	2:19	0	214,5	
	L. Reta	1	20	2:34	0	151,9	29,18
	Real	2	5 e 10	2:29	190	144,0	
	L. Reta	2	1 e 13	2:36	198	95,47	33,70
	Real	3	5,11 e 18	2:04	193	109,1	
	L. Reta	3	5,6 e 14	2:40	213	77,6	28,87
	Real	4	5,6,20 e 18	2:56	334	102,2	
	L. Reta	4	6,12,13 e 16	2:36	176	67,25	34,20
	Real	5	9,10,11,13 e 18	2:39	240	96,4	
	L. Reta	5	2,9,10,13 e 14	2:59	305	64,91	32,67
	Real	6	9,10,11,13,17 e 18	2:27	135	84,1	
	L. Reta	6	2,6,9,12,13 e 17	2:25	125	54,41	35,30
	Real	7	2,6,9,13,17,18 e 19	2:16	118	77,00	
	L. Reta	7	2,6,12,13,16,17 e 19	2:42	335	52,36	32,00
	Real	8	2,6,9,10,13,17,18 e 20	2:05	81	70,80	
	L. Reta	8	2,6,9,12,13,16,17 e 19	2:06	109	46,70	34,04
	Real	9	2,5,6,9,10,13,17,18 e 20	2:05	91	67,9	
	L. Reta	9	2,5,6,12,13,14,16,17 e 19	2:20	136	44,71	34,15
	Real	10	2,5,6,9,10,13,16,17,18 e 20	2:43	66	64,3	
	L. Reta	10	2,5,6,9,12,13,14,16,17 e 19	2:04	79	41,6	35,30

Tabela 3. Testes computacionais com a configuração de 30 clientes.

	p	Número da estação escolhida	Tempo (s)	Iterações	Objetivo	%FO
30 Clientes	Real	1	20	1:28	0	271,30
	L. Reta	1	12	1:17	0	193,05
	Real	2	5 e 6	1:20	284	180,2
	L. Reta	2	6 e 13	1:18	276	119,03
	Real	3	5,11 e 18	1:19	207	137,20
	L. Reta	3	5,11 e 14	1:12	224	95,92
	Real	4	5,11,12 e 17	1:23	286	127,40
	L. Reta	4	2,5,12 e 17	1:12	244	84,43
	Real	5	2,5,6,17 e 18	1:23	320	117,00
	L. Reta	5	1,2,9,17 e 20	1:32	418	77,86
	Real	6	2,6,9,13,17 e 18	1:19	429	103,4
	L. Reta	6	2,6,9,12,13 e 17	1:09	143	65,84
	Real	7	2,6,9,10,13,17 e 18	1:11	100	91,4
	L. Reta	7	2,6,9,12,14,16 e 17	1:09	124	61,35
	Real	8	2,5,6,10,13,16,17 e 18	1:41	242	90,30
	L. Reta	8	1,4,7,11,12,13,16 e 17	1:84	743	61,74
	Real	9	1,2,5,6,13,16,17,18 e 20	1:32	212	84,30
	L. Reta	9	2,6,7,9,13,14,16,17 e 19	1:41	425	55,84
	Real	10	5,6,7,9,10,11,12,17,18 e 20	1:25	166	85,10
	L. Reta	10	4,5,6,7,11,12,13,16,17 e 19	1:20	154	53,44

Tabela 4. Testes computacionais com a configuração de 35 clientes.

	p	Número da estação escolhida	Tempo (s)	Iterações	Objetivo	%FO
35 Clientes	Real	1	18	1:60	0	321,60
	L. Reta	1	12	1:47	0	243,16
	Real	2	5 e 6	1:44	333	219,80
	L. Reta	2	6 e 13	1:58	321	148,98
	Real	3	5,11 e 18	1:70	252	168,00
	L. Reta	3	2,5 e 14	1:48	261	118,50
	Real	4	5,11,12 e 17	1:62	369	151,00
	L. Reta	4	2,9,12 e 17	1:70	224	98,78
	Real	5	2,9,10,17 e 18	1:62	411	136,60
	L. Reta	5	1,2,8,9 e 17	1:38	200	92,31
	Real	6	2,6,9,13,17 e 18	1:62	444	121,70
	L. Reta	6	2,6,9,12,13 e 17	1:61	524	81,00
	Real	7	2,6,9,10,13,17 e 18	1:52	174	112,90
	L. Reta	7	6,7,13,14,16,17 e 19	1:63	332	77,24
	Real	8	2,5,6,9,10,13,17 e 18	1:61	133	106,40
	L. Reta	8	1,4,7,11,12,13,16 e 17	1:63	371	70,85
	Real	9	5,6,7,8,9,10,11,17 e 18	1:60	411	109,50
	L. Reta	9	1,4,7,9,11,12,13,16 e 17	1:60	591	69,16
	Real	10	5,6,7,10,11,13,16,17,18 e 20	1:67	327	102,10
	L. Reta	10	2,4,6,7,9,12,13,16,17 e 19	1:57	185	62,90

