



Desenvolvimento de uma plataforma bioinformática para eficiente gestão e biotransformação de resíduos agroindustriais pelo cultivo de microalgas

Orientadores: Pedro Geada e Filipe Maciel

Vítor Silva PG55538

Introdução

Resíduos agroindustriais

- Cerca de 30% da produção de alimentos é desperdiçado.
- Incluem tanto subprodutos da indústria alimentar como de outras atividades agrícolas e de transformação, atingindo volumes superiores a 2 000 milhões de toneladas anuais.
- Podem ser perigosos, não recicláveis ou recicláveis.
- A maioria é eliminada por incineração ou aterro, gerando problemas ambientais e socioeconómicos.

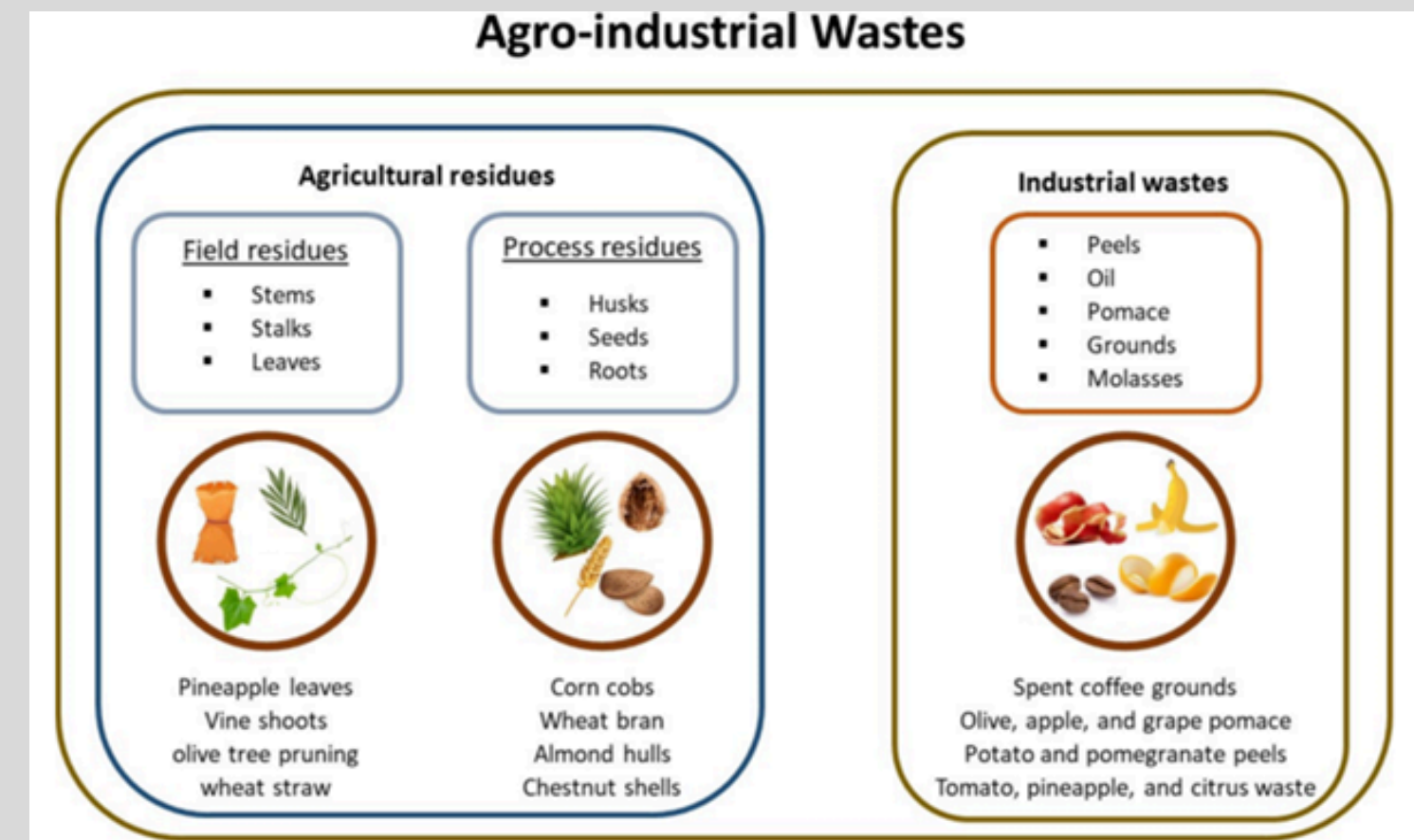


Figura 1. Classificação de resíduos agroindustriais.

Introdução

Indústria dos lacticínios

- Aumento da procura de produtos lácteos.
- Quantidades crescentes de soro de leite e águas residuais.
- Diminuem os níveis de oxigénio em meios aquáticos e são altamente poluentes.
- Este mercado poderá atingir 1 243 mil milhões de dólares até 2028.
- Continua a desempenhar um papel vital no panorama alimentar mundial.



