

UM PARÂMETRO URBANO GLOBAL COMO REFERÊNCIA PARA ANÁLISES LOCAIS EM MODELOS DE LOCAÇÃO-ALOCAÇÃO

Renato da Silva Lima *

Departamento de Engenharia de Produção
Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)
Itajubá – MG
rslima@unifei.edu.br

Antônio Néelson Rodrigues da Silva

Departamento de Transportes / EESC
Universidade de São Paulo (USP)
São Carlos – SP
anelson@sc.usp.br

* *Corresponding author*/autor para quem as correspondências devem ser encaminhadas

Recebido em 06/2003; aceito em 07/2004 após 1 revisão
Received June 2003; accepted July 2004 after one revision

Resumo

O objetivo desse trabalho é avaliar a utilização de um índice global de acessibilidade como padrão de referência para a distribuição espacial dos alunos da rede municipal de educação. Conhecida a localização dos alunos e das respectivas Creches e EMEIs (Escolas Municipais de Educação Infantil) de São Carlos, SP, no ano 2000, foi feita uma avaliação da distribuição real e de diversos cenários alternativos de alocação dos alunos, buscando minimizar os custos de deslocamento. Os resultados mostraram que é possível utilizar o índice proposto para definir níveis de atendimento (cobertura), de acordo com um certo grau de compacidade desejada para a cidade. As hipóteses avaliadas mostraram que é possível obter níveis de cobertura para mais de 95% dos alunos, com níveis de densidade urbanas bastante razoáveis, apenas com a realocação de parte dos alunos, mantido o mesmo número de escolas atuais e com a abertura de apenas uma nova Creche.

Palavras-chave: modelos de locação-alocação; acessibilidade; planejamento urbano.

Abstract

The objective of this work is to evaluate the use of a global accessibility index as a reference value for improving the spatial distribution of the students served by a public network of educational facilities at the municipal level. Given the spatial location of day-care centers and schools and their registered users during the year 2000 in the city of São Carlos, SP, an evaluation of their distribution in the actual and projected scenarios was carried out. The goal was to minimize displacement costs. The results have shown the viability of the proposed index for establishing service (coverage) areas, taking into account a certain hypothetical densification for the entire city. With the conditions set in the proposed scenarios, which were assumed to have quite acceptable urban density values and a minimum relocation level of the students, more than 95% of the children were within the coverage areas.

Keywords: location-allocation models; accessibility; urban planning.

1. Introdução

Por sua importância no contexto urbano, estudos para a implantação e utilização de equipamentos urbanos de educação e saúde foram objeto de diversos trabalhos a partir do final do século XX (Smith *et al.*, 1985; Oppong & Hodgson, 1994; Amer, 1997; Silva & Silva, 1997; Pizzolato & Fraga da Silva, 1997; Dutra, 1998; Rosado, 2000; Lima, 2003). O interesse pelo tema se intensificou a partir da década de 1960, quando os modelos de localização passaram a ser utilizados mais freqüentemente com a publicação de definições e formulações matemáticas de diferentes tipos (Galvão & Raggi, 1989). Tais modelos podem ser utilizados na localização de instalações industriais, comerciais e de serviços (escolas, postos de saúde, hospitais e unidades de atendimento de emergência), de modo a otimizar objetivos relacionados com a eficiência desses sistemas (Vasconcellos, 1997). No Brasil, apesar de ainda pequena, a utilização de modelos matemáticos nos estudos de localização de equipamentos de educação e saúde vem se multiplicando nos últimos anos, como se observa em alguns dos trabalhos acima citados.

Lima (2003), por exemplo, propõe em seu trabalho as bases de uma metodologia de apoio à decisão espacial, que funcionaria como ferramenta de apoio aos planejadores municipais para uma gestão integrada das instalações de Educação e Saúde de responsabilidade dos municípios, particularmente das cidades médias brasileiras. Uma das propostas da metodologia é procurar otimizar a distribuição desses equipamentos coletivos, minimizando os custos de deslocamento dos usuários (basicamente a distância que esses têm que percorrer para utilizar um dos referidos serviços públicos) e os custos de implantação dos postos de atendimento (escolas e postos de saúde). As duas considerações são conflitantes, visto que, para uma determinada instalação estar mais próxima da demanda a servir, implica dizer que um maior número de unidades terá que ser ofertado, onerando gastos com instalação. Com isso, a análise de localização e distribuição dessas instalações não pode se dar de modo separado, de forma a assegurar níveis de acessibilidade mínimos à população sem consumir recursos excessivos na construção de instalações.

Para lidar com a complexidade do problema, a metodologia proposta por Lima (2003) parte de análises locais, próprias para o nível de gerência operacional, e incorpora posteriormente análises globais, relativas aos níveis de gerência tático e estratégico, tendo sempre como plataforma um SIG – Sistema de Informações Geográficas, em virtude da forte componente espacial que envolve o problema. No que concerne à localização, a alocação da demanda caracteriza-se como primordial, já que uma correta utilização dos equipamentos existentes desenha-se como preliminar ao investimento em novas unidades. Para isso, são necessários bancos de dados bem estruturados, para a incorporação ao SIG para que, a partir de modelos matemáticos, possam ser geradas alternativas para melhorar a distribuição da demanda. Assim sendo, uma das primeiras etapas para a implementação prática dessa metodologia na cidade de São Carlos, SP, apresentada em Lima *et al.* (2001), foi a localização espacial da demanda em relação aos pontos de oferta de infra-estrutura. Conhecida essa distribuição espacial, várias estratégias podem ser adotadas para caracterizar os níveis de atendimento do serviço, geralmente baseadas nas distâncias de deslocamento dos usuários para atingir o ponto de oferta mais próximo.

Uma estratégia lógica a ser seguida seria distribuir os alunos de modo a respeitar níveis mínimos de acessibilidade. No entanto, a legislação brasileira não costuma ser muito específica em relação a valores para esses níveis de acessibilidade. Pizzolato & Fraga da Silva (1997) citam que, em áreas urbanas, a distância máxima recomendada de caminhada é

de aproximadamente 1.500 metros, apesar do mesmo trabalho apresentar alguns valores reais muito superiores a esse num estudo de caso na região metropolitana do Rio de Janeiro. A opção explorada na metodologia proposta em Lima (2003) e apresentada neste trabalho através de uma aplicação prática é buscar, como parâmetro de acessibilidade às instalações, um índice global para a cidade, obtido a partir de um método que levasse em consideração a dimensão desejável para a cidade como um todo, em cidades pequenas e médias, ou para sub-regiões ou bairros, em grandes cidades. Desta forma estaria assegurada *a priori* uma certa proporcionalidade entre a escala da cidade e as distâncias a serem percorridas por seus habitantes para se utilizar seus serviços públicos. A opção encontrada para este parâmetro global, que já foi inclusive explorada em outros contextos por Lima & Silva (1999) e Lima *et al.* (2000), é um índice de acessibilidade que reflete as características de uma área urbana na sua totalidade, conforme será detalhado mais adiante neste texto. Assim, o objetivo deste trabalho é apresentar a estratégia desenvolvida, como parte de uma metodologia de apoio à decisão espacial para gestão integrada de sistemas de Educação e Saúde, de utilização de um parâmetro global da cidade como referência para análises locais de localização das instalações e de alocação da demanda.

Por este motivo, não é na novidade da técnica que reside a contribuição principal do trabalho, mas sim na incorporação e avaliação de um índice específico (denominado Índice Global de Acessibilidade) como padrão de referência para análises locais (neste caso, para distribuição espacial dos alunos de uma rede municipal de educação). Além disso, o uso de um Sistema de Informações Geográficas como plataforma de trabalho dá às componentes espaciais do problema a relevância e a visibilidade que lhes cabe e que muitas vezes são de difícil compreensão em modelos exclusivamente voltados às componentes numéricas (ou quantitativas) das soluções. Nessa linha, o artigo não tem por finalidade analisar ou avaliar os modelos utilizados, tanto assim que por uma questão de praticidade foram utilizados os modelos já disponíveis no SIG.