Ao analisar os dados das Tabelas 2, 3 e 4 notamos uma média de 33,03 % a mais da função objetivo em relação ao processamento utilizando a matriz de distâncias reais e a matriz de distâncias em linha reta. Notamos também que em apenas uma configuração, a de *uma mediana e vinte e cinco clientes*, a estação escolhida, utilizando as duas matrizes de distância foi a mesma. Nas outras vinte e nove configurações houve discrepâncias nas estações escolhidas, fato que interfere no resultado visto que as distâncias que realmente serão percorridas são as distâncias mensuradas através da rota real possível ao veículo. Portanto, para uma efetiva minimização da função objetivo, faz-se necessário a utilização da matriz de distâncias reais já que o valor médio

da diferença, 33,03%, é um valor considerável no cálculo da função objetivo. Analisando os dados de tempo de processamento e iterações das configurações, não foi possível estipular um padrão de comportamento para ambos. Em algumas configurações os tempos e as iterações diminuíram e em outras, aumentaram.

A Figura 2 mostra a configuração para 35 clientes, 7 estações de carregamento (medianas) e cada estação atendendo a apenas 5 clientes por vez. Cada estação escolhida e os respectivos clientes atendidos estão diferenciados pela mesma cor no mapa. Os pontos marcados com o símbolo de um quadrado de cor cinza são os candidatos a estações que não foram selecionados para a solução ótima. Para esta configuração foi utilizada a matriz de distâncias reais, mas as ligações dos clientes com as suas estações foram simbolizadas por linhas retas para facilitar a visualização, pois seria inviável a inserção de tantas rotas no mapa além de que haveria sobreposição dessas rotas devido ao tamanho reduzido da figura.

