

## **POTENCIAL DE MICRORGANISMOS ISOLADOS DE FRUTOS AMAZÔNICOS NA ALIMENTAÇÃO HUMANA: UMA REVISÃO**

**Wellington Barros dos Santos, Sílvio Jackson Félix Alves, Thaís Costa Santos, Romilda Ramos da Silva, Gabriela Fonsêca Leal, Larissa Santos Saraiva, Roze Anne Ferreira Lima, Catarina Francisca Morais Lima Carvalhinho, José Eduardo Bento de Oliveira, Camila da Costa Gomes, Claudia Cristina Auler dos Santos Amaral, Glêndara Aparecida de Souza Martins**

**RESUMO:** Os frutos amazônicos apresentam grande potencial biotecnológico, ricos em compostos bioativos e uma grande microbiota de grande interesse na indústria de alimentos, visto que possuem uma vasta utilidade, como a produção de enzimas e aromas, atuam como biopesticidas, produção de proteína unicelular, grande potencial probiótico, produção de fermentados, são diversas as funcionalidades desses microrganismos. Atualmente a procura por fontes alternativas na produção de proteínas tem aumentado, as proteínas unicelulares são uma dessas fontes que pode ser produzida por uma variedade de microrganismos, como as leveduras, fungos filamentosos, bactérias e microalgas, cada um tem sua peculiaridade, dando ênfase aos três primeiros que podem ser isolados dos frutos amazônicos. Esses microrganismos também apresentam alto potencial probiótico e na produção de enzimas, no entanto não há muita exploração na microbiota desses frutos amazônicos, necessitando de mais estudos para avaliar melhor o potencial dos mesmos. Essa revisão tem por objetivo mostrar o grande potencial da microbiota dos frutos amazônicos e sua aplicação na indústria de alimentos, na produção de proteína unicelular (Single-Cell Protein), como agentes probióticos e na produção de enzimas.

**Palavras-chave:** Frutos amazônicos, microrganismos, alimentos

## **INTRODUÇÃO**

O Brasil é um país com grande aporte territorial e apresenta uma flora extraordinária pouco explorada, que apresenta uma grande diversidade química que pode ser utilizada para o desenvolvimento de bioprodutos, como produtos farmacêuticos, cosméticos, suplementos alimentares e biopesticidas. Plantas, microrganismos (dentre eles fungos e bactérias), insetos e organismos marinhos, são fontes de substâncias biologicamente ativas, sendo uma rica biblioteca natural contida nos diversos biomas brasileiros. O estudo dos microrganismos está se tornando comum em projetos científicos nacionais, o que agrega novidades a produtos naturais. As áreas de grande destaque no impulsionamento da bioeconomia são a engenharia metabólica e a biotecnologia. A biotecnologia tem contribuído para melhoria dos sistemas econômicos e sociais, no tratamento de doenças, preparo de novos medicamentos, aplicação na alimentação humana e animal, utilização sustentável da biodiversidade e o reaproveitamento de resíduos (VALLI et al., 2018).

A floresta Amazônica se estende por nove países da América do Sul (Brasil, Bolívia, Peru, Equador, Colômbia, Venezuela, Guiana, Suriname e Guiana Francesa), com 66% de floresta em solos brasileiros. É a maior formação de floresta do mundo e possui uma grande diversidade de fauna e flora. Por sua vez esse vasto ambiente desempenha um papel crucial na conservação da biodiversidade, no clima, na hidrologia e reservatório de carbono. Mesmo que existem várias pesquisas realizadas na Amazônia sobre sua biodiversidade, são necessárias mais pesquisas para desbravar a imensa biodiversidade e complexidade dessa região (PAULA-ELIAS et al., 2020; CADETE et al., 2012; DETONI, 2012).

Na Amazônia Brasileira encontram-se cerca de 44% das 500 espécies de frutas nativas brasileiras. Os frutos amazônicos brasileiros podem ser encaixados em uma vertente ecológica que é inerente ao bioma amazônico, ou então estender a um conceito político-econômico com maior amplitude, que é marcado pela transição de Amazônia Brasileira para Amazônia Legal. Os frutos amazônicos quando englobados nesse último conceito, abrange uma macrorregião que envolve os estados que pertencem a Bacia Amazônica ou que resvalam parte da Floresta Amazônica (Pará, Amazonas, Maranhão, Tocantins, Mato Grosso, Acre, Amapá, Rondônia e Roraima), ou seja, 61% do território brasileiro (EMBRAPA, 2016; PAULA-ELIAS et al., 2020).

Os frutos amazônicos apresentam grande potencial antioxidante, o que chama atenção das indústrias farmacêuticas, de cosmético e de alimentos, podendo substituir os antioxidantes

sintéticos, protegendo contra degradação oxidativa. Em sua composição também são ricos em diversos componentes bioativos, e sua microbiota é importante não só para a caracterização microbiológica, como também para descobertas de novos tipos de microrganismos com potencial biotecnológico. Esses frutos podem ser utilizados para a fabricação de produtos fermentados como bebidas, e os seus resíduos podem ser aproveitados para produção de biocombustíveis de segunda geração (PEREIRA, 2015; DE PAULA et al. 2018).

A vasta diversidade de leveduras isoladas de frutos nativos da Amazônia ainda não foi totalmente explorada, com alguns relatos focando apenas em frutos tropicais, como maracujá (*Passiflora edulis*), mangaba (*Hancornia speciosa*), umbu (*Spondias tuberosa*) e acerola (*Malpighia glabra*). As condições ambientais da Floresta Amazônica permitem que sejam encontradas uma diversa microbiota, além de novas cepas, incluindo leveduras que podem apresentar qualidades e características únicas de interesse biotecnológico, pela peculiaridade do habitat em que se encontram. Esses microrganismos apresentam potencial de produção de enzimas, aromas e podem atuar como agentes de biocontrole de doenças relacionadas a frutas (VEGAS et al., 2020).

A presença de algumas bactérias do ácido lático, ocorrem naturalmente em alguns alimentos e dentre eles os frutos da região amazônica, sendo isolados da casca, polpa ou semente. Esses microrganismos geralmente são obtidos a partir de frutos e por sua fermentação espontânea, podem apresentar potencial probiótico sendo utilizados como culturas *starter*, promissores no desenvolvimento de novos produtos (FERREIRA et al, 2020).

