

Ano VII, v.1 2026 | **submissão: 02/06/2026** | **aceito: 05/06/2026** | **publicação: 08/06/2026**

## **Infraestrutura inteligente e mobilidade verde: os novos paradigmas dos eventos esportivos globais**

*Smart infrastructure and green mobility: the new paradigms of global sporting events*

Infraestructura inteligente y movilidad verde: los nuevos paradigmas de los eventos deportivos globales

**Marina Pisano**

### **Resumo**

A engenharia de megaeventos esportivos evoluiu de uma abordagem operacional para um modelo sistêmico orientado à sustentabilidade, no qual a descarbonização de frotas e a economia circular nas infraestruturas de overlay assumem um papel central. Essa transformação integra inovação tecnológica, gestão eficiente de recursos e estratégias de redução dos impactos ambientais, consolidando os megaeventos como plataformas de experimentação de soluções sustentáveis em larga escala.

**Palavras-chave:** megaeventos, descarbonização, frotas sustentáveis, economia circular, infraestrutura temporária, engenharia logística, sustentabilidade, overlay.

### **Introdução**

A organização de megaeventos esportivos internacionais, como Jogos Olímpicos e Copas do Mundo, consolidou-se historicamente como um campo estratégico de inovação em engenharia, logística e planejamento urbano. Ao longo das últimas décadas, observa-se uma transição progressiva de modelos operacionais centrados exclusivamente na eficiência e na entrega funcional para abordagens mais complexas, orientadas pelo desempenho ambiental, pela resiliência sistêmica e pela otimização de recursos. Nesse contexto, a sustentabilidade deixou de ocupar uma posição periférica e passou a assumir um papel estruturante, influenciando diretamente as decisões de projeto, de execução e de legado das intervenções.

Essa mudança paradigmática reflete a incorporação de critérios técnico-científicos mais rigorosos, alinhados às agendas globais de descarbonização e de desenvolvimento sustentável. A engenharia de megaeventos passa, assim, a operar sob uma lógica integrada, na qual aspectos ambientais, energéticos e logísticos são considerados simultaneamente e de forma interdependente. O resultado é a consolidação de soluções mais eficientes e adaptáveis, capazes de responder às crescentes demandas por redução de impactos e pela maximização do valor gerado.

Nesse cenário, destacam-se dois domínios críticos que sintetizam essa evolução: a descarbonização de frotas de transporte em larga escala e a adoção de princípios de economia circular nas infraestruturas temporárias de overlay. Ambos representam vetores estratégicos de transformação, ao exigir a convergência entre inovação tecnológica e gestão avançada de recursos. Dessa forma, os megaeventos contemporâneos passam a atuar não apenas como

Ano VII, v.1 2026 | **submissão: 02/06/2026** | **aceito: 05/06/2026** | **publicação: 08/06/2026**

operações logísticas complexas, mas também como plataformas de experimentação e de difusão de soluções sustentáveis em escala global.

## **1. Descarbonização de Frotas de Grande Escala em Perímetros Olímpicos**

A descarbonização de frotas em megaeventos representa uma mudança paradigmática na engenharia de transporte aplicada. Tradicionalmente, a prioridade operacional recaía sobre a confiabilidade e a redundância, com pouca consideração às emissões. No entanto, a crescente pressão regulatória e social pela redução das emissões de carbono impulsionou a adoção de veículos de emissão zero (ZEVs), especialmente a partir da década de 2010. Essa transição exige não apenas a substituição tecnológica, mas também a reconfiguração completa dos sistemas logísticos.

Do ponto de vista operacional, a escala e a complexidade dos perímetros olímpicos impõem desafios significativos. A gestão simultânea de milhares de veículos, com múltiplos perfis de missão e níveis de prioridade, requer sistemas altamente integrados. A introdução de ZEVs introduz variáveis críticas, como autonomia limitada e necessidade de recarga frequente, que impactam diretamente o planejamento de rotas, a alocação de ativos e a garantia de níveis elevados de serviço.

A infraestrutura de suporte constitui outro vetor crítico dessa transformação. A implantação de redes de carregamento rápido em ambientes temporários demanda uma engenharia elétrica robusta, capaz de lidar com picos de demanda e com as restrições da rede local. Além disso, a integração de sistemas de gestão energética (EMS) e de gestão de frotas (FMS) torna-se essencial para otimizar o uso dos recursos, permitindo o monitoramento em tempo real e a tomada de decisão baseada em dados.