O estudo de caso utilizado para exemplificar a proposta, e verificar suas implicações práticas em termos de resultados, foi realizado a partir de dados da Secretaria Municipal da Educação da cidade de São Carlos, referentes aos alunos matriculados no ano 2000 nas Creches (para crianças de 0 a 3 anos) e EMEIs (Escolas Municipais de Educação Infantil, para crianças de 3 a 6 anos), com o auxílio do cadastro municipal de endereços do SAAE – Serviço Autônomo de Água e Esgoto. A partir dessas informações, cerca de 7.000 endereços foram localizados espacialmente com o auxílio do SIG, caracterizando a distribuição espacial dos alunos de cada escola e creche na cidade. Ainda com ferramentas do SIG foram calculadas as distâncias, através do sistema viário, da residência de cada um dos alunos até a respectiva Creche ou EMEI, o que caracterizou a real distribuição desses alunos na cidade e possibilitou o cálculo dos custos (nesse caso, as distâncias) médio e máximo de deslocamento para cada nível de ensino abordado. A partir daí, diversos cenários de alocação dos alunos foram propostos, buscando reduzir esses custos de deslocamento, tendo como parâmetro um Índice Global de Acessibilidade calculado para uma cidade circular (considerada ideal em termos de acessibilidade global).

Após essa breve introdução são apresentadas, na próxima seção, algumas considerações relativas ao Índice Global de Acessibilidade utilizado no trabalho. Na seqüência, apresenta-se a etapa de levantamento e processamento dos dados, seguida da análise dos resultados obtidos no estudo de caso. Finalmente, são apresentadas as conclusões baseadas nos resultados do trabalho, seguidas da lista com as referências bibliográficas.

2. Um Parâmetro Global de Acessibilidade para uma Área Urbana

Embora a acessibilidade aos transportes venha sendo estudada há muito tempo em diversos países, somente nos últimos anos o tema vem ganhando destaque no Brasil (notadamente a partir de Januário, 1995; Arruda, 1997; Sales Filho, 1997; e Silva *et al.*, 1998). Uma definição bastante geral de acessibilidade é a de Ingram (1971), que afirma que a acessibilidade pode ser definida “como uma característica (ou vantagem) inerente de um local com relação a alguma medida espacial de fricção (por exemplo, tempo e/ou distância)”. De particular interesse para este estudo, no entanto, é o trabalho de Allen *et al.* (1993), em que foi apresentada uma visão da acessibilidade que aprofundava o trabalho de Ingram (1971), criando um índice de acessibilidade, denominado “E”, capaz de indicar a acessibilidade de uma região inteira. Isto permite comparações entre regiões, e não apenas entre pontos dentro de uma mesma região. A característica comum entre o índice de Ingram e a medida proposta por Allen *et al.* (1993) é que ambos definem acessibilidade somente como uma medida de esforço para superar a separação espacial entre dois pontos dentro de uma área. Eles tampouco consideram características de demanda-oferta ou aspectos comportamentais em seus modelos. Deste modo, elas são medidas de acessibilidade simples, uma vez que não necessitam de muitos dados. Apesar de simples, essas medidas apresentam desempenho bastante satisfatório quando comparadas com medidas mais sofisticadas, conforme relatado por Silva *et al.* (1998).

O Índice *E*, ou Índice de Acessibilidade Global, que pode ser tomado como elemento de comparação de acessibilidade, devido à sua capacidade de representar de forma agregada o nível de acesso de uma região ou da cidade como um todo, nada mais é do que a média de todas as distâncias médias para toda a cidade, conforme a Equação 1.

$$E = \frac{1}{N} \sum_i \frac{1}{N-1} \sum_j C_{ij} \quad (1)$$

Onde:

- E* = Índice Global de Acessibilidade;
- C_{ij}* = custo percebido pelo viajante entre as zonas *i* e *j*;
- N* = número de pontos utilizados no cálculo (nós da rede viária).

Por sua capacidade de servir como parâmetro de referência para uma cidade inteira, Lima & Silva (1999) utilizaram o Índice *E* para estudar a influência da forma geométrica das cidades nos valores de acessibilidade intra-urbana, comparando os valores de acessibilidade de duas cidades médias brasileiras com cidades hipotéticas de diferentes formas (retangulares, quadradas, circulares, entre outras), mas com as mesmas quantidades de interseções do sistema viário. Lima *et al.* (2000) aprofundaram esse estudo, calculando o Índice *E* para cidades circulares de diversos tamanhos e desenvolvendo uma equação que indicasse o Índice *E* para uma cidade circular (*E_C*) com um dado número de interseções (*N*), apresentada na Equação 2:

$$E_C = 0,0651N^{0,4995} \quad (2)$$

Onde:

- E_C* = Índice de Acessibilidade Global para uma cidade circular;
- N* = número de pontos utilizados no cálculo (nós da rede viária).

A forma da cidade circular foi tomada como referência devido ao seu alto grau de compactidade. Internamente, no entanto, as ruas nessa cidade hipotética formam uma grade regular com aproximadamente o mesmo padrão encontrado nas cidades reais (definido pelo tamanho da quadra). Teoricamente, essa forma de cidade tem um valor bastante baixo para o índice de acessibilidade global. Isso implica que, quanto mais perto uma cidade real está do valor de E de uma cidade circular correspondente (E_C), melhor é a configuração de sua rede urbana. O conceito de cidade correspondente (E_C) é aqui entendido como uma cidade de forma circular com o mesmo número de interseções do sistema viário da cidade real em questão.

A Equação 2, no entanto, leva em conta simplesmente o número de nós da malha viária, mas pode ser também desenvolvida de modo a incluir valores de densidade populacional para o cálculo de E_C . A partir de valores de população e de densidade urbana é possível estimar quais seriam os valores de E_C para um determinado cenário. Por exemplo, qual seria a redução no valor de E_C quando se buscasse avaliar os impactos de supostas alterações da densidade urbana média (em toda a cidade) de 35 hab/ha (valor real, no caso de São Carlos) para 50 hab/ha ou 100 hab/ha, por exemplo, numa hipótese de cidade bastante compacta. Vale ressaltar que esses dois últimos valores de densidade urbana mencionados são, neste caso, hipotéticos, admitindo cenários com valores para a densidade urbana média que refletissem aumentos da compactidade da cidade (ou melhora da acessibilidade).

A partir do desenvolvimento matemático da equação básica chega-se à Equação 3, uma vez que, para uma cidade circular, com quadras de 100 por 100 metros, o número de nós do sistema viário é igual ao número de habitantes dividido pela densidade populacional, em habitantes por hectare.

$$E_{CD} = 0,0651 \left(\frac{P}{D} \right)^{0,4995} \quad (3)$$

Onde:

E_{CD} = Índice de Acessibilidade Global para uma cidade circular com densidade D (km);

D = densidade populacional (hab/ha);

P = população urbana.

Em Lima *et al.* (2003), os autores avaliaram os níveis de acessibilidade de algumas cidades médias paulistas, testando valores hipotéticos de densidade (D) de 50 e 100 hab/ha e comparando com os valores para as cidades circulares correspondentes (E_{C50} e E_{C100}). O Índice E_C foi utilizado como parâmetro de comparação dos níveis atuais de acessibilidade e também como meta de médio e longo prazo a ser atingida através de um planejamento urbano eficiente. Os autores propunham ainda que a expansão urbana pudesse ser inclusive balizada por esse índice. Além disso, o que se defende aqui é que esse mesmo parâmetro pode ser utilizado com relação à acessibilidade aos serviços de educação, através da avaliação dos níveis atuais de acessibilidade e da geração de cenários de localização de novas unidades escolares e/ou alocação de alunos que melhorem essa acessibilidade, conforme tratado no próximo item.

