

Nanotecnologia Verde

Luciano Paulino Silva

Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, PBI, Brasília, 70770-917, DF, Brasil. E-mail: luciano.paulino@embrapa.br, lucianopaulinosilva@gmail.com

Programas de Pós-graduação em Nanociência e Nanobiotecnologia e em Biologia Animal, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília, Brasília, 70910-900, DF, Brasil. E-mail: paulinoluciano@unb.br

A nanotecnologia é uma área do conhecimento que integra várias ciências como a física, a química, a biologia e a ciência dos materiais. Os sistemas nanoestruturados, devido ao seu tamanho em nanoescala (em geral com pelo menos uma das dimensões entre 1 a 100 nm) apresentam propriedades novas ou aprimoradas baseadas nas suas características específicas (tamanho, distribuição, morfologia, fase, composição, entre outras) quando comparadas a estruturas de dimensões maiores provenientes do mesmo material. Duas abordagens principais são utilizadas para síntese de nanossistemas as quais são conhecidas em nanociência e nanotecnologia como *top-down* (de cima para baixo) e *bottom-up* (de baixo para cima). A estratégia *top-down* consiste na desconstrução de material macroestruturado, geralmente por técnicas de nanolitografia ou por moagem de alta energia, até a obtenção do produto final nanoestruturado. Essa abordagem é comumente utilizada para produção em escala, mas são observadas dificuldades para obtenção de uma homogeneidade nas características do produto final. A outra abordagem, *bottom-up*, segue o caminho oposto no qual a nucleação de crescimento ocorre a partir de átomos e/ou moléculas individuais para a formação das nanoestruturas. Essa abordagem permite controlar diversos parâmetros, como a distribuição de tamanho e forma das nanoestruturas, sendo a mais utilizada atualmente.

Diversas rotas químicas são utilizadas para a síntese de materiais nanoestruturados (nanossistemas) a partir de seus precursores. No entanto, a maioria destes métodos inclui a utilização de solventes tóxicos, a geração de resíduos nocivos para saúde e meio ambiente, além de resultar em um consumo de energia alto em rotas geralmente complexas e com múltiplos passos. Nesse sentido, é necessário o desenvolvimento de procedimentos visando à obtenção de nanossistemas com ampla aplicabilidade tecnológica e superando alguns desafios relacionados com a síntese tradicional. Uma abordagem promissora para alcançar esse objetivo é explorar a vasta gama de recursos biológicos disponíveis na natureza por meio da chamada síntese verde. Síntese verde é a designação comum dada às rotas de síntese que utilizam produtos químicos relativamente atóxicos, biodegradáveis e de custo baixo para sintetizar nanomateriais, tendo como fonte primária ou iniciador da rota um

organismo biológico ou partes dele (órgãos, tecidos, células, biomoléculas ou metabólitos). Dentre os recursos biológicos disponíveis, os produtos vegetais e animais, algas, fungos, bactérias e a ampla gama de subprodutos derivados de processos agropecuários envolvendo alguns destes organismos possuem potencial para utilização durante as rotas de síntese verde, a qual quando aplicada para formação de nanossistemas dá origem à nanotecnologia verde.

O aproveitamento da biodiversidade, e conseqüentemente dos diversos Biomas brasileiros, constitui uma etapa importante no conceito de Bioeconomia (economia sustentável), no que diz respeito à sustentabilidade das atividades humanas. A nanotecnologia verde é uma abordagem em consonância com a preocupação crescente com questões relacionadas à sustentabilidade utilizando métodos e materiais que visam à geração de produtos com impacto ambiental reduzido associado a ganhos econômicos e sociais. Este conceito oferece oportunidades quanto à utilização de biomoléculas ou metabólitos em rotas de síntese verde de nanossistemas devido ao fato que esses materiais, quando nanoestruturados, apresentam características novas que possibilitam uma vasta gama de aplicações inovadoras, além de conferir, em geral, características almejavéis de biodegradabilidade e a biocompatibilidade. Dentre as aplicações de nanossistemas baseados em abordagens de nanotecnologia verde podem ser destacadas a entrega e liberação de drogas (fármacos e hormônios), insumos agropecuários (fertilizantes, vacinas e pesticidas) e cosméticos (essências e cremes); desenvolvimento de superfícies funcionais (embalagens ativas para proteção de alimentos); elaboração de sensores para diagnóstico de doenças, infecções e contaminações (detecção rápida e sensível); desenvolvimento de sistemas de transferência de genes (eficiência aumentada); produção de pontos quânticos (fontes alternativas para imagem por fluorescência); produção de nanopartículas superparamagnéticas (utilizadas, por exemplo, para a biosseparação seletiva e magnetodiálise); controle de pragas/patógenos (efeitos tóxicos); desenvolvimento de catalisadores (eficácia aumentada); desenvolvimento de sistemas de biorremediação (utilizados para remoção de metais pesados); e indústria têxtil (mediante a produção de tecidos com propriedades distintas incluindo a ação antibacteriana e antifúngica).