Ainda são poucos os estudos que trabalham com a microbiota autóctone dos frutos Amazônicos. Porém, as informações acerca dessa microbiota podem constituir uma ferramenta importante para ser desenvolvido novos processos ligados a biotecnologia. Portanto o presente trabalho tem como objetivo abordar uma revisão de literatura sobre a utilização da microbiota autóctone isolados de frutos Amazônicos na produção de alimentos.

Portanto, para este trabalho adotou-se um levantamento bibliográfico exploratório de todas as publicações científicas, incluindo artigos de pesquisa e de revisão, livros, comunicados técnicos, monografias de graduações, dissertações de mestrado, teses de doutorado, dentre outros, publicados entre os anos de 2015 a 2022 em um primeiro momento, após foi pesquisado as publicações sem limitação temporal.

A busca foi realizada nas plataformas Periódicos CAPES, Google Acadêmico, *Web of Science* e Elsevier, utilizando as palavras-chaves: microrganismos selvagens amazônicos,

microrganismos autóctones de frutos amazônicos, aplicação de microrganismos selvagens na alimentação humana e biotecnologias aplicadas a indústria de alimentos, nos idiomas inglês e português.

## ***SINGLE-CELL PROTEIN* DE MICRORGANISMOS ISOLADOS DE FRUTOS AMAZÔNICOS**

Com o crescimento acelerado da população mundial, surgiu também a demanda por alimentos proteicos (PIHLAJANIEMI et al., 2020). A desnutrição é um problema gravíssimo no mundo, principalmente em países subdesenvolvidos. Um relatório publicado pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), traz um dado extremamente alarmante, onde estima que aproximadamente 828 milhões de pessoas no mundo estão em situação de desnutrição e cerca de 2,3 bilhões de pessoas passam por situação de vulnerabilidade alimentar (FAO, 2022). A produção de SCP entra neste cenário como uma forma de lidar com a deficiência proteica desses países e do mundo (SUMAN, 2015) através de insumos baratos de produção, tornando o alimento mais acessível.

Diversas pesquisas têm sido desenvolvidas para produção de proteínas através de fontes alternativas e seguras, entre elas, o papel de diversos microrganismos como leveduras, algas, fungos filamentosos e bactérias têm sido investigados para produção de biomassa proteica (REIHANI e KHOSRAVI, 2019).

O termo *Single-Cell Protein* (SCP) foi cunhado no Instituto de Tecnologia de Massachusetts (ITM) no ano de 1968 para designar a proteína oriunda de biomassa microbiana, uma ideia inovadora para a alimentação humana na forma de aditivo alimentar (SRIVIDYA, 2013). Em resumo, SCP são proteínas purificadas oriundas de microrganismos que podem ser utilizadas como suplemento alimentar, tanto para humano quanto para animais (ZHOU et al., 2019). Elas são um suplemento com alto teor proteico e também podem conter lipídios, minerais, carboidratos e vitaminas (SUMAN, 2015), além disso, podem apresentar grande quantidade de aminoácidos essenciais como metionina e lisina.

Buscar formas alternativas de produção de alimentos têm sido foco em pesquisas diversas e neste sentido, a produção de SCP vem ao encontro de necessidades alimentares, de forma economicamente viável e ecologicamente sustentável, onde diversas matérias primas que poderiam ser descartadas no ambiente de forma inadequada, como resíduos agroindustriais,

podem ser aproveitadas para a produção de alimentos de qualidade. Além disso, a produção de proteína não é afetada por fatores sazonais, pois existe uma gama muito ampla de substratos que resultam em boa produtividade (SUMAM, 2015).

## **Leveduras**

As leveduras são consideradas fungos, com forma predominante unicelular. Podem ser esféricas, ovoides, cilíndricas ou triangulares. Em alguns casos, podem ser alongadas, sendo capazes de formar segmentos semelhantes às hifas. As leveduras são células eucariotas e heterotróficas, que possuem uma parede considerada rígida e se reproduzem de forma sexuada ou assexuada (FRANCO & LANDGRAF, 2008).

A maioria das leveduras de importância em alimentos divide-se por gemação ou por fissão. A principal maneira de diferenciá-las das bactérias é pela observação da sua forma, citadas anteriormente, e o tamanho de suas células (VIEIRA, 2014).

O tamanho das células típicas de leveduras oscila entre 5 e 8 µm de diâmetro, porém, algumas podem ser maiores ou menores, por exemplo, cultivos antigos de leveduras tendem a possuir células de menor tamanho. São capazes de crescer dentro de amplos intervalos de pH ácido e em concentrações de etanol de até 18%. Algumas leveduras crescem em concentrações de sacarose de 55 a 60%. Com relação a produção de pigmentos, algumas leveduras produzem pigmentos, da qual a cor pode variar do amarelo claro ao vermelho, passando pelo rosa (PEIXOTO, 2018).

Dessa forma, as leveduras desempenham grande interesse pela indústria de alimentos empregadas em diversos processos. Uma das áreas de interesse é na produção de *Single-Cell Protein* (SCP), no qual pode ser utilizada como componente nutritivo para alimentação tanto humana quanto animal (SISMAN et al., 2012).

Segundo Gao et al (2012) e Zhenming et al (2007), algumas leveduras como, por exemplo as *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida utilis*, *Candida tropicalis*, *Cryptococcus aureus* e espécies dos gêneros *Hansenula*, *Pichia* e *Torulopsis* possuem potencial para ser utilizadas na produção de biomassa microbiana (Gao et al., 2012; ZHENMING et al., 2007).

De acordo com Gomes (2015), a *Saccharomyces cerevisiae* é a única espécie de levedura totalmente aceitável para o consumo humano, e a *Candida utilis* é uma levedura amplamente utilizada como suplemento nutricional em rações para animais (GOMES, 2015; HAMA et al., 2016).

De forma geral, as leveduras, se comparadas com as bactérias, possuem maior aceitabilidade para produção de SCP, uma vez que já são utilizadas na indústria de panificação, produção de bebidas alcoólicas e etanol. (GARCÍA-GARYBAI et al., 2014).