3. Levantamento e Processamento dos Dados

No estudo de caso aqui apresentado, a primeira etapa do trabalho (descrita detalhadamente em Lima *et al.*, 2001) foi efetuar o levantamento da demanda por educação infantil no município de São Carlos. Foram obtidos os endereços de todas as Creches e EMEIs (Escolas Municipais de Educação Infantil) e o endereço residencial e a escola em que estudava cada um dos 7.686 alunos matriculados nas mesmas no ano letivo de 2000. Foram efetivamente utilizados os endereços de 6.934 alunos, conforme a Tabela 1, pois alguns registros apresentavam problemas de formatação nos endereços. Em seguida, cada aluno e cada unidade escolar tiveram seu endereço localizado individualmente no Sistema de Informações Geográficas (SIG) em um mapa digital do sistema viário da cidade, graças à existência de um amplo cadastro de endereços elaborado pelo SAAE – Serviço Autônomo de Água e Esgoto de São Carlos. A distribuição espacial das Creches e EMEIs de São Carlos e de seus respectivos alunos é apresentada na Figura 1.

Tabela 1 – Dados da Secretaria Municipal de Educação em São Carlos, 2000.

Unidades	Total	Alunos		Demanda alvo
		Dados iniciais	Dados utilizados	
Creches	10	1.164	1.014 (87 %)	0 a 3 anos
EMEIs	22	6.522	5.920 (91 %)	3 a 6 anos
	TOTAL	7.686	6.934 (90 %)	

A maior concentração possível de alunos residindo próximo à unidade escolar que freqüentam é a situação desejável neste caso, de tal forma que o transporte para a escola possa ser feito predominantemente a pé. Na situação real levantada, no entanto, pode-se observar casos extremos em que o usuário reside quase que no outro lado da cidade, em relação ao local onde está situada a escola que freqüenta. No entanto, esses casos extremos não devem se constituir no foco principal das análises, uma vez que muito provavelmente são situações particulares, onde a distância elevada entre a residência e a escola deve-se a algum tipo de conveniência (creche perto do local de trabalho da mãe, por exemplo). No caso particular deste trabalho, a idéia geral é buscar a otimização do sistema como um todo, em termos globais, ainda que estes casos extremos possam ser analisados individualmente para que tais hipóteses sejam comprovadas.

Assim, para uma primeira avaliação do quadro existente na cidade, foram calculadas as menores distâncias, através do sistema viário, da residência de cada aluno até a sua respectiva Creche ou EMEI, utilizando as ferramentas específicas do SIG (algoritmos para cálculo de caminho mínimo em rede). De posse de todos os 6934 resultados individuais obtidos, foram calculados a média e o desvio padrão e identificados os valores máximos e mínimos, apresentados na Tabela 2. Os valores são até certo ponto alarmantes, uma vez que o deslocamento médio das crianças das Creches é de mais de 2 km (ou 4 km para ida e volta), com casos extremos com deslocamentos acima de 10 km. Vale lembrar que estão sendo considerados apenas os alunos da zona urbana, numa cidade que tem cerca de 8 km de extensão na direção Norte-Sul e 6 km na direção Leste-Oeste. No caso das EMEIs, embora o custo de deslocamento médio seja menor (1,2 km, para ida ou volta, ou 2,4 km, para ida e volta), os casos extremos também estão na ordem dos 10 km.

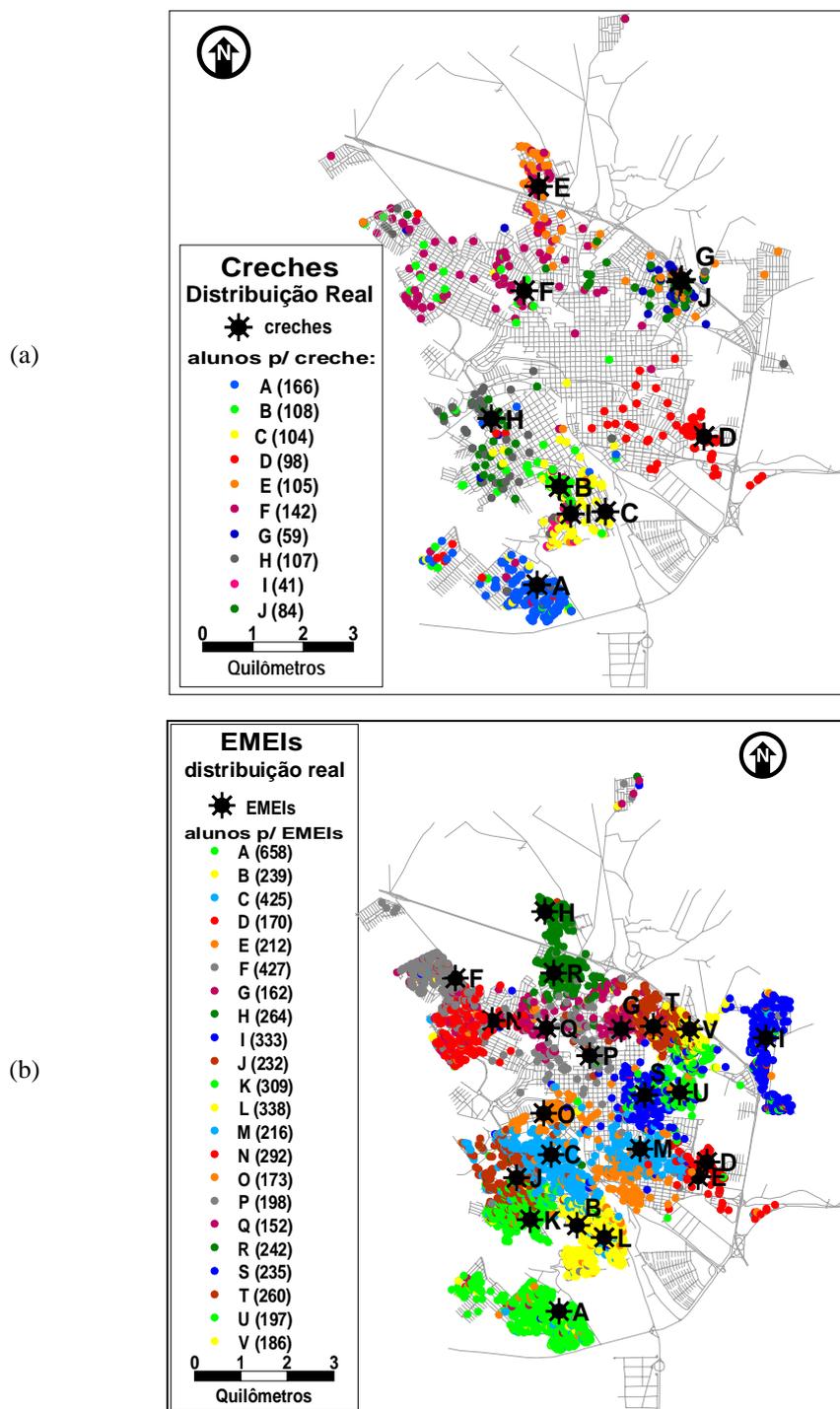


Figura 1 – Localização das Creches (a) e EMEIs (b) e respectivos alunos em São Carlos.

Tabela 2 – Distâncias reais (km).

Estabelecimento	Alunos	Custos de Deslocamento (km)			
		Mínimo	Máximo	Médio	Desvio Padrão
Creches	1.014	0,00	10,52	2,04	2,10
EMEIs	5.920	0,00	9,76	1,20	1,26

Conhecida a distribuição real da demanda e da oferta pôde-se iniciar, utilizando os modelos de locação/alocação disponíveis no SIG, a fase de geração de cenários alternativos, tanto de realocação dos alunos como de possíveis localizações para novas Creches e EMEIs. Foram simulados cenários que buscassem minimizar os valores dos custos de deslocamentos médios e máximos. Para isto foi utilizado como parâmetro de referência, particularmente no caso dos custos máximos, o Índice Global de Acessibilidade para cidades circulares, nas variantes E_C e E_{CD} (E_{C50} e E_{C100}), a partir das Equações 2 e 3. Assim, os referidos índices para uma cidade circular correspondente com 4.957 interseções e os mesmos 183.433 habitantes da cidade real, considerando-se como custo de deslocamento a distância percorrida na rede viária, são: $E_C = 4,56$ km (assumindo a densidade urbana da cidade circular igual a densidade real de São Carlos em 2000, de aproximadamente 35 hab/ha); $E_{C50} = 3,93$ km (simulando uma densidade urbana global de 50 hab/ha); e $E_{C100} = 2,78$ km (simulando uma densidade urbana global de 100 hab/ha).

