

SISTEMA DE APOIO À GESTÃO DE ÁREAS VERDES URBANAS

MANAGEMENT SUPPORT SYSTEM OF URBAN GREEN AREAS

Adriano Bressane¹, Patricia Satie Mochizuki², José Arnaldo Frutuoso Roveda³,
Sandra Regina Monteiro Masalskiene Roveda⁴, Gerson Araújo de Medeiros⁵,
Admilson Írio Ribeiro⁶, Antonio Cesar Germano Martins⁷

RESUMO

Considerando a importância das áreas verdes urbanas, o objetivo desse estudo foi construir um Sistema de Inferência Fuzzy (SIF) para avaliar sua condição e recomendar ações de melhoria, aplicado como estudo de caso em Sorocaba/SP. A modelagem do sistema foi baseada na dinâmica populacional e índices de apoio relacionados à área verde por habitante (IAV) e seu percentual de ocupação urbana (PAV), integrados para geração do Índice de Condição da Área Verde Urbana (ICV). Como resultado, constatou-se que Sorocaba/SP possui IAV elevado (104,6 m²/hab.), mas que ocupa apenas 15,6% de sua extensão urbana, conferindo uma condição regular ao município (ICV: 6,4). Entretanto, considerando a distribuição espacial, foi avaliado um déficit expressivo de área verde em quase todas as zonas urbanas, sobretudo no centro, considerado em péssima condição (ICV: 2,7). Em ótima condição, a zona sul foi a melhor avaliada (ICV: 8,9), seguida da zona leste considerada boa (ICV: 7,0). As zonas norte e oeste tiveram IAV superior a 85 m²/hab., mas devido ao baixo percentual de área ocupada (<15%), também apresentaram condição regular. A partir dessa avaliação, além de ações recomendadas pelo SIF, ainda foram projetados incrementos progressivos, contribuindo com diretrizes para gestão.

Palavras-chave: Sistema fuzzy; Modelagem; Urbanização.

ABSTRACT

Considering the importance of urban green areas, the present paper aimed to construct a Fuzzy Inference System (FIS) to evaluate its condition and to recommend action of improvement, applied in Sorocaba/SP. The modelling of this system was based on population dynamics and indexes related to green area per inhabitant (GAI) and Percentage of Green Areas (PGA), integrated to generate the Urban Green Area Condition Index (GCI). As a result, it was found that Sorocaba has high GAI (104.6 m²/inhab.), but that occupies only 15.6% its urban extension, providing a regular condition to city (GCI: 6.4). However, considering its spatial distribution, it was evaluated an expressive deficit of green area in almost all urban zones, especially in downtown, considered in very bad condition (GCI: 2.7). In very good condition, the south zone was the best evaluated (GCI: 8.9), followed of east zone considered good (GCI: 7.0). The North and West zones had GAI over 85m²/inhab., but because of the low percentage of occupied area (<15%), also presented regular condition (GCI: 5.9). From this evaluation, in addition to the recommended action by the FIS, were still projected progressive increments of green area for the years ahead, contributing to its continuous improvement.

Key-words: Fuzzy system; Modelling; Urbanization.

Recebido em 16.02.2015 e aceito em 31.08.2015

1 Doutorando em Ciências Ambientais, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Sorocaba/SP, adriano.bressane@posgrad.sorocaba.unesp.br

2 Especialista Ambiental. Secretária do Meio Ambiente do Estado de São Paulo - SMA, Sorocaba/SP, patriciasm@ambiente.sp.gov.br

3 Doutor em Matemática, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Sorocaba/SP, roveda@sorocaba.unesp.br

4 Doutora em Matemática, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Sorocaba/SP, sandra@sorocaba.unesp.br

5 Doutor em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Sorocaba/SP, gerson@sorocaba.unesp.br

6 Doutor em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Sorocaba/SP, admilson@sorocaba.unesp.br

7 Doutor em Engenharia Elétrica, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Sorocaba/SP, amartins@sorocaba.unesp.br

INTRODUÇÃO

O crescimento populacional associado à falta de planejamento tem contribuído para um processo de urbanização desordenada, a supressão de áreas naturais, a homogeneização de paisagens e a fragmentação de habitats, criando condições desfavoráveis à conservação de espécies, manutenção de funções ecológicas e serviços ecossistêmicos (MOTA; CARDOSO-LEITE; SOLA, 2014; STEINER, 2011; ALBERTI, 2010; GRIMM et al., 2000). Contudo, a supressão de áreas naturais no Brasil atingiu cerca de 28 mil km² em 2004 e, apesar da redução para 4,6 mil km² entre 2011 e 2012, ainda tem agravado eventos extremos, como as secas prolongadas dos últimos anos (NOBRE, 2013).