Figura 2. Efluentes da indústria dos lacticínios.

Introdução

Economia circular

- Promove uma resposta eficaz à escassez de recursos.
- Impulsiona um sistema económico mais sustentável.
- É essencial integrar a dimensão social, e não apenas os benefícios económicos e ambientais.
- Apenas 38% das publicações estão enquadradas com os princípios da sustentabilidade.
- Necessário um equilíbrio entre os objetivos ambientais, económicos e sociais.

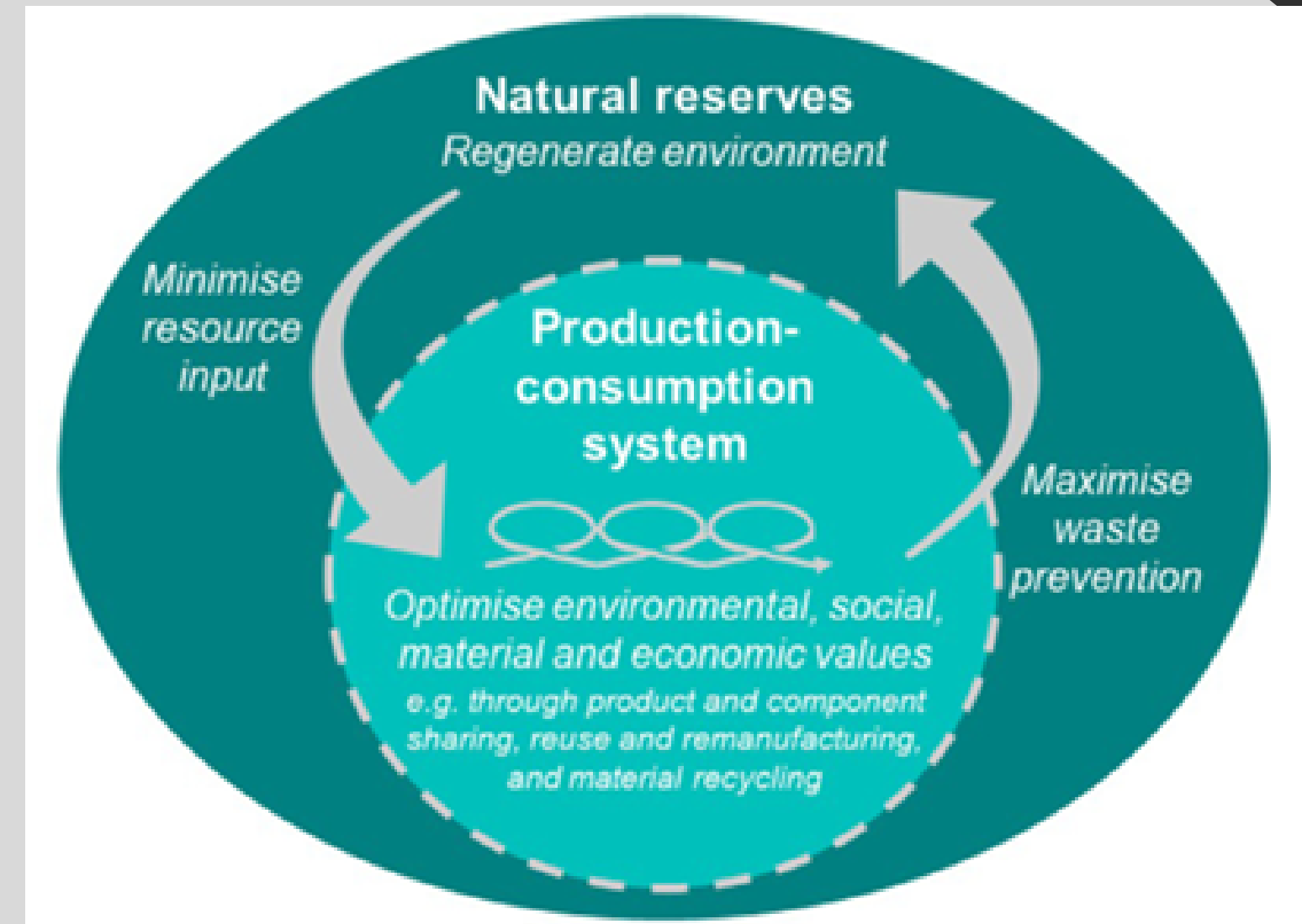


Figura 3. Princípios da economia circular.

Introdução

Microalgas

- Solução inovadora para várias indústrias.
- Crescem facilmente em ambientes diversos.
- Valorização de subprodutos, de forma a reduzir o desperdício.
- Contribuem para o ODS 2 (fome zero), ODS 9 (indústria, inovação e infraestruturas) e ODS 12 (produção e consumo sustentáveis).