Foram utilizados dois tipos de modelos para a geração de cenários de locação/alocação para os alunos (separadamente para Creches e para EMEIs) já incorporados no SIG empregado: um em que não se estabelece restrição de capacidade das instalações e outro que inclui uma restrição de capacidade. O primeiro deles, denominado *Facility Location*, busca a melhor distribuição possível de uma série de clientes (nesse caso, alunos) para uma série de instalações (nesse caso, Creches e EMEIs), buscando minimizar os custos de deslocamento (neste caso, médio ou máximo). O modelo pode incluir a abertura ou fechamento de novas unidades, indicando, nesses casos, qual deverá ser a localização da nova unidade ou qual das existentes deverá ser fechada. Não considera, no entanto, a capacidade das unidades, o que em alguns casos pode gerar como resultado uma redistribuição de alunos que não corresponda, na prática, ao real número de vagas oferecidas pelas Creches e EMEIs. Como é imprescindível considerar as capacidades das escolas nos cenários elaborados, foi utilizado adicionalmente um segundo modelo, também conhecido como *Hitchcock Transportation Problem* (Caliper, 1996), que trabalha com fluxos em rede na busca da maneira mais eficiente de alocar uma série de clientes a uma série de instalações. Apesar de permitir a inclusão das capacidades das instalações, não é considerada, no modelo incorporado ao SIG, a possibilidade de abertura e fechamento de novas instalações. As condições estabelecidas para os cenários construídos estão resumidas na Tabela 3.

Nos dois modelos (com ou sem restrição de capacidade), a alocação foi feita no SIG de modo individual para os alunos, uma vez que se conhecia a posição exata de cada um deles e de cada Creche e EMEI. Assim, ambos os modelos identificavam em qual unidade alocar o aluno buscando obter o ótimo global da função objetivo específica de cada um dos cenários (minimizar o custo médio global ou deslocamento máximo). Vale lembrar que essa alocação individual foi extremamente facilitada com a utilização do SIG, sendo que a aplicação aqui

conduzida procura ilustrar esse potencial. Nesse sentido, cabe ressaltar que o objetivo do trabalho não foi o de avaliar se os modelos de locação/alocação incorporados ao SIG seriam de fato os mais adequados para lidar com esse tipo de problema. Optou-se aqui pela praticidade, uma vez que os modelos acima citados já estavam disponíveis no SIG, buscando-se sobretudo demonstrar o potencial da utilização dessa ferramenta em problemas no qual a variável espacial está fortemente envolvida.

Tabela 3 – Cenários de alocação considerados para Creches e EMEIs.

C	Creches	EMEIs
1	Somente as 10 Creches originais Objetivo: minimizar o custo médio global Sem restrição de capacidade	Somente as 22 EMEIs originais Objetivo: minimizar o custo médio global Sem restrição de capacidade
2	Permitiu a abertura de novas Creches Objetivo: dist. máxima menor que $E_c=4,56$ km Sem restrição de capacidade	Permitiu a abertura de novas EMEIs Objetivo: dist. máxima menor que $E_c=4,56$ km Sem restrição de capacidade
3	10 Creches atuais + 1 gerada no cenário 2 Objetivo: dist. máxima menor que $E_c=4,56$ km Sem restrição de capacidade	Permitiu a abertura de novas EMEIs Objetivo: dist. máxima menor que $E_{c50}=3,93$ km Sem restrição de capacidade
4	10 Creches atuais – 1 fechada pelo modelo Objetivo: minimizar o custo médio global Sem restrição de capacidade	Permitiu a abertura de novas EMEIs Objetivo: dist. máxima. menor que $E_{c100}=2,78$ km Sem restrição de capacidade
5	Idem ao cenário 3, sendo a Creche adicional uma que foi de fato aberta, em 2001	22 EMEIs atuais – 1 fechada pelo modelo Objetivo: minimizar o custo médio global Sem restrição de capacidade
6	Somente as 10 Creches originais Objetivo: minimizar o custo médio global Com restrição de capacidade	22 EMEIs atuais – 2 fechadas pelo modelo Objetivo: minimizar o custo médio global Sem restrição de capacidade
7	Idem ao cenário 5, mas com restrição de capacidade	Somente as 22 EMEIs originais Objetivo: minimizar o custo médio global Com restrição de capacidade

4. Análise dos Resultados

Os resultados obtidos a partir dos cenários gerados são apresentados na Tabela 4 para as Creches e na Tabela 6 para as EMEIs. Nessas tabelas, as Creches e EMEIs, tanto as já existentes como as candidatas à abertura, estão identificadas por letras, às quais estão associadas as capacidades na distribuição real e para cada um dos cenários gerados, acompanhadas da respectiva variação percentual (var) em relação às capacidades iniciais de cada unidade. As quatro últimas linhas das tabelas apresentam os resultados globais para a distribuição dos alunos em cada cenário, também acompanhados da variação (var) em relação aos valores reais: o custo médio de deslocamento para todos os alunos, o custo de deslocamento individual máximo, o custo total de deslocamento (total de quilômetros viajados para todos os alunos), doravante referidos sem o termo “deslocamento”, e a porcentagem de realocações (parcela de alunos que teriam de mudar de Creche ou EMEI em relação ao total de alunos de Creches ou EMEIs). Os resultados são analisados em seguida,

sendo que todos eles podem ser representados em mapas temáticos. Todas as análises quantitativas são feitas em relação aos valores numéricos encontrados tanto na distribuição real quanto nos diversos cenários analisados. Ainda que esses valores pudessem ser revistos, na hipótese de se excluir das análises os casos extremos, eles foram aqui mantidos para que se ilustrasse de forma mensurável os possíveis ganhos na implementação da cada cenário, mas o propósito é que as análises sejam observadas como sendo mais qualitativas do que quantitativas.

Tabela 4 – Cenários de alocação para as Creches.

		CENARIOS															
		real	1	var	2	var	3	var	4	var	5	var	6	var	7	var	
CRECHES	existentes	A	166	196	18%	196	18%	196	18%	196	18%	196	18%	166	0%	166	0%
		B	108	112	4%	112	4%	112	4%	112	4%	112	4%	108	0%	108	0%
		C	104	22	-79%	22	-79%	22	-79%	22	-79%	22	-79%	104	0%	104	0%
		D	98	79	-19%	75	-23%	79	-19%	79	-19%	79	-19%	98	0%	98	0%
		E	105	105	0%	103	-2%	105	0%	105	0%	105	0%	105	0%	105	0%
		F	142	147	4%	89	-37%	89	-37%	147	4%	74	-48%	142	0%	71	-50%
		G	59	36	-39%	36	-39%	36	-39%	fechada		36	-39%	59	0%	59	0%
		H	107	84	-21%	84	-21%	84	-21%	84	-21%	84	-21%	107	0%	107	0%
		I	41	132	222%	132	222%	132	222%	132	222%	132	222%	41	0%	41	0%
		J	84	101	20%	101	20%	101	20%	137	63%	101	20%	84	0%	84	0%
	candidatas	K				4											
		L				58		58									
		M				2											
		N									73				71		
	custo médio (km)	2,04	1,01	-50%	0,90	-56%	0,93	-55%	1,01	-50%	0,89	-56%	1,13	-45%	1,01	-50%	
	custo máximo (km)	10,52	5,53	-47%	3,29	-69%	5,53	-47%	5,53	-47%	5,53	-47%	5,53	-47%	5,53	-47%	
	custo total (km)	2070	1025	-50%	912	-56%	940	-55%	1028	-50%	905	-56%	1148	-45%	1029	-50%	
	percent. realocações	--	439	43%	477	47%	473	47%	449	44%	483	48%	437	43%	478	47%	

A título de exemplo, são apresentados na Figura 2 os mapas temáticos com a distribuição espacial dos alunos referentes ao cenário 1 para as Creches (a) e EMEIs (b) que utilizam os mesmos dados de demanda e oferta da Figura 1, embora agora a demanda esteja redistribuída de forma a reduzir os custos de deslocamento. A simples comparação visual das Figuras 1 e 2 já é uma evidência de que a distribuição real dos alunos pode ser melhorada.