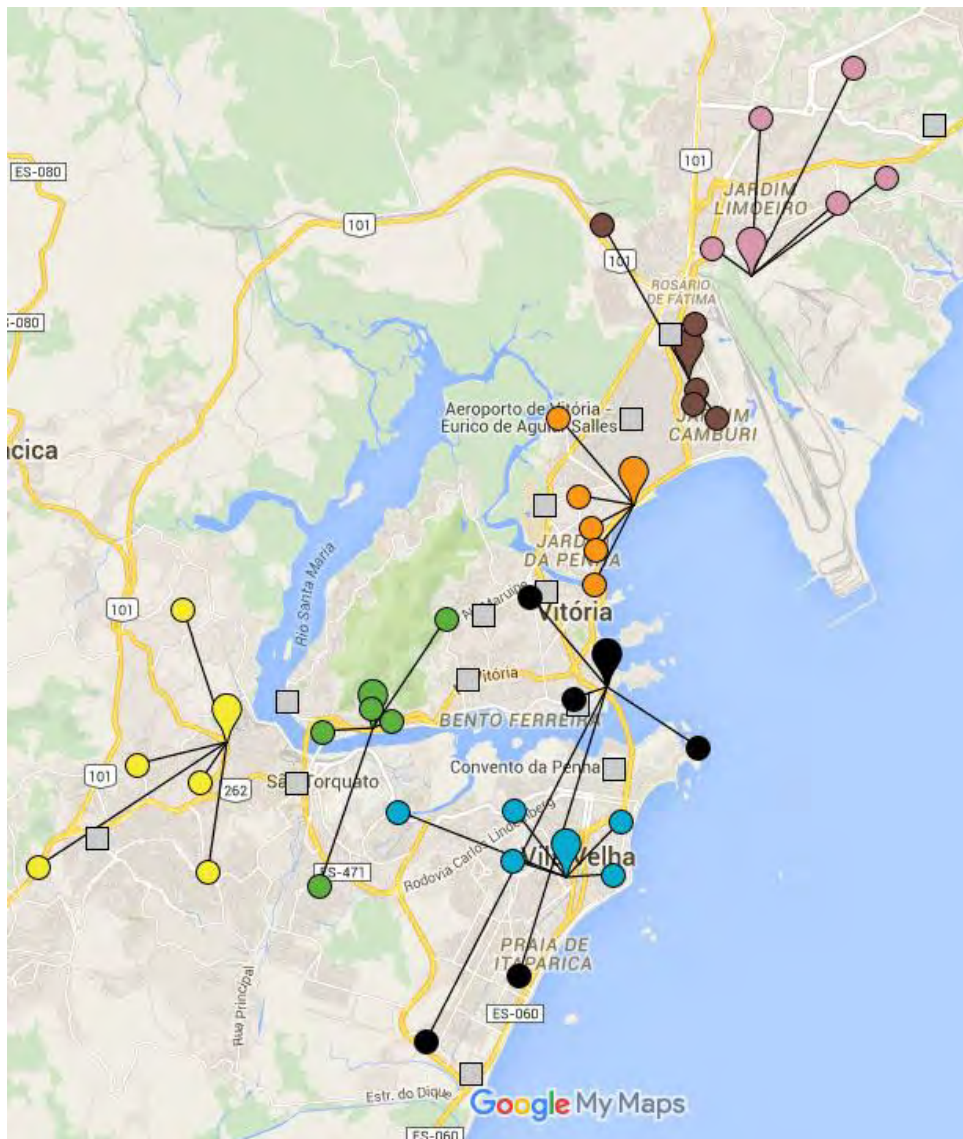


Figura 2 - Configuração para 35 clientes, 7 Estações (medianas) e $k = 5$ clientes.

Como anteriormente mostrado na Tabela 4, para os dados da Figura 2, caso fosse utilizada a matriz de distâncias em linha reta, a função objetivo passaria de 112,90 para 77,24 quilômetros uma redução de 31,59% na distância, mas não representaria a realidade do

deslocamento. Utilizando a matriz de distâncias reais, foram escolhidas as estações de número 2, 6, 9, 10, 13, 17 e 18. Já com a utilização da matriz de distâncias em linha reta as estações escolhidas foram as de número 6, 7, 13, 14, 16, 17 e 19, ocasionando uma interseção de apenas 3 estações e modificando os clientes atendidos por cada estação. A distorção no resultado está no fato de que os veículos se movimentarão conforme a matriz de distâncias reais e a função objetivo passará de 77,24 para 177,60 quilômetros um aumento de 130%. Na realidade, quando se utiliza a matriz de distâncias em linha reta e se compara com a configuração da Figura 2, que utilizou a matriz de distâncias reais, a distância correta que os veículos percorrerão, será de 177,60 quilômetros, um aumento de 57% comparado ao valor da configuração utilizando a matriz de distâncias reais.

A Figura 3 mostra a configuração para 35 clientes, 5 estações de carregamento (medianas) e cada estação atendendo a apenas 7 clientes por vez. A simbologia utilizada são as mesmas descritas para a Figura 2.