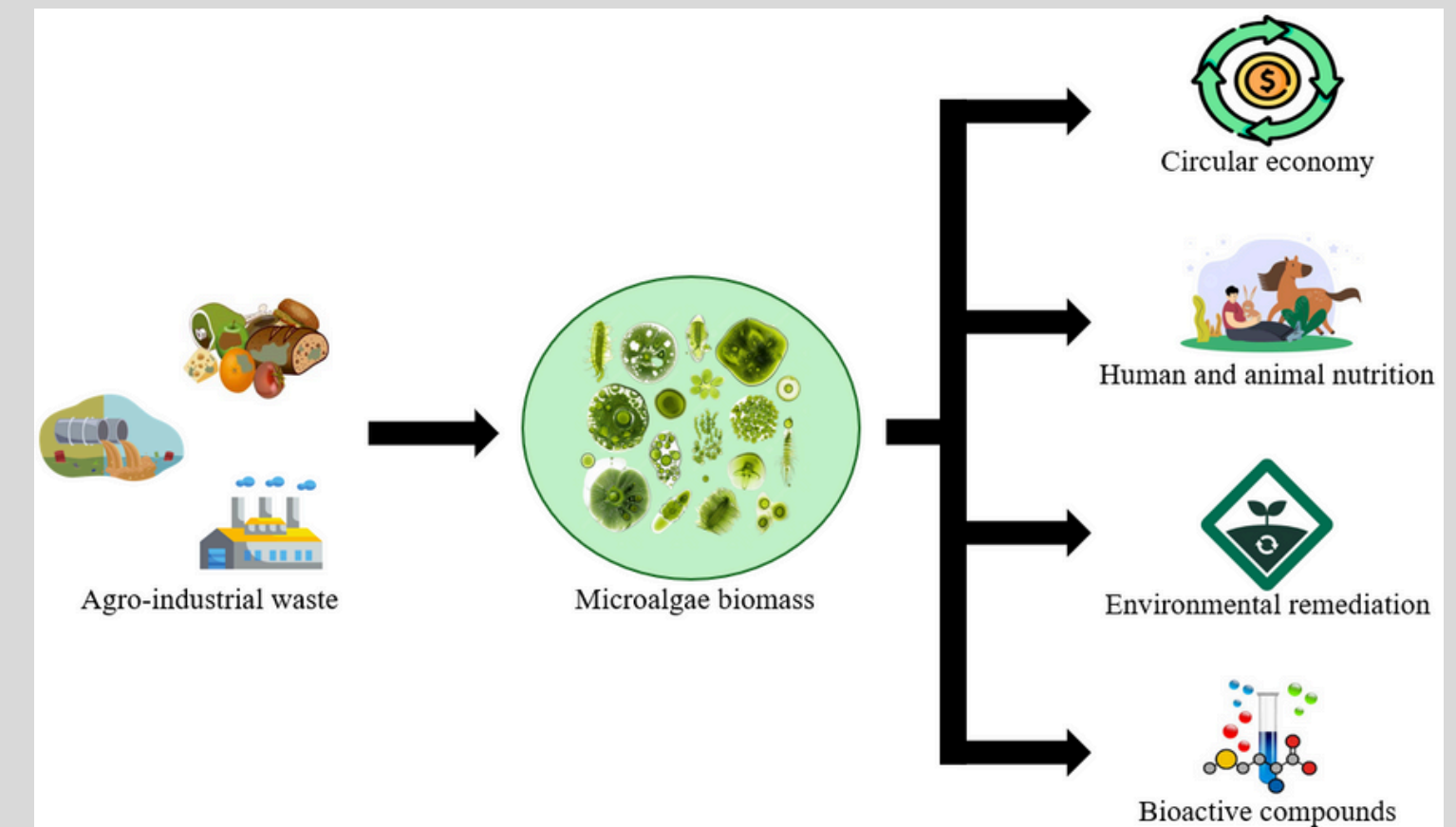


Figura 4. Capacidades das microalgas.

Objetivo

Alinhado com os ODS 2, 9 e 12 das Nações Unidas, este projeto pretende diminuir os impactos das atividades agroindustriais e do comércio alimentar, criando bioprocessos à base de microalgas que permitam mitigar e reutilizar resíduos orgânicos ricos em carbono.

1. Criar uma plataforma que reúna diversos resíduos e subprodutos agroindustriais;
2. Incorporar informação acerca das enzimas produzidas por diferentes espécies de microalgas nessa mesma plataforma;
3. Utilizar a plataforma para identificar quais os subprodutos que podem servir de substrato para a cultura de microalgas, indicando as espécies com maior potencial de crescimento em cada caso.

Metodologia

1. Pesquisar e analisar enzima capazes de degradarem açúcares como a lactose e sacarose. Estes são os alvos principais, mas a frutose, maltose e outros oligossacarídeos como amido e celulose também são válidos.
2. Utilizar bases de dados como o NCBI, AlgaeBase e AlgaTerra para recolher informações sobre as microalgas, nomeadamente a taxonomia e habitat.
3. Repetir o mesmo processo para as enzimas, de forma a obter conhecimento sobre os “enzyme comission numbers” e função, em bases de dados como a UniProt, Kegg Enzyme e Brenda.
4. Através da biblioteca Biopython, processar e analisar dos dados.
5. Por fim, criar uma “User Interface” através da biblioteca Streamlit do Python, onde seja possível visualizar e filtrar os resultados.