No meio urbano, a supressão das áreas verdes também compromete ambientes de lazer, o controle da poluição, da erosão e assoreamento, dos riscos de enchentes, de danos ao patrimônio e a saúde pública (COMUNE; SURIANI-AFFONSO, 2014; MENEZES FILHO; TUCCI, 2012; MORELLI; LIMA; SOUSA JUNIOR, 2012; TUCCI, 2008; ANGELIS NETO, 2006).

Assim, a recuperação da cobertura vegetal torna-se fundamental para o alcance de cidades seguras, saudáveis e sustentáveis (MORENO, 2007). Entretanto, ainda são poucos os estudos dedicados a apoiar a gestão das áreas naturais nas cidades (MELLO et al., 2014; SCOLOZZI; GENELETTI, 2012). Logo, esse trabalho teve como objetivo propor um sistema de apoio à avaliação e incremento de áreas verdes urbanas, aplicado como estudo de caso no município de Sorocaba (SP).

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudo corresponde ao município de Sorocaba (SP), que possui um território com 449,12 km² (IBGE, 2010), dos quais 85,6% compõem sua área urbana, o equivalente a 384,22 km² (SOROCABA, 2014). Com um Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de 0,798 e o trigésimo segundo maior Produto Interno Bruto (PIB), o município está entre as dez maiores economias do Estado de São Paulo (SEADE, 2015).

Entretanto, apesar de sua importância econômica, que resultou na recém-criada Região Metropolitana de Sorocaba - RMS, seu crescimento urbano tem aumentado a pressão sobre as áreas naturais que, atualmente, possuem apenas 56 km² da vegetação original pouco alterada e com alto grau de fragmentação (MELLO et al., 2014). Portanto,

uma dimensão estratégica para a gestão ambiental do município seria ampliar as áreas verdes urbanas para mitigar as pressões geradas pelo crescimento econômico e demográfico (SEMA, 2012).

Projeção do crescimento populacional

O desenvolvimento do sistema de apoio à avaliação da área verde urbana e projeção de incrementos para sua melhoria contínua foi baseado na dinâmica populacional. Para isso, o crescimento da população foi estimado com base no modelo logístico de Verhulst (1838), que consiste em uma equação diferencial ordinária (EDO) de primeira ordem (1), cuja solução é apresentada na equação (2):

$$\frac{dP}{dt} = \left(r - \frac{r}{k} P(t) \right) P(t) \quad (1)$$

onde:

$P(t)$, tamanho da população no ano (t);

r , taxa de crescimento;

k , população limite ou capacidade de suporte.

$$P(t) = \frac{k}{\left(\frac{k}{P_0} - 1\right)e^{-r(t)} + 1} \quad (2)$$

Os coeficientes (r , k) deste modelo foram obtidos por meio do cálculo de valores r_i médios estimados entre censos consecutivos (i e $i + 1$) e de suas respectivas populações médias P_i dadas pela equação (3):

$$r_i = (P_i/P_{i-1})^{1/\Delta i} - 1 \quad (3)$$

Os principais materiais utilizados para estes cálculos foram os dados censitários do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010) e da Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados (SEADE, 2015).

Para obter a equação que melhor relaciona r_i e P_i , aplicou-se o ajuste de curvas pelo método de quadrados mínimos lineares, dado pela equação (4):

$$A^T A P = A^T R \quad (4)$$

onde:

$$A^T A = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^p 1 & \sum_{i=1}^p P_i \\ \sum_{i=1}^p P_i & \sum_{i=1}^p P_i^2 \end{bmatrix}, A^T R = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^p r_i \\ \sum_{i=1}^p P_i r_i \end{bmatrix}, P = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix}$$

a e b , coeficientes de ajuste linear.

Dessa forma, o modelo de projeção da dinâmica populacional de Sorocaba/SP resultou na equação (5):

$$P(t_0 + \Delta t) = \frac{k}{\left(\frac{k}{P(2010)} - 1\right)e^{-r(\Delta t)} + 1} = \frac{1.377.982}{1.3733e^{-0,0065(t-2010)} + 1} \quad (5)$$

Análise da área verde urbana e projeção de incrementos

Para analisar a condição da área verde urbana foram calculados dois índices de apoio. O primeiro correspondeu ao Índice de Área Verde Urbana (*IAV*) dado pela equação (6) e o segundo ao Percentual de Área Verde Urbana (*PAV*), apresentado na equação (7):

$$IAV(t) = \frac{A_V(t)}{P_u(t)} \quad (6)$$

onde:

$A_V(t)$, extensão da área verde urbana no ano t ,

$P_u(t)$, população urbana no ano t .

$$PAV(t) = \frac{A_V(t)}{A_u(t)} \quad (7)$$

onde:

$A_u(t)$, área urbana total no ano t .

Assim, o *IAV* permitiu avaliar a área verde segundo sua proporção em relação ao número de habitantes. Por sua vez, o *PAV* proporcionou esta análise pela razão da área verde pela extensão urbana total, uma vez que uma densidade demográfica baixa poderia mascarar o *IAV*. Contudo, a distribuição geográfica desses índices constitui outro fator relevante, tanto para orientar espacialmente as ações de gestão, quanto para evitar que condições extremas pudessem mascarar a avaliação. Logo, ambos os índices foram avaliados para cada uma das zonas (centro, leste, norte, oeste e sul) que integram a área urbana de Sorocaba (SP), considerando os dados organizados na Tabela 1.

Tabela 1. Distribuição espacial da população e área verde urbana de Sorocaba/SP em 2012
 Table 1. Population and urban green area spatial distribution of Sorocaba/SP in 2012

Atributo	Norte	Leste	Centro	Oeste	Sul	Total
Território (10 ³ m ²)	217607	82104	1929	72156	10424	384220
Densidade (hab./km ²)	1585	1082	4221	1587	1779	1496
População urb. (hab.)	344856	88816	8140	114538	18544	574893
Área verde urbana (m ²)	30308593	14519281	72457	9943124	5297072	60140528

Fonte: Elaborada a partir de SOROCABA (2014), SEMA (2012) e IBGE (2010).

Para finalidade desse estudo foram consideradas áreas verdes urbanas os espaços públicos e privados compostos por vegetação arbórea, incluindo sistema viário (praças, calçadas e canteiros centrais), interior de imóveis (jardins e quintais) e fragmentos florestais no meio urbano. O levantamento dessas áreas ocorreu por meio de um diagnóstico da arborização urbana de Sorocaba/SP, realizado pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SEMA). Para o cômputo das áreas em fragmentos florestais foi considerado um levantamento aerofotogramétrico de 2006, considerado representativo da condição atual por não haver registros de alterações posteriores a esse ano. Nos demais espaços foi realizado um inventário no ano de 2012, por meio do qual foi estimada a ocorrência de 104638 árvores com uma projeção média de copa de 17,18 m² (SEMA, 2012) totalizando, em conjunto com os fragmentos florestais, a área verde urbana apresentada na Tabela 3.

Tratando-se de dados provenientes de estimativas (censo demográfico) e avaliações remotas (foto interpretação da cobertura vegetal), considera-se que existem imprecisões associadas aos cálculos. Logo, para a análise integrada do *IAV* e *PAV* foi construído um Índice de Condição da Área Verde Urbana (ICV) por meio de um Sistema de Inferência Fuzzy (SIF), que operou como um controlador, indicando recomendações a partir da condição avaliada.

Para isso, o SIF foi construído com base no conhecimento de especialistas, permitindo avaliar de forma computacional a imprecisão, incerteza, subjetividade e métricas com natureza distinta, tanto qualitativa, como quantitativa (JANSSEN et al., 2010). Dessa forma, o sistema de inferência construído simula o raciocínio humano e pode ser aplicado para apoiar decisões a partir de uma condição avaliada. Para isso, a construção do SIF envolve quatro etapas principais: a fuzzificação; a construção da base de regras; a inferência; e a defuzzificação (BRESSANE et al., 2015).

A fuzzificação correspondeu à modelagem das variáveis de entrada e saída em conjuntos *fuzzy*, desenvolvida considerando valores de referência na literatura. Na sequência, a construção da base de regras (*r*) foi desenvolvida por meio da consulta a especialistas.

A inferência foi desenvolvida pelo método de Mandani, que estabelece uma relação fuzzy $R(x, u)$ equivalente a máxima associação entre a condição avaliada (x) e a recomendação (u), segundo os critérios (C_j) e alternativas (A_j) consideradas, como expresso na equação (8):

$$R(x, u) = \max_{1 \leq j \leq r} (\varphi_{R_j}(x, u)) = \max_{1 \leq j \leq r} [\varphi_{C_j}(x) \wedge \varphi_{A_j}(u)] \quad (8)$$

Por sua vez, a defuzificação foi realizada pelo Método do Centróide, onde que estabelece a compatibilidade $\varphi_B(u)$ da saída u com o conceito modelado pelo conjunto fuzzy B , conforme a equação (9).

$$G(B) = \frac{\sum_{j=0}^n u_j \varphi_B(u_j)}{\sum_{j=0}^n \varphi_B(u_j)} \quad (9)$$

A partir da condição avaliada pelo SIF, foram projetadas taxas de incremento da área verde urbana, calculadas a partir de metas propostas para sua melhoria. Para isso, o incremento no biênio $Inc(t)$ foi determinado por meio de um valor médio bienal, calculado a partir do incremento total necessário no período (2014-2024), ponderado pela população anual relativa e normalizada, dada pela equação (10):

$$Inc(t) = \alpha \beta^2 \eta^{-1} \quad (10)$$

onde:

$$\alpha = \sum_{t=2014}^{2024} Inc(t) \quad , \text{ incremento total no período } \Delta t;$$

$$\beta = \frac{P_u(t)}{P_u(2024)} \quad , \text{ população urbana relativa};$$

$$\eta = \sum_{t=2014}^{2024} \beta^2 \quad , \text{ fator de normalização.}$$

Vale ressaltar que a projeção por meio da média ponderada visou obter a melhor distribuição dos incrementos ao longo do período, pois de outra forma os primeiros biênios exigiriam picos de recomposição vegetal, que poderia ser comprometida por limitações operacionais na sua execução.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sistema de apoio à gestão estratégica de áreas verdes urbanas resultou na arquitetura apresentada na Figura 1, onde podem ser observados os conjuntos fuzzy que modelam os dados de entrada e saída, bem como a escala *crisp* para interpretação da condição avaliada.

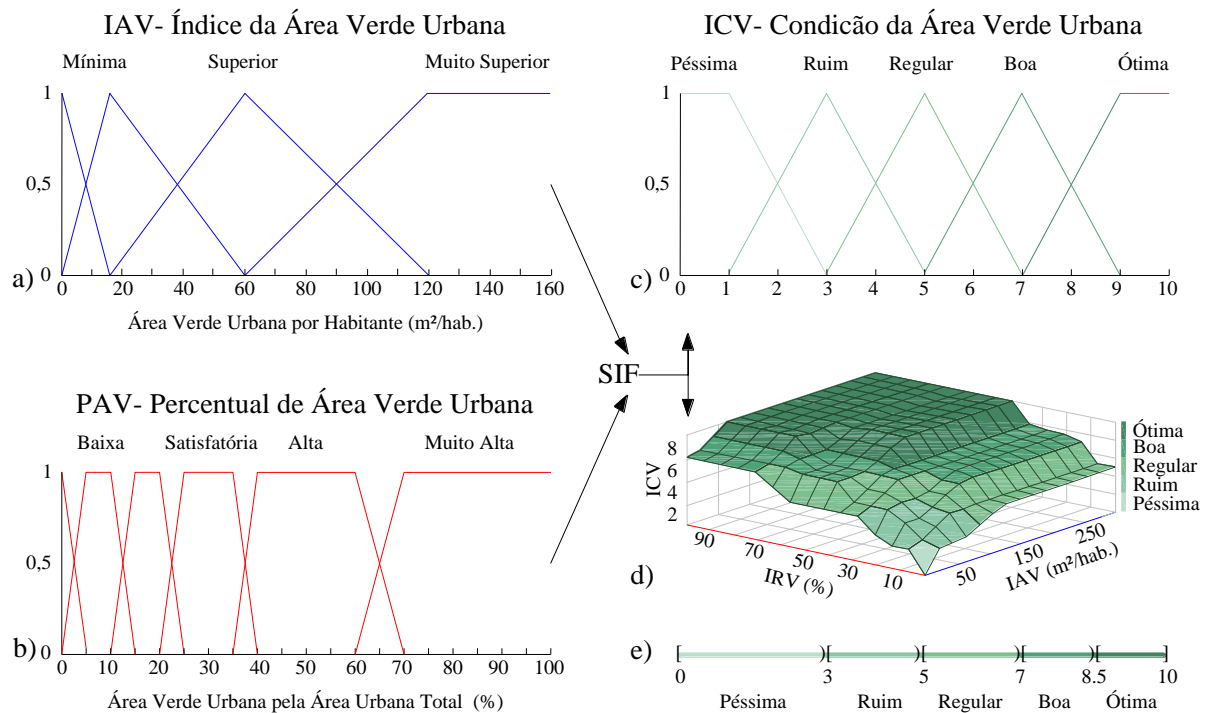


Figura 1. Arquitetura do Sistema de Inferência Fuzzy (SIF): a),b) conjuntos de entrada; c) conjuntos de saída; d) superfície fuzzy; e) escala crisp

Figure 1. Architecture of Fuzzy Inference System (FIS): a),b) input sets; c) output sets; d) fuzzy surface; e) crisp scale

Para ambos os critérios de entrada a condição mínima e aceitável foram definidas por conjuntos fuzzy em torno dos valores de referência encontrados na literatura, entre os quais 15m²/hab. recomendados pela Sociedade Brasileira de Arborização Urbana (SBAU) para o IAV e 15 a 20% para o PAV (LUCON; PRADO FILHO; SOBREIRA, 2013; TOLEDO et al., 2009; HARDER; RIBEIRO; TAVARES, 2006; SBAU, 1996).

Como resultado da consulta aos especialistas, para cada condição avaliada (saída do SIF) foram associadas recomendações para orientar ações de gestão das áreas verdes urbanas, conforme proposto na Tabela 2.

Tabela 2. Ações recomendadas a partir da condição diagnosticada
 Table 2. Recommended actions from the diagnosed condition

Recomendações	Índice de Condição da Área Verde - ICV				
	Péssima	Ruim	Regular	Boa	Ótima
Ações mínimas, indispensáveis para melhoria contínua da área verde urbana					
Recomposição da vegetação em matas ciliares e áreas especialmente protegidas	x	x	x	x	x
Incremento da vegetação em espaços livres públicos existentes, como praças e parques		x	x	x	x
Implantação de novos espaços livres com vegetação, como parques vicinais			x	x	x
Incrementos de áreas com ajardinamento e da arborização no sistema viário				x	x
Manutenção permanente da arborização e da vegetação em espaços livres públicos					x
Programas de educação ambiental aplicada à conservação das áreas verdes urbanas	x	x	x	x	x

Dessa forma, as recomendações a partir da condição avaliada foram organizadas visando orientar ações mínimas fundamentais. Assim, na medida em que a condição da área verde progride, alcançando ICV cada vez mais elevados, novos compromissos devem ser assumidos, de forma progressiva e acumulativa (Tabela 2), como uma estratégia de gestão comprometida com a melhoria contínua.

Contudo, recomenda-se que programas de educação ambiental devem ser considerados fundamentais em todas as condições avaliadas, visto que a conservação das áreas verdes, em grande proporção, é fortemente influenciada pela forma de uso e comportamento da população usuária.

Com base na equação (5) e no padrão atual de distribuição da população urbana de Sorocaba (SP), contata-se que a Zona Norte possui a maior população limite, com cerca de 825 mil habitantes, seguida das Zonas Oeste e Leste com aproximadamente 275 mil e 210 mil, respectivamente. Com extensão territorial muito inferior as demais, a Zona Sul está entre as que possuem a menor capacidade suporte (45 mil hab.), superando apenas a Zona Central (20 mil hab.), apesar de esta última (centro) possuir a maior concentração demográfica do município, com densidade cerca de três vezes maior que a média das demais zonas.

Considerando os dados populacionais, de extensão territorial e da área verde urbana, a aplicação das equações (6) e (7) resultou em um *I_{AV}* municipal com 104,61 m²/hab e um *I_{RV}* de 15,65%. Portanto, para as condições atuais, contatou-se que o Município de Sorocaba/SP possui um *I_{AV}* muito acima, entre superior e muito superior, ao mínimo recomendado (15 m²/hab.). Contudo, a proporção de área verde pela extensão

urbana total (*IRV*) é apenas aceitável. Assim, o sistema de inferência calculou um *ICV* (6,44) a partir do qual a condição atual da área verde urbana de Sorocaba/SP pode ser considerada apenas regular.

No entanto, considerando a variabilidade espacial, avaliar a distribuição desta condição torna-se fundamental para definir diretrizes específicas para cada zona integrante da área urbana de Sorocaba (SP). Para isso, a partir dos índices de apoio calculados de acordo com as características de cada zona, o SIF indicou a condição de área verde apresentada na Figura 2.

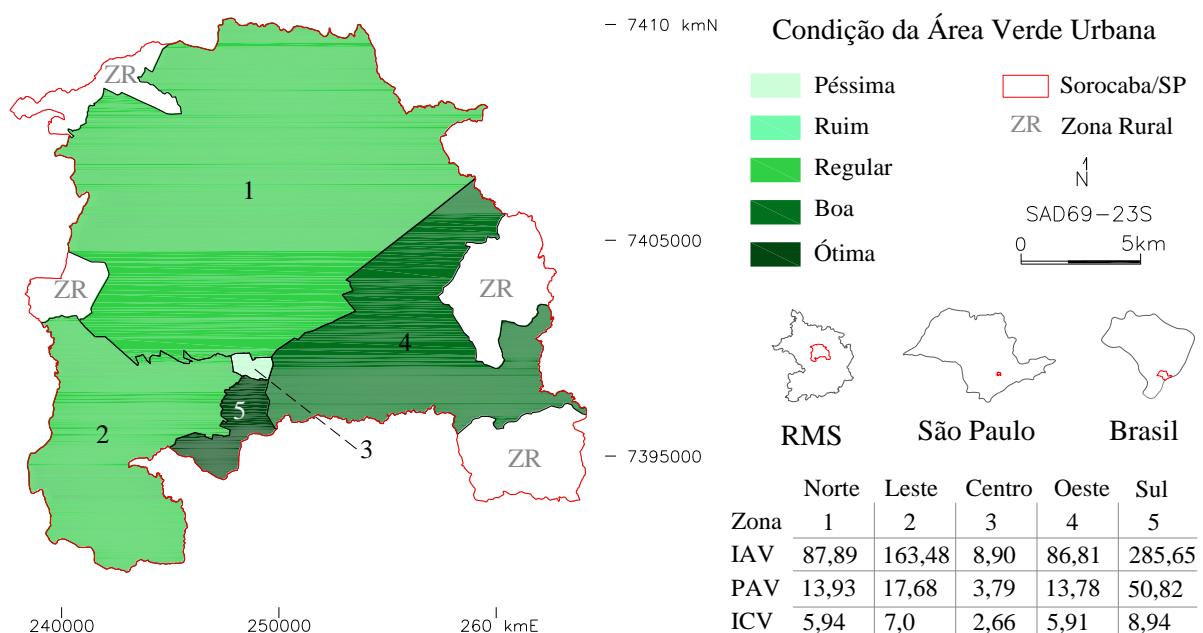


Figura 2. Condição da área verde nas zonas urbanas de Sorocaba (SP)

Figure 2. Green area condition in urban zones of Sorocaba, São Paulo State, Brazil

Com 285 m² por habitante (*IAV*) e uma taxa de cobertura superior a 50% de sua extensão total (*PAV*), a zona sul foi a melhor avaliada entre as zonas urbanas de Sorocaba (SP), apresentando um índice de 8,94 (*ICV*), equivalente a uma ótima condição de área verde. Contudo, para manutenção da ótima condição diagnosticada, a gestão da área verde na zona sul deve assumir compromisso com todas as ações recomendadas (vide Tabela 2), sobretudo, com programas permanentes de educação ambiental para sensibilização da comunidade quanto ao aproveitamento adequado à conservação das áreas verdes.

A zona leste possui um *IAV* muito superior ao mínimo recomendado pela SBAU que, associado a um *PAV* classificado entre aceitável e satisfatório, lhe confere uma boa condição de área verde urbana (*ICV* de 7,0). Logo, recomenda-se ações como incrementos da arborização no sistema viário que, além de contribuir para otimização da condição atual, causam significativos impactos positivos sobre a qualidade ambiental no meio urbano.

Em condições muito semelhantes, as zonas norte e oeste possuem IAV entre superior e muito superior, no entanto, ambas apresentam baixo PAV, implicando em uma condição de área verde considerada apenas regular, com ICV igual a 5,94 e 5,91, respectivamente. No caso de ambas as zonas, para melhoria da condição regular à boa, além de incremento da vegetação em espaços existentes, como praças e parques, recomenda-se ainda a implantação de novas áreas, em bairros ou setores que favoreçam a melhor distribuição geográfica.

Por sua vez, o centro (ou zona central) foi a pior avaliada em Sorocaba (SP), apresentando uma péssima condição de área verde urbana (ICV de 2,66), decorrente do seu IAV entre inferior e mínimo e IRV muito baixo. Portanto, recomenda-se que seja priorizada a recomposição da cobertura vegetal em áreas ambientais especialmente protegidas, tal como as matas ciliares em áreas de preservação permanente.

Dada a sua capacidade suporte, mesmo com o crescimento populacional alcançando a população limite (45 mil habitantes), a zona sul não está condicionada a novos incrementos para manter a ótima condição atual de área verde, além das medidas conservacionistas discutidas anteriormente.

No entanto, para as demais zonas, visando orientar a melhoria contínua da condição das áreas verdes, as projeções simuladas por meio da equação (10) resultaram nos incrementos bienais recomendados na Tabela 3.

