



estga
universidade
de aveiro



A Biotecnologia Como Instrumento de Gestão e Transformação Urbana Para o Desenvolvimento de Cidades Inteligentes: Proposta de Agenda de Pesquisa

Alef Gabriel de Oliveira

PPGEP - Universidade Tecnológica Federal do Paraná- UTFPR

Sergio Mazurek Tebcherani

PPGEP - Universidade Tecnológica Federal do Paraná- UTFPR

Regina Negri Pagani

PPGEP - Universidade Tecnológica Federal do Paraná- UTFPR; GOVCOPP, University of Aveiro, Portugal

David Nunes de Resende

GOVCOPP, ESTGA, University of Aveiro, Portugal

Robson Couto da Silva

Universidade Estadual de Ponta Grossa- UEPG

Resumo: Este artigo tem como objetivo avaliar como a biotecnologia, juntamente com suas ferramentas, pode ser utilizada para promover ambientes urbanos mais inovadores e sustentáveis, a fim de transformar cidades em Cidades Inteligentes. Como objetivo complementar, ele oferece também uma agenda de pesquisa a partir dos temas identificados na literatura. Para isso foi elaborada uma revisão sistemática da literatura, investigando a incidência de artigos e revisões publicadas cuja temática se alinha ao objetivo deste artigo. Foi utilizado palavras-chave, filtros e operadores booleanos dentro das bases de pesquisa Scopus, ScienceDirect e Web of Science para formar o portfólio de artigos. Do total de 145 artigos e revisões apurados, apenas 8 abordaram a temática desejada na busca. Os artigos e revisões que atenderam ao objetivo do estudo foram distribuídos nas áreas de Agricultura Urbana, Geração de Energia, Remoção de Poluentes Atmosféricos e Tratamento de Efluentes Urbanos, sendo que dentro das 2 primeiras houve a maior incidência de materiais satisfatórios. O estudo desse artigo mostra como a biotecnologia juntamente com a engenharia genética possui potencial para colaborar com a inovação e desenvolvimento de Cidades Inteligentes, entretanto, ainda existem poucos estudos na literatura que abordam essa temática ou que a ligam com esse objetivo. Assim, uma agenda robusta de pesquisas é proposta, como resultado da análise dos trabalhos e das lacunas observadas.

Palavras-chave: Biotecnologia, Smart Cities, Espaços Urbanos, Agenda de Pesquisa.

Biotechnology as a Tool for Urban Management and Transformation for the Development of Smart Cities: Research Agenda Proposal

Abstract: This article aims to evaluate how biotechnology, together with its tools, can be used to promote more innovative and sustainable urban environments, in order to transform cities into Smart Cities. As a complementary objective, it also offers a research agenda based on the themes identified in the literature. To this end, a systematic review of the literature was prepared, investigating the incidence of published articles and reviews whose theme aligns with the objective of this article. Keywords, filters and Boolean operators were used within the Scopus, ScienceDirect and Web of Science research databases to form the portfolio of articles. Of the total of 145 articles and reviews found, only 8 addressed the desired theme in the search. The articles and reviews that met the objective of the study were distributed in the areas of Urban Agriculture, Energy Generation, Air Pollutant Removal and Urban Effluent Treatment, and within the first 2 there was the highest incidence of satisfactory materials. The study in this article shows how biotechnology, together with genetic engineering, has the potential to collaborate with the innovation and development of Smart Cities. However, there are still few studies in the literature that address this topic or that link it to this objective. Thus, a robust research agenda is proposed, as a result of the analysis of the works and the gaps observed.

Keywords: Biotechnology, Smart Cities, Urban Spaces, Research Agenda

1.Introdução

Weiss (2013) escreve que inúmeros fenômenos sociais têm influenciado na alta concentração de pessoas em ambientes urbanos e isso não pode ser interrompido imediatamente ou de forma fácil. De acordo com a ONU, até 2050 quase 70% da população do planeta estará vivendo em cidades. Conforme se intensifica a urbanização, as cidades começam a perder sua capacidade de se tornarem lugares saudáveis para as pessoas, uma vez que problemas ligados ao tratamento de resíduos, poluição, pobreza, desemprego, mobilidade urbana, infraestrutura e exclusão social começam a ficar evidentes. Entretanto, as cidades também se apresentam como espaços para inovação e pesquisa, onde é possível desenvolver projetos e soluções para os problemas mencionados.