Resultados

Enzimas

Lactose:

- beta-galactosidade - 3.2.1.23
- lactase - 3.2.1.23

Sacarose:

- beta-fructofuranosidase - 3.2.1.26
- invertase - 3.2.1.26
- sacarase - 3.2.1.26

Frutose:

- fructokinase - 2.7.1.4

Maltose:

- maltase - 3.2.1.20

Amido:

- beta-amilase - 3.2.1.2
- alfa-amilase - 3.2.1.1

Celulose:

- celulase - 3.2.1.4

Resultados

Microalgas

("beta-galactosidase"[All Fields] OR lactase[All Fields]) AND ("Chlorophyta"[Organism] OR "Rhodophyta"[Organism] OR "Glaucophyta"[Organism] OR "Bacillariophyta"[Organism] OR "Haptophyta"[Organism])

Protein ("beta-galactosidase"[All Fields] OR lactase[All Fields]) AND ("Chlorophyta"[Organism] OR "Rhodophyta"[Organism] OR "Glaucophyta"[Organism] OR "Bacillariophyta"[Organism] OR "Haptophyta"[Organism]) [Create alert](#) [Advanced](#) [Help](#)

Species: Plants (108), Protists (78), Customize ...

Source databases: RefSeq (19), Customize ...

Sequence length: Custom range...

Molecular weight: Custom range...

Release date: Custom range...

Revision date: Custom range...

[Clear all](#)

[Show additional filters](#)

Summary ▾ 20 per page ▾ Sort by Default order ▾ Send to: ▾ **Filters:** [Manage Filters](#)

See the [results of this search \(132 items\)](#) in our new [Identical Protein Groups](#) database.

Items: 1 to 20 of 186

<< First < Prev Page of 10 Next > Last >>

☐ [Beta-galactosidase \[Picochlorum sp. SENEW3\]](#)

1. 1423 aa protein
Accession: WPT13832.1 GI: 2629884268
[BioProject](#) [Nucleotide](#) [Taxonomy](#)
[GenPept](#) [Identical Proteins](#) [FASTA](#) [Graphics](#)

☐ [Beta-galactosidase \[Scenedesmus sp. PABB004\]](#)

2. 557 aa protein
Accession: KAF8064504.1 GI: 1918018957
[BioProject](#) [Nucleotide](#) [Taxonomy](#)
[GenPept](#) [Identical Proteins](#) [FASTA](#) [Graphics](#)

☐ [beta-galactosidase \[Pseudoscourfieldia marina\]](#)

3. 586 aa protein
Accession: XRB14524.1 GI: 2954673893
[BioProject](#) [Nucleotide](#) [Taxonomy](#)
[GenPept](#) [Identical Proteins](#) [FASTA](#) [Graphics](#)

☐ [beta-galactosidase \[Pycnococcus provasolii\]](#)

4. 854 aa protein
Accession: XRB04322.1 GI: 2954663651
[BioProject](#) [Nucleotide](#) [Taxonomy](#)
[GenPept](#) [Identical Proteins](#) [FASTA](#) [Graphics](#)

Find related data

Database:

Search details

("beta-galactosidase"[All Fields] OR lactase[All Fields]) AND ("Chlorophyta"[Organism] OR "Rhodophyta"[Organism] OR "Glaucophyta"[Organism] OR "Bacillariophyta"[Organism] OR "Haptophyta"[Organism])

[See more...](#)

Recent activity

[Turn Off](#) [Clear](#)

Q ("beta-galactosidase"[All Fields] OR lactase[All Fields]) AND ("C... (186) Protein

Q ("fructokinase"[All Fields]) AND ("Chlorophyta"[Organism] OR "Rho... (4 Protein

Q "fructo (" AND fructokinase AND "[All Fields]) AND (" AND Chloro... (0) Protein

Q ("beta-fructofuranosidase"[All Fields] OR invertase[All Fields] O... (56) Protein

Q ("fructose dehydrogenase"[All Fields] OR "fructokinase"[All Field... (42) Protein

Filos:

- Chlorophyta - algas verdes
- Rhodophyta - algas vermelhas
- Glaucophyta - água doce
- Bacillariophyta - diatomáceas
- Haptophyta - algas douradas

Figura 5. Resultados de uma query no NCBI.