Tabela 3. Incremento recomendado para melhoria do ICV

Table 3. Increment recommended to improvement to ICV

Zona Urbana		Período de Execução						
		2012/13	2014/15	2016/17	2018/19	2020/21	2022/23	2024/25
Norte	Incremento (ha)	-----	340,99	357,27	374,34	392,21	410,94	434,15
	IAV (m ² /hab.)	87,9	89,0	96,2	103,4	110,7	118,0	125,0
	PAV (%)	13,9	15,5	17,1	18,9	20,7	22,5	24,5
	ICV	5,94	5,97	6,17	6,97	6,61	6,87	7,00
Oeste	Incremento (ha)	-----	115,01	120,51	126,26	132,29	138,61	146,43
	IAV (m ² /hab.)	86,8	88,2	95,6	102,9	110,4	117,9	125,0
	PAV (%)	13,8	15,4	17,0	18,8	20,6	22,5	24,6
	ICV	5,91	5,95	6,36	6,36	6,60	6,87	7,00
Central	Incremento (ha)	-----	5,33	5,59	5,85	6,13	6,43	6,79
	IAV (m ² /hab.)	8,9	14,1	19,9	25,6	31,5	37,3	43,0
	PAV (%)	3,8	6,5	9,4	12,5	15,6	19,0	22,5
	ICV	2,66	3,12	3,41	4,00	5,00	5,00	6,00
Leste	Incremento (ha)	-----	260,77	273,22	286,27	299,94	314,27	332,01
	IAV (m ² /hab.)	163,5	175,6	199,0	222,4	245,9	269,6	292,5
	PAV (%)	17,7	20,9	24,2	27,7	31,3	35,2	39,2
	ICV	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,05	8,50

Pela Tabela 3, destaca-se que as projeções de incremento das áreas verdes urbanas foram recomendadas para o alcance das seguintes metas ao longo da próxima década (2014/15-2024/25):

- melhoria da condição péssima à regular na Zona Central;
- melhoria de regular à boa nas Zonas Norte e Oeste;
- melhoria de boa à ótima na Zona Leste.

Assim, ao final desse período uma nova análise da condição da área verde nas zonas urbanas poderá ser realizada por meio do SIF, tanto para constatar o cumprimento das metas, quanto para projetar novos incrementos, necessários para melhoria continuada no período seguinte.

CONCLUSÕES

Apesar da área verde urbana ter sido avaliada como regular no cenário municipal em estudo, devido a variabilidade espacial constatou-se que há um déficit expressivo em determinadas zonas, sobretudo na zona central, considerada em péssima condição. Logo, com exceção da zona sul, que possui altos índices por habitante (*IAV*) e por extensão territorial (*PAV*), todas as demais zonas necessitam de incrementos regulares para melhorar ou, ao menos, manter a condição de sua área verde que, em contrário, pode até ser agravada com o crescimento populacional projetado para os próximos anos. Para tanto, considera-se que o sistema construído tem potencial para apoiar a gestão estratégica das áreas verdes urbanas de Sorocaba/SP, recomendando ações e a quantificação de áreas necessárias para melhoria contínua.

Dessa forma, conclui-se que o sistema proposto pode contribuir com a gestão das áreas verdes urbanas, inclusive de outros municípios nos quais pode ser aplicado. Assim, os resultados alcançados atenderam ao objetivo do estudo. Contudo, tratando-se de um sistema construído por meio da modelagem de parâmetros ambientais, destaca-se o potencial de aprimoramento com avanço nas pesquisas, tal como para refinamento dos valores de referência adotados nos índices de apoio, ou mesmo para inclusão de critérios complementares.

REFERÊNCIAS

ALBERTI, M. Maintaining ecological integrity and sustaining ecosystem function in urban areas. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, New York, v. 2, n. 3, p. 178-184, 2010.

DE ANGELIS NETO, G.; DE ANGELIS, B. L. D.; OLIVEIRA, D. S. de. Controle de processos em áreas urbanas com o uso da vegetação. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Piracicaba, v. 1, n. 1, p. 56-61, 2006.

BRESSANE, A.; ROVEDA, J. A. F.; ROVEDA, S. R. M. M.; MOCHIZUKI, P. S.; MARTINS, A. C. G.; MEDEIROS, G. A. de; PECHE FILHO, A.; RIBEIRO, A. I. Aplicação do processo analítico hierárquico na construção de um sistema fuzzy de apoio ao planejamento do uso futuro na recuperação de áreas degradadas: estudo de uma cava mineral na Serra do Japi. **Revista Geociências**, Rio Claro, v. 34, n. 1, p. 88-102, 2015.