Nasseri et al (2011) relataram em seu estudo sobre o processo de produção de Single Cell Protein (SCP), que aproximadamente 50 a 52% do peso seco celular consiste em proteínas, 30 a 37% de carboidratos, 4 a 7% de lipídios, 6 a 8% de ácidos nucleicos e 7 a 8% de minerais (NASSERI et al., 2011).

Dessa forma, as leveduras possuem características que favorecem sua utilização na produção de SCP. Dentre essas características, se destacam seu rápido crescimento, taxa de digestão de proteínas geralmente superior a 80%, possuir células grandes e sua capacidade de floculação, o que facilita a recuperação durante o cultivo, e de forma geral, seu crescimento em pH ácido, o que dificulta contaminação por bactérias (ANDRIETA et al., 2015).

### **Fungos filamentosos**

Os fungos filamentosos têm sido utilizados para a produção de alimentos, degradação de resíduos agroindustriais e processos fermentativos há bastante tempo e os processos bioquímicos envolvidos tem uma grande importância industrial e ecológica.

Os fungos filamentosos apresentam cultivo geralmente simples, podendo atingir grande quantidade de biomassa fúngica, porém o rendimento é dependente de vários fatores, entre eles estão o substrato, a espécie, condições de cultivo, entre outros. O *Aspergillus niger* por exemplo, é uma espécie que tem capacidade de produzir 18% de proteína a partir de casca de banana (BALDENSPERGER, 1985). Fungos do gênero *Trichoderma* conseguem converter o substrato em proteína microbiana com alta concentração (32% a 34%) a partir de bagaço de laranja e soro de leite (SISMAN et al., 2013; GREGORIO et al., 2002).

A proteína microbiana oriunda de SCP tem uma ampla gama de aplicação comercial, como exemplo, pode-se mencionar a marca Quorn<sup>TM</sup> que utiliza proteína de *Fusarium venenatum* como texturizante na produção de hambúrgueres e macarrão instantâneo pela Monde Nissin Corp.

Uma grande vantagem dos fungos filamentosos é que já possuem muitas espécies com certificação GRAS (Geralmente considerados seguros). Ademais, os FF possuem uma maquinaria metabólica poderosa e eficiente para produzir SCP em escala industrial (AMFEP, 2015). Os FF possuem sistemas mais desenvolvidos para o processamento após a tradução.

Karnaukhova et al., (2007) citam a glicolisação, a formação de ligação dissulfeto e a clivagem de protease, como mecanismos indispensáveis para a função e atividade proteica. A vantagem desses mecanismos, é a produção de proteínas com alto potencial nutricional e farmacêutico aos humanos, pela hipermanosilação de glicoproteínas, convertendo-as em glicoproteínas para humanos (PUNT et al., 2002; DESHPANDE et al., 2008).

Os fungos filamentosos podem ainda ser produtores de vitaminas do complexo B e suas paredes celulares possuem glucanas, que podem contribuir diretamente com o incremento de fibras alimentares. Neste contexto, podemos observar que os fungos filamentosos possuem uma ampla aplicação em alimentos, sendo utilizados, na produção de SCP de qualidade.

Devido à ampla diversidade metabólica, os fungos filamentosos podem utilizar com eficiência diversos monossacarídeos, como xilose, arabinose e galactose (CAVKA e JÖNSSON, 2014). Além disso, diversos resíduos agroindustriais já vêm sendo utilizados em pesquisas para produção de SCP como é o caso das cascas de arroz, batata, laranja e mamão (Nwufu et al., 2014).

## **Bactérias**

Uma diversidade de bactérias está sendo estudadas para produção de *Single-Cell Protein*. Bactérias metilotróficas, como a *Methylophilus metilotrofo*, que consegue produzir boa quantidade de proteína em pouco tempo, melhor do que outros microrganismos, com cerca de duas horas de tempo de geração. Esses microrganismos apresentam características que os tornam adequados para a produção de SCP, como o curto tempo de geração e seu crescimento rápido com altas concentrações proteicas (50-80%), também é esperado que o teor de aminoácidos essenciais seja convergente ou até maior que as recomendações da FAO (*Food and Agriculture Organization*). Em SCP bacteriano foi relatado até 3% de metionina, o que indica um valor maior comparado a algas e fungos (RAZIQ et al., 2020; RITALA et al., 2017).

As bactérias, por sua vez, assim como os fungos, o SCP produzido por estes apresenta altos teores de ácidos nucleicos (8-12%), sendo mais abundante o RNA, e isso requer um processamento a mais antes da utilização na alimentação humana ou animal. No SCP bacteriano, além de proteínas e ácidos nucleicos, também apresentam em sua composição alguns lipídios e vitaminas do complexo B (RITALA et al., 2017).

As culturas de bactéria têm maior risco de contaminação e sua recuperação celular é mais difícil. O meio em que são cultivadas requer suplementação mineral para fornecer

nutrientes adequados. E ainda seu uso como produtora de SCP se torna mais limitado devido ao alto custo de produção, a colheita das proteínas geradas se torna mais cara pelo tamanho reduzido das células, estas por sua vez devem ser floculadas para aumentar o tamanho da pasta sólida, antes da centrifugação. Consoante a isso, ainda existe uma barreira psicológica que dificulta mais o processo de utilização da proteína extraída de bactérias (RAZIQ et al., 2020; ANUPAMA & RAVINDRA, 2000).

Existem as bactérias oxidantes de metano (BOM), ou metanotróficas, que apresentam características mais avançadas para produção de *Single-Cell Protein*, podem produzi-lo em condições econômicas com menor custo associado e por esse fato pode auxiliar o aumento da produção, o que chama atenção da indústria. O estudo das BOM's vem sendo estudada desde meados de 1960, a produção industrial foi até desenvolvida, no entanto foi encerrada a produção comercial, por motivos de restrições econômica. As altas demandas por consumo de proteínas fizeram com que a produção de SCP por BOM's tenha retornado. O metano pode ser a única fonte de carbono e de energia para as BOM's ao se assimilar com nitrogênio para a produção de proteínas, pode ser uma fonte econômica se o material for encontrado barato e em alta abundância (ZHA et al., 2021).

Na Tabela 1 é visto algumas bactérias e substrato correspondente utilizados na produção de SCP.