A síntese verde de nanossistemas para aplicações em nanotecnologia verde pode ser realizada utilizando organismos procariontes ou eucariontes (incluindo plantas, animais e microrganismos) ou parte deles e pode ocorrer no meio intracelular ou extracelular. Neste caso, os componentes presentes (biomoléculas e metabólitos secundários) atuam como os principais constituintes para a formação de nanossistemas. Em alguns casos, e de maneira extremamente apropriada quando se almeja a obtenção de uma suspensão coloidalmente estável ou com propriedades físicoquímicas específicas, esses compostos podem também ser utilizados para formar uma camada estabilizante (cobertura) na superfície das nanoestruturas,

evitando que estas se agreguem ou cresçam desordenadamente durante sua produção. Além disso, a exposição a diferentes fatores (temperatura, pH e concentração dos substratos) pode modular a produção de nanossistemas. A maioria das nanoestruturas obtidas por meio de rotas de síntese verde apresenta como características almejavéis sob o ponto de vista de sustentabilidade o fato de serem eco-amigáveis (utilizam solventes menos tóxicos), biocompatíveis (podem ser empregadas diretamente a organismos alvo), simples (número de etapas menor), biodegradáveis (podem ser degradadas por rotas biológicas) e apresentam custo de produção baixo e rendimento alto.

Organismos de todos os reinos da vida podem apresentar potencial para utilização em rotas de síntese verde de nanossistemas baseados em nanotecnologia verde. Interessantemente, muitos destes organismos que podem ser utilizados em rotas de síntese verde, além de fazer parte da biodiversidade, são cultivados ou criados. Adicionalmente, componentes provenientes de subprodutos agroindustriais, originalmente sem valor econômico, podem ser utilizados em rotas de síntese verde. De fato, o aproveitamento de subprodutos das cadeias produtivas animal, vegetal e microbiana constitui uma etapa importante a ser avaliada durante a gestão do agronegócio, já que eles podem ser úteis e de importância econômica, ou seu acúmulo pode causar impactos ambientais severos. A agregação de valor a materiais considerados menos valiosos sob o ponto de vista econômico ou nutricional constitui uma alternativa eficaz no que diz respeito à sustentabilidade da agroindústria. Dentre os subprodutos agropecuários que podem servir como matérias primas para o desenvolvimento de processos em nanotecnologia verde, em particular rotas de síntese verde de nanopartículas, destacam-se: o sangue, as penas, as carapaças, as escamas, os pelos, os ossos e as cascas de ovos provenientes da pecuária; e os bagaços, as fibras, as serragens, os farelos, as cascas e as palhas provenientes da agricultura. O interesse nesses materiais se deve à riqueza de moléculas como: as proteínas, os peptídeos, os aminoácidos, os carboidratos, os ácidos nucleicos, as vitaminas e os diversos metabólitos. Além de fontes de moléculas que podem ser utilizadas em nanotecnologia verde, os subprodutos agropecuários podem ser fontes de princípios ativos com atividades antibióticas, biocidas, antioxidantes, anticâncer, dentre outras, que podem atuar sinergicamente com os nanossistemas. Essa apresentação visa a escrutinizar os avanços e perspectivas realizados pelo Grupo de Nanotecnologia e Biologia Sintética, da Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia e seus parceiros, na área de nanotecnologia verde. Esses avanços serão demonstrados por meio de exemplos da aplicação de estratégias para síntese verde de nanossistemas utilizando moléculas e organismos da Biodiversidade, muitos dos quais sendo constituintes das cadeias produtivas microbiana, vegetal ou animal.