Por fim, a análise do ciclo de vida dos veículos e da matriz energética associada revela que a descarbonização efetiva depende de uma abordagem sistêmica. Não basta eliminar as emissões locais; é necessário considerar a produção dos veículos, a origem da eletricidade utilizada e a destinação final de componentes críticos, como baterias. Assim, a engenharia de frotas em megaeventos passa a incorporar ferramentas avançadas de avaliação ambiental e estratégias de mitigação de riscos, consolidando um novo padrão de sustentabilidade operacional.

Ano VII, v.1 2026 | **submissão: 02/06/2026** | **aceito: 05/06/2026** | **publicação: 08/06/2026**

## **2. Economia Circular em Infraestrutura de Overlay**

A infraestrutura de overlay, composta por estruturas temporárias essenciais à operação de megaeventos, tem, historicamente, seguido um modelo linear de produção, uso e descarte. Esse paradigma, embora eficiente em termos de rapidez de implementação, revelou-se insustentável sob a ótica ambiental e econômica. A partir da década de 2010, observa-se uma transição para modelos circulares, nos quais a reutilização e a redução de resíduos tornam-se objetivos centrais do processo de engenharia.

Essa evolução conceitual implicou uma mudança profunda na fase de projeto. A adoção de princípios como o Design for Disassembly (DfD) e a modularidade permite que estruturas sejam desmontadas e reutilizadas com a menor perda de valor. A seleção de materiais também passou a considerar critérios de reciclabilidade e durabilidade, favorecendo soluções como sistemas modulares de aço e de madeira engenheirada. Dessa forma, o overlay deixa de ser um ativo efêmero e passa a integrar ciclos produtivos mais amplos.

A fase de desmontagem e redistribuição dos ativos constitui um dos maiores desafios operacionais da economia circular. Diferentemente do modelo linear, no qual o foco está na instalação e no uso, a abordagem circular exige planejamento detalhado para o pós-evento. Isso inclui logística reversa, armazenamento temporário, transporte e identificação de novos usos dos componentes, seja em outros eventos, seja em aplicações permanentes.

Adicionalmente, a implementação da economia circular demanda inovação nos modelos de negócio e nos mecanismos de contratualização. A substituição da lógica de aquisição por modelos baseados em leasing e serviços permite que os fornecedores mantenham a responsabilidade pelo ciclo de vida dos ativos. Essa abordagem incentiva a eficiência e a inovação, ao mesmo tempo em que reduz custos e impactos ambientais, consolidando uma nova dinâmica na cadeia de valor dos megaeventos.

## **3. Evolução Conceitual**

A evolução da economia circular aplicada a megaeventos pode ser compreendida como um processo progressivo de amadurecimento técnico, regulatório e cultural na engenharia de infraestrutura temporária. Inicialmente, os eventos eram concebidos segundo uma lógica estritamente linear, na qual o objetivo principal consistia em atender às demandas operacionais dentro de prazos restritos e com controle de custos. Nesse contexto, a sustentabilidade era

**Ano VII, v.1 2026 | submissão: 02/06/2026 | aceito: 05/06/2026 | publicação: 08/06/2026**

marginal ou inexistente, e as estruturas de overlay eram tratadas como ativos descartáveis, com pouca preocupação quanto ao seu destino pós-evento.

A chamada fase linear, predominante até o início dos anos 2000, caracterizou-se pela maximização da eficiência de implantação, frequentemente em detrimento do desempenho ambiental. A engenharia priorizava soluções rápidas, de fácil montagem, mas com baixa durabilidade e limitada possibilidade de reaproveitamento. Como consequência, grandes volumes de resíduos eram gerados ao final dos eventos, resultando em impactos ambientais significativos e em custos adicionais associados à destinação final dos materiais.

A partir da década de 2000, impulsionada por avanços regulatórios e pela crescente conscientização ambiental, inicia-se a fase de mitigação. Nesse período, observa-se a introdução de práticas voltadas à redução de resíduos e à reciclagem de materiais. Embora ainda inserida em uma lógica predominantemente linear, essa fase representa um avanço importante ao incorporar critérios ambientais nos processos de planejamento e execução. Megaeventos como os Jogos Olímpicos de Londres 2012 e Rio 2016 desempenharam um papel relevante nesse processo, ao estabelecer metas de sustentabilidade e ao implementar programas estruturados de gestão de resíduos.