Resultados

Plataforma

```
ec_manual = {
    "beta-fructofuranosidase": "3.2.1.26",
    "beta-galactosidase": "3.2.1.23",
    "beta-d-galactosidase": "3.2.1.23",
    "lactase-phlorizin hydrolase": "3.2.1.62",
    "arabinanase/levansucrase/invertase": "3.2.1.26",
    "fructokinase": "2.7.1.4"
}

sugar_manual = {
    "beta-fructofuranosidase": "sacarose",
    "beta-galactosidase": "lactose",
    "beta-d-galactosidase": "lactose",
    "lactase-phlorizin hydrolase": "lactose",
    "arabinanase/levansucrase/invertase": "sacarose",
    "fructokinase": "fructose"
}

queries = [
    '("beta-galactosidase"[All Fields] OR "lactase"[All Fields])',
    '("beta-fructofuranosidase"[All Fields] OR "invertase"[All Fields] OR "sucrase"[All Fields])',
    '("fructokinase"[All Fields])'
]

taxa = ["Chlorophyta", "Rhodophyta", "Glaucophyta", "Bacillariophyta", "Haptophyta"]
```

Figura 6. Dados armazenados em dicionários e listas, para depois serem processados com o Biopython.

Resultados

Plataforma

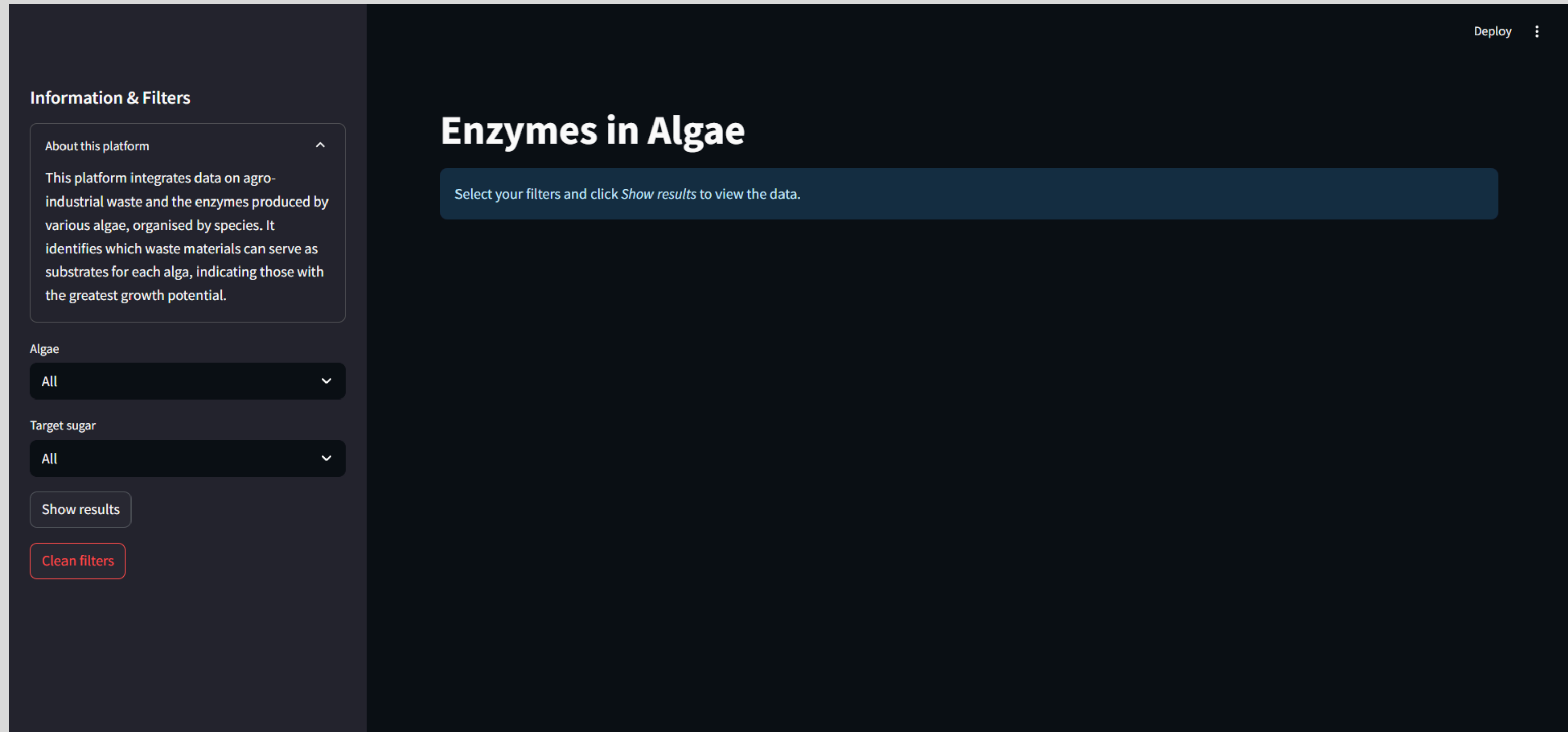
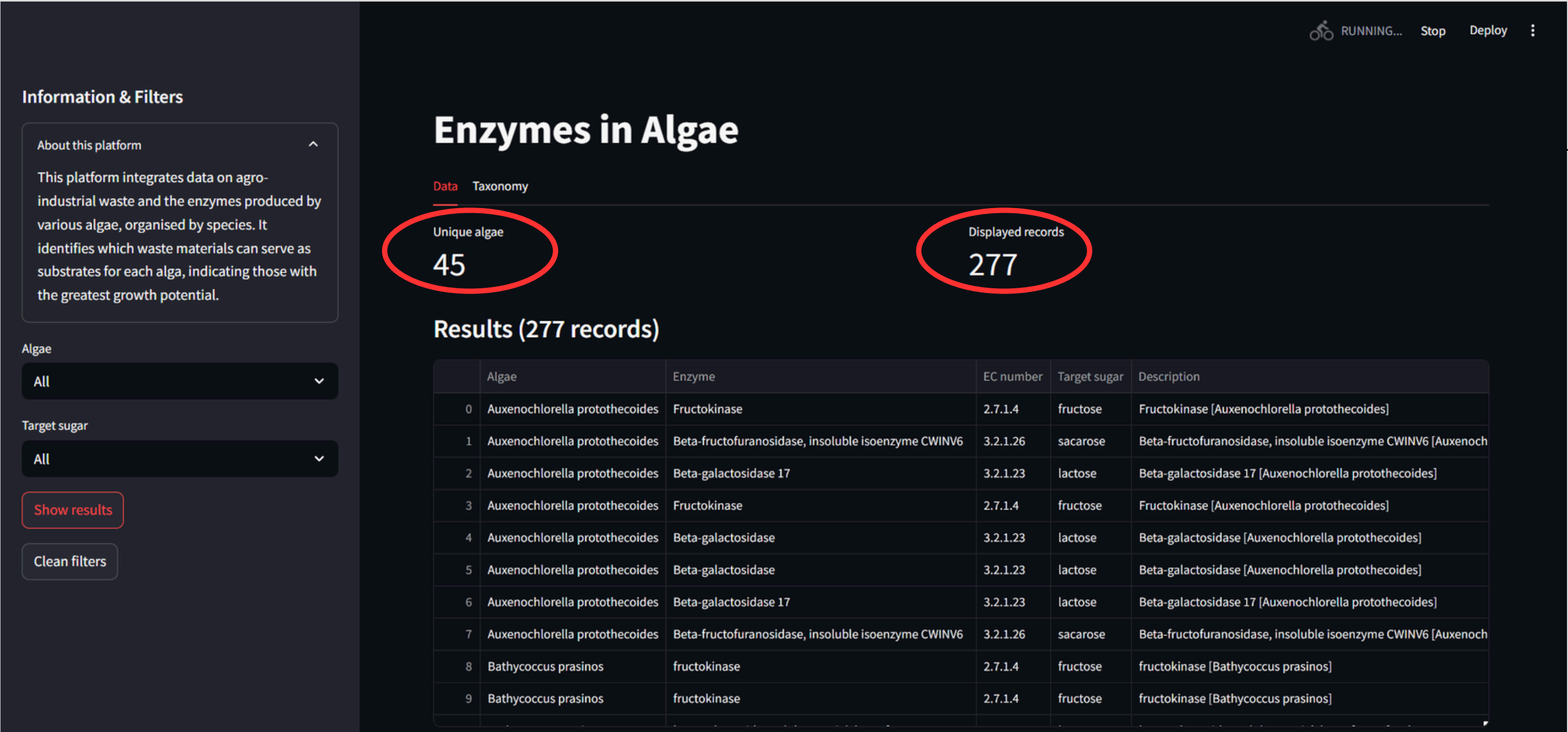


