

POTENCIAL BIOMÁSSICO PARA ENERGIA



GRELHA DE CARACTERIZAÇÃO PARA ENERGIA

<http://converte.lneg.pt/>



ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO

CONVERTE - Potencial biomássico para energia	5
Tipologia de amostras – casos de estudo	6
Soluções tecnológicas e produtos energéticos	7
Valor sustentável	9

2. GRELHA DE CARACTERIZAÇÃO PARA ENERGIA

Distribuição das amostras por tipos de matriz	11
Admissibilidade das amostras às tecnologias	12
Caracterização físico-química, definição de parâmetros discriminantes por tipo de matriz e grelha de critérios de admissibilidade às tecnologias	13
Grelha de caracterização para energia – Notas explicativas para aplicação aos casos de estudo	19

3. ADMISSIBILIDADE DAS AMOSTRAS ÀS TECNOLOGIAS - Aplicação a casos de estudo

Tipo de Matriz 1: RESÍDUOS SÓLIDOS E LAMAS ESPESSAS	24
FRAÇÃO ORGÂNICA DE RESÍDUOS URBANOS E LAMAS DE ETAR (I.1.)	24
Resíduos da recolha seletiva de orgânicos (HORECA)	25
Resíduos da recolha seletiva de verdes	26
Fração para composto após tratamento mecânico e biológico	27
Fração para valorização orgânica após tratamento mecânico	28
Lamas de ETAR	29
RESUMO I.1.	30
BIORRESÍDUOS E SUBPRODUTOS PRODUZIDOS EM CONTEXTO INDUSTRIAL E LAMAS DE ETARI (I.2.)	31
Resíduos da produção de azeite (bagaço)	32





ÍNDICE

Resíduos da produção de azeite (folhas de oliveira)	33
Resíduos da produção de azeite (caroço de azeitona)	34
Resíduos do processamento da castanha	35
Resíduos do processamento da alfarroba	36
Resíduos da produção do vinho (folhelho)	37
Resíduos do processamento do tomate	38
Lamas de ETARI do processamento do tomate	39
Resíduos de avicultura	40
Lamas primárias da indústria da pasta e papel	41
Lamas de ETARI da indústria do laticínios	42
Lamas de ETARI do processamento de fruta	43
RESUMO I.2.	44
Tipo de Matriz 2: LAMAS LÍQUIDAS E GORDURAS	46
FRAÇÃO ORGÂNICA DE RESÍDUOS URBANOS (II.1.)	47
Fração para valorização orgânica por digestão anaeróbia (líquida)	47
BIORRESÍDUOS E SUBPRODUTOS PRODUZIDOS EM CONTEXTO INDUSTRIAL E LAMAS DE ETARI (II.2.)	48
Resíduos da produção de azeite com elevado teor de gordura	49
Resíduos do processamento de fruta	50
Subprodutos da indústria dos laticínios	51
Lamas da ETARI da produção de vinho	52





ÍNDICE

Lamas da ETAR do processamento da castanha	53
Lamas da ETAR da indústria dos laticínios, com elevado teor de gordura	54
RESUMO II.1. e II.2.	55
Tipo de Matriz 3: EFLUENTES	56
BIORRESÍDUOS E SUBPRODUTOS PRODUZIDOS EM CONTEXTO INDUSTRIAL E LAMAS DE ETAR (III.1.)	56
Efluentes da produção de azeite	57
Efluentes da indústria dos laticínios	58
Efluentes de suinicultura	59
Efluentes de avicultura	60
RESUMO III.1.	61
4. RENDIMENTOS E TAXAS DE CONVERSÃO- Casos de estudo por tecnologia	
Fração orgânica de resíduos urbanos: resíduos sólidos e lamas espessas / lamas líquidas e gorduras	63
Biorresíduos e subprodutos produzidos em contexto industrial: resíduos sólidos e lamas espessas	64
Biorresíduos e subprodutos produzidos em contexto industrial: lamas líquidas e gorduras	67
Biorresíduos e subprodutos produzidos em contexto industrial: efluentes	69
5. FLUXOGRAMAS DE PROCESSO E VALOR SUSTENTÁVEL POR TECNOLOGIA	70
6. GRELHA DE CARACTERIZAÇÃO PARA ENERGIA – Ficha técnica	75
7. BIBLIOGRAFIA	78
8. EQUIPA	79