A partir de 2015, consolida-se uma nova abordagem, caracterizada pela adoção plena dos princípios da economia circular. Essa fase vai além da mitigação de impactos e propõe uma reconfiguração sistêmica da engenharia de overlay. Conceitos como Design for Disassembly (DfD), modularidade e reutilização integral de ativos passam a ser incorporados desde a fase de projeto, permitindo que as estruturas sejam desmontadas, reconfiguradas e reinseridas em novos ciclos de uso com mínima perda de valor. A circularidade deixa de ser um objetivo secundário e passa a orientar todo o ciclo de vida dos ativos.

Eventos mais recentes, como os Jogos Olímpicos de Paris 2024, exemplificam essa consolidação ao estabelecer metas ambiciosas de redução de emissões e de maximização da reutilização de materiais. Nesses casos, o overlay é concebido como parte de um sistema integrado de ativos, cuja vida útil transcende o próprio evento. A engenharia passa a atuar de forma preditiva e estratégica, articulando inovação tecnológica, modelos de negócio circulares e gestão avançada de recursos.

Por fim, essa evolução conceitual reflete uma mudança mais ampla no papel dos megaeventos na sociedade contemporânea. De intervenções pontuais e intensivas em recursos, passam a ser entendidos como plataformas de experimentação e de difusão de práticas sustentáveis. A economia circular, nesse contexto, não apenas reduz impactos ambientais, mas também gera

Ano VII, v.1 2026 | **submissão: 02/06/2026** | **aceito: 05/06/2026** | **publicação: 08/06/2026**

valor econômico e social, contribuindo para a construção de um legado duradouro e alinhado aos desafios globais de sustentabilidade.

#### **4. Engenharia de Design para Reutilização**

A incorporação dos princípios da economia circular no desenvolvimento de infraestruturas de overlay exige uma reconfiguração metodológica desde a fase de concepção do projeto. Diferentemente das abordagens tradicionais, nas quais o foco recai sobre o desempenho imediato e o custo de implantação, o design orientado à reutilização introduz uma perspectiva de ciclo de vida mais amplo. Isso implica considerar, desde o início, não apenas a funcionalidade durante o evento, mas também as possibilidades de desmontagem, reconfiguração e reinserção dos ativos em novos contextos operacionais.

Nesse cenário, a modularidade emerge como um dos pilares fundamentais da engenharia de design voltada à reutilização. A padronização de componentes e a adoção de sistemas construtivos modulares permitem maior flexibilidade operacional, reduzindo o tempo de montagem e desmontagem e minimizando perdas de materiais. Estruturas concebidas sob esse princípio podem ser facilmente adaptadas a diferentes configurações espaciais e funcionais, ampliando seu potencial de reaproveitamento em múltiplos eventos ou em aplicações permanentes.

Outro vetor crítico refere-se à seleção e especificação de materiais, que passam a ser orientados por critérios de sustentabilidade e circularidade. O uso de materiais recicláveis, reutilizáveis ou de baixo impacto ambiental, como aço estrutural modular, alumínio e madeira engenheirada, contribui para reduzir as emissões ao longo do ciclo de vida dos ativos. Além disso, a durabilidade e a resistência desses materiais são fatores determinantes para garantir sua integridade ao longo de múltiplos ciclos de uso, reduzindo a necessidade de substituição e de descarte.

Por fim, a rastreabilidade dos ativos torna-se um elemento central na engenharia de reutilização. A adoção de sistemas digitais avançados, integrados a plataformas de gestão de ativos, permite o monitoramento contínuo das condições, da localização e do histórico de uso de cada componente. Essa abordagem viabiliza estratégias eficientes de logística reversa, facilita a tomada de decisão no pós-evento e consolida a transição da engenharia de estruturas temporárias para um modelo orientado à gestão inteligente e sustentável de recursos.

Ano VII, v.1 2026 | **submissão: 02/06/2026** | **aceito: 05/06/2026** | **publicação: 08/06/2026**

## **5. Logística de Desmontagem e Redistribuição**

A fase de desmontagem e redistribuição dos ativos de overlay é um dos momentos mais críticos na operacionalização da economia circular em megaeventos. Tradicionalmente subdimensionada no planejamento, essa etapa passa a exigir o mesmo nível de rigor técnico e de detalhamento aplicados à montagem inicial. A complexidade reside na necessidade de preservar a integridade dos componentes, garantindo que possam ser reutilizados sem comprometer o desempenho estrutural ou funcional.