Figura 7. Interface inicial da plataforma.

Resultados

Plataforma



Até ao momento:

- 45 algas diferentes
- 277 resultados

Figura 8. Total de resultados até ao momento (04/06/2025).

Resultados

Plataforma

	Algae	Enzyme	EC number	Target sugar	Description	Status
0	Auxenochlorella protothecoides	Beta-galactosidase 17	3.2.1.23	lactose	Beta-galactosidase 17 [Auxenochlorella protothecoides]	●
1	Auxenochlorella protothecoides	Beta-fructofuranosidase, insoluble isoenzyme CWINV6	3.2.1.26	sacarose	Beta-fructofuranosidase, insoluble isoenzyme CWINV6 [Auxenochlorella protothecoides]	●
2	Auxenochlorella protothecoides	Fructokinase	2.7.1.4	fructose	Fructokinase [Auxenochlorella protothecoides]	●
3	Auxenochlorella protothecoides	Fructokinase	2.7.1.4	fructose	Fructokinase [Auxenochlorella protothecoides]	●
4	Auxenochlorella protothecoides	Beta-fructofuranosidase, insoluble isoenzyme CWINV6	3.2.1.26	sacarose	Beta-fructofuranosidase, insoluble isoenzyme CWINV6 [Auxenochlorella protothecoides]	●
5	Auxenochlorella protothecoides	Beta-galactosidase 17	3.2.1.23	lactose	Beta-galactosidase 17 [Auxenochlorella protothecoides]	●
6	Auxenochlorella protothecoides	Beta-galactosidase	3.2.1.23	lactose	Beta-galactosidase [Auxenochlorella protothecoides]	●
7	Auxenochlorella protothecoides	Beta-galactosidase	3.2.1.23	lactose	Beta-galactosidase [Auxenochlorella protothecoides]	●
8	Bathycoccus prasinos	beta-galactosidase	3.2.1.23	lactose	beta-galactosidase [Bathycoccus prasinos]	●
9	Bathycoccus prasinos	beta-galactosidase	3.2.1.23	lactose	beta-galactosidase [Bathycoccus prasinos]	●
10	Bathycoccus prasinos	fructokinase	2.7.1.4	fructose	fructokinase [Bathycoccus prasinos]	●
11	Bathycoccus prasinos	beta-galactosidase alpha-2,6 sialyltransferase	3.2.1.23	lactose	beta-galactosidase alpha-2,6 sialyltransferase [Bathycoccus prasinos]	●
12	Bathycoccus prasinos	beta-galactosidase alpha-2,6 sialyltransferase	3.2.1.23	lactose	beta-galactosidase alpha-2,6 sialyltransferase [Bathycoccus prasinos]	●
13	Bathycoccus prasinos	fructokinase	2.7.1.4	fructose	fructokinase [Bathycoccus prasinos]	●
14	Chlorella ohadii	hypothetical protein COHA_003000	unknown	unknown	hypothetical protein COHA_003000 [Chlorella ohadii]	●
15	Chlorella ohadii	hypothetical protein COHA_009986	unknown	unknown	hypothetical protein COHA_009986 [Chlorella ohadii]	●
16	Chlorella ohadii	hypothetical protein COHA_010515	unknown	unknown	hypothetical protein COHA_010515 [Chlorella ohadii]	●
17	Chlorella ohadii	hypothetical protein COHA_010514	unknown	unknown	hypothetical protein COHA_010514 [Chlorella ohadii]	●
18	Chlorella ohadii	hypothetical protein COHA_003000	unknown	unknown	hypothetical protein COHA_003000 [Chlorella ohadii]	●
19	Chlorella ohadii	hypothetical protein COHA_001073	unknown	unknown	hypothetical protein COHA_001073 [Chlorella ohadii]	●
20	Chlorella ohadii	hypothetical protein COHA_003000	unknown	unknown	hypothetical protein COHA_003000 [Chlorella ohadii]	●

Figura 9. Dataframe dividido por colunas, com os resultados.

Resultados

Plataforma

Algae

Auxenochlorella protothecoides

Target sugar

All

Unique algae

1

Displayed records

8

Results (8 records)

	Algae	Enzyme	EC number	Target sugar	Description	Status
0	Auxenochlorella protothecoides	Beta-galactosidase 17	3.2.1.23	lactose	Beta-galactosidase 17 [Auxenochlorella protothecoides]	<div></div>
1	Auxenochlorella protothecoides	Fructokinase	2.7.1.4	fructose	Fructokinase [Auxenochlorella protothecoides]	<div></div>
2	Auxenochlorella protothecoides	Beta-fructofuranosidase, insoluble isoe	3.2.1.26	sacarose	Beta-fructofuranosidase, insoluble isoenzyme CWINV6 [Auxenocl	<div></div>
3	Auxenochlorella protothecoides	Fructokinase	2.7.1.4	fructose	Fructokinase [Auxenochlorella protothecoides]	<div></div>
4	Auxenochlorella protothecoides	Beta-fructofuranosidase, insoluble isoe	3.2.1.26	sacarose	Beta-fructofuranosidase, insoluble isoenzyme CWINV6 [Auxenocl	<div></div>
5	Auxenochlorella protothecoides	Beta-galactosidase 17	3.2.1.23	lactose	Beta-galactosidase 17 [Auxenochlorella protothecoides]	<div></div>
6	Auxenochlorella protothecoides	Beta-galactosidase	3.2.1.23	lactose	Beta-galactosidase [Auxenochlorella protothecoides]	<div></div>
7	Auxenochlorella protothecoides	Beta-galactosidase	3.2.1.23	lactose	Beta-galactosidase [Auxenochlorella protothecoides]	<div></div>

Figuras 10 e 11. Exemplo de filtragem para todos os açúcares que a Auxenochlorella protothecoides consegue degradar.

