



Revista de Gestão Ambiental e
Sustentabilidade
E-ISSN: 2316-9834
revistageas@uninove.br
Universidade Nove de Julho
Brasil

Pinheiro Tóffano Pereira, Rodrigo; Soares Nazareth, Veridianne; Mattos Ribeiro,
Gláydston; Henriques de Jesus, José Manoel
UMA METODOLOGIA PARADERMINAÇÃO DEARENASMAIS
SUSTENTÁVEISBASEADANO PROBLEMA DE COBERTURA DE CONJUNTOS
Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, vol. 5, núm. 2, mayo-agosto, 2016, pp.
49-63
Universidade Nove de Julho
São Paulo, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=471647049005>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc



UMA METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DE ARENAS MAIS SUSTENTÁVEIS BASEADA NO PROBLEMA DE COBERTURA DE CONJUNTOS

Recebido: 04/12/2015

Aprovado: 15/04/2016

¹Rodrigo Pinheiro Tóffano Pereira

²Veridianne Soares Nazareth

³Glaydston Mattos Ribeiro

⁴José Manoel Henrique de Jesus

RESUMO

Atualmente a escolha de estádios/arenas para realização de eventos deve ser realizada de maneira que aspectos econômicos e sustentáveis sejam levados em consideração. Nesse contexto, este artigo propõe uma metodologia para a escolha de estádios/arenas baseada no Problema de Cobertura de Conjuntos (PCC) da área de Pesquisa Operacional. Essa metodologia permite selecionar aqueles estádios/arenas que apresentam o menor custo e atendem ao maior número possível de medidas que visam à sustentabilidade ambiental da construção civil. Por meio de uma aplicação prática, com o auxílio do software CPLEX 12.2, buscou-se apresentar os passos da metodologia que considera o modelo matemático do PCC em sua estrutura. Os resultados mostram que a metodologia proposta é capaz de selecionar estádios/arenas voltados a megaeventos esportivos mais sustentáveis.

PALAVRAS-CHAVE: Problema de Cobertura de Conjunto, Sustentabilidade, Estádios de Futebol.

¹ Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Brasil
E-mail: rodrigo_toffano@pet.coppe.ufrj.br

² Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Brasil
E-mail: veridianne@pet.coppe.ufrj.br

³ Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Brasil
E-mail: glaydston@pet.coppe.ufrj.br

⁴ Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT, Brasil
E-mail: jmhenriques@terra.com.br



A METHODOLOGY FOR DETERMINATION OF SUSTAINABLE ARENAS BASED ON SET COVERING PROBLEMS

ABSTRACT

Currently the choice of stadiums/arenas for events should be made so that economic and sustainable aspects are taken into account. In this context, this paper proposes a methodology for choosing stadiums/arenas based on Set Covering Problem (SCP) from the Operational Research Area. This methodology allows to select those stadiums/arenas that have the lowest cost and gather the largest possible number of measures aimed at environmental sustainability of civil construction. Through a practical

application, with the help of the CPLEX 12.2 software, it was sought to present the steps of the methodology that considers the mathematical model of the SCP in its structure. The results show that the proposed methodology is able to select stadiums/arenas geared towards more sustainable mega sports events.

KEYWORDS: Set Covering Problem, Sustainability, Football Stadiums.

UNA METODOLOGÍA PARA DETERMINACIÓN DE ARENAS MÁS SOSTENIBLES BASADA EN EL PROBLEMA DE LA COBERTURA DE CONJUNTOS

RESUMEN

Actualmente la selección de estadios/arenas para la realización de eventos debe tener en cuenta los aspectos económicos y sostenibles. En este contexto, el presente documento propone una metodología para la elección de estadios/arenas basado en el Problema de la Cobertura de Conjuntos (PCC) del área de Investigación Operativa. Esta metodología permite seleccionar aquellos estadios/arenas que tienen el costo más bajo y resumen el mayor número posible de medidas direccionaladas a la sostenibilidad ambiental de la construcción civil. A través de una aplicación

práctica, con la ayuda del software CPLEX 12.2, se buscó presentar los pasos de la metodología que considera el modelo matemático del PCC en su estructura. Los resultados muestran que la metodología propuesta es capaz de seleccionar estadios/arenas convertidos para mega eventos deportivos más sostenibles.

PALABRAS CLAVE: Problema de Cobertura de Conjuntos, Sostenibilidad, Estadios de Fútbol.



INTRODUÇÃO

A preocupação com a sustentabilidade em edificações de grandes eventos esportivos é recente, fruto das preocupações ambientais do final do século XX, tendo como marco a Eco-92 realizada no Rio de Janeiro e a assimilação de seus preceitos pelo Comitê Olímpico Internacional, em 1994, no Congresso Centenário Olímpico dessa instituição (IOC, 2013).

A primeira cidade beneficiada por essas iniciativas foi Lillehammer, na Noruega, sede dos XVII Jogos Olímpicos de Inverno de 1994, que apresentou instalações energeticamente e ambientalmente eficientes (Tóffano, 2013). No entanto, apenas em 2006, na Copa do Mundo FIFA™ Alemanha, que a Federação Internacional de Futebol (FIFA) e seus parceiros, através do Programa *Green Goal™*, introduziram políticas ambientais na organização e disseminação de Copas “mais sustentáveis” (FIFA, 2007).

O *Green Goal™*, lançado em 2005, através da parceria do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), com a Federação Alemã de Futebol e o Ministério Alemão do Meio Ambiente, demonstra que o esporte também pode contribuir com as questões de desenvolvimento sustentável. Em linhas gerais, ele prevê para as cidades-sedes a administração racional e eficiente da água e dos resíduos gerados, a economia de energia e o uso de sistemas públicos de transporte com consumo eficiente de combustíveis (OC, 2006).

Esse Programa vem contribuindo para o acúmulo de conhecimentos e experiências para futuras sedes de Copas e até mesmo outros eventos, ao fornecer uma base sobre como as cidades anfitriãs poderão desenvolver seus próprios programas ambientais e de infraestrutura dentro das limitações impostas por eventos como esses, a fim de minimizar as consequências negativas sobre o meio ambiente, maximizando o legado social, econômico e ambiental (Tóffano & Jesus, 2013).

Alcançar um bom desempenho na promoção do desenvolvimento sustentável por meio de grandes eventos esportivos significa contribuir para a redução de custos sociais e ambientais, ineficiências e desperdícios, além de colaborar para uma maior integração entre os vários atores da sociedade e pelo desenvolvimento contínuo da comunidade e dos relacionamentos entre a sociedade e o meio ambiente (Ernest & Young, 2010).

Assim, em situações reais, dado um conjunto de estádios candidatos a receberem jogos de futebol de grandes eventos, os tomadores de decisão envolvidos precisam selecionar os estádios que efetivamente sediarão os jogos, levando em consideração ao menos os aspectos econômicos e de sustentabilidade, conforme explicitado anteriormente e aprofundado na próxima seção. Embora essa seleção seja permeada de

outros interesses, um procedimento técnico de seleção precisa ser estruturado e seguido, principalmente no estágio inicial do planejamento do evento.