Com o crescimento rápido da urbanização e a demanda por infraestruturas urbanas, o conceito de Smart City, ou Cidades Inteligentes, tornou-se uma estratégia inevitável para o planejamento das cidades. O termo Smart Cities surgiu nos anos 1990, inicialmente focado no desenvolvimento urbano dependente de tecnologia, inovação e globalização, especialmente sob uma perspectiva econômica. Nas últimas duas décadas o estudo sobre Smart Cities aumentou consideravelmente, inclusive a partir dos anos 2000, o conceito ganhou maior amplitude. Em alguns estudos, o termo foi definido como cidades que integram seis características: economia, pessoas, governança, mobilidade, ambiente e vida inteligentes, contudo as definições ainda são ambíguas, apresentando algumas divergências de autor para autor. Pode-se concluir, portanto, que a Cidade Inteligente tornou-se um planejamento estratégico inevitável para o desenvolvimento urbano, devido ao rápido crescimento da urbanização, no qual a demanda por infraestrutura e sistemas urbanos aumenta devido ao crescente aumento das populações urbanas (Han e Kim, 2024; Rizzon et al.,2017)

De acordo com Allan (2020), a biotecnologia, com suas ferramentas como a engenharia genética, enriquece as Smart Cities por possuir um potencial disruptivo para elaborar soluções inovadoras para diversos problemas urbanos, como nas áreas de alimentos e energia. Dessa forma, há um potencial para que a biotecnologia colabore com métodos para atingir metas para o desenvolvimento urbano sustentável.

2. Metodologia

O presente artigo teve como objetivo avaliar a incidência de pesquisas que abordam o uso da engenharia genética e biologia sintética como ferramentas da biotecnologia em ambientes urbanos, com ênfase nas Cidades Inteligentes. Além disso, buscou-se analisar a quantidade de estudos que correlacionam a biotecnologia com a gestão e a transformação dos espaços urbanos, destacando sua contribuição para a melhoria da qualidade de vida das populações e do ecossistema urbano.

Para tanto, foi realizada uma revisão sistemática da literatura, baseando-se no método de Tranfield, Denyer e Smart (2003). Os autores estabelecem que antes de realizar a revisão sistemática é necessário identificar se realmente é necessário produzir uma revisão sistemática de determinado assunto e em seguida estabelecer um protocolo. O protocolo é como os autores chamam o plano que contém itens relevantes ao estudo como os critérios de inclusão e exclusão de artigos para a revisão, a delimitação do foco do estudo e o que será estudado. Após isso, pode ser feita a definição das palavras-chaves, que são obtidas após um estudo exploratório da literatura. Com isso, é realizada uma revisão de todos os artigos, separando os relevantes e os irrelevantes a fim de selecioná-los para avaliação de qualidade e coletar as informações para que no final possa ser realizada uma síntese dos materiais selecionados. Na última etapa da revisão sistemática os autores definem que é o momento para divulgar os resultados obtidos.

Dentro das delimitações desta revisão sistemática, foi definido uma consulta sem restrições temporais e utilizando apenas artigos e revisões. A seleção do portfólio de artigos foi feita por meio de buscas com palavras-chave nas bases *Scopus*, *ScienceDirect* e *Web of Science*, limitando-se a um filtro de pesquisa apenas por títulos, resumos e palavras-chave.

Para a construção das buscas, após fazer uma busca exploratória na literatura, foi primeiramente optado por uma busca mais ampla usando as palavras chaves “urbanism” e “biotechnology”, na sequência foi realizado uma busca mais específica utilizando as palavras-chave “biotechnology”, “synthetic biology”, “bioengineering”, “genetic engineering”, “Smart City”, “Smart Cities”, “city”, “cities”, “urban space” e “urban spaces”. Para compor a lógica das pesquisas foi utilizado operadores booleanos para definir as expressões lógicas de busca dentro das bases, conforme mostra o Quadro 1.

Quadro 1 - Combinações de palavras-chave

Tentativa	Expressão lógica de busca
1	"urbanism" AND "biotechnology"
2	("biotechnology" OR "synthetic biology" OR "bioengineering") AND ("Smart City" OR "Smart Cities" OR "urban space" OR "urban spaces")

3	("genetic engineering" OR biotechnology) AND ("Smart cities" OR "Smart City" OR "city" OR "cities")
---	---

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Dentro das três bases analisadas foram obtidos 15 resultados na *Scopus*, 10 na *Web of Science* e 120 no *ScienceDirect*, totalizando um total de 145 artigos e revisões, disponíveis para visualização no Quadro 2.