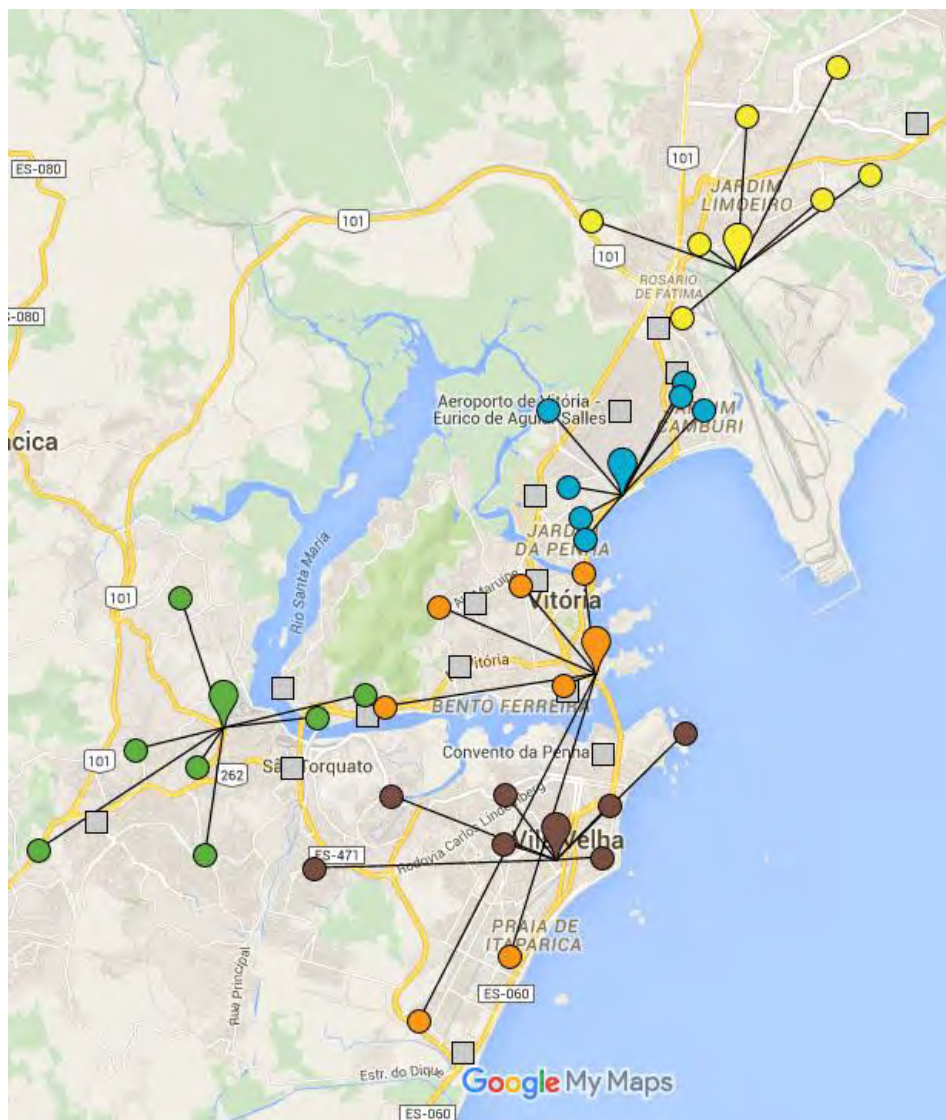


Figura 3 - Configuração para 35 clientes, 5 Estações (medianas) e $k = 7$ clientes.

Neste caso, com os dados da Figura 3, utilizando a matriz de distâncias em linha reta, a função objetivo passaria de 136,60 para 92,31 quilômetros uma redução de 32,42% na distância. Utilizando a matriz de distâncias reais, foram escolhidas as estações de número 2, 9, 10, 17 e 18. Já com a utilização da matriz de distâncias em linha reta as estações escolhidas foram as de

número 1, 2, 8, 9 e 17, ocasionando uma interseção de apenas 3 estações e modificando os clientes atendidos por cada estação. Como tratado na configuração anterior, os veículos se movimentarão conforme a matriz de distâncias reais e a função objetivo passará de 92,31 para 176,90 quilômetros um aumento de aproximadamente 91,60%. Dessa maneira, se não houver a utilização da matriz de distâncias reais para o cálculo da minimização da função objetivo, esta passará de 136,60 para 176,90 quilômetros um aumento de cerca de 29,50%.

A Figura 4 mostra a configuração para 35 clientes, 4 estações de carregamento (medianas) e cada estação atendendo a apenas 9 clientes por vez. A simbologia utilizada são as descritas, também na Figura 2.