O projeto CONVERTE pretendeu identificar de uma forma objetiva e quantitativa as diferentes tipologias de biomassas endógenas que pudessem ser aplicadas no curto-médio prazo em soluções tecnológicas viáveis para a produção de eletricidade, calor, vetores energéticos e biocombustíveis avançados, e que cumprissem os critérios de sustentabilidade definidos pelas Diretivas Europeias, em particular na Diretiva (UE) 2015/1513 (ILUC).

Grelha de Caracterização para Energia

- Hierarquização de diferentes tipologias de biomassa residual relativamente ao seu potencial para a conversão em energia, com identificação dos parâmetros diferenciadores relativamente à admissibilidade e encaminhamento tecnológico, bem como ao produto energético final.
- Seleção de casos de estudo para determinar o rendimento e a produtividade das melhores combinações de Tipologia do Recurso Biomássico x Solução Tecnológica e Produto Energético , considerando oito tecnologias distintas para a produção de eletricidade, calor, vetores energéticos e biocombustíveis avançados, distintas em termos de grau de maturidade.



Tipologia de amostras – casos de estudo



- Resíduos da recolha seletiva de orgânicos (HORECA)
- Resíduos da recolha seletiva de verdes
- Fração para composto após tratamento mecânico e biológico (TMB)
- Fração para valorização orgânica após tratamento mecânico (TM)
- Lamas de ETAR



- Resíduos e subprodutos sólidos
- Resíduos com gordura
- Efluentes líquidos
- Lamas de ETAR



Soluções Tecnológicas e Produtos Energéticos – casos de estudo

Tecnologia		Produto	Grau de maturidade	Coprodutos
T1	▪ Transesterificação - direta		Comercial (UE e Portugal)	Glicerol
	- direta, usando óleo de origem microbiana produzido previamente a partir de resíduos não-oleosos	Biodiesel (FAME)	I&D (UE e Portugal)	Carotenóides com valor comercial
T2	▪ Digestão anaeróbia	Biogás e Biometano	Comercial (UE e Portugal: apenas biogás)	Fertilizante
T3	▪ Fermentação	Bioetanol	Comercial/Demonstração para produção de bioetanol de 2ª geração (UE) I&D (Portugal)	Lenhina
T4	▪ Fermentação	Bio-hidrogénio	Demonstração (Taiwan) I&D (Portugal)	Ácidos orgânicos