Quadro 2 - Resultado da busca por palavras-chave

PALAVRAS-CHAVE	SCOPUS	WEB OF SCIENCE	SCIENCEDIRECT
("biotechnology" OR "synthetic biology" OR "bioengineering") AND ("Smart City" OR "Smart Cities" OR "urban space" OR "urban spaces")	14	9	2
("genetic engineering" OR biotechnology) AND ("Smart Cities" OR "Smart City" OR "city" OR "cities")	0	0	39
"urbanism" AND "biotechnology"	1	1	79
TOTAL	15	10	120

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Foi realizada a busca por duplicatas, com o auxílio do *software* JabRef, após isso com o mesmo programa, foram compactados todos os artigos dentro de um arquivo .XLS e a partir dele foi possível realizar uma avaliação facilitada dos títulos e resumos dos artigos e revisões com o objetivo de fazer uma segunda filtragem, estabelecendo quais materiais eram de fato relevantes para o objetivo da pesquisa. No final, obtiveram-se 8 artigos que compuseram o portfólio do trabalho. As informações das filtrações podem ser observadas no Quadro 3.

Quadro 3 - Filtragem de artigos até obter o portfólio

Entrada de artigos.	145
Filtragem do número de artigos removidos por motivo de duplicados.	19
Filtragem do número de artigos removidos por motivo de não relevantes para o trabalho.	118
Total de artigos do portfólio.	8

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

3. Referencial Teórico

3.1 Biotecnologia

De acordo com Malajovich (2016) a biotecnologia ganhou popularidade a partir dos anos de 1850 com a criação de novas áreas do conhecimento como a microbiologia, a genética, a imunologia e a bioquímica. Esse desenvolvimento surgiu da necessidade de processos industriais mais eficientes. A palavra biotecnologia foi definida pela primeira vez em 1919 por Karl Ereky como a "ciência e os métodos que permitem a obtenção de produtos a partir de matéria-prima, mediante a intervenção de organismos vivos". Já para Faleiro, Andrade e Reis Júnior (2011) a

biotecnologia é “um conjunto de técnicas que utiliza os seres vivos, ou parte desses, no desenvolvimento de processos e produtos que tenham uma função econômica e social.” Os autores ainda relatam um contexto histórico que mostra como a biotecnologia surgiu cerca de 8.000 anos A.C, com registros de povos mesopotâmicos que nas áreas da agricultura e pecuária começaram a domesticar animais e plantas para benefício próprio, selecionando melhores sementes para aumentar a produtividade das colheitas e animais com características de interesse para reprodução. Mais tarde, começou-se a utilizar a fermentação para produção de vinhos, queijos e pães. A biotecnologia esteve presente desde os primórdios da humanidade, mesmo que como conhecimento empírico.

Allan (2020) em um dos trechos de seu livro “Biotechnology and Future Cities” relata de como o uso de organismos geneticamente modificados (OGM) podem ser uma solução para o aumento da necessidade de alimentos para as populações que estão cada vez maiores nos centros urbanos, à medida que a população rural vem diminuindo. Além disso, o autor fala de outros exemplos de aplicação como na produção de materiais para as indústrias de vestuário, construção civil e produção de energia.

3.2 Espaços Urbanos e Cidades Inteligentes

A pergunta “O que são espaços urbanos?”, pode ser respondida em termos gerais, como o conjunto de diferentes usos da terra justapostos entre si. Tais usos definem áreas, como: o centro da cidade, local de concentração de atividades comerciais, de serviço e de gestão; áreas industriais e áreas residenciais, distintas em termos de forma e conteúdo social; áreas de lazer; e, entre outras, aquelas reservadas para futura expansão. Este conjunto de usos da terra é a organização espacial da cidade ou simplesmente o espaço urbano fragmentado. (Corrêa, 1995)

De acordo com Genari et al. (2018), a fim de obter mais recursos, segurança, qualidade de vida e coletividade, os indivíduos começaram a se organizar em cidades. Atualmente, as cidades se apresentam como sistemas complexos, que são caracterizados pela conexão entre cidadãos e organizações, por diferentes modos de transportes, de redes de comunicação e de serviços. Entretanto, o crescimento populacional e da urbanização fomentam uma variedade de desafios técnicos, sociais, econômicos e corporativos, que podem comprometer o desenvolvimento sustentável nas esferas econômica, social e ambiental das cidades. Com o tempo foi surgindo o termo Smart Cities (Cidades Inteligentes), cidades onde eixos de desenvolvimento econômico, meio-ambiente, governança, mobilidade urbana, entre outros, vem se tornando mais desenvolvidos e alinhados com os cidadãos com comportamento consciente e independente.