**Tabela 1. Bactérias e substrato correspondente utilizados na produção de *Single-Cell Protein*.**

| <b>Microrganismos</b>               | <b>Substrato</b>                          |
|-------------------------------------|---|
| <i>Methylococcaceae</i>             | Compostos C <sub>1</sub>                  |
| <i>Brevibacterium</i> spp.          | Compostos C <sub>1</sub> - C <sub>4</sub> |
| <i>Cellulomonas</i> spp.            | Resíduos agrícolas                        |
| Diferentes espécies de bactérias    | Resíduos de processamento de frutas       |
| <i>Methanomonas methanica</i>       | Metano                                    |
| <i>Methylophilus methanotrophus</i> | Metanol                                   |
| <i>Pseudomonas fluorescens</i>      | Estrume, resíduos de animais              |
| <i>Rhodopseudomonas gelatinosus</i> | Farelo de trigo                           |
| <i>Streptomyces</i> spp.            | Metanol                                   |

**Fonte:** adaptado de Anupama e Ravindra, 2000.

## **Algas**



Uma diversidade de algas comestíveis tem sido aplicada na alimentação humana há anos, como *Nostoc*, *Arthrospira* (*Spirulina*) e *Aphanizomenon*. A biotecnologia aplicada a esses seres só veio ser desenvolvida na metade do século XX. Essas microalgas podem melhorar o valor nutricional de alimentos para animais e seres humanos por causa da sua composição química, ainda podem ser aplicadas na indústria de cosmético e na aquicultura. Além de apresentarem altos valores de proteínas, pigmentos e ácidos graxos poliinsaturados. As mais utilizadas para produção de proteínas são as da espécie *Chlorella*, *Spirulina* e *Dunaliella* com 55%, 65% e 57% de conteúdo proteico, respectivamente (GONZÁLEZ-BENITO et al., 2009).

As microalgas são utilizadas na indústria para produção de suplementos, disponíveis na forma de comprimido, cápsula ou líquido e também podem ser incluídas em produtos como, massas, assados, snacks, dentre outros alimentos. A espirulina é a mais utilizada para produção de suplementos, sendo carregadas até por astronautas em viagens espaciais. As algas *Chlorella* e *Senedesmus*, produzem biomassa que é utilizada como alimento e ração por comunidades tribais em algumas regiões do mundo (GOUVEIA et al., 2008; ZIMBEROFF, 2017; ANUPAMA & RAVINDRA, 2000).

As algas são seres que chamam atenção pela riqueza em proteínas, gorduras, e vitaminas, A, B, C, D e E. Além de todos esses compostos, também podem ser fontes de sais minerais, clorofila, pigmentos biliares, fibras e apresentam baixo conteúdo de ácidos nucleicos, formando um cenário ideal para produção de SCP. No entanto, a SCP de algas apresenta certas limitações para o consumo humano, devido a estrutura da parede celular, como os humanos não apresentam a enzima celulase, não conseguem digerir os componentes celulósicos presentes. Para o consumo humano, a parede celular das algas deve ser digerida, antes do consumo do produto (ANUPAMA & RAVINDRA, 2000).

**Tabela 2. Algas e substrato correspondente utilizados na produção de *Single-Cell Protein*.**

| <b>Microrganismos</b>                                | <b>Substrato</b>                  |
|--|-----------------------------------|
| <i>Caulerpa racemosa</i>                             | Dióxido de carbono + luz solar    |
| <i>Chlorella salina</i> CU-1 (28)                    | Efluente de esgoto salino         |
| <i>Chlorella</i> spp.                                | Dióxido de carbono                |
| <i>Chlorella</i> spp. (M109, M121, M122, M138, M150) | Carbonato e sete outros compostos |
| <i>Dunaliella</i>                                    | Dióxido de carbono + luz solar    |
| <i>Clorela</i> e Diatomáceas                         |                                   |

---

|                         |                    |
|-------------------------|--------------------|
| <i>Laminaria</i>        |                    |
| <i>Sargassum</i>        |                    |
| <i>Spirulina maxima</i> |                    |
| <i>Spirulina spp.</i>   | Dióxido de carbono |

---

**Fonte:** adaptado de Anupama e Ravindra, 2000.

## **POTENCIAL PROBIÓTICO DE MICRORGANISMOS ISOLADOS DE FRUTOS AMAZÔNICOS**

O desenvolvimento de novos produtos alimentícios representa um grande desafio, uma vez que o consumidor está cada vez mais exigente, buscando por alimentos que ofereçam mais que a função de nutrir, ou seja, que sejam saudáveis e atrativos, simultaneamente. Os efeitos benéficos de determinados tipos de alimentos, os denominados alimentos funcionais, já são conhecidos há anos. Porém, somente nos últimos anos o estudo desses alimentos tornou-se intenso (HUSSAIN *et al.*, 2018).

Alimentos funcionais são aqueles que, além de fornecerem nutrição básica, contêm substâncias que podem ser consideradas biologicamente ativas, produtoras de benefícios clínicos ou capazes de promoverem saúde (GRANATO *et al.*, 2020). Esses alimentos possuem potencial para promover a saúde por mecanismos não previstos na nutrição convencional. É importante ressaltar que esse efeito se restringe à promoção da saúde e não à cura de doenças. Além disso, a fisiologia intestinal, bem como a composição e a atividade do ecossistema microbiano responsável pela sua colonização, tem atraído um grande interesse para o desenvolvimento de alimentos funcionais, o que é demonstrado pelo crescimento no mercado de probióticos (ALKHATIB *et al.*, 2017; AGUILAR-TOALÁ *et al.*, 2018).

A palavra probiótico tem origem grega e significa “para a vida”. Foi inicialmente usada para descrever compostos que estimulavam o crescimento microbiano. Atualmente, probióticos são definidos como um suplemento alimentar que contém microrganismos vivos e, quando são ingeridos em doses adequadas, apresentam efeito benéfico sobre a saúde e o bem-estar do hospedeiro (BADARÓ *et al.*, 2008; FAO/WHO 2001).

Os probióticos são capazes de melhorar o equilíbrio microbiano intestinal produzindo efeitos positivos à saúde do indivíduo. O seu uso introduz microrganismos benéficos e causa diminuição, por competição, de outras espécies de bactérias que podem ser prejudiciais. Dessa

maneira, melhora a ecologia específica da microbiota intestinal (BOBER *et al.*, 2018; GHARBI *et al.*, 2019).