Soluções Tecnológicas e Produtos Energéticos – casos de estudo

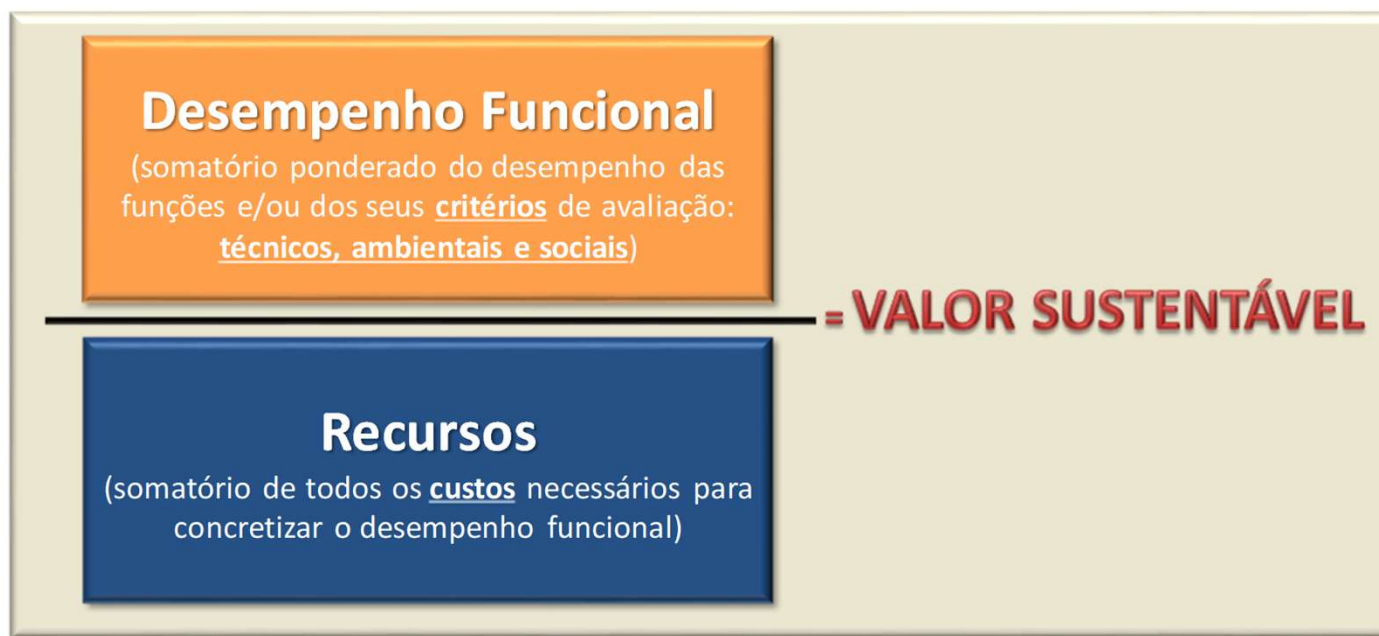
Tecnologia		Produto	Grau de maturidade	Coprodutos
T5	▪ Combustão	Eletricidade e Calor	Comercial (EU e Portugal)	—
T6	▪ Gasificação	Gás de Síntese	Comercial (UE e Portugal)	Biochar
T7	▪ Pirólise	Bio-óleos	Comercial (UE) I&D (Portugal)	Biogás e Biochar
T8	▪ Liquefação hidrotérmica	Bio-óleos	I&D (UE e Portugal)	Biogás e Biochar



Valor Sustentável

A estimativa do indicador “Valor Sustentável” associado a cada uma das tecnologias de conversão baseia-se na quantificação da relação entre o Desempenho Funcional e os Recursos Envolvidos. Este indicador foi determinado com base em fluxogramas de processo elaborados para cada tecnologia testada no CONVERTE.

O indicador “Valor Sustentável” permite ponderar soluções alternativas que aumentem o Valor do objeto de estudo através da melhoria dos processos, produtos e tecnologias existentes.





Distribuição das amostras por tipos de matriz

Fração orgânica de resíduos urbanos e
lamas de ETAR



Biorresíduos e subprodutos produzidos
em contexto industrial e lamas de ETAR



Tipos de matriz

Resíduos
sólidos e
lamas
espessas

Lamas
líquidas e
gorduras

Efluentes



Admissibilidade das amostras às tecnologias

Objetivo

Avaliar a admissibilidade das amostras recebidas, como casos de estudo no CONVERTE, tendo por base os parâmetros analíticos que foram considerados discriminantes para cada uma das oito tecnologias estudadas e de acordo com os valores limite definidos na Grelha de Caracterização para Energia.

Estes valores foram determinados com base em:

- Características específicas de cada tecnologia de conversão bioquímica e termoquímica considerada (cf. fluxogramas de processo)
- Agrupamento das amostras recebidas como casos de estudo no CONVERTE de acordo com 3 tipos de matriz (Resíduos sólidos e lamas espessas; Lamas líquidas e gorduras; Efluentes)
- Produto principal a obter por tecnologia e tipologia de amostra