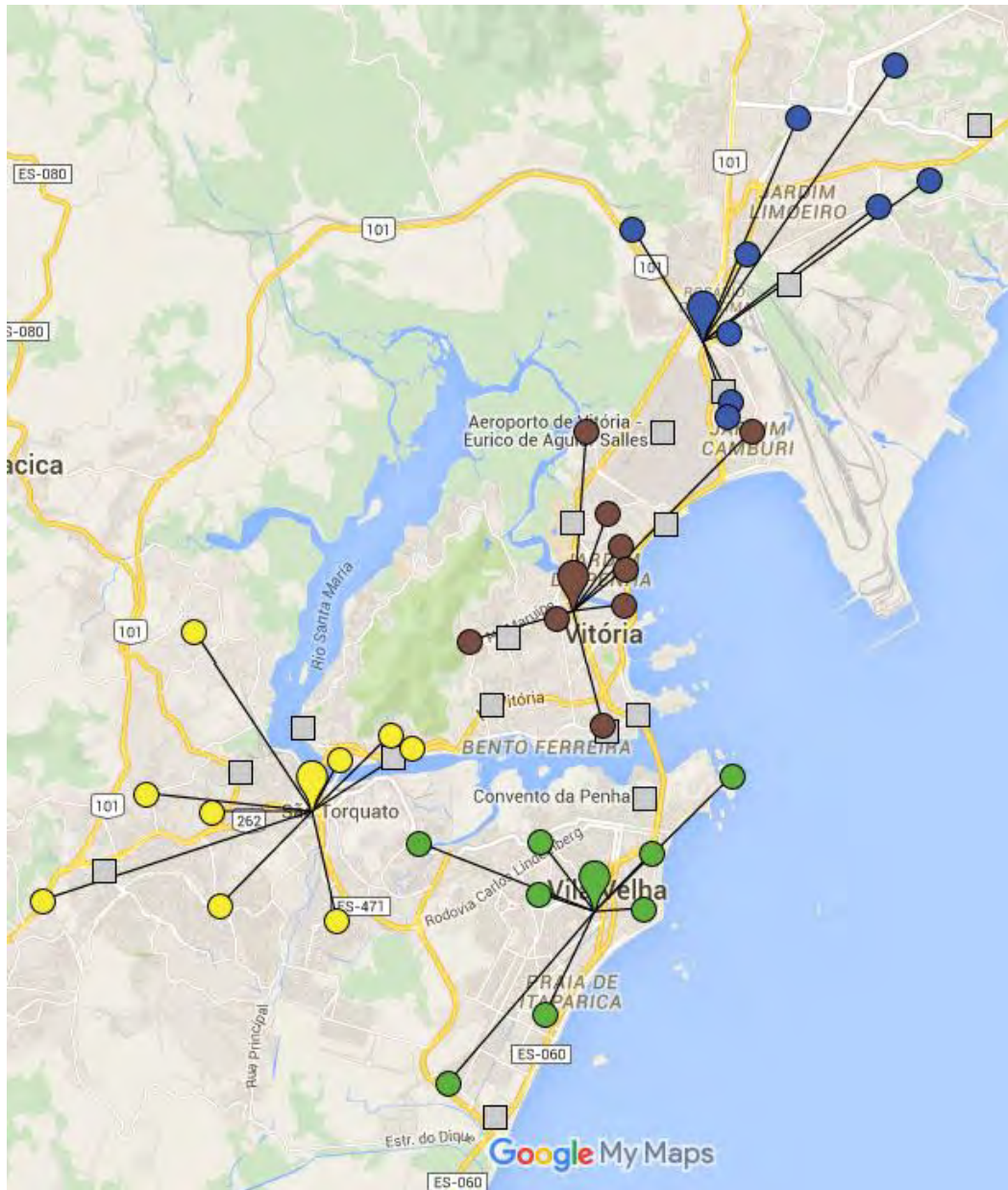


Figura 4 - Configuração para 35 clientes, 4 Estações (medianas) e $k = 9$ clientes.

Agora com os dados da Figura 4, utilizando a matriz de distâncias em linha reta, a função objetivo passa de 151,00 para 98,78 quilômetros uma redução de 34,58% na distância. As estações escolhidas utilizando a matriz de distâncias reais foram as de número 5, 11, 12 e 17. Já com a utilização da matriz de distâncias em linha reta as estações escolhidas foram as de número

2, 9, 12 e 17, ocasionando uma interseção de apenas 2 estações e modificando a configuração dos clientes atendidos por cada estação. Como os veículos não se movimentarão em linha reta e utilizará às distâncias reais, a função objetivo passará de 98,78 para 174,20 quilômetros, um aumento de aproximadamente 76,35%. Caso não haja a opção de uso da matriz de distâncias reais para o cálculo da minimização da função objetivo, esta passará de 151,00 para 174,20 quilômetros um aumento de 15,35%.

5. Conclusão

Neste trabalho foi desenvolvida uma metodologia para a localização de estações de carregamento de veículos elétricos que considera rotas reais para apoiar na tomada de decisão de implantação destas estações. Esta metodologia foi aplicada na Região da Grande Vitória utilizando um modelo que incorpora o problema de p -medianas e o máximo de clientes atendidos por cada estação.

Através dos cálculos e comparações efetuados, fica evidente que a utilização de distâncias em *linha reta* para cálculos da otimização de rotas de veículos, no ambiente urbano, não é recomendado. Para que os resultados fiquem próximos aos da realidade é necessário à utilização das distâncias calculadas por *rotas reais*. Existe uma disparidade bem grande nos resultados apresentados quando considera distância em linha reta e rotas reais.