Os principais microrganismos utilizados na produção de alimentos probióticos são as bactérias, em destaque para os grupos *Lactobacillus sp.* e *Bifidobacterium sp.*, mas, as leveduras probióticas também vem se destacando, em especial a *Saccharomyces cerevisiae var. boulardii*, que atualmente é a única levedura probiótica comercialmente (AGARBATI *et al.*, 2020; FRAKOLAKI *et al.*, 2020).

Devido à crescente demanda da população por alimentos que ofereçam mais que a função de nutrir, e conseqüentemente a demanda da indústria alimentícia por novos produtos que atendam às exigências dos consumidores, estudos sobre a obtenção de microrganismos provenientes de frutos amazônicos têm sido instigados. Os frutos da região amazônica possuem alto potencial biotecnológico, sendo explorados em processos de produção de enzimas microbianas, elaboração de alimentos funcionais, isolamento de microrganismos, e diversas outras aplicações biotecnológicas (ALBUQUERQUE *et al.*, 2021; CARVALHO *et al.*, 2013; COSTA *et al.*, 2016).

Dentre a ampla variedade de frutos nativos da região amazônica, destacam-se o bacupari, tucumã e a pupunha. De acordo com Carvalho *et al.* (2013) e Costa *et al.* (2016), esses frutos, de forma geral, apresentam potencial medicinal, nutricional, são ricos em fibras, lipídios e carotenoides (CARVALHO *et al.*, 2013; COSTA *et al.*, 2016).

O bacupari (*Garcinia gardneriana*) é fruto do bacuparizeiro, pertencente à família da Clusiaceae. Os seus frutos são bagas de coloração alaranjada a esverdeada, medindo de 3 a 4 cm de comprimento e 3 cm de diâmetro, apresentam frutos saborosos, e bem apreciados na região amazônica, sendo comumente consumidos *in natura* (PINTO, 2013).

O tucumã (*Astrocaryum aculeatum*), também conhecido como tucumã-da-Amazônia ou tucumã-do-Pará, são frutos que possuem coloração amarelo-alaranjado, ricos em fibras, vitamina A, ácidos graxos saturados e lipídios (SINGH, 2015; SILVA, 2016). E a pupunha (*Bactris gasipaes Kunth*) é um fruto que faz parte da alimentação da população do Norte do país, é da família das palmáceas, sendo rica em carboidratos, lipídios e carotenoides biodisponíveis (SINGH, 2015).

A utilização de microrganismos com potencial probiótico isolados de frutos disponíveis na região amazônica, representa como a biotecnologia pode atuar na agregação de valor e na disponibilidade dos frutos durante o ano inteiro (SILVA *et al.*, 2021)

Dessa forma, é de suma importância pesquisas que objetivem a obtenção de microrganismos isolados de frutos amazônicos, visto sua ampla aplicabilidade para indústria. Podendo valorizar a região amazônica, bem como impactar socioeconomicamente as famílias que trabalham com o extrativismo desses frutos.

## **MICROORGANISMOS ISOLADOS DE FRUTOS AMAZÔNICOS COMO POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE ENZIMAS COMERCIAIS**

Microrganismos denominados de epifíticos (seres de “vida livre”) são aqueles encontrados nas superfícies das plantas, e podem colonizar raízes (rizoplanos), caules (cauliplanos) e folhas (folioplanos), e por esse motivo são expostos a diversas condições adversas (radiação UV, dessecação, ar, falta de nutrientes, poluentes e outros fatores bióticos e abióticos), nessa classe são excluídos os microrganismos fitopatógenos. A exposição duradoura de folhas e microrganismos a poluentes do ar podem desenvolver mecanismos de adaptação a essas condições adversas e a contaminantes. Tornando-se assim relevante a exploração desses microrganismos epifíticos na aplicação para fitorremediação de poluentes no ar (SOUZA *et al.*, 2020).

Existem também os chamados microrganismos endofíticos, fungos e bactérias, que vivem no interior dos tecidos de hospedeiros vegetais, vivendo em simbiose, onde o tecido fornece o cenário adequado com nutrientes para o desenvolvimento e sobrevivência desses microrganismos, que por sua vez produzem metabólitos primários e secundários sendo de grande utilidade para a planta, promovendo resistência a temperaturas extremas, secas, como também a presença de patógenos. Os fungos endofíticos produzem diversos metabólitos secundários, que são importantes nos processos fisiológicos de outros microrganismos e também são materiais com potencial para extração de novos compostos bioativos, sendo os

produtos desses microrganismos grandes promissores na aplicação industrial (SOUZA et al., 2020).

Os microrganismos apresentam propriedades biotecnológicas e são utilizados na indústria para a produção de diversos compostos orgânicos. Os fungos endofíticos de várias espécies vegetais, apresentam grande potencial biotecnológico, e isso envolve a produção de enzimas. Microrganismos são as fontes mais procuradas para a produção de enzimas, pelo baixo custo na produção, inclusive é possível produzir em grande escala (COELHO et al, 2019).

As enzimas são formadas por proteínas e são de grande importância para o metabolismo dos organismos vivos, atuando em processos de síntese e degradação de compostos, na infecção do hospedeiro e na deterioração de alimentos. Na indústria de alimentos atuam em processos de aperfeiçoamento da qualidade de um produto ou facilitar sua produção. Elas atuam diretamente em substâncias presentes nos produtos, isso por que cada uma tem um substrato de atuação específico (COELHO et al, 2019).

As plantas da Amazônia são fontes de uma rica microbiota promissoras na produção de uma diversidade de compostos, incluindo as enzimas. No entanto há uma carência de informações na literatura sobre essa comunidade microbiana, principalmente dos frutos e sua aplicação biotecnológica para produção de enzimas. Há um grande desafio para o uso racional da grande biodiversidade do Brasil, de como transformar o enorme patrimônio genético natural em riqueza biotecnológica, isso inclui a microbiota dos frutos amazônicos (STROBEL, 2018; PYLRO et al., 2014).