GRELHA DE CARACTERIZAÇÃO PARA ENERGIA – critérios de admissibilidade

TECNOLOGIAS ^{1,2}	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6	T 7		T 8
	Trans- esterificação	Digestão Anaeróbia	Fermentação Alcoólica	Fermentação Escura	Combustão	Gaseificação	Sólida	Líquida	Liquefação Hidrotermica
Umidade Total, % (m/m), a.r.					< 40	< 20	< 20	< 20	50 - 80
Cleo, % (m/m), a.r.	> 40	< 30						> 30	
Acido Kjeldahl, % (m/m), a.r.		> 0,01							
Sólidos Totais Voláteis, % (m/m), a.r.		> 15							
Razão C/N		10 - 60							
Açúcares totais no hidrolisado (em g/lugares), % (m/m), b.s.			> 20	> 30					
Cinzas @15 °C, % (m/m), b.s.					< 20	< 20	< 20		< 20
Cl, % (m/m), b.s.					< 1	< 1	< 1		< 1
S, % (m/m), b.s.					< 2	< 2	< 2		< 2
PCO ₂ (MJA/g), b.s.					> 16	> 16	> 16		
Densidade aparente (kg/m ³)					> 120				
Diâmetro médio partícula, d ₅₀ (mm)					< 80	< 2			
Razão H/C									0,08 - 0,15
PRODUTOS ^{3,4}	Biodiesel	Biogás	Bio- Etanol	Bio- Hidrogénio	Elettricidade e calor	Gás síntese	Bio-óleos		



Caracterização Físico-Química das amostras

Ensaio sobre amostra tal qual recebida no laboratório

Humidade Total, pH, Condutividade a 25 °C,
Granulometria - **diâmetro médio das partículas**;
Densidade aparente

Avaliação do potencial para conversão bioquímico

Cinzas a 550°C
Sólidos Totais Voláteis
Azoto Kjeldahl
Azoto amoniacal
Óleo
Açúcares:
Glucose no hidrolisado
Xilose/Manose/Galactose no
hidrolisado
Arabinose no hidrolisado
**Açúcares totais no
hidrolisado**
Ácido acético no hidrolisado
Compostos orgânicos insolúveis
em ácido

Avaliação do potencial para conversão termoquímica

Cinzas a 815 °C
Matéria Volátil
Carbono Fixo
Carbono, Azoto e Hidrogénio
Flúor, **Cloro** e **Enxofre**
Fósforo
Poder Calorífico Superior
Poder Calorífico Inferior
Elementos maiores e menores:
Alumínio, Cálcio, Ferro,
Magnésio, Manganês,
Potássio, Silício, Sódio,
Titânio, Zinco, Mercúrio

Parâmetros discriminantes

- Humidade Total
- Óleo
- Azoto Kjeldahl
- Sólidos Totais Voláteis
- Razão Carbono / Azoto
- Razão Hidrogénio / Carbono
- Açúcares totais no hidrolisado
- Cinzas a 815 °C
- Cloro
- Enxofre
- Poder Calorífico Superior
- Densidade aparente
- Diâmetro médio partículas



Critérios de admissibilidade às tecnologias

1ª etapa	TECNOLOGIAS ⇒	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6	T 7		T 8
Parâmetro		Trans- esterificação	Digestão Anaeróbia	Fermentação Alcoólica	Fermentação Escura	Combustão	Gasificação	Pirólise		Liquefação Hidrotérmica
								Sólida	Líquida	
Hum.TOTAL, % (m/m), ar						≤ 40	≤20	≤ 20	≤ 20	50 - 80
Óleo, % (m/m), ar		≥ 40	≤ 30						≥ 30	
Azoto Kjeldahl, % (m/m), ar			≥ 0,01							
Sólidos Totais Voláteis, % (m/m), ar			≥ 0,5							
Razão C / N			10 - 60							
Açúcares totais no hidrolisado (em glucose), % (m/m), d				≥ 20	≥ 25					
Cinzas 815 °C, % (m/m), d						≤ 20	≤ 20	≤ 20		≤ 20
Cl, % (m/m), d						≤ 1	≤ 1	≤ 1		≤ 1
S, % (m/m), d						≤ 2	≤ 2	≤ 2		≤ 2
PCS, (MJ/kg), d						≥ 16	≥ 16	≥ 16		
Densidade aparente (kg/m³)							≥ 120			
Diâmetro médio partículas, d ₅₀ (mm)							≤ 80	≤ 2		≤10
Razão H / C										0,08 – 0,15
PRODUTOS ⇒		Biodiesel	Biogás	Bio- Etanol	Bio- Hidrogénio	Eletricidade e calor	Gás síntese	Bio-óleos		