Segundo Cunha et al. (2016) uma Smart City usa de tecnologias para melhorar a qualidade de vida das pessoas e obter transformação nas relações entre entidades, locais, empresas e cidadãos a fim de prestar serviços urbanos de forma mais eficiente e conquistar uma melhor forma de se viver dentro dos centros urbanos. As smart cities precisam atender demandas de forma rápida e integrada com a participação dos cidadãos. Dentro de seu texto, o autor ainda menciona quatro elementos que julga comuns nas definições de Smart City: “Visão Holística”; “Um meio para conseguir objetivos”; “Um meio para melhorar a qualidade de vida”; “Um novo modelo de relações”.

4. Resultados

Após a análise dos títulos, resumos e palavras chaves dos 126 artigos filtrados pela busca de palavras-chaves, já desconsiderando os artigos duplicados excluídos, notou-se que a grande maioria dos artigos não eram relevantes para a pesquisa. Dos 117 artigos analisados, a biotecnologia e o uso de técnicas de engenharia genética não foram evidenciados como fatores de transformação urbana, nem foram objeto para gerir e desenvolver cidades para se tornarem cidades em cidades inteligentes. Dos 8 artigos que compuseram o portfólio, foi possível classificá-los nas seguintes áreas temáticas: Agricultura Urbana, Geração de Energia, Remoção de Poluentes Atmosféricos e Tratamento de Efluentes Urbanos, podendo ser notada uma maior incidência em artigos ligados a agricultura urbana e geração de energia. A organização das áreas está sendo apresentada no Quadro 4.

Quadro 4 - Classificação dos artigos

TEMAS	TÍTULOS	AUTORES
Agricultura Urbana	Integration of Light and Auxin Signaling in Shade Plants: From Mechanisms to Opportunities in Urban Agriculture	Xie et al., 2022
	Biotechnology and urban agriculture: A partnership for the future sustainability	Aggarwal et al., 2024
	A review on urban agriculture: technology, socio-economy, and policy	Yuan et al., 2022
Geração de Energia	New trends in biotechnological applications of photosynthetic microorganisms	Dawiec-Liśniewska et al., 2022
	Photobioreactors for building integration: A overview of designs and architectural potential	Arora, Sudhakar e Rana (2024)
	How IoT can integrate biotechnological approaches for city applications-review of recent advancements, issues, and perspectives	Gotovtev et al. (2020)
Remoção de Poluentes Atmosféricos	Advances in amelioration of air pollution using plants and associated microbes: An outlook on phytoremediation and other plant-based technologies	James et al. (2024)
Tratamento de Efluentes Urbanos	Bioremediation 3.0: Engineering pollutant-removing bacteria in the times of systemic biology	Dvořák et al. (2017)

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

A seguir, cada um destes temas da biotecnologia serão brevemente descritos.

4.1 Agricultura Urbana

Estima-se que a população da Terra aumente em 10 bilhões até 2050. Para alimentar a população futura, os espaços de plantio devem aumentar em 50% até 2050, no entanto, estatisticamente esse número parece que não será atingido. A agricultura urbana é a prática de cultivar alimentos em ambientes urbanos, podendo ser realizada em telhados, varandas, terrenos baldios e até mesmo em becos, espaços que compõem mais de 200 bilhões de metros quadrados em regiões urbanas. Tais espaços possuem potencial para serem aproveitados e utilizados para

a construção de hortas urbanas que além de contribuírem para geração de alimentos ainda auxiliam na purificação do ar atmosférico das cidades (Aggarwal et al., 2024; Xie et al., 2022).

A biotecnologia abriu a oportunidade para modificar geneticamente plantas, tornando-as mais propensas a se desenvolverem dentro de ambientes urbanos, onde fatores podem prejudicar o seu crescimento e a qualidade de seus frutos. Dentro da arquitetura de plantas, área que vem crescendo em publicações científicas nas últimas décadas, menciona-se que plantas compactas e de crescimento acelerado têm vantagens na agricultura urbana. A biotecnologia possui ferramentas, como edição de genoma, que permitem realizar edições genéticas em plantas para propiciar o desenvolvimento das características certas para se adaptarem à hortas urbanas. Através da engenharia genética é possível obter variedades de plantas para produzir frutos como tomates, batatas, batatas doces, alfaces e kiwis com crescimentos mais acelerados, mais compactos, mais resistentes a pragas e ainda mais resistentes à baixa luminosidade, conseguindo crescer e desenvolver em regiões com excesso de sombras (Aggarwal et al., 2024; Xie et al., 2022; Yuan et al., 2022).

