

Da bancada à escala industrial: *scale-up* de bioprocessos como fronteira para a inovação em consórcios microbianos, biomassa e metabólitos na bioeconomia

Preservar fisiologia, expressão metabólica e função durante o escalonamento é um dos principais desafios para transformar sistemas microbianos em tecnologias reproduzíveis

HÉROS JOSÉ MAXIMO

Diretor Científico - bioXyz®

Descobrir um microrganismo é apenas o começo

A biotecnologia microbiana atravessa uma mudança de paradigma. Identificar um microrganismo de interesse ou demonstrar atividade biológica em condições controladas é apenas o início. Para converter uma descoberta em tecnologia, é necessário compreender sua fisiologia, **controlar o processo produtivo**, caracterizar biomassa e componentes bioativos e estabelecer relações entre processo e função. O desafio aumenta quando a tecnologia envolve consórcios, metabólitos

e derivados fermentativos, nos quais diferentes componentes podem contribuir para a atividade observada.

É nessa interface que a bioXyz® estrutura sua atuação em **Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I)**, conduzindo projetos que integram investigação de sistemas microbianos, **desenvolvimento e otimização de processos fermentativos**, engenharia de microrganismos, produção e caracterização de biomassa e metabólitos, análises funcionais, formulação, controle de qualidade, validação e escalabilidade. Essa arquitetura experimental permite transformar dados de processo e evidências biológicas em conhecimento aplicável ao desenvolvimento de novas tecnologias. A premissa é central: importa não apenas a identidade do microrganismo, mas a função que expressa nas condições em que é cultivado, processado, formulado e aplicado.

O bioprocesso determina o resultado biológico

Microrganismos são sistemas bioquímicos dinâmicos. Meio de cultivo, fontes de carbono e nitrogênio, micronutrientes, pH, temperatura, oxigênio dissolvido, agitação, transferência de massa, densidade celular e tempo de cultivo interferem na fisiologia, produção de biomassa e expressão metabólica. Assim, processos com o mesmo microrganismo podem originar materiais biologicamente distintos. **O biorreator não é apenas um recipiente para multiplicação celular, mas um ambiente controlado no qual variáveis físico-químicas podem direcionar crescimento, metabolismo e função.**

Por isso, produtividade celular não define, isoladamente, a qualidade de um bioprocesso. Metabólitos, proteínas, enzimas, peptídeos e componentes do secretoma podem ser tão relevantes quanto células viáveis. Investigar biomassa, metaboloma, secretoma e atividade funcional permite compreender quais atributos estão relacionados ao efeito biológico e como o processo pode preservá-los ou modificá-los.

Nos consórcios microbianos, a complexidade aumenta. Diferentes populações apresentam exigências nutricionais, cinéticas de crescimento, necessidades de oxigenação e janelas metabólicas próprias. A simples mistura de organismos não constitui necessariamente um consórcio funcional. **Podem ser necessárias fermentações individualizadas e posterior recombinação controlada de biomassas e derivados segundo critérios de compatibilidade, estabilidade e desempenho.**

Scale-up: produzir mais sem perder a função

Escalar um bioprocesso não significa multiplicar proporcionalmente volumes de meio e inóculo. Com o aumento da escala, modificam-se geometria, agitação, transferência de oxigênio, mistura, remoção de calor, cisalhamento e gradientes de nutrientes, gases e pH. Essas alterações podem modificar fisiologia e expressão metabólica mesmo quando a concentração celular permanece elevada. **Em biotecnologia, produzir mais não significa necessariamente produzir a mesma coisa: volume não é sinônimo de equivalência biológica, concentração celular não é, isoladamente, sinônimo de potência e reproduzir uma receita não assegura reproduzir uma função.**

Na abordagem de desenvolvimento tecnológico adotada pela bioXyz®, o *scale-up* constitui etapa de PD&I. A transferência de escala deve ser investigada experimental-

mente, estabelecendo relações entre parâmetros críticos de processo e atributos críticos de qualidade e função. Viabilidade celular, transferência de oxigênio, formação de metabólitos, estabilidade e atividade biológica precisam ser interpretadas como dimensões interdependentes do mesmo sistema. O objetivo não é reproduzir exatamente todas as condições físicas da bancada, mas estabelecer **critérios de comparabilidade** capazes de preservar os atributos determinantes da função.

Ferramentas de biologia molecular e ciências ômicas ampliam a resolução dessa investigação. Genômica, transcriptômica, proteômica, metabolômica e caracterização do secretoma podem identificar marcadores associados ao estado fisiológico e à função. Integradas a ensaios microbiológicos e dados de processo, permitem correlacionar condições operacionais, composição, potência e desempenho. A pergunta deixa de ser apenas qual microrganismo está presente e em qual concentração e passa a considerar **se o material produzido preserva os atributos associados à função desejada.** Essa relação entre processo, composição, potência e função transforma conhecimento microbiológico em *know-how* tecnológico.

Da ciência à tecnologia: capacidade para desenvolver e escalar

Essa integração entre processo e função torna-se particularmente relevante na agricultura, onde microrganismos e seus derivados participam de interações complexas entre planta, ambiente e fitopatógenos. A atividade de um sistema microbiano pode envolver desde competição e produção de metabólitos até interações com mecanismos fisiológicos vegetais. Entre os fenômenos investigados está o *priming*, no qual determinados estímulos podem preparar a planta para responder de forma mais rápida ou

intensa a desafios posteriores. Compreender essas relações exige conectar condições de produção, composição do material biológico e resposta funcional por meio de hipóteses testáveis e evidências reproduzíveis.

Nesse percurso, **uma prova de conceito não representa o fim do desenvolvimento, mas o início de uma etapa tecnológica.** Resultados positivos alimentam novas hipóteses; diferenças entre lotes indicam atributos a controlar; resultados inesperados revelam novas variáveis; e alterações durante o escalonamento expõem limites do processo. Assim, dados experimentais tornam-se inteligência tecnológica e reduzem a distância entre hipótese científica e aplicação.

A biodiversidade, por si só, não constitui inovação. O valor tecnológico surge quando organismos, moléculas e funções são compreendidos, caracterizados e transformados em processos controláveis, reproduzíveis e escaláveis. **Da bancada à indústria, a distância não se mede apenas em litros, mas em conhecimento científico, capacidade experimental, domínio de processo e engenharia.** Dominar essa transição contribui para transformar recursos biológicos e conhecimento científico em tecnologias desenvolvidas e escaladas no Brasil.

É nesse campo que a bioXyz® consolida sua atuação especializada em **biotecnologia microbiana e bioprocessos industriais.** Sua estrutura de PD&I apoia empresas e instituições no desenvolvimento, validação, otimização e escalonamento de produtos, processos e sistemas biológicos. Para empresas e instituições que enfrentam desafios relacionados a microrganismos, fermentação, biomassa, metabólitos, consórcios ou transferência de escala, a bioXyz® coloca sua estrutura de PD&I a serviço do desenvolvimento tecnológico, conectando microbiologia, experimentação e engenharia de bioprocessos para **transformar desafios científicos e industriais em processos robustos, reproduzíveis e escaláveis.** – Nenhum conflito de interesses foi reportado pelo autor. 🌱