2ª etapa	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7-Sól.	T7-Liq.	T8
Critérios a satisfazer após eventual ajuste de humidade^(a) e dimensão das partículas^(b)									
Humidade Total, % (m/m), após (a)					≤ 40	≤ 20	≤ 20	≤ 20	50 - 80
R _{Hum} = Hum.TOTAL, a.r. / Hum.TOTAL, após (a)					1 < R _{Hum} ≤ 1,5	1 < R _{Hum} ≤ 3	1 < R _{Hum} ≤ 3	1 < R _{Hum} ≤ 2,5	0,6 ≤ R _{Hum} < 1
Diâmetro médio partículas, d ₅₀ (mm)						≤ 80	≤ 2		< 10

a.r. – como recebida

d – base seca

(a) – Secagem natural (T5, T6, T7-Sól.), Decantação (T7-Liq.) ou Humidificação (T8)

(b) - Moagem



Definição de parâmetros discriminantes

Conversão bioquímica e termoquímica

Caracterização Físico-Química das amostras

Ensaio sobre amostra recebida no laboratório

pH	
Condutividade elétrica	
Humidade Total	Azoto Kjeldahl
Sólidos totais	Azoto amoniacal
Sólidos totais voláteis	Açúcares:
Sólidos suspensos totais e voláteis	Glucose no hidrolisado
Sólidos dissolvidos totais	Xilose/Manose/Galactose no hidrolisado
Densidade a 20 °C	Arabinose no hidrolisado
Cinzas a 815 °C e a 550 °C	açúcares totais no hidrolisado
Ácidos Gordos Voláteis:	Fluoreto, Cloreto, Fosfato, Nitrato, Sulfato
Ác. Acético, Ác. Propanóico, Ác. iso-butanóico, Ác. Butanóico, Ác. iso-pentanóico, Ác. Pentanóico	Fósforo
Teor de óleo	Elementos maiores e menores:
Carência Química de Oxigénio	Alumínio, Cálcio, Ferro, Magnésio, Manganês, Potássio, Silício, Sódio, Titânio, Zinco, Mercúrio
Carência Bioquímica de Oxigénio a 5 dias	

Ensaio sobre amostra seca a 30°C

Humidade a 30 °C; **Poder Calorífico Superior**; **Carbono**, **Azoto**, **Hidrogénio**; Flúor, **Cloro** e **Enxofre**

Parâmetros discriminantes

- Humidade Total
- Óleo
- Azoto Kjeldahl
- Sólidos Totais Voláteis
- Razão Carbono / Azoto
- Razão Hidrogénio / Carbono
- Açúcares totais no hidrolisado
- Cinzas a 815 °C
- Cloro
- Enxofre
- Poder Calorífico Superior

Critérios de admissibilidade às tecnologias

TECNOLOGIAS ⇒	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6	T 7		T 8
Parâmetro	Trans-esterificação	Digestão Anaeróbia	Fermentação Alcoólica	Fermentação Escura	Combustão	Gasificação	Pirólise		Liquefação Hidrotérmica
							Sólida	Líquida	
Humidade Total, % (m/m), a.r.					≤ 40	≤ 20	Tecnologia não aplicável a esta matriz	≤ 20	50 - 80
Óleo, a.r. (g/L)	≥ 300	≤ 250						≥ 250	
Azoto Kjeldahl, a.r. (g/L)		≥ 0,1							
Sólidos Totais Voláteis, a.r. (g/L)		≥ 1							
Razão C / N		10 - 60							
Açúcares totais no hidrolisado (em glucose), % (m/m), d			≥ 20	≥ 25					
Cinzas 815 °C, % (m/m), d					≤ 20	≤ 20			≤ 20
Cl, % (m/m), d					≤ 1	≤ 1			≤ 1
S, % (m/m), d					≤ 2	≤ 2			≤ 2
PCS, (MJ/kg), d					≥ 16	≥ 16			
Densidade aparente (kg/m³)						≥ 120			
Diâmetro médio partículas, d ₅₀ (mm)						≤ 80			≤10
Razão H / C									0,08 – 0,15
PRODUTOS ⇒	Biodiesel	Biogás	Bio-Etanol	Bio-Hidrogénio	Eletricidade e calor	Gás síntese	Bio-óleos		