Silva et al. (2019) afirma que a busca por microrganismos isolados de locais não convencionais, apresenta grande interesse estratégico para o desenvolvimento de novos produtos enzimáticos e biossurfactantes, podendo diminuir os impactos ambientais causados pela síntese desses compostos em tratamentos convencionais. Cerca de 50% das enzimas industriais são originárias de fungos e leveduras, 35% de bactérias e 15% de origem animal ou vegetal. Os fungos são reconhecidos como GRAS (*Generally Recognized as Safe*) para produção de enzimas, sendo mais seguros do que as bactérias (SILVA et al., 2019; SOUZA et al., 2019)

Souza et al. (2019) trabalhando com quatro culturas de fungos depositadas da Coleção de Fungos da Amazônia (CFAM), verificou que a cepa denominada de *Penicillium* sp. CFAM 107 apresentou maior atividade de protease em curto espaço de tempo comparado aos demais fungos testados. Essa atividade proteolítica, foi expressiva no segundo dia de fermentação

submersa. Marinho et al. (2019) trabalhou com actinobactérias do bioma amazônico, para produção de enzimas e obteve identificação de cepas do gênero *Streptomyces* sp., formadora de micélio, as cepas A20 e A26 apresentaram os melhores índices enzimáticos, sendo que A26 teve atividade de amilase, celulase, pectinase e protease e a A20, apresentou todas essas atividades, exceto a atividade de amilase.

Lima et al. (2020) mostram a riqueza que os frutos amazônicos podem proporcionar em uma microbiota produtora de enzimas e suas diversas aplicações, na tabela 3 pode-se visualizar o que foi descrito.

**Tabela 3. Linhagens microbianas isoladas de frutos da Amazônia, enzimas e aplicação em processos industriais.**

| <b>Frutos</b>                | <b>Microrganismos</b>            | <b>Enzima</b>                    | <b>Aplicação</b>                         |
|------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--|
| Tucumã                       | <i>Aspergillus niger</i>         |                                  | Hidrólise                                |
| Castanha-do-Brasil           | <i>Aspergillus flavus</i>        | Lipase                           | Síntese de ésteres<br>Resolução racêmica |
|                              | <i>Aspergillus</i> sp.           |                                  |  |
| Bacuri                       | <i>Kluyveromyces wickerhamii</i> |                                  |  |
|                              | <i>Pichia guilliermondii</i>     |                                  |  |
| Mangaba                      | <i>Kluyveromyces wickerhamii</i> |                                  |  |
|                              | <i>Kluyveromyces marxianus</i>   | Pectinases<br>Poligalacturonases | Processamento de frutos                  |
|                              | <i>Stephanoascus smithiae</i>    |                                  |  |
|                              | <i>Pichia angusta</i>            |                                  |  |
|                              | <i>Stephanoascus smithiae</i>    |                                  |  |
| <i>Candida pseudoglebosa</i> |                                  |                                  |  |
| Pseudo-lulo                  | <i>Pichia anomala</i>            |                                  |  |
|                              | <i>Debaryomyces hansenii</i>     |                                  |  |

**Fonte:** adaptado de Lima et al., 2020.

Os resíduos agroindustriais dos frutos amazônicos, também são ótimas fontes quando se trata de produção de enzimas, estes por sua vez apresentam composição rica em nutrientes favorecendo assim o crescimento de microrganismos e consequentemente produzindo enzimas. Na tabela 4 pode-se visualizar a produção de enzimas a partir de resíduos de alguns frutos amazônicos, e seus microrganismos produtores (LIMA et al., 2020).

**Tabela 4. Resíduos agroindustriais de frutos amazônicos usados para a produção de enzimas microbianas.**

| <b>Frutos</b> | <b>Resíduos</b> | <b>Enzima</b>  | <b>Microrganismos</b>      |
|---------------|-----------------|--|----------------------------|
| Açaí          | Caroço          | Celulase<br>Hemicelulase<br>Carboximetilcelulase<br>Xilanase |                            |
| Maracujá      |                 | Invertase<br>Amilase<br>Celulase<br>Pectinase<br>Protease    | <i>Aspergillus niger</i>   |
| Pupunha       | Casca           |  |                            |
| Tucumã        |                 |  |                            |
| Cupuaçu       |                 |  |                            |
| Mandioca      |                 | Lacase   | <i>Pleurotus ostreatus</i> |
| Açaí          | Semente         |  |                            |

**Fonte:** adaptado de Lima et al., 2020.

As enzimas microbianas apresentam aplicações em diversas indústrias e em produtos como couro, papel, celulose, detergente, têxteis. Na indústria de alimentos elas são de grande importância, nos setores de panificação, pois apresentam propriedades que atuam no melhoramento das características da massa (amilase, protease, xilanase, lipase e glicose oxidase); na parte de cerveja atuam na moagem, remoção de O<sub>2</sub> e de pectina (amilase, glicose oxidase, protease, pectinase); fabricação de xaropes para indústria de chocolate/cacau (amilase); atuam na fermentação e concentração do café (pectinase e hemicelulase); na confeitaria para fabricação de doces e recuperação de açúcar (invertase e amilase); na indústria de laticínios para produção de queijos, sobremesas geladas, hidrólise de proteínas, remoção de lactose, concentrados de soro do leite, prevenir a oxidação (protease, renina, aminopeptidase, catalase, lactase); na indústria de frutas e sucos, atuam na clarificação, filtração, concentração e remoção de amido das pectinas (pectinase e amilase); e na indústria de rações atuam na hidrólise e digestão (fitase, xilanase e  $\beta$ -glicanase) (SINGH et al., 2016; AHLAWAT et al., 2018; LIMA et al., 2020).

## REFERÊNCIAS

AGARBATI, A. et al. Potential Probiotic Yeasts Sourced from Natural Environmental and Spontaneous Processed Foods. *Foods*, vol. 9, n. 3, pg. 287, 2020.

AGUILAR-TOALÁ, J. E. et al. Postbiotics: An evolving term within the functional foods field. Trends in Food Science and Technology, vol. 75, pg. 105-114, 2018.

AHLAWAT, S.; KUMAWAT, M.; BABELE, P. K. Microbial enzymes in food technology. IN: KUDDUS, M. (Editor). Enzymes in food technology: improvements and innovations. Springer Nature Singapore Pte Ltd., Singapore, 2018, p. 1-18.