Desta forma, esta metodologia pode ser aplicada a regiões de área urbana onde demandas futuras por estas estações de carregamento serão implantadas.

Notamos ainda que para a região estudada poucas estações de carregamento de veículos elétricos são necessárias para sua implantação, devido aos deslocamentos serem relativamente curtos.

Devido a complexidade dos cálculos para instancias maiores é interessante a aplicação de métodos heurísticos visando um menor tempo de processamento e de tomada de decisão. O estudo e aplicação desses métodos será objeto de trabalho futuro.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao IFES pelo financiamento parcial deste trabalho através do Edital PRPPG nº 05/2015, PIBIC (Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica) com Projeto nº PJ00002444 e Plano de Trabalho nº PT00003457.

Referências

Baouche, F., Billot, R., El Faouzi, N.-E e Trigui, R. (2014a). Electric vehicle charging stations allocation models. Transport Research Arena 2014, TRA 2014 Proceedings, Paris, 10pp.

Baouche, F., Billot, R., Trigui, R. e El Faouzi, N.-E. (2014b). Efficient Allocation of Electric Vehicles Charging Stations: Optimization Model and Application to a Dense Urban Network. Intelligent Transportation Systems Magazine, IEEE, vol.6, n. 3, p.33-43.

CETESB. (2007). Relatório Anual de Qualidade do Ar do Estado de São Paulo. São Paulo: CETESB, 298 p. (Relatório técnico).

Daskin, M. S. e Maass, K. L. The p -Median Problem. In Location Science, capítulo 2, Laporte, G., Nickel, S. e Gama, F. S. (Ed.), Springer International Publishing, p. 21-45, 2015.

Ellenrieder, A.V. (1971). Pesquisa Operacional. Rio de Janeiro: Almeida Neves; pg 3.

Garey, M. R. e Johnson, D. S. (1979). Computers and intractability: a guide to the theory of NP-completeness, W. H. Freeman and Co., San Francisco.

Glover, F. (1968). Surrogate constraints, *Operations Research*, 16(4), 741-749.

Google Maps. (2016). Web page. <https://www.google.com.br/maps>. Acessado em: 2016-28-4.

Hillier, F.S. (2010). *Introdução à Pesquisa Operacional*. Porto Alegre: Bookman.

IBGE (2016). Web page. <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php>. Acessado: 2016-12-03.

IBM (2015). CPLEX. ILOG CPLEX Optimization Studio Product Documentation.

Krömer, P. e Platoš, J. New Genetic Algorithm for the p-Median Problem. In *Intelligent Data analysis and its Applications, Volume II*. Pan, J-S, Snasel, V., Corchado, E. S., Abraham, A. e Wang, S-L. (Ed.), Springer International Publishing, vol. 298, p. 35-44, 2014.

Lam, A. Y. S., Leung, Y-W. e Chu, X. (2014). Electric Vehicle Charging Station Placement: Formulation, Complexity and Solutions. *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 5, n.6, p. 2846-2856, ISSN 1949-3053.

MATLAB (2015). MathWorks, Inc. (release 2015a). MATLAB, Massachusetts, United States.

Moreira, D. M. G. (2013). *Simulação de uma rede de distribuição com veículos elétricos e produção renovável*. 125 p. Dissertação (Mestrado) - Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal.

Oreskes, N. (2004). The Scientific Consensus on Climate Change; *Science Translational Medicine* 306 (5702), pg 1686.

Shamir, R. (1987). The Efficiency of the Simplex Method: A Survey. *Management Science*, 3, 301-334.

Shao-Yun, G. E., Liang, F., Hong, L. e Long, W. (2012). The Planning of Electric Vehicle Charging Stations in the Urban Area. *2nd International Conference on Electronic & Mechanical Engineering and Information Technology (EMEIT-2012)*, Atlantis Press, Paris, p. 1598-1604.

Trigui R., Jeanneret B. e Badin F. (2004). Modélisation systémique de véhicules hybrides en vue de la prédiction de leurs performances énergétiques et dynamiques - Construction de la bibliothèque de modèles VEHLIB. *Recherche Transports Sécurité*, vol. 21, n. 83, p. 129-150. ISSN 0761-8980, doi:10.3166/rts.83.129-150.