4.1 Creches

Uma análise visual no mapa com a distribuição real dos alunos das Creches (Figura 1) já indica os altos valores dos custos médio (2,04 km) e máximo (10,52 km) calculados em seguida (valores relativos apenas à viagem de ida). Partindo-se dessa constatação inicial, pode-se considerar inclusive que qualquer um dos cenários construídos apresenta resultados satisfatórios, ainda que os casos extremos de deslocamento máximo devam-se provavelmente a alguma conveniência para os usuários e que seja considerada apenas a redistribuição dos alunos, independente de abertura ou fechamento de novas unidades.

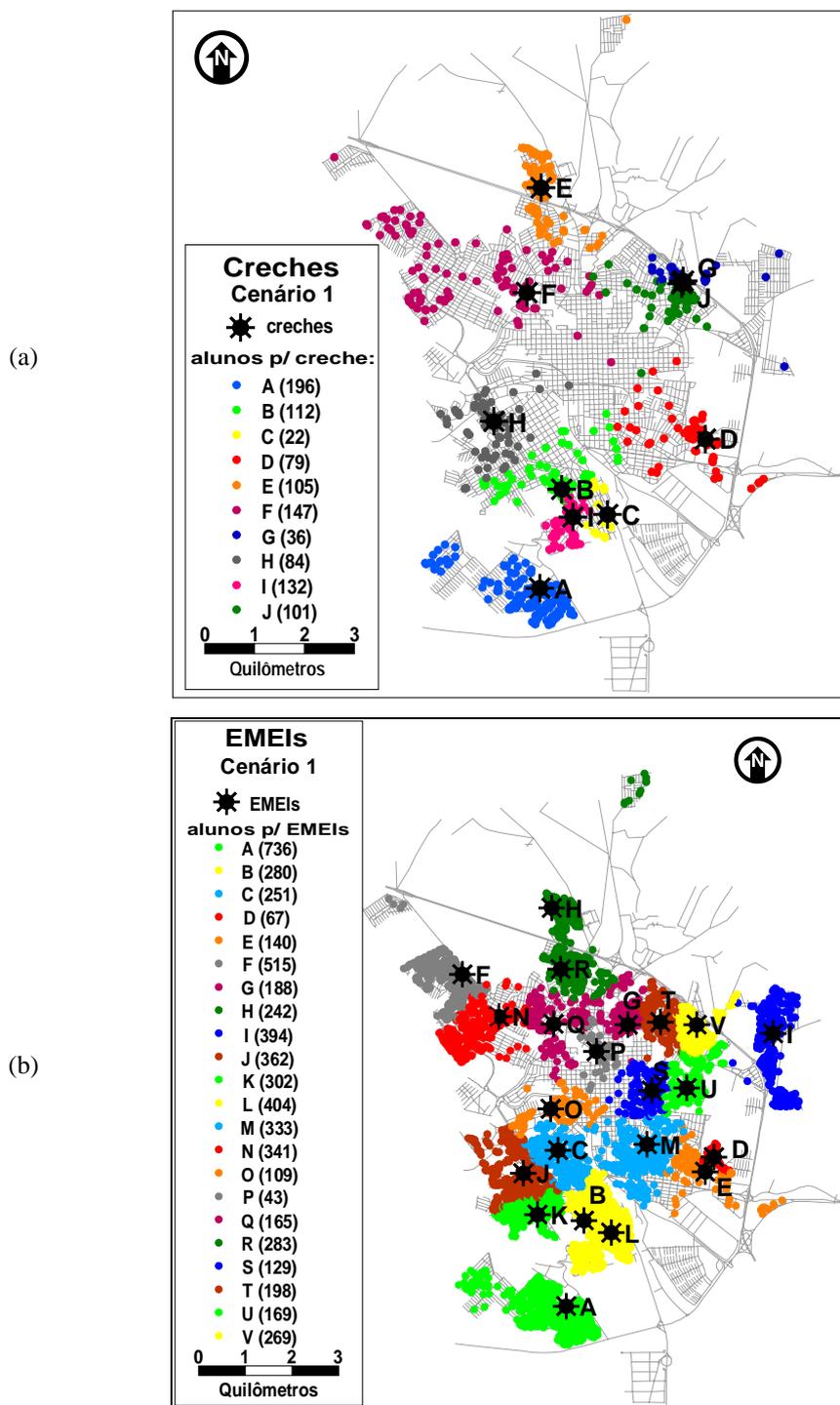


Figura 2 – Cenário 1 de distribuição das Creches (a) e EMEIs (b) e respectivos alunos em São Carlos.

No cenário 1, por exemplo, apenas a redistribuição dos alunos buscando minimizar o custo médio conseguiria uma redução de 50% no custo médio, 47% no máximo e 50% no total de quilômetros viajados, com a mudança de Creche de 439 dos 1.014 alunos (43%). O mesmo raciocínio se repete nos cenários de 2 a 5, com maiores ou menores reduções em função do número de novas Creches abertas ou fechadas. No entanto, nesses 5 primeiros cenários não são consideradas as capacidades das Creches, o que levou a altas variações em relação às capacidades reais das mesmas, fruto da alocação irrestrita a qualquer uma delas quando havia Creches próximas uma das outras. Os cenários 6 e 7 não apresentaram esse problema, já que os alunos foram redistribuídos respeitando-se as capacidades das Creches, o que obviamente levou às variações de 0% na coluna correspondente à capacidade das Creches. No cenário 6, apenas com a redistribuição da demanda sem alteração nenhuma nas capacidades, obteve-se reduções de 45% no custo médio, 47% no máximo, e 45% no total viajado, com a realocação de 437 dos 1.014 alunos (43%). O cenário 7 incluiu no cálculo a nova Creche que foi realmente instalada pela prefeitura em 2001. Como as análises não consideraram a nova demanda do ano de 2001, para efeito do equilíbrio da demanda e da oferta considerou-se uma redução de capacidade em uma das Creches proporcional à capacidade da nova Creche (N), daí a redução de 50% na coluna “var” da Creche F do cenário 7, obtendo-se resultados similares aos do cenário 6, apenas com uma realocação um pouco maior dos alunos no cenário 7 (47%, contra 43% do cenário 6).

A Tabela 5 apresenta a monitoração do Índice Global de Acessibilidade para os diversos cenários, com os números de alunos que não atingiram os diferentes valores do Índice Global de Acessibilidade e a porcentagem destes em relação aos 1.014 alunos. Na distribuição real, observa-se que 10,7% dos alunos têm custos máximos maiores do que o valor do Índice E, 13,7% acima de E_C , 16,5% acima de E_{C50} e 27,2% acima de E_{C100} . Já no cenário 1, esses valores caíram para 0,6%, 0,7%, 1,3%, e 6,6%, respectivamente. No cenário 2, o objetivo foi que todos os alunos estivessem dentro da distância correspondente a E_C (4,56 km) das Creches. Para tanto, o modelo indicou que seria necessária a instalação de 3 novas Creches, duas delas para 2 e 4 alunos, respectivamente, já que esses 6 alunos se encontravam bastante afastados dos demais, a uma distância maior que 4,56 km de qualquer uma das Creches. Em termos reais, essa opção não faz sentido, uma vez que esses alunos são os casos extremos já citados. Assim, ao invés de assegurar que todos os alunos tivessem um custo máximo menor que o índice E_C , optou-se por buscar a maximização do número de alunos que fosse atendido por esse índice. Sob essa ótica, observa-se que a abertura de apenas 1 das 3 Creches propostas no cenário 2 já melhoraria significativamente o nível de atendimento, o que foi feito no cenário 3, quando os valores passaram para 0,5%, 0,6%, 0,6%, e 3,6%, respectivamente.