Sendo assim, este artigo tem como objetivo propor uma metodologia de seleção de estádios baseada no Problema de Cobertura de Conjuntos – PCC (Balas & Padberg, 1976), que permita estabelecer, a partir de um conjunto de estádios candidatos, aqueles que apresentam o menor custo e que atendem ao maior número possível de medidas que visam à sustentabilidade ambiental da construção civil. Estádios/arenas de futebol/olímpicos (campo de futebol associado à pista de atletismo) são considerados os principais equipamentos esportivos destinados à prática desses megaeventos, por associar seus acontecimentos a uma grande concentração de público. E, por isso, as preocupações com o seu custo e com os impactos gerados ao meio ambiente se acentuam.

Dessa forma, cabe analisar a capacidade do PCC de orientar a tomada de decisão em relação à escolha de projetos de estádios/arenas mais sustentáveis. Logo, por meio do PCC, busca-se levantar equipamentos esportivos para a prática de futebol que apresentem o menor custo global e que, ao mesmo tempo, apresentem o maior número possível de itens voltados à sustentabilidade.

Espera-se, com esta pesquisa, avançar no acompanhamento de um processo de transformação positiva nos índices de sustentabilidade voltados para o esporte. Fato que se acentuará nos próximos anos, e que beneficiará a pesquisa e o trabalho de engenheiros, arquitetos, economistas, urbanistas e dos mais diversos profissionais envolvidos com as preocupações do meio ambiente, as questões construtivas e principalmente dos montantes de recursos econômicos envolvidos (Tóffano & Jesus, 2013).

SUSTENTABILIDADE EM ESTÁDIOS DE FUTEBOL

O setor da construção civil é importante e estratégico para o desenvolvimento de qualquer nação, entretanto, é um dos maiores causadores de impactos ambientais, pela elevada demanda de insumos em todo o ciclo da vida útil de uma edificação (John, 2009).

No contexto da construção sustentável é difícil separar meio ambiente de fatores econômicos, à medida que, com a redução dos insumos disponíveis, há o aumento da poluição, de passivos ambientais e do desequilíbrio na oferta-procura e da qualidade dos produtos (Nascimento, 2010). Segundo Sattler (2007), a adoção de medidas de sustentabilidade, além de retardar os impactos ao meio ambiente, proporciona ao ser humano uma melhor qualidade de vida. Dessa forma, no âmbito da construção civil, as edificações podem ser utilizadas como instrumentos para



averiguar a disseminação de conceitos de sustentabilidade (Lamberts *et al.*, 2010).

CIB (2002) sugere que essa busca pela sustentabilidade integral de edificações é “para restabelecer e manter a harmonia entre os ambientes natural e construído e criar estabelecimentos que confirmem a dignidade humana e estimulem a igualdade econômica”. Segundo Gomide *et al.* (2006), a busca por essa holística sustentabilidade pode ser alcançada, em parte, por uma boa manutenção da edificação, uma vez que esta tem a finalidade de viabilizar a disponibilidade de sistemas, com o menor valor e menor desperdício possível. Além de se comprometer, também, a racionalizar o uso de recursos naturais e de se preocupar com as questões de impacto ambiental e urbano.

A busca pela sustentabilidade é objeto de estudos científicos há décadas, contemplando pesquisas desde a origem de seu conceito, até a sua aplicação na economia, na engenharia, dentre outros (Ceotto, 2006). A construção de equipamentos esportivos remonta à Antiguidade; o Circo Máximo de Roma, por exemplo, tinha capacidade para 180.000 espectadores e serve de modelo para instalações modernas até hoje (Neufert, 2004). Os modernos estádios do século XXI não diferem da concepção clássica grega: uma grande construção destinada à realização de competições esportivas e outros espetáculos, com plateias que circundam o perímetro do campo de provas (Cereto, 2004).

No entanto, mesmo sabendo que empreendimentos como arenas esportivas demandam uma grande quantidade de insumos, desprendem uma quantidade excessiva de energia e consomem milhões em recursos monetários iniciais que permanecem significativos durante a fase de manutenção, a preocupação com esses equipamentos é recente, como aponta a própria FIFA (OC, 2006).

As modernas arenas de grandes equipes de futebol mundial com coberturas fechadas, envoltórias

em aço, ou espelhadas, gramados móveis, climatização, automação predial, iluminação eficiente, assentos individuais ergonômicos e tantos outros itens são o reflexo da busca pelo conforto, associada ao aumento da demanda energética. Assim, tais sofisticações se direcionam a um caminho inverso da busca pela sustentabilidade (John *et al.*, 2007).

Tóffano (2013), em seus estudos, pela dificuldade de encontrar artigos e trabalhos científicos com a aplicação de conceitos de sustentabilidade a equipamentos esportivos, levantou um extenso número de arenas disponíveis para a prática do futebol em partidas oficiais, com assimilação prática de características de sustentabilidade. Foram desconsiderados estádios que apresentavam aspectos como: mobilidade e transporte, conforto ambiental passivo (ventilação e iluminação naturais) e presença de cobertura, como os únicos aspectos sustentáveis; já que esses aspectos são bastante difundidos em estádios, desde antes das preocupações ambientais iniciadas pelo COI em 1994 (IOC, 2013).

As arenas utilizadas no Mundial de 2014, por ainda não terem suas características de sustentabilidade homologadas pelas agências certificadoras internacionais, durante a realização deste levantamento, também foram descartadas da presente análise.

Das 8169 unidades analisadas, com base na plataforma eletrônica disponibilizada por Deproft *et al.* (2012), em todo o mundo, apenas 81, menos de 1%, apresentavam algum atributo relevante de sustentabilidade ambiental associado ao seu projeto, ou à gestão e à operação de seu empreendimento. Um número extremamente baixo, se comparado à complexidade e à grande difusão desses projetos pelos cinco continentes, aos vultosos desprendimentos econômicos necessários, à quantidade de água, energia e recursos naturais utilizados na sua construção e operação, e à quantidade de gases poluentes produzidos. Na Tabela 1, encontra-se uma síntese desta pesquisa, por continente.

Tabela 1: Síntese dos estádios disponíveis para a prática de futebol/sustentáveis, no Mundo.

Continente	Estádios de Futebol	Estádios Sustentáveis
África (54 países)	655	06
América (36 países)	3035	17
Ásia (49 países)	1255	13
Europa (45 países)	3018	40
Oceania (14 países)	206	05
TOTAL (198 países):	8169	81

Fonte: Adaptado de TÓFFANO (2013).