	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7-Sól.	T7-Liq.	T8
Critérios a satisfazer após eventual ajuste de humidade^(a) e dimensão das partículas^(b)									
Humidade Total, % (m/m), a.r.					≤ 40	≤ 20		≤ 20	50 - 80
$R_{Hum} = \text{Hum.TOTAL, a.r.} / \text{Hum.TOTAL, após (a)}$					$1 < R_{Hum} \leq 1,5$	$1 < R_{Hum} \leq 3$		$1 < R_{Hum} \leq 2,5$	$0,6 \leq R_{Hum} < 1$
Diâmetro médio partículas, d ₅₀ (mm)						≤ 80			≤ 10

a.r. – como recebida d – base seca

(a) – Secagem natural (T5, T6, T7-Sól.), Decantação (T7-Liq.) ou Humidificação (T8)

(b) - Moagem



Caracterização Físico-Química das amostras

Ensaio sobre amostra recebida no laboratório

pH Condutividade elétrica Humidade Total e matéria seca Sólidos totais Sólidos totais voláteis Sólidos suspensos totais e voláteis Sólidos dissolvidos totais Densidade a 20 °C Azoto amoniacal Azoto Kjeldahl Carência Química de Oxigénio Carência Bioquímica de Oxigénio a 5 dias Açúcares: Xilose/Manose/Galactose no hidrolisado Arabinose no hidrolisado Açúcares totais no hidrolisado Fluoreto, Cloreto Fosfato Nitrato Sulfato	Índice de fenol Fósforo total Óleo Perda de massa a 550 °C e 815 °C Cinzas a 815 °C Ácidos Gordos Voláteis: Ác. Acético, Ác. Propanóico, Ác. <i>iso</i>-butanóico, Ác. Butanóico, Ác. <i>iso</i>-pentanóico, Ác. Pentanóico Elementos maiores e menores: Alumínio, Cálcio, Ferro, Magnésio, Manganês, Potássio, Silício, Sódio, Titânio, Zinco, Mercúrio Crómio, Cádmio, Chumbo, Cobre, Níquel
--	--

Parâmetros discriminantes

- Óleo
- Sólidos Totais Voláteis
- Razão Carência Química de Oxigénio / Azoto Kjeldahl
- Açúcares totais no hidrolisado

1ª etapa	TECNOLOGIAS ⇒								
Parâmetro	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6	T 7		T 8
	Trans-esterificação	Digestão Anaeróbia	Fermentação Alcoólica	Fermentação Escura	Combustão	Gasificação	Sólida	Líquida	Liquefação Hidrotérmica
Humidade Total, % (m/m), a.r.					Tecnologias não aplicáveis a esta matriz.				
Óleo, a.r. (g/L)	≥ 300	≤ 250							
Sólidos Totais Voláteis, a.r. (g/L)		≥ 1							
Razão CQO/Azoto Kjeldahl		20 – 60							
Açúcares totais no hidrolisado (em glucose), % (m/m), d			≥ 20	≥ 25					
Cinzas 815 °C, % (m/m), d									
Cl, % (m/m), d									
S, % (m/m), d									
PCS, (MJ/kg), d									
Densidade aparente (kg/m³)									
Diâmetro médio partículas, d ₅₀ (mm)									
Razão H / C									
PRODUTOS ⇒	Biodiesel	Biogás	Bio-Etanol	Bio-Hidrogénio	Eletricidade e calor	Gás síntese	Bio-óleos		

d – base seca