No cenário 4, percebe-se que mesmo com o fechamento de uma das Creches os níveis de atendimento para todas as variantes do Índice Global de Acessibilidade se mantêm em patamares bem próximos aos dos outros cenários. No entanto, a hipótese de fechamento parece bastante irreal em termos práticos, já que o modelo incrementa a capacidade da Creche mais próxima com a da Creche fechada. O cenário 5 apresentou resultados bastante semelhantes ao cenário 3, já que a Creche realmente aberta pela prefeitura localiza-se a cerca de 200 metros daquela proposta no cenário 3. Nos cenários 6 e 7, mais realistas por incluírem na análise a restrição de capacidade, os níveis de atendimento foram semelhantes.

Tabela 5 – Alunos não cobertos pelos valores de referência extraídos dos Índices Globais de Acessibilidade – Creches.

cenários	$E =$ 5,23 km	$E_c =$ 4,56 km	$E_{c50} =$ 3,93 km	$E_{c100} =$ 2,78 km	creches
REAL	109	139	167	276	10
%	10,7%	13,7%	16,5%	27,2%	
1	6	7	13	67	10
%	0,6%	0,7%	1,3%	6,6%	
2	0	0	0	31	13
%	0,0%	0,0%	0,0%	3,1%	
3	5	6	6	37	11
%	0,5%	0,6%	0,6%	3,6%	
4	6	7	13	67	9
%	0,6%	0,7%	1,3%	6,6%	
5	5	6	6	24	11
%	0,5%	0,6%	0,6%	2,4%	
6	6	7	15	100	10
%	0,6%	0,7%	1,5%	9,9%	
7	5	6	8	57	11
%	0,5%	0,6%	0,8%	5,6%	

Como análise final, procurou-se identificar a porcentagem de alunos que estaria a uma distância menor do que 1.500 metros, sugerida por Pizzolato & Fraga da Silva (1997) como distância máxima de caminhada em centros urbanos. A Figura 3 apresenta os histogramas para os custos de deslocamentos para a distribuição real (a) e para a distribuição proposta no cenário 1 (b), incluindo a curva com a porcentagem de frequência acumulada em cada caso. Observa-se que, na situação real, 58,19% dos alunos residem a até 1.500 metros da Creche que freqüentam, valor que subiria para 79,78% na distribuição proposta no cenário 1. Além disso, destaca-se no histograma do cenário 1 uma maior concentração de frequência nos intervalos com baixos valores de custos de deslocamento (parte esquerda do gráfico), quando comparado com o histograma da distribuição real, refletindo assim os menores custos de deslocamento individuais desse cenário. Esse comportamento repete-se em todos os outros cenários, razão pela qual não serão aqui apresentados os demais histogramas.

4.2 EMEIs

No caso das EMEIs, a distribuição real dos alunos não é tão ruim como a dos alunos das Creches, uma vez que para um número bem maior de alunos (5.920) o custo médio é menor que o das Creches (1,20 km), apesar do custo máximo ainda ser bastante elevado (9,76 km). Mais uma vez, todos os 7 cenários mostraram que é possível reduzir os valores dos custos de deslocamento (Tabela 6). No cenário 1, por exemplo, a redistribuição dos alunos buscando minimizar o custo médio conseguiria uma redução de 31% no custo médio, 41% no máximo e 31% no total de quilômetros viajados, com a mudança de EMEI de 1.724 dos 5.920 alunos (29%). Nos cenários de 2 a 6 também se obtêm reduções, maiores ou menores dependendo do número de unidades abertas ou fechadas sem considerar, no entanto, as capacidades das escolas. Assim como para as Creches, esses cenários levaram a altas variações em relação às capacidades reais das EMEIs. No cenário 7, com a redistribuição da demanda sem alteração nenhuma nas capacidades das escolas, é possível reduzir o custo médio em 19%, o máximo em 41% e o total de quilômetros viajados em 19%, com a mudança de EMEI de 1.841 dos 5.920 alunos (31%).

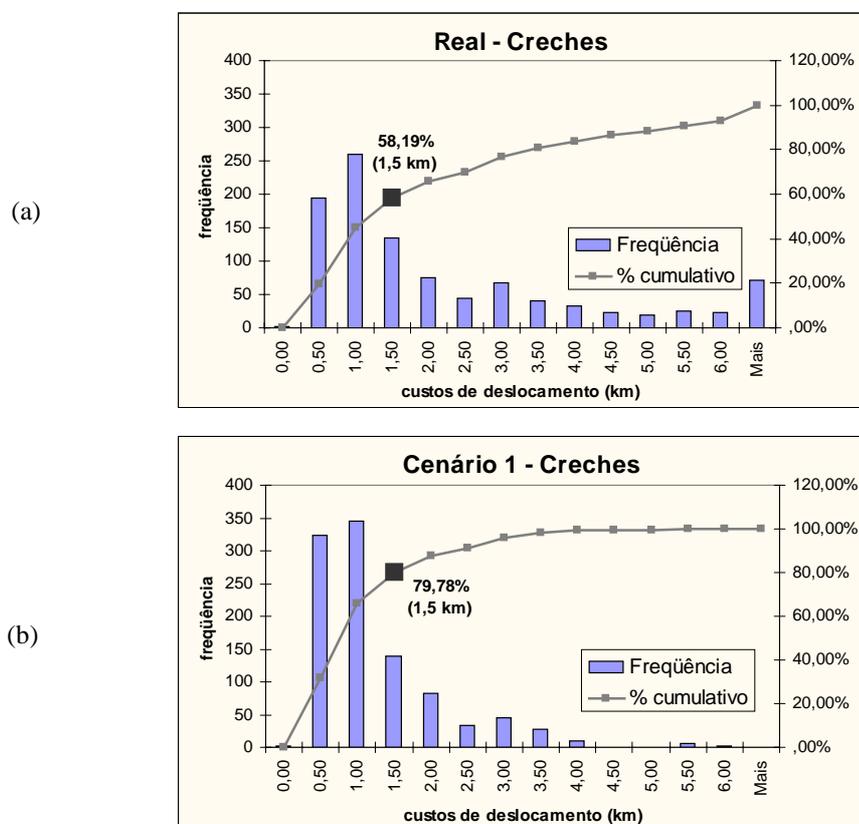


Figura 3 – Histogramas dos custos de deslocamentos da distribuição real (a) e do cenário 1 (b) dos alunos das Creches.

A monitoração dos Índices Global de Acessibilidade para a distribuição real e para os diversos cenários, com as respectivas porcentagens de alunos não atendidos é apresentada na Tabela 7. Comparados com os valores obtidos para as Creches, os valores são sempre melhores, tanto na distribuição real, onde somente 3,0% dos alunos não estão cobertos pelo Índice E_C , por exemplo, como nos cenários construídos, onde a maior porcentagem de não atendimento foi de 4,2%, para E_{C100} no cenário 7.

A Figura 4 apresenta os histogramas para os custos de deslocamentos para a distribuição real (a) e para a distribuição proposta no cenário 1 (b), incluindo a curva com a porcentagem de frequência acumulada em cada caso, agora para as EMEIs. Na situação real, 78,80% dos alunos residem a até 1.500 metros da EMEI que frequentam e, com a distribuição proposta no cenário 1, esse valor subiria para 91,64%. Repete-se aqui a concentração de frequência na parte esquerda do histograma do cenário 1, tal qual observada no caso das Creches. A maior porcentagem de alunos residentes a até 1.500 metros quando se compara os resultados das EMEIs com os das Creches (78,80% para 58,19% na distribuição real e 91,64% para 79,78% no cenário 1) e o menor aumento percentual que se conseguiria do cenário 1 para a distribuição real são mais uma evidência da melhor distribuição espacial dos alunos das EMEIs em relação aos das Creches.