Segundo John *et al.* (2007), Silva (2007), Viggiano (2010) e FIFA (2011), alguns princípios e parâmetros ambientais devem ser levados em consideração para a concepção de novos projetos e construções de novas arenas esportivas. Tóffano (2013) com base nesses estudos estabeleceu esses parâmetros. A principal motivação para o seu desenvolvimento foi a necessidade do estabelecimento de indicadores para grandes equipamentos esportivos destinados à prática do futebol, considerando-se ações orientadas ao desenvolvimento de projetos mais preocupados com o meio ambiente. A seguir, são listados e apresentados os dez aspectos/ações básicos de sustentabilidade, identificados, que devem ser considerados:

- Ambiente Urbano e Paisagístico (Ação 01): Preocupações de integração do projeto com o entorno. Além do respeito à natureza, busca-se redução de emissões de gases poluentes, o plantio de árvores nativas e paisagismo adequado, a integração da arena interior-exterior e a versatilidade de usos.

- Transportes (Ação 02): Integração do projeto com a malha urbana local, facilidade de acessos, mobilidade e circulações. Estímulo ao transporte público de massa com qualidade, assim como de bicicletas, caronistas, caminhadas, carros elétricos etc.

Tóffano (2013) subdividiu o aspecto de sustentabilidade “Água” em duas ações, como forma de facilitar sua análise: “Racionalização” (Ação 03) e “Conservação e Reúso” (Ação 04).

- Racionalização (Ação 03): Essa ação é constituída por medidas aparentemente mais simples e com impactos econômicos menores. Basicamente, busca-se a implantação de equipamentos hídricos mais eficientes.

- Conservação e Reúso (Ação 04): Constitui-se em uma ação mais complexa, em nível tecnológico, e é mais onerosa para ser implantada. Tem como fundamento a minimização da dependência da rede pública de abastecimento, através de medidas como: captação e reúso das águas de chuva, infiltração e percolação de águas pluviais, utilização de águas subterrâneas, tratamento de águas residuais, para usos não potáveis, e pavimentação e calçamento com materiais permeáveis.

O aspecto de sustentabilidade “Energia” também foi dividido em duas ações, como forma de facilitar a análise: “Fontes Renováveis” (Ação 05) e “Demanda Minimizada” (Ação 06).

- Fontes Renováveis (Ação 05): Essa ação corresponde a arenas que se desvincaram, total ou

parcialmente, da rede pública de energia elétrica, através da utilização de fontes renováveis.

- Demanda Minimizada (Ação 06): Essa ação, por sua vez, considera meios mais simples de economia, monitoramento de gastos e de racionalização.

- Materiais Ecológicos (Ação 07): Objetiva o emprego e/ou aquisição de materiais e serviços considerados mais ecológicos, ou certificados, sobretudo a utilização de itens locais, que necessitam de pequenos deslocamentos e estimulam a economia.

- Resíduos e Reciclagem (Ação 08): Essa ação aborda a reciclagem de materiais de edificações preexistentes, a gestão correta de resíduos (durante a construção e a operação da arena), as campanhas de conscientização de usuários, os programas de reciclagem e compostagem, a redução do desperdício e a separação de embalagens.

O aspecto “Conforto Ambiental” também foi dividido em duas ações, conforme a natureza e o desprendimento energético de seus atos.

- Passivo (Ação 09): Está relacionado com a ventilação e a iluminação naturais, a permeabilidade da envoltória e de vãos, o emprego de coberturas e paredes verdes, a utilização de isolantes térmicos e solares, a concepção arquitetônica favorável, a simplificação de elementos construtivos, a correta orientação solar, a redução de ilhas de calor etc.

- Ativo (Ação 10): Abrange soluções que apresentam determinado desprendimento energético para que esse objetivo seja alcançado, a exemplo da calefação e da refrigeração, diferentemente de seu precedente.

Assim, quanto maior o número de respostas positivas a esses critérios, maior é o nível de sustentabilidade do projeto em análise. Os 81 projetos listados na Tabela 1 foram compilados considerando as ações de sustentabilidade e os resultados são apresentados na Tabela 2. Preza-se o conceito de “Ecoarenas”, ou seja, estádios que apresentam aspectos ecológicos em sua concepção, que foram construídos de forma a causar o menor impacto ambiental, sem desperdício de materiais e com as maiores eficiências energéticas e hidrossanitárias possíveis.

Com posse desses dados, na próxima seção são apresentados os princípios do Problema de Cobertura de Conjuntos (PCC) que norteiam a metodologia proposta para determinação de arenas mais sustentáveis apresentada na Seção 4.



Tabela 2: Síntese das “ações” levantadas por estádios agrupados por continente e mundo.

Valores em %	África (06 Arenas)	América (17 Arenas)	Ásia (13 Arenas)	Europa (40 Arenas)	Oceania (05 Arenas)	Mundo (81 Arenas)
Ação 01 (Ambiente Urbano e Paisagístico)	83,3	82,3	46,1	77,5	60,0	72,8
Ação 02 (Transportes)	66,6	58,8	61,5	92,5	100,0	79,0
Ação 03 (Água - Racionalização)	83,3	52,9	46,1	70,0	60,0	62,9
Ação 04 (Água - Conservação e Reúso)	100,0	29,4	69,2	55,0	100,0	58,0
Ação 05 (Energia - Fontes Renováveis)	16,6	17,6	30,7	47,5	0,0	33,3
Ação 06 (Energia - Demanda Minimizada)	83,3	82,3	69,2	80,0	40,0	76,5
Ação 07 (Materiais Ecológicos)	66,6	64,7	38,5	35,0	60,0	45,6
Ação 08 (Resíduos e Reciclagem)	50,0	52,9	7,7	52,5	60,0	45,6
Ação 09 (Conforto Ambiental Passivo)	100,0	94,1	100,0	75,0	100,0	86,4
Ação 10 (Conforto Ambiental Ativo)	100,0	41,2	61,5	70,0	40,0	62,9

Fonte: Adaptado de TÓFFANO (2013).

O PROBLEMA DE COBERTURA DE CONJUNTOS (PCC)

Segundo Balas e Padberg (1976), PCC, ou *Set Covering Problem (SCP)*, é um problema de otimização com origem no Problema de Particionamento de Conjuntos, ou *Set Partitioning Problem (SPP)*, assim como no Problema de Empacotamento de Conjuntos, ou *Set Packing Problem (SP)*, e pode ser definido como segue. Denota-se $I = \{1, \dots, m\}$ e $J = \{1, \dots, n\}$ como conjuntos de índices. Seja $\Gamma = \{P_j \subseteq I, j \in J\}$, tal

que, $I = \bigcup_{j \in J} P_j$. Seja c_j um custo individual associado a cada um dos elementos do conjunto P_j . Define-se de cobertura um subconjunto $J^* \subseteq J$, tal que $I = \bigcup_{j \in J^*} P_j$ com custo $C^* = \sum_{j \in J^*} c_j$. O PCC consiste em encontrar uma cobertura com o menor custo, podendo ser formulado como um problema de programação matemática como o que se segue:

$$\text{Minimizar } \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (1)$$

$$\text{Sujeito a: } \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq 1 \forall i = 1, \dots, m \quad (2)$$

$$x_j \in \{0, 1\} \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (3)$$

onde a_{ij} $i \in I, j \in J$, é uma matriz formada por números binários (0,1) de dimensão $m \times n$, tal que, $a_{ij} = 1$ se, e somente se, $i \in P_j$ e $a_{ij} = 0$, caso

contrário. A variável de decisão x_j indica que se a coluna j for selecionada, implica em $x_j = 1$, caso



contrário, $x_j = 0$. Note que I e J representam os conjuntos de índices de linhas e colunas, respectivamente, da matriz “ a ” e P_j representa o vetor da coluna j .

A Função Objetivo (1) busca selecionar aquele conjunto de colunas que apresenta o menor custo possível tal que as Restrições (2), conhecidas como restrições de cobertura, sejam respeitadas. As Restrições (3) definem o domínio das variáveis de decisão.

Conforme Constantino *et al.* (2003), o PCC tem diversas aplicações práticas, encontradas em literatura especializada, tais como: balanceamento em linha de montagem (Salveson, 1955), locação de unidades emergenciais (Toregas *et al.*, 1971),

escalonamento de condutores de empresas de transporte (Desrochers e Soumis, 1989) e até mesmo na localização de escolas (Pizzolato *et al.*, 2002), implantação de torres de telecomunicação (Lorena e Pereira, 2002), dentre outros. Além da complexidade teórica, nessas aplicações, é muito comum que o problema tenha centenas de linhas e milhares de colunas.

Até o presente estudo, não foi encontrada nenhuma outra aplicação que considerasse a sustentabilidade de estádios e a aplicação de técnicas de PCC. Na próxima seção, são apresentados os procedimentos metodológicos que visam integrar o PCC e a busca da sustentabilidade de grandes equipamentos esportivos.

METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DE ESTÁDIOS/ARENAS MAIS SUSTENTÁVEIS BASEADA NO PCC

A metodologia proposta para determinação de arenas mais sustentáveis baseada no Problema de Cobertura de Conjuntos é composta de sete fases, conforme Figura 01.

Na Fase 1, busca-se identificar todos os estádios/arenas que devem ser considerados na seleção daqueles mais sustentáveis. Nessa fase, deve-se levantar também os respectivos custos de construção. Essas informações estão relacionadas aos parâmetros do PCC, descritos na Seção 3. O número total de estádios/arenas define o parâmetro n e o custo de construção de cada estádio/arena $j \in \{1, \dots, n\}$ define o parâmetro c_j .

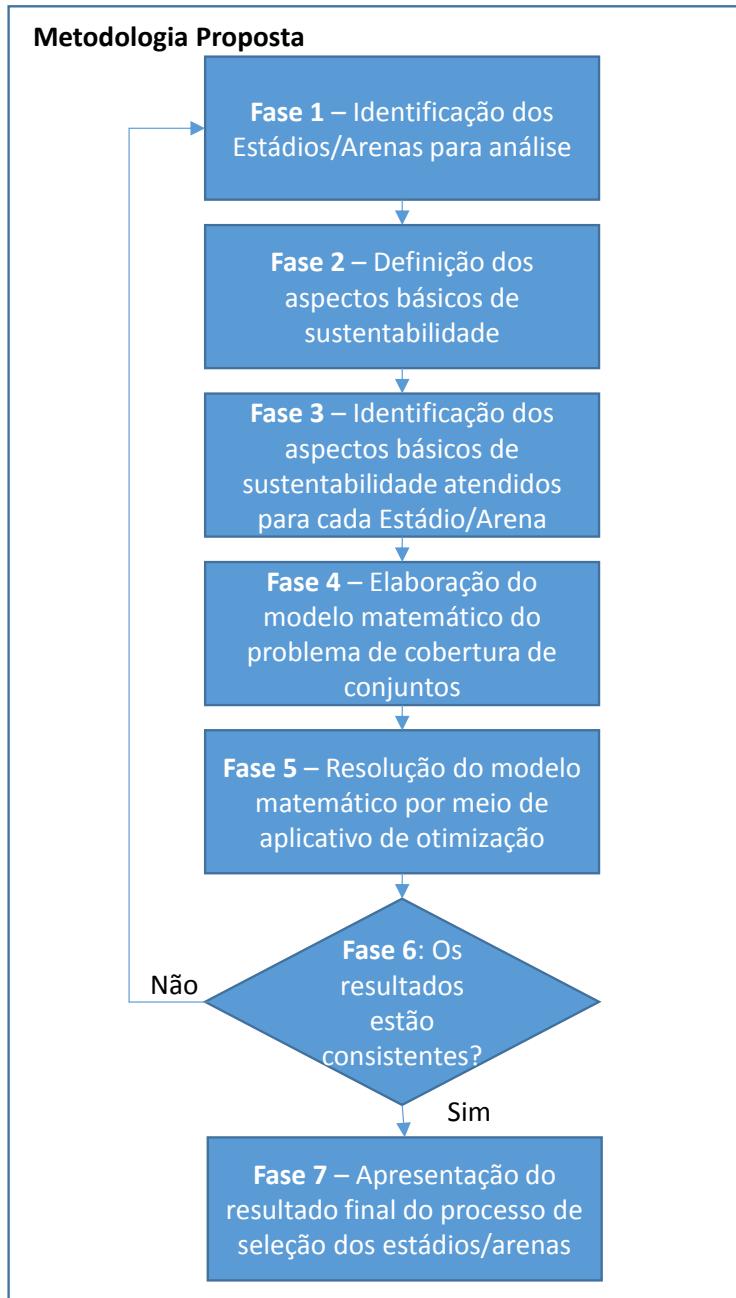


Fig. 01: Fases da metodologia proposta. **Fonte:** Os Autores (2016).

Na Fase 2, deve-se identificar quais são os aspectos básicos de sustentabilidade a serem considerados para seleção dos estádios/arenas mais sustentáveis. O número total de aspectos define o parâmetro m do modelo matemático apresentado na Seção 3.

A Fase 3 é responsável por identificar, para cada estádio/arena, quais aspectos básicos de sustentabilidade estão sendo atendidos. Essa relação entre estádio/arena e aspectos básicos de sustentabilidade permite a definição da matriz “ a ” apresentada na Seção 3.

Com os dados das Fases 1, 2 e 3, a Fase 4 é responsável pela elaboração da formulação

matemática tomando como base o modelo matemático (1)-(3). A Função Objetivo (1) é definida com base nos custos de construção de todos os estádios/arenas considerados. As Restrições (2) garantem que cada aspecto básico de sustentabilidade seja atendido por no mínimo um estádio/arena selecionado. Já as Restrições (3) garantem que um estádio pode (ou não) ser selecionado. Essa formulação matemática pode ser obtida com auxílio computacional que envolve implementação específica em linguagem de programação como, por exemplo, C/C++.