ALKHATIB, A. et al. Functional Foods and Lifestyle Approaches for Diabetes Prevention and Management. Nutrients, vol. 9, n. 12, pg. 1310,2017.

AMFEP. 2015. What are enzymes?. Disponível em: <https://amfep.org/about-enzymes/>. Acesso em: 20 de outubro de 2021.

ANDRIETTA, M. G. S. et al. Produção de Proteína Unicelular (SCP) Como se Comportam as Leveduras da Indústria da Fabricação do Etanol. vol. 33, pg. 38-40, 2015.

ANUPAMA; RAVINDRA, P. Value-added food: Single cell protein. Biotechnology Advances, v. 18, n. 6, p. 459-479, 2000.

BADARÓ, A. C. L. et al. Alimentos probióticos: aplicações como promotores da saúde Humana. Nutrir Gerais. Revista Digital de Nutrição, Minas Gerais, v. 2, 2008.

BOBER, J. R.; BEISEL, C. L.; NAIR, N. U. Synthetic Biology Approaches to Engineer Probiotics and Members of the Human Microbiota for Biomedical Applications. Annual Review of Biomedical Engineering, vol. 20, pg. 277-300, 2018.

CADETE, R. M. et al. Diversity and Physiological Characterization of D-Xylose-Fermenting Yeasts Isolated from the Brazilian Amazonian Forest. Plos One, v. 7, n. 8, p. 1-11, 2012.

CAVKA, A., AND JÖNSSON, L. J. Comparison of the growth of filamentous fungi and yeasts in lignocellulose-derived media. Biocatalysis Agricultural Biotechnology, vol. 3, pg. 197–204, 2014.

COELHO, K. W. S. A.; C. NETO, P. Q.; PEREIRA, J. O. Enzimas extracelulares produzidas por *Colletotrichum* spp. isolados de frutíferas tropicais. Diversidade Microbiana da Amazônia, v. 3, p. 225-230, 2019.

DE PAULA, F. C.; DE PAULA, C. B. C.; CONTIERO, J. Prospective biodegradable plastics from biomass conversion processes. In: Biofuels - State of Development. London: IntechOpen, 2018. 28p.



DESPANDE, N. et al. Protein glycosylation pathways in filamentous fungi. *Glycobiology*, vol. 18, pg. 626–637, 2008.

DETONI, S. M. Prospecção de leveduras de frutos da Floresta Amazônica na região do médio Amazonas. Itacoatiara: Universidade Federal do Amazonas, 2012. 28 p.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Amazônia é berço de frutas nativas de alto potencial comercial. 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/14818376/amazonia-e-berco-de-frutas-nativas-de-alto-potencial-comercial>. Acesso em: 19 de novembro de 2021.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. The State of Food and Agriculture 2022. Leveraging automation in agriculture for transforming agrifood systems. Rome, FAO. Disponível em: <https://doi.org/10.4060/cb9479en>. Acesso em: 19 de novembro de 2021.

FERREIRA, E. M. S. et al. POTENCIAL PROBIÓTICO DE MICRORGANISMOS ISOLADOS DE FRUTOS AMAZÔNICOS. *Frutos Amazônicos: Biotecnologia e Sustentabilidade*, Palmas, TO, p. 1-118, 2020.

FRANCO, B. D. G. M.; LANDGRAF, M. *Microbiologia dos alimentos*. São Paulo: Atheneu, 2008.

FRAKOLAKI, G. et al. A review of the microencapsulation techniques for the incorporation of probiotic bacteria in functional foods. *Food Science and Nutrition*, vol.61, 2021.

GAO, Y.; LI, D.; LIU, Y. Production of single cell protein from soy molasses using *Candida tropicalis*. *Annals Microbiology*, v. 62, p. 1165-1172, 2012.

GARCIA-GARIBAY, M. Yeasts and bacteria. *Encyclopedia of Food Microbiology*, v. 3, p. 431-438, 2014.

GHARBI, Y. et al. In-vitro characterization of potentially probiotic *Lactobacillus* strains isolated from human microbiota: interaction with pathogenic bacteria and the enteric cell line HT29. *Annals of Microbiology*, vol. 69, pg. 61-72, 2019.

GOMES, C. M. P. B. S. P. Linhagens de *Saccharomyces cerevisiae* isoladas de uvas do Vale do São Francisco como produtoras de vinhos. Tese (Doutorado em Biotecnologia) - Programa de Pós-graduação em Biotecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, Bahia, 2015.

GONZÁLEZ-BENITO, G. et al. Valorization of by-products from food industry, for the production of single cell protein (SCP) using microalgae. *New Biotechnology*, v. 25, 2009.

GOUVEIA, L. et al. “Microalgae in novel food products,” em *Food Chemistry Research Developments*, ed. KN Papadopoulos (New York, NY: Nova Science Publishers), pg. 75-111, 2008.

GRANATO, D. et al. Functional Foods: Product Development, Technological Trends, Efficacy Testing, and Safety. *Annual Review of Food Science and Technology*, vol. 11, pg. 93-118, 2020.

GREGORIO, A. D. E. et al. SCP and crude pectinase production by slurry-state fermentation of lemon pulps. *Bioresource Technology*, vol. 83, n. 2, pg. 89-94, 2002.

HAMAD, S. H. et al. Production of single cell protein from *Candida utilis* 70163 using date syrup as a substrate. *Jokull journal*, vol. 66, n. 6, 2016.

HUSSAIN, M. A. et al. Non-dairy probiotic food products: An emerging group of functional foods. *Food Science and Nutrition*, vol. 59, 2019.

KARNAUKHOVA, E. et al. Expression of human  $\alpha$ 1-proteinase inhibitor in *Aspergillus niger*. *Microbial Cell Factories*. vol. 6, n. 34, 2007.

LIMA, A. C. M. et al. POTENCIAL DE FRUTOS AMAZÔNICOS PARA A PRODUÇÃO DE ENZIMAS MICROBIANAS. *Frutos Amazônicos: Biotecnologia e Sustentabilidade*, Palmas, TO, p. 48-63, 2020.