4.2 Geração de energia

Com a demanda energética aumentando e a escassez e aumento dos preços de combustíveis fósseis, torna-se necessária a busca por fontes energéticas alternativas. As microalgas podem ser uma proposta interessante para suprir demandas por energia. Microalgas podem ser cultivadas dentro de fotobiorreatores, que são câmaras seladas projetadas explicitamente para seu cultivo, criando um sistema ideal para seu crescimento a partir da fotossíntese, processo pelo qual esses organismos convertem energia luminosa em açúcares para seu desenvolvimento (Dawiec-Liśniewska et al., 2022; Arora, Sudhakar e Rana, 2024). Duarte, Oliveira e Lima (2023) explicam que as microalgas nos fotobiorreatores convertem energia solar e CO₂ em matéria orgânica. O composto orgânico gerado pode ser utilizado como biomassa para produção de biocombustíveis como o bioetanol, biometano ou biogás (H₂), por exemplo. Além disso, sob radiação solar, os fotobiorreatores apresentam tendência de superaquecimento durante o período diurno em estações mais quentes do ano. Dessa forma, o calor excedente do cultivo pode ser utilizado pelo sistema de aquecimento de água da edificação.

Segundo Arora, Sudhakar e Rana, (2024), fotobiorreatores podem ser fabricados em diversas formas como painéis e tubos para compor a fachada externa de prédios. Os fotobiorreatores devem ser posicionados em pontos de maior incidência de luz solar, para possibilitar a fotossíntese das microalgas neles cultivadas. Dawiec-Liśniewska et al. (2022) dá exemplos de aplicações de fotobiorreatores dentro da construção de edifícios. Painéis ocupando espaço de janelas foram estudados dentro de cidades nos Estados Unidos, Itália e Indonésia, os resultados mostraram que a instalação permitiu a redução do consumo de energia em prédios gerando uma economia entre 8 a 20 kWh/(m² ano). Gotovtev et al. (2020) acreditam que fotobiorreatores podem se tornar parte da infraestrutura de uma cidade ou, pelo menos, parte da infraestrutura de um edifício. Tanto os PMFs quanto as células de combustível microbiana (MFCs) são opções para geração de energia, sendo que o primeiro se destaca por possuir potencial de serem fontes mais estáveis e confiáveis de energia.

Para Arora, Sudhakar e Rana (2024), alguns parâmetros que podem atrapalhar o crescimento das microalgas são temperaturas baixas e muito elevadas, o crescimento ideal para seu desenvolvimento é na faixa de 17–32 °C, variando conforme a cepa de microalga. Além disso, deve-se ter um equilíbrio de nutrientes dentro do fotobiorreator e seu pH deve estar entre 3 e 7. Para Dawiec-Liśniewska et al. (2022) o uso de fotobiorreatores de microalgas nas fachadas de edifícios é atualmente um investimento muito caro, que acaba não valendo a pena ao ser comparado aos custos de sistemas convencionais de energia, como sistemas solares e à combustíveis convencionais. No entanto, observa-se que a relação custo-benefício pode diminuir nos próximos anos devido à transição para longe dos combustíveis fósseis. Além disso, algumas versões de painéis de microalgas estão sendo desenvolvidas com o propósito de servir de gerador elétrico para alimentar aparelhos eletrônicos domésticos.

James et al. (2024) evidenciam a produção energética através de outro processo, também envolvendo a fotossíntese. Células combustíveis microbianas de plantas (PMFC), são formadas por plantas, substrato e bactérias, tudo isso combinado em um sistema eletroquímico. Na presença de luz solar, as plantas realizam fotossíntese e produzem substâncias orgânicas que são convertidas por bactérias eletrogênicas em elétrons e prótons; a transferência desses íons através do ânodo para o cátodo gera eletricidade. Para Cicalà, Santulli, Nobili (2024), a célula de combustível microbiana vegetal (PMFC) é uma tecnologia emergente que possui vantagens como a utilização de recursos renováveis, a neutralidade de carbono além de ser uma solução atraente para enfrentar os desafios energéticos e, ao mesmo tempo, minimizar o impacto ambiental.