Tabela 6 – Cenários de alocação para as EMEIs.

		CENARIOS															
		real	1	var	2	var	3	var	4	var	5	var	6	var	7	var	
EMEIs	existentes	A	658	736	12%	736	12%	736	12%	383	-42%	736	12%	736	12%	658	0%
		B	239	280	17%	280	17%	280	17%	280	17%	280	17%	280	17%	239	0%
		C	425	251	-41%	251	-41%	251	-41%	251	-41%	251	-41%	251	-41%	425	0%
		D	170	67	-61%	67	-61%	67	-61%	67	-61%	fechada		fechada		170	0%
		E	212	140	-34%	128	-40%	128	-40%	128	-40%	207	-2%	207	-2%	212	0%
		F	427	515	21%	515	21%	515	21%	515	21%	515	21%	515	21%	427	0%
		G	162	188	16%	188	16%	188	16%	188	16%	188	16%	216	33%	162	0%
		H	264	242	-8%	242	-8%	242	-8%	242	-8%	242	-8%	242	-8%	264	0%
		I	333	394	18%	394	18%	394	18%	394	18%	394	18%	394	18%	333	0%
		J	232	362	56%	362	56%	362	56%	362	56%	362	56%	362	56%	232	0%
		K	309	302	-2%	302	-2%	302	-2%	302	-2%	302	-2%	302	-2%	309	0%
		L	338	404	20%	404	20%	404	20%	404	20%	404	20%	404	20%	338	0%
		M	216	333	54%	333	54%	333	54%	333	54%	333	54%	333	54%	216	0%
		N	292	341	17%	341	17%	341	17%	341	17%	341	17%	341	17%	292	0%
		O	173	109	-37%	109	-37%	109	-37%	109	-37%	109	-37%	111	-36%	173	0%
		P	198	43	-78%	43	-78%	43	-78%	43	-78%	43	-78%	fechada		198	0%
		Q	152	165	9%	165	9%	165	9%	165	9%	165	9%	175	15%	152	0%
		R	242	283	17%	272	12%	272	12%	272	12%	283	17%	283	17%	242	0%
		S	235	129	-45%	129	-45%	129	-45%	129	-45%	129	-45%	132	-44%	235	0%
		T	260	198	-24%	198	-24%	198	-24%	198	-24%	198	-24%	198	-24%	260	0%
U	197	169	-14%	169	-14%	169	-14%	169	-14%	169	-14%	169	-14%	197	0%		
V	186	269	45%	269	45%	269	45%	269	45%	269	45%	269	45%	186	0%		
candid.	X				12		12		12								
	Y				11		11		11								
	W								353								
custo médio (km)		1,20	0,82	-31%	0,81	-33%	0,81	-33%	0,78	-35%	0,83	-31%	0,83	-31%	0,97	-19%	
custo máximo (km)		9,76	5,74	-41%	3,33	-66%	3,33	-66%	2,70	-72%	5,74	-41%	5,74	-41%	5,76	-41%	
custo total (km)		7101	4876	-31%	4782	-33%	4782	-33%	4596	-35%	4892	-31%	4915	-31%	5754	-19%	
percent. realocações		--	1724	29%	1726	29%	1726	29%	2041	34%	1788	30%	1821	31%	1841	31%	

Tabela 7 – Alunos não cobertos pelos valores de referência extraídos dos Índices Globais de Acessibilidade – EMEIs

cenários	$E =$ 5,23 km	$E_c =$ 4,56 km	$E_{c50} =$ 3,93 km	$E_{c100} =$ 2,78 km	EMEIs
REAL	143	180	234	452	22
%	2,4%	3,0%	4,0%	7,6%	
1	11	23	23	77	22
%	0,2%	0,4%	0,4%	1,3%	
2	0	0	0	54	24
%	0,0%	0,0%	0,0%	0,9%	
3	0	0	0	54	24
%	0,0%	0,0%	0,0%	0,9%	
4	0	0	0	0	25
%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	
5	11	23	23	77	21
%	0,2%	0,4%	0,4%	1,3%	
6	11	23	23	77	20
%	0,2%	0,4%	0,4%	1,3%	
7	9	31	40	249	22
%	0,2%	0,5%	0,7%	4,2%	

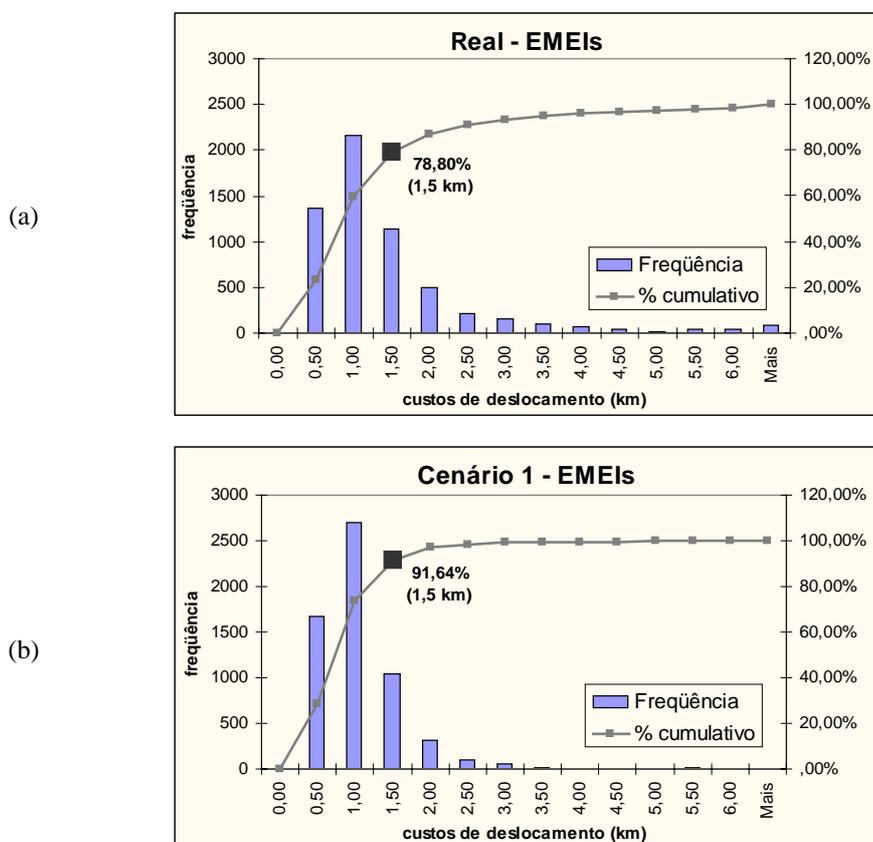


Figura 4 – Histogramas dos custos de deslocamentos da distribuição real (a) e do cenário 1 (b) dos alunos das EMEIs.

5. Conclusões

O objetivo desse trabalho foi incorporar e avaliar a utilização de um índice global de acessibilidade como padrão de referência para a distribuição espacial dos alunos da rede municipal de educação infantil, a partir da construção de diversos cenários alternativos de localização de escolas e alocação de alunos. Por uma questão de praticidade, os modelos de locação/alocação utilizados foram aqueles já disponíveis no Sistema de Informações Geográficas (SIG) utilizado. Nesse sentido, o trabalho não teve por objetivo a avaliação dos modelos de locação/alocação utilizados. Procura-se sim demonstrar, através de um estudo de caso, o potencial de utilização desses modelos num contexto específico, onde a variável espacial tem forte importância e onde os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) atuam como plataforma de trabalho, além de se incorporar um novo parâmetro de referência às análises.

A principal conclusão é que a utilização de um índice de acessibilidade global (no caso, o índice de Allen *et al.*, 1993, e algumas variações do mesmo) parece ser um parâmetro de referência bastante razoável para definir níveis de atendimento ou cobertura dos alunos para diversas opções de compactidade da cidade (variações no valor médio da densidade urbana).