A Fase 5 consiste na solução da formulação matemática obtida na Fase 4 que pode ser realizada por meio de aplicativos computacionais de otimização.



Cabe destacar que, dependendo do número de estádios/arenas e do número de aspectos básicos de sustentabilidade, a formulação matemática resultante pode apresentar alta complexidade, dificultando o processo de solução. Nesses casos, técnicas aproximadas de otimização podem ser utilizadas.

A Fase 6 consiste em avaliar os resultados. Se inconsistências forem identificadas, deve-se retornar às fases anteriores para verificação. Por último, a Fase 7 apresenta os resultados finais do processo de seleção que deve identificar aqueles estádios/arenas que, selecionados, apresentam os menores custos de construção e juntos atendem aos aspectos básicos de sustentabilidade definidos.

Para exemplificar a metodologia proposta, considere um problema reduzido com apenas cinco estádios com preços aleatórios (respectivamente: 10; 20; 30; 25; 35) e quatro aspectos básicos de sustentabilidade (1 representa a presença desse aspecto e 0 a ausência do mesmo). A Figura 02 apresenta os dados básicos do problema bem como a formulação matemática obtida. É possível verificar, nesse pequeno exemplo, a aplicação das Fases 1, 2, 3 e 4 descritas anteriormente. Dessa forma, configura-se melhor a relação entre as variáveis de decisão e os parâmetros definidos na Seção 3, bem como o próprio modelo matemático (1)-(3).

	Estádio 1	Estádio 2	Estádio 3	Estádio 4	Estádio 5
Variável de Decisão	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
Custo de Construção	10	20	30	25	35
	Estádio 1	Estádio 2	Estádio 3	Estádio 4	Estádio 5
Aspecto de sustentabilidade 1	1	0	1	1	0
Aspecto de sustentabilidade 2	1	0	1	0	0
Aspecto de sustentabilidade 3	0	0	0	1	0
Aspecto de sustentabilidade 4	0	1	0	0	1

Formulação Matemática	Minimizar Sujeito a: $+ 10x_1 + 20x_2 + 30x_3 + 25x_4 + 35x_5$ $+ x_1 + x_3 + x_4 \geq 1$ $+ x_1 + x_3 + x_4 \geq 1$ $+ x_4 \geq 1$ $+ x_2 + x_5 \geq 1$ $x_1 \in \{0,1\}, x_2 \in \{0,1\}, x_3 \in \{0,1\}, x_4 \in \{0,1\}, x_5 \in \{0,1\}$
-----------------------	---

Fig. 02: Exemplo hipotético da metodologia empregada em caso específico com cinco estádios/arenas e quatro aspectos básicos de sustentabilidade. **Fonte:** Os Autores (2016).

Esse modelo hipotético apresentado, na Figura 02, auxilia no entendimento da metodologia proposta, assim como serve de base para os resultados encontrados na próxima seção. Contemplando o maior número possível de ações de sustentabilidade construtivas, ao menor custo, com a utilização do PCC.

Assim, uma aplicação real da metodologia foi realizada considerando dados de uma ampla revisão bibliográfica, que, com base, principalmente, no trabalho de Tóffano (2013), contribuiu para identificação dos principais palcos mundiais disponíveis para a prática de partidas oficiais de futebol (Campeonatos Estaduais, Nacionais, Copas

Américas, Copas do Mundo etc.) que apresentam características de sustentabilidade, já apresentados nas Tabelas 1 e 2. Os dez critérios de sustentabilidade apontados pelo autor, reproduzidos na Seção 2, também foram considerados para compor as Restrições (2) do modelo matemático da Seção 3.

Inicialmente, buscou-se encontrar, das 81 amostras levantadas, aquelas que cobriam o maior número de ações de sustentabilidade estabelecidas por Tóffano (2013) com o menor preço total de construção. Estas, com capacidades variando entre 617 a 94.783 pessoas e custos entre 600 mil a 1,6 bilhão de dólares, conforme apontam o mesmo autor, deveriam ser os modelos de construção em que



arquitetos, projetistas e engenheiros deveriam apoiar-se para ratificarem novos projetos.

Com a eliminação dos estádios Rewirpower Stadion, na Alemanha, e Sheikh Jassim Bin Hamad Stadium, no Qatar, por não apresentarem seus valores orçamentários, a amostra foi reduzida a 79 arenas. As capacidades mínimas de público foram, também, consideradas nessas análises. Dessa forma, seus respectivos campeonatos/confederações futebolísticas foram respeitados, na medida em que campeonatos locais têm legislações mais brandas. A FIFA (2007), por exemplo, estabelece o mínimo de 30.000 assentos para partidas oficiais internacionais e de 60.000 lugares para finais de Copas do Mundo.

Em posse dos dados dos 79 estádios/arenas, o modelo matemático (1)-(3) foi implementado em linguagem C/C++ e a formulação matemática foi resolvida com o CPLEX 12.2 (IBM, 2012), um aplicativo de otimização com bastante aceitação no meio científico. Os testes computacionais foram realizados em um computador com processador Intel® Core™ 2 Solo (1.4 GHz, 800 MHZ FSB) e 4 GB de memória RAM. O diferencial desta pesquisa está na aplicação inédita do problema de cobertura de conjuntos na seleção de estádios mais sustentáveis. Assim, uma ferramenta matemática trouxe auxílio em um processo de escolha até então qualitativo. A próxima seção apresenta os resultados obtidos,

fechando assim todas as fases da metodologia proposta.

ANÁLISE DE RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção são apresentados os resultados e análises após a aplicação da metodologia nos estádios apontados por Tóffano (2013) com suas respectivas ações de sustentabilidade. Busca-se minimizar custos totais, maximizando itens de sustentabilidade, tendo a capacidade como característica a ser sempre considerada nesses diagnósticos. A síntese dos resultados, ao se utilizar o CPLEX 12.2, pode ser encontrada na Tabela 3, a seguir. A análise de resultados e discussões das três aplicações propostas é detalhada na sequência.

Na primeira aplicação, sem considerar a capacidade mínima das arenas, três estádios de futebol foram selecionados: o Eco Estadio Janguito Malucelli (Figura 03), com 04 aspectos de sustentabilidade (ações) contempladas, em Curitiba-PR, o Stadium du Littoral (Figura 04), com 08 aspectos, da cidade francesa de Grande Synthe, e a Stockhorn Arena (Figura 05), com 05 aspectos, na cidade de Thun, em Berna, na Suíça. Essas três opções se complementam em suas características/ações para atendimentos dos dez aspectos de sustentabilidade.

Tabela 3: Síntese dos resultados encontrados por aplicação considerando “ações” e estádios.