4.3 Remoção de Poluentes Atmosféricos

James et al. (2024) abordam que a poluição atmosférica é um dos principais problemas urbanos da atualidade, sendo responsável por inúmeros problemas de saúde na população. Técnicas baseadas na utilização de plantas que foram exploradas para controlar a qualidade do ar. Certas plantas possuem a capacidade de absorver poluentes gasosos da atmosfera, incluindo o carbono negro. Dentro dessas técnicas podem ser utilizadas plantas para compor estruturas como telhados verdes. A biotecnologia pode contribuir para a melhoria genética de plantas, estudos foram realizados para modificações genéticas para aumentar a expressão de enzimas que ajudam na remediação de poluentes persistentes e ainda para permitir que plantas melhorem sua capacidade de acumular metais pesados. Plantas transgênicas já foram modificadas com o intuito de absorver e reduzir poluentes presentes na atmosfera como formaldeído, benzeno e tolueno. Contudo, nem só das plantas é o mérito da capacidade de redução dos poluentes, afinal os microrganismos presentes em suas folhas, caules, troncos e raízes trabalham de forma simbiótica direta e indireta em ações que aumentam a eficiência das plantas para remover poluentes. A modificação genética desses microrganismos pode interferir na sua relação tanto com os poluentes quanto com as plantas, permitindo uma otimização do processo. Exemplos disso podem ser vistos através do melhoramento ou inserção de genes que permitem que microrganismo produzam substâncias protetivas às plantas para que elas desenvolvam mais resistência ao contato com poluentes e na modificação de microrganismos para que aumentem ou melhorem sua capacidade de degradação de poluentes como já feito com bactérias rizosféricas.

4.4 A biotecnologia aplicada ao tratamento de efluentes

Para Dvořák et al. (2017), alguns poluentes presentes em águas residuais urbanas são passíveis de serem biodegradados naturalmente por microrganismos. Contudo, ações antropológicas utilizando ferramentas da biotecnologia estão permitindo com o passar dos anos o desenvolvimento de microrganismos transgênicos com potencial melhorado de biorremediação, ou seja, degradar poluentes para o tratamento de efluentes. Consórcios microbianos transgênicos estão sendo utilizados para que se obtenha o tratamento eficiente de poluentes. Outra aplicação é na utilização de microrganismos geneticamente modificados para servirem como biossensores, ou seja, quando determinado poluente é identificado no efluente os microrganismos começam a produzir substâncias para evidenciar e alertar sobre o contaminante. Contudo, trabalhar com edição genética para criação de microrganismos transgênicos ainda não é algo fácil e acaba exigindo grande investimento para que se torne uma alternativa eficiente.

A análise dos temas apresentados demonstra como a biotecnologia desempenha um papel bastante relevante na busca por soluções para os desafios urbanos contemporâneos. A agricultura urbana emerge como uma estratégia promissora para enfrentar o aumento populacional e a limitação de espaços, utilizando recursos biotecnológicos para melhorar o rendimento e a resistência das plantas em ambientes urbanos.

No campo da geração de energia, o desenvolvimento de fotobiorreatores e células de combustível microbiana ilustra o potencial de fontes alternativas e sustentáveis, que podem integrar as infraestruturas urbanas e reduzir a dependência de combustíveis fósseis.

Em relação à remoção de poluentes atmosféricos, as técnicas biotecnológicas que utilizam plantas e microrganismos para a fitorremediação demonstram a capacidade de mitigar a poluição em áreas urbanas, melhorando a qualidade do ar e contribuindo para a saúde pública.

Por fim, a biotecnologia aplicada ao tratamento de efluentes mostra-se uma ferramenta eficaz na biorremediação de águas residuais, com o uso de microrganismos geneticamente modificados para a degradação de poluentes.

Esses avanços evidenciam que a biotecnologia, quando integrada ao planejamento urbano, pode ser uma aliada poderosa para promover cidades mais sustentáveis e resilientes, enfrentando os desafios ambientais e energéticos do futuro.

4.5 Agenda de Pesquisa para Temas Biotecnológicos em Ambientes Urbanos

- A partir dos temas abordados – agricultura urbana, geração de energia, remoção de poluentes atmosféricos e tratamento de efluentes urbanos –, propõe-se uma agenda de pesquisa multidisciplinar que explore novas fronteiras tecnológicas e suas aplicações em ambientes urbanos. Abaixo, seguem as principais direções para investigação futura:

i. Agricultura Urbana: Melhoramento Genético e Novas Tecnologias para Ambientes Urbanos. Objetivo: Explorar o uso de biotecnologia, como edição de genoma, para desenvolver plantas adequadas ao cultivo em ambientes urbanos.