MARINHO, N. M. V.; SILVA, A. S.; TEIXEIRA, M. F. S. Potencial biotecnológico de actinobactérias do bioma amazônico para produção de enzimas hidrolíticas. *Diversidade Microbiana da Amazônia*, Manaus, AM, v. 3, p. 257-261, 2020.

NASSERI, A.T. et al. Single Cell Protein: Production and Process. *American Journal of Food and Technology*, v.6, p. 103-116, 2011.

NWUFO, M.I.; AMADI, M. C.; IHEJIRIKA, G. O. Production of single cell protein using agricultural wastes. *International Journal of Agriculture and Rural Development*. vol. 17, pg. 1942–1946, 2014.

PAULA-ELIAS, F. C. et al. Frutos amazônicos como fonte de aplicações biotecnológicas. *Frutos Amazônicos: Biotecnologia e Sustentabilidade*, Palmas, TO, p. 1-118, 2020.

PEIXOTO, P. H. P. *Biologia funcional e manejo de ecossistemas*. Programa de Pós-graduação em Ecologia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Minas Gerais, 2015.

PEREIRA, C. V. L. Extratos bioativos de frutos amazônicos por química verde: extração por líquido pressurizado (PLE) e fluído supercrítico (SFE). 2015, 95 p. (Tese de doutorado em Biotecnologia). Universidade Federal do Amazonas. 2015.

PIHLAJANIEMI V. et al. Comparison of pretreatments and cost-optimization of enzymatic hydrolysis for production of single cell protein from grass silage fibre. *Bioresource Technology* vol. 9, pg. 100357, 2020.

PUNT, P. J. et al. Filamentous fungi as cell factories for heterologous protein production. *Trends Biotechnology*, vol. 20, pg. 200–206, 2002.

PYLRO, V. S. et al. Brazilian microbiome project: revealing the unexplored microbial diversity challenges and prospects. *Microbial ecology*, v. 67, n. 2, p. 237-241, 2014.

RAZIQ, Abdur; LATEEF, Muhammad; ULLAH, Asad; ULLAH, Hayat; KHAN, Muhammad Waseem. Single cell protein (SCP) production and potential substrates: a comprehensive review. *Pure And Applied Biology*, v. 9, n. 3, 2020.

REIHANI S.; KHOSRAVI K. Influencing factors on single-cell protein production by submerged fermentation: A review. *Electronic Journal Biotechnology*, vol. 37, pg. 34-40, 2019.

RITALA, A. et al. Single Cell Protein—State-of-the-Art, Industrial Landscape and Patents 2001–2016. *Frontiers In Microbiology*, v. 8, n. 13, 2017.

SILVA, I. R.; SOUZA, I. F.; MATOS, W. D. P. R. S. M. Seleção de microrganismos com potencial para produção de lipases e biossurfactantes. *Diversidade Microbiana da Amazônia*, Manaus, AM, v. 3, p. 280-287, 2019.

SILVA, J. F. M.; MIRANDA, W. L.; LEÃO, G. M. A. Isolamento e identificação de *Lactobacillus sp.* e *Saccharomyces sp.* na fermentação espontânea do fruto amazônico (pupunha) com potencial probiótico e biotecnológico para o desenvolvimento de novos produtos alimentícios. *DESAFIOS - Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins*, v. 8, n. Especial, p. 14-22, 2021.

SINGH, R.; KUMAR, M.; MITTAL, A. Praveen Kumar Mehta. Microbial enzymes: industrial progress in 21st century. 3 Biotech, v. 6, p. 174, 2016.

SISMAN, G. Single-cell protein as an alternative food for zebrafish, *Danio rerio*: a toxicological assessment. Toxicology and Industrial Health, v. 29, p. 792-799, 2012.

SISMAN, T. et al. Single-cell protein as an alternative food for zebrafish, *Danio rerio*: a toxicological assessment. Toxicology Industrial Health, vol. 29, n. 9, pg. 792-799, 2013.

SOUZA, R. V. et al. POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO DE MICRORGANISMOS AUTÓCTONES DE FRUTOS AMAZÔNICOS. Frutos Amazônicos: Biotecnologia e Sustentabilidade, Palmas, TO, p. 38-47, 2020.

SOUZA, T. C. et al. Avaliação do crescimento e produção de proteases de culturas depositadas na Coleção de Fungos da Amazônia. Diversidade Microbiana da Amazônia, Manaus, AM, v. 3, p. 288-292, 2019.

SRIVIDYA, A. R. et al. Single Cell Protein – A Review. IJPRS, vol. 2, n. 4, pg. 472-485, 2013.

STROBEL, G. The emergence of endophytic microbes and their biological promise. Journal of Fungi, v. 4, n. 2, p. 57, 2018.

SUMAN, G. et al. Single cell protein production: a review. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, vol. 4, n. 9, pg. 251-262. 2015.

VALLI, M.; RUSSO, H. M.; BOLZANI, V. S. The potential contribution of the natural products from Brazilian biodiversity to bioeconomy. Anais da Academia Brasileira de Ciências, [S.L.], v. 90, n. 11, p. 763-778, 2018.

VEGAS, C. et al. Yeasts Associated with Various Amazonian Native Fruits. Polish Journal Of Microbiology, v. 69, n. 3, p. 251-261, 2020.

VIEIRA, E. N. F. Influência de diferentes açúcares e de *Debaryomyces hansenii*, nas características físico-químicas e formação de aminas bioativas em salames. Tese (Mestrado em Ciência) - Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2004.

ZHA, X. et al. Bioconversion of wastewater to single cell protein by methanotrophic bacteria. Bioresource Technology, [S.L.], v. 320, n. 1, p. 124-351, 2021.

ZHENMING, Z. et al. Marine Yeasts and their applications in mariculture. *Journal of Ocean University of China*, v. 5, p. 251-256, 2007.

ZHOU M. et al. Recycling of orange waste for single cell protein production and the synergistic and antagonistic effects on production quality. *Journal of Cleaner Production*, vol. 213, pg. 384-392, 2019.

ZIMBEROFF, L. Hope You Like Algae, Because It's Going To Be In Everything You Eat. *Fast Company* 02.14.17. 2017. Disponível em: <https://www.fastcompany.com/3067961/hope-you-like-algae-because-its-going-to-be-in-everything-you-eat>. Acesso em: 26 de novembro de 2021.