O sequenciamento da desmontagem constitui um aspecto central desse processo. A definição de uma lógica estruturada de desmobilização, baseada nas interdependências entre os elementos construtivos, é essencial para evitar danos físicos e perdas de material. Esse planejamento deve considerar não apenas aspectos técnicos, mas também restrições logísticas, como a acessibilidade, a disponibilidade de equipamentos e a sincronização com outras atividades de desativação do evento.

Além disso, a logística do transporte e do armazenamento temporário dos ativos exige soluções eficientes e integradas. A movimentação de grandes volumes de materiais, muitas vezes em prazos reduzidos, requer sistemas de coordenação que minimizem custos e impactos ambientais. O armazenamento, por sua vez, deve garantir condições adequadas de preservação, evitando degradação dos componentes e assegurando sua prontidão para reutilização futura.

A identificação e viabilização de destinos finais para os ativos representam a etapa conclusiva desse ciclo. Estratégias como reutilização em outros eventos, comercialização, doação a projetos sociais ou incorporação em infraestruturas permanentes dependem de planejamento prévio e de articulação com múltiplos stakeholders. Nesse contexto, o uso de tecnologias digitais, como BIM (Building Information Modeling) e sistemas integrados de gestão de ativos, torna-se indispensável para proporcionar rastreabilidade, transparência e eficiência em todas as etapas do processo.

## **6. Convergência entre Descarbonização e Economia Circular**

A convergência entre a descarbonização de frotas e a economia circular na infraestrutura representa uma evolução natural na engenharia de megaeventos. Esses dois eixos, embora distintos em sua natureza técnica, compartilham objetivos comuns relacionados à eficiência no uso de recursos, à redução de emissões e à maximização do legado. A integração dessas abordagens permite o desenvolvimento de soluções mais robustas e sustentáveis.

**Ano VII, v.1 2026 | submissão: 02/06/2026 | aceito: 05/06/2026 | publicação: 08/06/2026**

Um exemplo dessa convergência pode ser observado na reutilização de infraestruturas de suporte à mobilidade, como estações de recarga elétrica. Projetadas segundo princípios circulares, essas estruturas podem ser desmontadas e realocadas após o evento, integrando-se a redes urbanas permanentes. Da mesma forma, os veículos utilizados durante o evento podem ser incorporados a sistemas de transporte público ou a frotas corporativas, ampliando o retorno sobre o investimento.

Do ponto de vista sistêmico, essa integração exige o uso de ferramentas avançadas de planejamento e simulação, como digital twins e modelagem integrada de sistemas. Essas tecnologias permitem avaliar cenários complexos, identificar sinergias e otimizar decisões ao longo de todo o ciclo de vida dos ativos. A engenharia passa, assim, a operar segundo uma lógica preditiva e adaptativa, alinhada aos princípios da sustentabilidade.

Em termos de legado, a convergência entre descarbonização e economia circular transforma os megaeventos em catalisadores de inovação. As soluções desenvolvidas para atender às demandas específicas desses eventos podem ser replicadas em contextos urbanos e industriais, contribuindo para a transição global rumo a economias de baixo carbono. Dessa forma, os megaeventos deixam de ser intervenções temporárias e passam a desempenhar um papel estratégico na transformação sustentável das cidades e das infraestruturas.

### **Considerações Finais**

A evolução histórica da engenharia de megaeventos revela uma crescente sofisticação técnica e uma ampliação do escopo de responsabilidades. A descarbonização de frotas em grande escala e a implementação da economia circular em infraestruturas temporárias não são apenas desafios operacionais, mas também oportunidades estratégicas para redefinir padrões globais de sustentabilidade.

Do ponto de vista científico, esses temas demandam abordagens interdisciplinares que combinem engenharia de transporte, ciência dos materiais, gestão de energia e economia ambiental. Do ponto de vista prático, exigem inovação contínua, colaboração entre múltiplos stakeholders e capacidade de adaptação a contextos complexos e dinâmicos.