Tópicos de pesquisa:

- Desenvolvimento de variedades vegetais geneticamente modificadas para ambientes de baixa luminosidade e espaços limitados.
- Estudo de técnicas de arquitetura de plantas para potencializar a eficiência do espaço de cultivo urbano.
- Avaliação do impacto da agricultura urbana na qualidade do ar e na mitigação da poluição em grandes cidades.
- Análise de políticas públicas que incentivem a adoção de tecnologias de agricultura urbana biotecnológica.

ii. Geração de Energia: Integração de Fotobiorreatores e Biotecnologia em Infraestruturas Urbanas. Objetivo: Investigar o uso de microalgas em fotobiorreatores integrados em edifícios para geração de energia renovável.

Tópicos de pesquisa:

- Otimização de fotobiorreatores para aumentar a eficiência da conversão de energia solar em biocombustíveis e eletricidade.
- Estudos de viabilidade econômica e de escala para a implementação de fotobiorreatores em diferentes regiões climáticas.
- Aplicação de novas cepas de microalgas geneticamente modificadas para melhorar o rendimento em condições urbanas.
- Avaliação da utilização de fotobiorreatores em projetos de arquitetura sustentável e urbanismo inteligente.

iii. Remoção de Poluentes Atmosféricos: Plantas Geneticamente Modificadas e Fitorremediação. Objetivo: Ampliar a capacidade de remoção de poluentes atmosféricos em cidades por meio de plantas e microrganismos geneticamente modificados.

Tópicos de pesquisa:

- Investigação de plantas transgênicas capazes de absorver e degradar poluentes atmosféricos de alta persistência.
- Engenharia genética de microrganismos para melhorar a simbiose com plantas em processos de fitorremediação.
- Desenvolvimento de telhados verdes e estruturas vegetadas adaptadas ao controle de poluentes específicos.
- Modelagem e simulação de impactos da fitorremediação em áreas urbanas densamente poluídas.

iv. Tratamento de Efluentes Urbanos: Engenharia de Microrganismos para Biorremediação. Objetivo: Criar soluções biotecnológicas avançadas para a purificação de águas residuais urbanas, utilizando microrganismos geneticamente modificados.

Tópicos de pesquisa:

- Design de microrganismos transgênicos capazes de degradar poluentes complexos em efluentes urbanos.
- Exploração do uso de biossensores microbianos para detectar e monitorar a presença de poluentes em sistemas de águas residuais.
- Estudos de viabilidade sobre a aplicação de consórcios microbianos para melhorar a eficiência de tratamento em estações de esgoto.
- Investigação de tecnologias de baixo custo para aplicação em sistemas urbanos de tratamento de água com foco na sustentabilidade.

Essa agenda de pesquisa tem o objetivo de fomentar o avanço do conhecimento em áreas críticas para o desenvolvimento urbano sustentável, promovendo a integração de biotecnologia, planejamento urbano e políticas públicas. O foco em soluções biotecnológicas para agricultura, geração de energia, purificação de ar e tratamento de efluentes representa uma oportunidade de criar cidades mais resilientes, inteligentes e ambientalmente responsáveis.

5. Conclusão

Esse artigo apresenta uma perspectiva sobre como os autores estão utilizando a biotecnologia e as ferramentas de engenharia genética e biologia sintética para desenvolver soluções para problemas atuais e futuros dentro de espaços urbanos. A grande maioria dos artigos pesquisados abordou a biotecnologia de alguma forma; contudo, poucos a relacionaram ao desenvolvimento urbano e a transformação e desenvolvimento de cidades inteligentes. Os autores que mais se aproximaram de desenvolver os temas estão concentrados em três áreas de problemáticas urbanas: escassez de alimentos, falta de energia, poluição atmosférica e tratamento de efluentes. Os autores abordam que a agricultura urbana pode ser beneficiada com a utilização da biotecnologia, desenvolvendo sementes que gerarão plantas com características melhoradas para cultivo em ambientes urbanos. Fontes de energia derivadas de reações biológicas, podem ser soluções mais sustentáveis e podem ser integradas dentro da arquitetura de edifícios. A poluição atmosférica é um problema sério, mas pode ser biorremediada com o auxílio de organismos transgênicos. Também, os efluentes urbanos podem ser tratados de forma mais sustentável com o auxílio da biotecnologia.

Pode-se observar que a biotecnologia tem potencial para auxiliar no desenvolvimento de cidades. Porém, ainda há uma relativa escassez na literatura de artigos acadêmicos que explorem e desenvolvam esse tema. Alguns autores desenvolvem aplicações da biotecnologia voltadas ao desenvolvimento urbano, porém poucos deles relacionam sua pesquisa como um potencial ferramenta para transformar cidades em cidades mais inteligentes. Essa revisão pode oferecer perspectivas para outros pesquisadores e, ao mesmo tempo, estimular a realização de pesquisas dentro desse tema ainda tão pouco explorado.