Estádio/Arena	Ação 01	Ação 02	Ação 03	Ação 04	Ação 05	Ação 06	Ação 07	Ação 08	Ação 09	Ação 10	País de Origem	Valor (milhões)	Capacidade (pessoas)
Primeira Aplicação: Sem estabelecer Capacidade Mínima													
Eco Estadio Janguito Malucelli	X					X	X				Brasil	R\$ 1.2	6.000
Stadium du Littoral	X	X	X	X	X	X		X	X		França	US\$ 5.2	617
Stockhorn Arena		X	X		X			X	X		Suíça	US\$ 45	10.000
Segunda Aplicação: Capacidade Mínima de 30.000 lugares (Mínimo para partidas internacionais)													
Frankenstadion	X	X	X	X	X	X		X		X	Alemanha	US\$ 75	44.308
Volkswagen Arena	X	X	X				X	X	X	X	Alemanha	US\$ 70	30.000
Terceira Aplicação: Capacidade Mínima de 60.000 lugares (Mínimo para finais de Copa do Mundo)													
Millennium Stadium	X	X	X	X		X	X	X	X	X	País de Gales	US\$ 200	74.500
Signal Iduna Park	X	X	X	X	X	X	X	X	X		Alemanha	US\$ 264	65.718

Fonte: Os Autores (2016).

O primeiro estádio ecológico do Brasil, o Eco Estadio Janguito Malucelli, com 6.000 lugares de capacidade, custou R\$ 1,2 milhão. Sua construção e inauguração ocorreram durante 2007 e recebeu outros

nomes como: Eco Estadio e Janguitão. O pequeno estádio multiuso do Estado do Paraná, além de ter como mandante o Sport Club Corinthians Paranaense,



recebe partidas dos Campeonatos Brasileiro e Paranaense de Futebol (JMalucelli, 2012).



Fig. 03: Eco Estadio Janguito Malucelli
Fonte/Source: www.panasonic.com.br/ecoideas/blog/



Fig. 04: Stadium du Littoral
Fonte/Source: www.archdaily.com/179962/



Fig. 05: Stockhorn Arena
Fonte/Source: www.hrs.ch/typo3temp/pics/

O pequeno estádio poliesportivo francês Stadium du Littoral, com apenas 617 assentos e ao custo de 5,2 milhões de dólares, foi considerado um dos estádios mais sustentáveis. Seu projeto, idealizado pelo OLGGA Architects, foi inaugurado em 04 de setembro de 2011. Seu mandante é o Olympique Grande-Synthe Football (Arch Daily, 2011).

A Stockhorn Arena, antiga Arena Thun AG, no cantão de Berna, tem capacidade para apenas dez mil pessoas e custou 45 milhões de dólares. Foi projetada pelos escritórios de arquitetura Itten + Brechbühl AG, Brügger Architekten AG e Pool Architekten. Suas obras foram finalizadas em 09 de julho de 2011. A arena suíça multiuso tem como mandante a equipe de futebol F C Thun (Arena Thun AG, 2011; Milelli, 2011).

Pelo fato de os resultados encontrados apresentarem estádios com capacidades inferiores a 30.000 pessoas, o mínimo de assentos possíveis para a realização de partidas internacionais, conforme a FIFA (2007), foi estabelecida uma capacidade mínima como limite. Quatorze estádios foram eliminados e a metodologia foi aplicada novamente. Nessa segunda análise, dois estádios alemães foram contemplados, o

Frankenstadion, em Nuremberg (Figura 06), e o Volkswagen Arena, em Wolfsburg (Figura 07). Esses dois estádios seriam as melhores opções possíveis, por exemplo, para sediar amistosos internacionais, eliminatórias para Copas do Mundo e sediar partidas do próprio Mundial, ou outros eventos como: a Copa das Confederações FIFA™, torneios continentais, ou o próprio “Campeonato Alemão de Futebol”, a Bundesliga. Mas, acima de tudo, apresentando o maior número de aspectos, 8 e 7, respectivamente, em prol da sustentabilidade e com o menor custo de construção possível.

O Frankenstadion, projeto original de Otto Ernst Schweizer (1928), com capacidade para 44.308 pessoas, teve sua última reforma, de 75 milhões de dólares, finalizada em 2005. É conhecido também por Grundig-Stadion. Seu mandante é a equipe de futebol FC Nürnberg, apesar de a arena ser utilizada para outros fins, como: concertos musicais e eventos especializados. Foi utilizado nos Jogos Olímpicos de Munique 1972, na Copa do Mundo FIFA™ 2006, na Copa das Confederações FIFA™ 2005 e é usado, anualmente, pela Bundesliga (OC, 2006).



Fig. 06: Frankenstadion

Fonte/Source: www.hpp.com/de/projekte/



Fig. 07: Volkswagen Arena

Fonte/Source: www.vfl-wolfsburg.de/fileadmin

Já o Volkswagen Arena, para 30.000 pessoas, ficou orçado em 70 milhões de dólares. O projeto, desenvolvido por um grupo de escritórios de arquitetura, teve suas obras finalizadas em dezembro de 2002. O VFL Wolfsburg é sua equipe mandante e dá nome a uma das nomenclaturas da arena multiuso: o VFL Stadion. Foi utilizado na Copa do Mundo FIFA™ Alemanha de futebol feminino e é usado comumente pela Bundesliga (OC, 2011).

Com a finalidade de avaliar a sensibilidade da metodologia, um novo limite foi estipulado para a capacidade mínima das arenas (60.000 pessoas). Esse limite, estabelecido pela FIFA (2007), é, por exemplo, necessário para a realização de partidas finais de Copa do Mundo. Todos os estádios com número de assentos inferiores a esse valor foram eliminados e a metodologia foi aplicada uma vez mais. Nessa última análise, o CPLEX apontou o Millennium Stadium (Figura 08), em Cardiff, País de Gales, e o Signal Iduna Park (Figura 09), em Dortmund, na Alemanha,

como as soluções que apresentaram o maior número de ações em prol da sustentabilidade, pelo menor custo, e que cumprem o requisito primordial da FIFA de capacidade. Tóffano (2013), em seus estudos, aponta esses estádios como dois dos mais sustentáveis, ao atenderem 90% das ações preestabelecidas. Com este artigo, ratifica-se que esses estádios apontados pelo PCC, além de sustentáveis e grandiosos, apresentam o menor custo de construção em função de suas complexidades e das demandas necessárias.

O Millennium Stadium, com capacidade para 74.500 pessoas e com custo estimado em 200 milhões de dólares, é de autoria do Populous e teve suas obras finalizadas em 1999. É a casa das seleções galesas de rúgbi e de futebol e apresenta utilização mista. Foi utilizado na Copa do Mundo de Rúgbi de 1999, de 2007 e de 2015, assim como recebeu partidas de futebol nos Jogos Olímpicos de Londres, em 2012 (Millennium Stadium, 2009).