Resultados

Plataforma

Algae

Auxenochlorella protothecoides

Target sugar

lactose

Unique algae

1

Displayed records

4

Results (4 records)

	Algae	Enzyme	EC number	Target sugar	Description	Status
0	Auxenochlorella protothecoides	Beta-galactosidase 17	3.2.1.23	lactose	Beta-galactosidase 17 [Auxenochlorella protothecoides]	<div></div>
1	Auxenochlorella protothecoides	Beta-galactosidase 17	3.2.1.23	lactose	Beta-galactosidase 17 [Auxenochlorella protothecoides]	<div></div>
2	Auxenochlorella protothecoides	Beta-galactosidase	3.2.1.23	lactose	Beta-galactosidase [Auxenochlorella protothecoides]	<div></div>
3	Auxenochlorella protothecoides	Beta-galactosidase	3.2.1.23	lactose	Beta-galactosidase [Auxenochlorella protothecoides]	<div></div>

Figuras 12 e 13. Exemplo de filtragem para saber se a Auxenochlorella protothecoides consegue degradar a lactose.

Resultados

Plataforma

Algae

All

Target sugar

lactose

Unique algae

33

Displayed records

129

Results (129 records)

	Algae	Enzyme	EC number	Target sugar	Description	Status
0	Auxenochlorella protothecoides	Beta-galactosidase	3.2.1.23	lactose	Beta-galactosidase [Auxenochlorella protothecoides]	<div></div>
1	Auxenochlorella protothecoides	Beta-galactosidase 17	3.2.1.23	lactose	Beta-galactosidase 17 [Auxenochlorella protothecoides]	<div></div>
2	Auxenochlorella protothecoides	Beta-galactosidase	3.2.1.23	lactose	Beta-galactosidase [Auxenochlorella protothecoides]	<div></div>
3	Auxenochlorella protothecoides	Beta-galactosidase 17	3.2.1.23	lactose	Beta-galactosidase 17 [Auxenochlorella protothecoides]	<div></div>
4	Bathycoccus prasinos	beta-galactosidase alpha-2,6 sialylt	3.2.1.23	lactose	beta-galactosidase alpha-2,6 sialyltransferase [Bathycoccus pra	<div></div>
5	Bathycoccus prasinos	beta-galactosidase alpha-2,6 sialylt	3.2.1.23	lactose	beta-galactosidase alpha-2,6 sialyltransferase [Bathycoccus pra	<div></div>
6	Bathycoccus prasinos	beta-galactosidase	3.2.1.23	lactose	beta-galactosidase [Bathycoccus prasinos]	<div></div>
7	Bathycoccus prasinos	beta-galactosidase	3.2.1.23	lactose	beta-galactosidase [Bathycoccus prasinos]	<div></div>
8	Chlorella sorokiniana	Beta-galactosidase isoform B	3.2.1.23	lactose	Beta-galactosidase isoform B [Chlorella sorokiniana]	<div></div>
9	Chlorella sorokiniana	Beta-galactosidase isoform A	3.2.1.23	lactose	Beta-galactosidase isoform A [Chlorella sorokiniana]	<div></div>
						<div></div>

Figuras 14 e 15. Exemplo de filtragem para saber todas as algas que conseguem degradar a lactose.

Resultados

Plataforma



74	Coccomyxa sp. Obi	probable beta-galactosidase	unknown	unknown	probable beta-galactosidase [Coccomyxa sp. Obi]	
75	Coccomyxa sp. Obi	beta-galactosidase	3.2.1.23	lactose	beta-galactosidase [Coccomyxa sp. Obi]	

Figura 16. Coluna “Status”

- Para enzimas confirmadas pelo NCBI, o “status” aparece como verde.
- Para as enzimas prováveis, similares, putativas e hipotéticas, o “status” aparece como amarelo.
- Para as enzimas que não estão sequer caracterizadas ou ainda não há estudos suficientes, o “status” aparece como vermelho.

Resultados

Plataforma

Enzymes in Algae	
Data	Taxonomy
Taxonomy Details	
Auxenochlorella protothecoides	▼
Bathycoccus prasinus	▼
Chlorella ohadii	▼
Chlorella sorokiniana	▼
Chlorella variabilis	▼
Chlorella vulgaris	▼
Chloropicon primus	▼
Chloropicon roscoffensis	▼

Figura 17. Aba com a taxonomia de cada alga.

Resultados

Plataforma

Enzymes in Algae

Data Taxonomy

Taxonomy Details

Auxenochlorella protothecoides

- cellular organisms
- Eukaryota
- Viridiplantae
- Chlorophyta
- core chlorophytes
- Trebouxiophyceae
- Chlorellales
- Chlorellaceae
- Auxenochlorella

Figura 18. Exemplo da taxonomia de Auxenochlorella protothecoides.

Conclusão

- Os resíduos agroindustriais causam bastantes consequências a nível ambiental e socioeconómico.
- Devem ser analisados e cuidadosamente, de forma a escolher uma alternativa mais sustentável para a sua valorização.
- As microalgas são uma solução eficiente para a valorização destes resíduos e a promoção de processos circulares.
- A plataforma ajuda a identificar as microalgas mais apropriadas para cada caso, de acordo com o tipo de substrato (açúcar).



Desenvolvimento de uma plataforma bioinformática para eficiente gestão e biotransformação de resíduos agroindustriais pelo cultivo de microalgas

Orientadores: Pedro Geada e Filipe Maciel

Vítor Silva PG55538