COMUNE, M. D; SURINANI-AFFONSO, A. L. Análise de três áreas verdes urbanas em Guarapuava, Paraná. **Ambiência**, Guarapuava, v. 10, n. 3, p. 723-739, 2014.

FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS (SEADE). **Perfil municipal de Sorocaba/SP**. Disponível em: < <http://produtos.seade.gov.br/produtos/perfil/perfil.php>>. Acesso em: 09 jan. de 2015.

GRIMM, N. B.; FOSTER, D.; GROFFMAN, P.; GROVE, J. M.; HOPKINSON, C. S.; NADELHOFFER, K. J.; PATAKI, D. E.; PETERS, D. P. C. The changing landscape: ecosystem responses to urbanization and pollution across climatic and societal gradients. **Frontiers in Ecology and the Environment**, Washington, v. 6, n. 5, p. 264-272, 2008.

HARDER, I. C. F.; RIBEIRO, R. C. S.; TAVARES, A. R. Índices de área verde e cobertura vegetal para as praças do município de Vinhedo, SP. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 277-282, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico de 2010**. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br/resultados>>. Acesso em: 09 out. de 2014.

JANSSEN, J. A. E. B.; KROL, M.S.; SCHIELEN, R.M.J.; HOEKSTRA, A.Y.; KOK, J. L. de. Assessment of uncertainties in expert knowledge, illustrated in fuzzy rule-based models. **Ecological Modelling**, Maryland, v. 221, p. 1245-1251, 2010.

LUCON, T. N.; PRADO FILHO, J. F.; SOBREIRA, F. G. Índice e percentual de áreas verdes para o perímetro urbano de Ouro Preto – MG. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Piracicaba, v. 8, n. 3, p. 63-78, 2013.

MELLO, K.; PETRI, L.; LEITE, E. C.; TOPPA, R. H. Cenários ambientais para o ordenamento territorial de áreas de preservação permanente no município de Sorocaba, SP. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 309-317, 2014.

MENEZES FILHO, F. C. M.; TUCCI, C. E. M. Alteração na relação entre densidade habitacional x área impermeável: Porto Alegre-RS. **Revista de Gestão de Águas da América Latina**, Porto Alegre, v. 9, p. 49-55, 2012.

MORELLI, F.; LIMA, M. G.; SOUSA JUNIOR, W. C. Influência do ambiente natural sobre o ambiente construído: um estudo sobre o índice de chuva dirigida. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v.15, n.1, p. 41-52, 2012.

MORERO, A. M.; SANTOS, R. F.; FIDALGO, E. C. C. Planejamento Ambiental de Áreas Verdes: Estudo de Caso em Campinas-SP. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 19, n. 1, p. 19-30, 2007.

MOTA, M. T.; CARDOSO-LEITE, E.; SOLA, F. Parks in the urban landscape and their potential for the deployment of protected areas – A case study in south eastern Brazil. **Revista Brasileira de Arborização Urbana**, Piracicaba, v. 9, n. 1, p. 52-70, 2014.

NOBRE, A, D. **O Futuro Climático da Amazônia**: Relatório de Avaliação para a Articulação Regional Amazônica. Rio de Janeiro: Fundo Vale, 2013. 42p.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ARBORIZAÇÃO URBANA (SBAU). Carta a Londrina e Iporã. **Boletim Informativo**, v. 3, n. 5, p. 3, 1996.

SCOLOZZI, R.; GENELETTI, D. A multi-scale qualitative approach to assess the impact of urbanization on natural habitats and their connectivity. **Environmental Impact Assessment Review**, Norwich, v. 36, p. 9-22, 2012.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DE SOROCABA-SP (SEMA). **Plano de Arborização Urbana de Sorocaba**: 2009-2020. Sorocaba: SEMA, 2012.

SOROCABA (cidade). 2014. **Projeto de Lei 178 de 2014**. Disponível em: <<http://www.sorocaba.sp.gov.br/planodiretor/>>. Acesso em: 30 set. de 2014.

STEINER, F. Landscape ecological urbanism: origins and trajectories. **Landscape and Urban Planning**, Michigan, v. 100, n. 4, p. 333-337, 2011.

TOLEDO, F. S.; MAZZEI, K.; SANTOS, D. G. dos. Um Índice de Áreas Verdes (IAV) na cidade de Uberlândia/MG. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Piracicaba, v. 4, n. 3, p. 86 - 97, 2009.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008.

VERHULST, P. F. Notice sur la loi que la population poursuit dans son accroissement. **Correspondance mathematique et physique**, Bruxelles, v. 10, p. 113-121, 1838.