Fig. 08: Millennium Stadium

Fonte/Source: www.bbc.co.uk/wales/scrumv/



Fig. 09: Signal Iduna Park

Fonte/Source: www.zerozero.pt/estadio.php?id=166

O Signal Iduna Park, para 65.718 pessoas, em partidas internacionais, e com obras estimadas em 264 milhões de dólares é de autoria dos arquitetos: Planungsgruppe Drahtler, Ulrich Drahtler e Schulte-Ladbeck. Foi construído, originalmente, em 1971 e sua última reforma ocorreu em 2005. Seus mandantes são as equipes de futebol Ballspiel-Verein Borussia 1909 e V. Dortmund e apresenta usos variados. Foi utilizado nas Copas do Mundo FIFA™ Alemanha 1974 e 2006, na Liga dos Campeões da UEFA

2000/01 e é normalmente utilizado no Campeonato Alemão de Futebol, a Bundesliga (OC, 2006).

Dos resultados encontrados, destaca-se que a maioria das arenas apresentadas localiza-se no continente europeu, apenas o Eco Estádio Janguito Malucelli está no Brasil. Mesmo a Europa, apresentando, previamente, dentre os cinco continentes, o maior número de estádios com características sustentáveis, 40 contra 41, dos outros quatro continentes juntos, essa proporção de 6:1 é bastante significativa. A preocupação com a



sustentabilidade é maior na Europa e reflete nas edificações desta pesquisa, que apresentaram os menores custos, seja por esse continente apresentar escassos recursos naturais, seja pela maior conscientização e nível de escolaridade das pessoas, o que aumenta seu engajamento ambiental.

Outro dado importante é referente à capacidade, pois quanto maior o número de espectadores de um estádio, maior será o custo necessário para a adoção de medidas de sustentabilidade, em função da complexidade arquitetônica de um número maior de pavimentos. Entretanto, capacidades menores que 30.000 pessoas são inviáveis para a realização de partidas internacionais, segundo a FIFA, entidade máxima desse esporte. Assim, mesmo que todas as arenas tenham preocupações com a sustentabilidade, ratifica-se a importância da adoção dessas medidas desde suas concepções, em que o custo de intervenção é menor e os objetivos (usos) podem ser verificados e adaptados para as diferentes realidades. Levando sempre em consideração o correto processo de planejamento, governança e gestão desses empreendimentos, já que atrasos e falhas incrementam, negativamente, a folha orçamentária.

Com os diferentes tipos de estádios apontados, constata-se que a busca pela sustentabilidade na construção civil é complexa e apresenta diversas abordagens. O setor é um dos principais consumidores de recursos naturais e, por isso também, vem sendo desafiado a promover a sustentabilidade. Se em diversos segmentos desse ramo a busca pela sustentabilidade está mais difundida, a exemplo das certificações ambientais, desenvolvidas em diversos países, a busca por medidas de sustentabilidade em grandes equipamentos esportivos é recente. Com pesquisas como esta, busca-se difundir essas ações, discuti-las e implementá-las a fim de capacitar a cadeia produtiva para competir em um novo cenário mundial com forte pressão pela responsabilidade socioambiental.

Com a aplicação da metodologia utilizada neste estudo, ajustando sua sensibilidade em função da capacidade de público dos estádios, foi possível destacar arenas mais sustentáveis. Projetos que atendessem a todas as ações de sustentabilidade, apresentadas neste trabalho, desde que apresentassem o menor custo. Essa metodologia pode vir a ser muito útil para países que se candidatem a grandes eventos esportivos e que busquem dentre seus estádios aqueles mais sustentáveis e com uma maior preocupação com o meio ambiente. De forma a apresentar eventos com grande cunho ecológico com interesses em questões ambientais – atitude que vem se tornando corrente nos eventos esportivos do começo deste século.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A busca pela sustentabilidade na indústria da construção civil é de grande importância para o planeta e um desafio a ser vencido por projetistas, arquitetos e engenheiros. Hoje, megaeventos esportivos apresentam grandes obras de construção civil, projetos complexos, que precisam ser construídos/reformados, como arenas/estádios de futebol e outros exemplos correlacionados com o menor custo/impacto ambiental possível. Infelizmente, edificações desse porte 100% sustentáveis ainda não são viáveis, todavia, seus impactos ao meio ambiente podem ser minimizados. Ações “verdes”, como as apresentadas neste trabalho, que visam reduzir esses impactos, já são um grande passo.

Este artigo propôs uma metodologia para a determinação de arenas mais sustentáveis, baseada na teoria do Problema de Cobertura de Conjuntos. A metodologia utilizada foi capaz, nas condições desta pesquisa, de encontrar estádios de futebol que contemplassem um maior número de ações de sustentabilidade construtivas, ao menor custo. Três diferentes tipos de capacidade de estádios foram testados de forma a verificar essa aplicabilidade.

Entretanto, uma limitação verificada nessa metodologia é que a busca pelo menor preço, atendendo ao maior número possível de itens de sustentabilidade, aponta como solução para uma combinação entre dois ou mais estádios como solução ótima, como apresentado na Seção 5. Todavia, fisicamente, é impossível “atrelar” dois complexos esportivos a uma única solução. O modelo seria mais viável se apontasse, unicamente, uma única arena. No entanto, podem-se considerar as diferenças apontadas como medidas de sustentabilidade a serem ponderadas para futuras reformas/melhorias de cada um deles, e para novos projetos desse tipo. Ou seja, a ausência de uma ação de sustentabilidade combinada com uma arena que a apresente poderia servir de estímulo para que a primeira se torne mais sustentável.

Como sugestões de novos estudos, derivados deste trabalho, cita-se, por exemplo, a ponderação de cada um dos dez itens de sustentabilidade, de forma, por exemplo, que a simples utilização de caixas de água sanitárias acopladas tenha um valor diferente (logicamente menor) do que a instalação de um complexo sistema de coleta e tratamento de águas pluviais, da cobertura dessas arenas, na ação relacionada à racionalização e reaproveitamento de água.

A sugestão aqui apresentada está na linha de que algumas ações possam ter pesos maiores do que outras, e isso tem impacto direto no modelo matemático (1)-(3) (PCC), que precisará ser redefinido. A instalação de placas fotovoltaicas, por exemplo, seria mais relevante do que a simples instalação de vagas para carros movidos a biocombustíveis. Além disso, podem ser conduzidas



pesquisas relacionadas à mensuração do ganho real de cada uma dessas ações, financeiro ou ambiental, de forma que novos PCCs possam ser estabelecidos em prol da maximização de lucros e minimização dos danos ambientais. Essas propostas e tantas outras possíveis contribuem para o êxito na busca pelo menor preço do emprego de medidas de sustentabilidade e em seus estudos comparativos.