Justamente pela amplitude de possibilidades de pesquisa com a biotecnologia em cidades inteligentes, este trabalho limita-se pela falta de profundidade na abordagem desses temas.

Portanto, como agenda de pesquisa, recomenda-se que cada um dos temas possa ser explorado de forma mais aprofundada em trabalhos de conclusão de curso, dissertações, e até mesmo teses de doutorado.

6. Referências

AGGARWAL, B. *et al.* **Biotechnology and urban agriculture: A partnership for the future sustainability.** Plant Science, p. 1-12, 20 out. 2023.

ALLAM, Z. **Biotechnology and Future Cities: Towards Sustainability, Resilience and Living Urban Organisms.** Geelong, Australia: Palgrave Mcmillan, 2020. 98 p.

ARORA, R.; SUDHAKAR, K.; RANA, R.S. **Photobioreactors for building integration: A overview of designs and architectural potential.** Heliyon, p. 1-15, 26 jul. 2024.

CICCALE, P.; SANTULLI, C.; NOBILI, F. **Investigando o desempenho de curto prazo de equisetum hyemale e miscanthus giganteus em células a combustível**

microbianas vegetais (plant microbial fuel cells). Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente, p. 1-6, 1 jan. 2024.

CORRÊA, R. L. **O Espaço Urbano.** Editora Ática, 1995. v. 3.

CUNHA, M. A. **Smart cities: transformação digital de cidades.** São Paulo, SP: FGV EAESP - GVceapg - Livros, 2016.

DAWIEC-LIŚNIEWSKA, A. *et al.* **New trends in biotechnological applications of photosynthetic microorganisms.** Biotechnology Advances, p. 1-57, 17 maio 2022.

DUARTE, M. A.; OLIVEIRA, R. D.; LIMA, F. R. S. **Geração de energia térmica por meio de fotobiorreator integrado em edifício comercial para aquecimento de água no clima subtropical úmido.** Engineering and Science, p. 1-19, 2023.

DVOŘÁK, P. *et al.* **Bioremediation 3.0: Engineering pollutant-removing bacteria in the times of systemic biology.** Biotechnology Advances, p. 845-866, 5 ago. 2017.

FALEIRO, F. G.; ANDRADE, S. R. M. O.; REIS JUNIOR, F. B. D. **Biotecnologia: estado da arte e aplicações na agropecuária.** Planaltina, DF: Embrapa, 2011. 729 p.

GENARI, Denise *et al.* **Smart Cities e o desenvolvimento sustentável: revisão e perspectivas de pesquisas futuras.** Revista de Ciência e Administração, Rio Grande do Sul, RS, 30 ago. 2020

GOTOVTSEV, Pavel. **How IoT Can Integrate Biotechnological Approaches for City Applications—Review of Recent Advancements, Issues, and Perspectives.** Applied Science, Moscow, Russia, p. 1-20, 9 jul. 2020.

HAN, M. J. N.; KIM, M. J. **A systematic review of smart city research from an urban context perspective.** Cities, p. 1-21, 23 abr. 2024.

JAMES, Anina *et al.* **Advances in amelioration of air pollution using plants and associated microbes: An outlook on phytoremediation and other plant-based technologies.** Chemosphere, p. 1-16, 27 abr. 2024.

MALAJOVICH, Maria Antonia. **Biotecnologia.** 2. ed. Rio de Janeiro, 2016.

TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. **Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review.** British Journal of Management, p. 207-222, 1 jan. 2003.

RIZZON, F. *et al.* **Smart Cities: Um conceito em construção.** Revista Metropolitana de Sustentabilidade, p. 123-142, 29 jun. 2017.

WEISS, M. C. **Cidades inteligentes como nova prática para o gerenciamento dos serviços e infraestruturas urbanos: estudo de caso da cidade de Porto Alegre.** 2013. 167 f. Dissertação (Mestrado em Administração) - Centro Universitário FEI, 2013.

XIE, Xiulan *et al.* **Integration of Light and Auxin Signaling in Shade Plants: From Mechanisms to Opportunities in Urban Agriculture.** Internet Journal of Molecular Science, China, p. 1-13, 22 mar. 2022.

YUAN, G. N. *et al.* **A review on urban agriculture: technology, socio-economy, and policy.** Heliyon, p. 1-16, 7 nov. 2022.