Em última instância, os megaeventos do século XXI deixam de ser apenas espetáculos esportivos para se tornarem plataformas de experimentação e difusão de soluções sustentáveis em larga escala, com impactos que transcendem o tempo e o espaço do próprio evento.

## Referências

- INTERNATIONAL OLYMPIC COMMITTEE. *Olympic Agenda 2020+5: Recommendations*. Lausanne: IOC, 2021.
- INTERNATIONAL OLYMPIC COMMITTEE. *Sustainability Strategy*. Lausanne: IOC, 2017.
- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. *Greening Mega-Events: A Guide to Sustainable Events*. Nairobi: UNEP, 2009.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 20121: Event Sustainability Management Systems*. Geneva: ISO, 2012.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Global EV Outlook 2023*. Paris: IEA, 2023.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Climate Change 2021–2023: Sixth Assessment Report (AR6)*. Geneva: IPCC, 2023.
- INTERNATIONAL TRANSPORT FORUM. *Transport CO<sub>2</sub> and the Paris Climate Agreement*. Paris: OECD, 2018.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. *Electric Vehicles from Life-Cycle and Circular-Economy Perspectives*. Copenhagen: EEA, 2018.
- HAWKINS, T. R. et al. Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Conventional and Electric Vehicles. *Journal of Industrial Ecology*, v. 17, n. 1, p. 53–64, 2013.
- NOTTER, D. A. et al. Contribution of Li-Ion Batteries to the Environmental Impact of Electric Vehicles. *Environmental Science & Technology*, v. 44, n. 17, p. 6550–6556, 2010.
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. *Towards the Circular Economy: Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition*. Cowes: EMF, 2013.
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. *Completing the Picture: How the Circular Economy Tackles Climate Change*. Cowes: EMF, 2019.
- GEISSDOERFER, M. et al. The Circular Economy – A New Sustainability Paradigm? *Journal of Cleaner Production*, v. 143, p. 757–768, 2017.
- KIRCHHERR, J.; REIKE, D.; HEKKERT, M. Conceptualizing the Circular Economy: An Analysis of 114 Definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 127, p. 221–232, 2017.
- GHAFAR, S. H.; BURMAN, M.; BRAIMAH, N. Pathways to Circular Construction: An Integrated Management of Construction and Demolition Waste. *Journal of Cleaner Production*, v. 244, 2020.
- SMITH, A. *Events and Urban Regeneration: The Strategic Use of Events to Revitalize Cities*. London: Routledge, 2012.
- DAVIES, L.; MACKENZIE, S. Temporary Structures in Event Management. *Event Management*, v. 18, n. 3, p. 275–286, 2014.
- BOUDREAU, J.-A. et al. Mega-events and Urban Development. *City*, v. 15, n. 3–4, p. 297–312, 2011.
- UK GREEN BUILDING COUNCIL. *Circular Economy Guidance for Construction*. London: UKGBC, 2019.
- EUROPEAN COMMISSION. *Circular Economy Action Plan*. Brussels: European Commission, 2020.
- EASTMAN, C. et al. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling*. 3rd ed. Hoboken: Wiley, 2018.
- VOLK, R.; STENGEL, J.; SCHULTMANN, F. Building Information Modeling (BIM) for Existing Buildings. *Automation in Construction*, v. 38, p. 109–127, 2014.



**Ano VII, v.1 2026 | submissão: 02/06/2026 | aceito: 05/06/2026 | publicação: 08/06/2026**

- GUIDE JR., V. D. R.; VAN WASSENHOVE, L. N. The Evolution of Closed-Loop Supply Chain Research. *Operations Research*, v. 57, n. 1, p. 10–18, 2009.
- THOMSEN, A.; VAN DER FLIER, K. Understanding Obsolescence: A Conceptual Model for Buildings. *Building Research & Information*, v. 39, n. 4, p. 352–362, 2011.
- LONDON ORGANISING COMMITTEE OF THE OLYMPIC GAMES. *London 2012 Post-Games Sustainability Report*. London, 2013.
- RIO 2016 ORGANISING COMMITTEE. *Relatório de Sustentabilidade dos Jogos Rio 2016*. Rio de Janeiro, 2017.
- TOKYO ORGANISING COMMITTEE OF THE OLYMPIC AND PARALYMPIC GAMES. *Tokyo 2020 Sustainability Report*. Tokyo, 2021.