REFERÊNCIAS

- Arch Daily. (2011, novembro). Stadium du Littoral /OLGGA Architects. Recuperado em 23 de agosto, 2013, de <http://www.archdaily.com/179962/stadium-du-littoral-olgga-architects/>.
- Arena Thun AG. (2011). Solarstrom vom Arena-Dach. Recuperado em 09 de setembro, 2013, de <http://www.arenathun.ch/de/About/Stockhorn-Arena>.
- Balas, E.; Padberg, M. (1976). Set Partitioning: A Survey. In: SIAM Review, Vol. 18, N. 4 (out., 1976), pp. 710-760. Publicado por: Society for Industrial and Applied Mathematics.
- Ceotto, L. H. (2006, novembro). Construção Civil e o Meio Ambiente. In: Notícias da Construção. Seção Qualidade e Produtividade, São Paulo, nº 51.
- Cereto, M. P. (2004). Arquitetura de Massas: O Caso dos Estádios Brasileiros. Dissertação de Mestrado em Arquitetura. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2004. 258 p.
- CIB – International Council for Research and Innovation in Building and Construction. (2002). Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries: A Discussion Document. Boutek Report No. Bou/E0204, Pretoria, South Africa.
- Constantino, A. A.; Reis, P. A. dos; Neto, C. F. X. de; Figueiredo, M. F. (2003). Aplicação de Algoritmos Genéticos ao Problema de Cobertura de Conjunto. In: XXXV SBPO A Pesquisa Operacional e os Recursos Renováveis, 4 a 7 de novembro de 2003, Natal – RN.
- Deproft, N.; Amadò, G.; Spampinato, A. (2012). Stadium List. Recuperado em 14 de julho, 2013, de <http://www.worldstadiums.com/>.
- Desrochers, M.; Soumis, F. (1989). A Column Generation Approach to the Urban Transit Crew Scheduling Problem. Transportation Science, 23, pp. 1-13.
- Ernst & Young. (2010). Brasil Sustentável – Impactos Socioeconômicos da Copa do Mundo 2014. Recuperado em 26 de agosto, 2013, de http://fgvprojetos.fgv.br/sites/fgvprojetos.fgv.br/files/e_studo_9.pdf.
- FIFA – Fédération Internationale de Football Association. (2007). FIFA Football Stadiums: Technical recommendations and requirements. Zurich, Switzerland: FIFA, 248 p.
- _____. (2011). Football Stadiums – Technical Recommendations and Requirements. Zürich, Switzerland: FIFA, 5th Edition. 419 p.
- Gomide, T. L. F.; Pujadas, F. Z. A.; Neto Fagundes, J. C. P. (2006). Técnicas de Inspeção e Manutenção Predial. São Paulo: Editora PINI.
- IOC – International Olympic Committee. (2013). Sustainability Through Sport. Lausanne, Suisse: IOC, 102 p.
- John, G.; Sheard, R.; Vickery, B. (2007). STADIA: A Design and Development Guide. Fourth Edition Architectural Press: 306 p.
- John, V. M. (Coord.). (2009). Desenvolvimento Sustentável, Construção Civil, Reciclagem e Trabalho Multidisciplinar. Recuperado em 03 de fevereiro, 2016, de <http://www.reciclagem.pcc.usp.br/dessustentavel.htm>.
- Jmalucelli. (2012). EcoEstádio Janguito Malucelli. Recuperado em 15 de setembro, 2013, de http://www.jmalucelli.com.br/index.php?pag=empresas&t_cod=99&t_grupo=18&subgrupo=eco_estadio_janguito_malucelli.
- Lamberts, R.; Ghisi, E.; Pereira, C. D.; Batista, J. O. (2010). Casa Eficiente: Bioclimatologia e Desempenho Térmico. Volume I. Florianópolis: UFSC/LabEEE. 123p.
- Lorena, L. A. N.; Pereira, M. A. (2002). A Lagrangean/Surrogate Heuristic for the Maximal Covering Location Problem Using Hillsman's Edition. International Journal of Ind. Engineering, 9(1), 57-67.
- Milelli, A. (2011, julho). Fussballstadien Nach Minergie. Recuperado em 09 de setembro, 2013, de <http://www.minergie.ch/news/items/fussballstadien-nach-minergie.html>.
- Millennium Stadium. (2009). Millennium Stadium Sustainable Development. In: Millennium Stadium. Recuperado em 15 de setembro, 2013, de <http://www.millenniumstadium.com/information/sustainability.php>.
- Nascimento, T. C. (2010). Influência da Eficiência no Uso da Água e Energia no Custo do Ciclo de Vida



de uma Moradia Multifamiliar Popular em Belo Horizonte – Brasil. Dissertação de Mestrado em Construção Civil. Área de Concentração: Materiais da Construção Civil. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, Minas Gerais. 150 p.

Neufert, P. (2004). Arte de Projetar em Arquitetura. Portugal: Gg – Gustavo Gili, 17^a Edição. 618 p.

OC – Organizing Committee Fifa World Cup 2006. (2006). Green Goal – Legacy Report. Frankfurt, Alemanha. 120 p.

OC – Organizing Committee Fifa Women's World Cup. (2011). Football's Footprint – Legacy Report. Frankfurt, Alemanha. 65 p.

Pizzolato, N. D.; Barcelos, F. B.; Lorena, L. A. N. (2002). School Location Methodology in Urban Areas of Developing Countries. IFORS2002 – The sixteenth triennial conference of the International Federation of Operational Research Societies.

Salveson, M. E. (1955). The Assembly Line Balancing Problem. *Journal of Ind. Engineering*, 6, pp. 18-25.

Sattler, M. A. (2007). Sustentabilidade: A Construção Fazendo a Sua Parte. Conselho em Revista – Matéria, nº 33, Porto Alegre, Rio Grande do Sul. 2007.

Silva, V. G. da. (2007). Metodologias de Avaliação de Desempenho Ambiental de Edifícios: Estado Atual e Discussão Metodológica. In: Habitação Mais Sustentável. Documento 5. Projeto FINEP 2386/04: Tecnologias para construção habitacional mais sustentável. São Paulo, 60p.

Tóffano, R. (2013). Sustentabilidade em Estádios de Futebol: O Caso da Arena Pantanal em Cuiabá-MT. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental. Área de Concentração: Construção Civil. Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, Mato Grosso, 305 p.

Tóffano, R.; Jesus, J. M. H. (2013). Copa 2014 – Diretrizes de Sustentabilidade na Concepção do Projeto do Novo Verdão, a Arena Pantanal, em Cuiabá-MT. *Revista Habitat Sustentable*, v. 3, pp. 35-44, Concepción, Chile.

Toregas, C.; Swain, R.; Revelle, C.; Bergman, L. (1971). The Location of Emergency Service Facilities. *Operations Research*, 19, pp. 1363-1373.

Viggiano, M. S. (2010). Edifícios Públicos Sustentáveis. Brasília: Senado Verde.

AGRADECIMENTOS: Registra-se o apoio do CNPq e da CAPES ao desenvolvimento desta pesquisa.