No entanto, é importante ressaltar que esse índice não se aplica quando utilizado do modo aqui apresentado a grandes cidades, pois os valores seriam altos demais para serem adotados como referência de acessibilidade aos usuários. Isso não implica em sua inviabilidade, apenas na necessidade de alguns ajustes, como o cálculo para sub-regiões ou bairros, por exemplo.

Já a partir do georeferenciamento das escolas e dos alunos matriculados no ano 2000 nas Creches e EMEIs de São Carlos, SP, observou-se que a falta de uma política para a alocação dos alunos às escolas gera uma distribuição espacial ruim, uma vez que poderiam ser obtidas reduções de até 50% nos custos de deslocamento em alguns dos cenários gerados. A análise dos resultados mostrou que a abertura de uma nova Creche, no local proposto pelo modelo, associada a uma realocação de 43% dos alunos, faria com que 99% dos alunos estivessem cobertos pelo Índice de Acessibilidade Global em cidades circulares com densidade de 50 hab/ha, considerada uma cidade de referência não excessivamente compacta. Vale ressaltar que os dados estudados foram os dos alunos matriculados em 2000, e que em 2001 a Prefeitura abriu uma nova Creche, localizada a cerca de 200 metros da Creche proposta pelo modelo, embora desconhecesse seu resultado.

No caso das EMEIs, como a distribuição espacial dos alunos e das próprias escolas já é um pouco melhor, conclui-se que não seria necessária a abertura de novas unidades para se melhorar a acessibilidade dos alunos, uma vez que com a realocação de 31% dos alunos seria possível cobrir 99% dos alunos pelo Índice de Acessibilidade Global em cidades circulares com densidade de 50 hab/ha. Obviamente, a geração dos cenários não significa que a Prefeitura deva implantá-los irrestritamente, obrigando os alunos a mudarem de escola, visto que isso é em alguns casos um processo bastante penoso. A finalidade desses cenários é mostrar que a situação atual está longe da ideal, e que medidas podem ser implantadas gradativamente, já que a demanda varia naturalmente ao longo do tempo, com o intuito de melhorar a distribuição espacial dos alunos.

Como conclusão final vale afirmar que as análises qualitativas são mais importantes do que as quantitativas, uma vez que os resultados numéricos são fortemente influenciados pelos casos extremos que não foram retirados da análise. Muito provavelmente, os altos valores individuais dos custos de deslocamentos devem-se a situações específicas em que exista alguma vantagem para o usuário que justifique altas distâncias viajadas dentro da cidade. É o caso das Creches, por exemplo, em que se pode supor que os altos valores dos custos de deslocamento possam ser consequência das viagens de trabalho das mães das crianças, que muitas deixam seus filhos numa Creche próxima do seu local de trabalho. Assim, a inclusão de fatores de atratividade ou outros fatores comportamentais no cálculo da acessibilidade poderia incrementar o modelo. Contudo, a inclusão desse tipo de informação em modelos dessa natureza não é simples, condicionada sempre à disponibilidade de dados para pesquisa. Apesar disso, imagina-se que modelos desse tipo podem ser de grande valia para planejadores e tomadores de decisão no poder público, tendo em vista o quadro comum na imensa maioria das cidades brasileiras de falta de qualquer metodologia para gestão dos sistemas municipais de educação.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – pelo apoio financeiro concedido ao projeto de pesquisa que deu origem a esse trabalho.

Referências Bibliográficas

- (1) Allen, W.B.; Liu, D. & Singer, S. (1993). Accessibility measures of U.S. metropolitan areas. *Transportation Research Part B: Methodological*, **27**, 439-449.
- (2) Amer, S. (1997). Health coverage in Dar Es Salaam, Tanzania. **In:** *Anais do 5th World Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management*. Mumbai, Índia, 2, 552-559.
- (3) Arruda, J.B.F. (1997). Determinação do impacto de projetos de transportes na acessibilidade do trabalhador às principais zonas de emprego urbano. **In:** *Anais do 11^o Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*. ANPET, Rio de Janeiro, 2, 975-984.
- (4) Caliper (1996) *Routing and Logistics with TransCAD 3.0*. Caliper Corporation, Massachusetts, EUA.
- (5) Dutra, N.G.S. (1998). Planejando uma rede escolar municipal para reduzir custos de deslocamentos. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- (6) Galvão, R.D. & Raggi, L.A. (1989). A method for solving to optimality uncapacitated location problems. *Annals of Operations Research*, **18**, 225-244.
- (7) Ingram, D.R. (1971). The concept of accessibility: a search for an operational form. *Regional Studies*, **5**, 101-107.
- (8) Januário, M.H. (1995). Procedimento para determinação de índices de acessibilidade de transporte e tratamento cartográfico dos mesmos. Dissertação (Mestrado), Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro.
- (9) Lima, R.S. & Silva, A.N.R. (1999). The influence of city form on transportation accessibility. **In:** *Anais da International Conference on Modeling and Management in Transportation*. MMT, Poznan – Polônia, Cracow University of Technology, 2, 53-58.
- (10) Lima, R.S. (2003). Bases para uma metodologia de apoio à decisão para serviços de educação e saúde sob a ótica dos transportes. São Carlos. 200p. Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- (11) Lima, R.S.; Naruo, M.K.; Rorato, R.J. & Silva, A.N.R. (2001). Influência da desagregação espacial da demanda por educação no cálculo das distâncias de deslocamento em uma cidade média. **In:** *Anais do Espaço Sem Fronteiras: 20^o Congresso Brasileiro de Cartografia e 8^a Conferência Ibero-Americano de SIG*. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Cartografia, em CD-ROM.
- (12) Lima, R.S.; Silva, A.N.R.; Egami, C.Y. & Zerbini, L.F. (2000). An alternative to promote a more efficient use of the urban areas in developing countries. *Transportation Research Record*, **1726**, 8-15.
- (13) Lima, R.S.; Silva, A.N.R.; Waerden, P.V.D. (2003) Espalhamento urbano: mito ou realidade no Brasil? O caso das cidades médias. *Revista dos Transportes Públicos*, **98**, 31-46.
- (14) Oppong, J.R. & Hodgson, M.J. (1994). Spatial accessibility to health care facilities in Suhun district, Ghana. *The Professional Geographer*, **46**, 199-209.

- (15) Pizzolato, N.D. & Fraga da Silva, H.B. (1997). The location of public schools: evaluation of practical experiences. *International Transactions in Operational Research*, **4**, 13-22.
- (16) Rosado, M.C. (2000). Um método de avaliação da acessibilidade a serviços públicos com o uso do SIG – aplicação à cidade de Araranguá (SC). Dissertação (Mestrado), Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.
- (17) Sales Filho, L.H. (1997). Indicadores de acessibilidade: alguns aprimoramentos analíticos e seu uso na avaliação de redes estruturais de transporte urbano. **In:** *Anais do 11º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*. ANPET, Rio de Janeiro, 2, 985-996.
- (18) Silva, A.N.R. & Silva, A.L.M. (1997). Caracterização espacial da população estudada. **In:** *Subsídios Para Políticas Municipais de Saúde* [editado por S.R.G. Panico], NIPE, São Carlos, SP, 181-186 e 211-214.
- (19) Silva, A.N.R.; Waerden, P. van der & Timmermans, H. (1998). Measuring intra-urban accessibility in developing countries. **In:** *Anais da 8ª World Conference on Transport Research*. Antuérpia, Universiteit Antwerpen, 265 (publicado o resumo).
- (20) Smith, M.D.; Robson, A.M.; Woodward, R.S.; Michelman, J.E.; Valerius, T.J. & Hong, B.A. (1985). Geographic access to health care services: the case of maintenance hemodialysis. *American Journal of Kidney Diseases*, **5**, 19-26.
- (21) Vasconcellos, M.M. (1997) Modelos de localização e sistemas de informações geográficas na assistência materna e perinatal: Uma aplicação no município do Rio de Janeiro. Tese (Doutorado), COPPE – Coordenação dos Programas de Pós-graduação em Engenharia da UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro.