



TECFOR

TECNOLOGIA PARA
A MOBILIZAÇÃO E
APROVEITAMENTO DE
BIOMASSA FLORESTAL
NA AGROINDÚSTRIA

Desenvolvimento e Implementação de um Demonstrador

*Avaliação do Desempenho Térmico da
Caldeira da Floralves*







ÍNDICE

01	Enquadramento	4
02	Caraterização do demonstrador	6
03	Caraterização do processo de queima	10
04	Determinação da eficiência do processo de queima	12
05	Comparação da utilização das caldeiras de biomassa em relação à caldeira a gás natural	16

01. ENQUADRAMENTO



No ano de 2017 surge o projeto GOTECFOR - Tecnologia para a mobilização e aproveitamento de Biomassa Florestal (BF), promovido pela FORESTIS – Associação Florestal de Portugal e que conta com os parceiros INESC TEC - Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores, Tecnologia e Ciência na agroindústria, INEGI - Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial, Floresta Jovem e Floralves.

O GOTECFOR surgiu para dar resposta aos seguintes objetivos:

- Identificar soluções de desenvolvimento tecnológico que contribuam para ultrapassar as barreiras existentes;
- Testar soluções técnicas existentes para a recolha da Biomassa Florestal (BF) de forma mais eficiente;
- Identificar os principais obstáculos existentes ao longo da cadeia de valor e testar ferramentas de apoio no âmbito dos processos logísticos para otimização da cadeia de abastecimento;
- Propor modelos integrados de soluções de produção de energia em função da tipologia dos consumidores;
- Difundir técnicas e tecnologias apropriadas para o aproveitamento da BF;
- Aplicar resultados do projeto europeu FOCUS para a gestão da cadeia de abastecimento da biomassa em Portugal.

Uma vez que, as tecnologias mais comuns de utilização da BF para fins energéticos, são aquelas que a transformam em calor (por combustão), as quais apresentam uma maior eficiência (com rendimentos entre 85 a 90%).

Em termos ambientais, as vantagens também são importantes, já que a utilização de 2,5 toneladas de biomassa para a produção de calor permite a substituição de 1 Tep (toneladas equivalente de petróleo) e evita aproximadamente 3,1 toneladas de emissões de CO₂. De referir que o CO₂ gerado no aquecimento através da

utilização da biomassa pode ser reintroduzido nas estufas ou culturas protegidas para aumentar a produção.

No âmbito deste projeto, a Floralves apresenta-se como entidade demonstradora dos resultados oriundos deste projeto. Os principais custos associados a culturas produzidas em estufas estão relacionados com a energia e o ambiente. Ressalta assim, a preocupação crescente atribuída a estas duas componentes, pelo impacto que representam na imagem e na competitividade destas empresas. Esta condição é ainda mais relevante, quando falamos da floricultura, cuja produção se rege por superiores exigências em climatização e, por conseguinte, em maiores consumos energéticos e impacto ambiental.

Estes pressupostos induzem os empresários do setor, a realizar os seus investimentos, em zonas com climas mais moderados, cientes de que, esta circunstância deprecia os encargos associados à produção e sustentabilidade.

Em suma pretende-se com este projeto e com a sua demonstração, comprovar o verdadeiro potencial atual dos nossos recursos florestais – biomassa florestal - largamente subaproveitada e anualmente perdida em incêndios, associada às necessidades concretas da floresta e culturas protegidas.

Nesse âmbito toda a cadeia de valor desde os produtores florestais, empresas de recolha e transporte de biomassa, produtores de culturas protegidas e centrais de biomassa e suas associações setoriais e empresariais, serão os principais utilizadores destas soluções.

A Floralves é um dos últimos elementos desta cadeia de valor uma vez que representa o consumidor final, que poderá utilizar este tipo de produto para aumentar a sua qualidade e a produtividade. Espera-se que no futuro seja um exemplo a seguir por novos e diferentes consumidores finais.

Ainda no âmbito do projeto, encontra-se em desenvolvimento a monitorização em termos de consumos energéticos e terá como principal objetivo a comparação da utilização de caldeira a biomassa para aquecimento da estufa, em relação a um cenário base em que a estufa era aquecida por uma caldeira a Gás Natural (GN), com injeção de CO₂ (proveniente dos gases de exaustão da caldeira a GN) – cenário que se observava na Floralves.

02. CARATERIZAÇÃO DO DEMONSTRADOR

A Floralves é uma empresa fundada em 2008 que se dedica à produção de flores e comercialização de plantas. As suas instalações encontram-se situadas próximas de Vila do Conde. Tal como referenciado, cultiva vários tipos de flores entre as quais salientam-se as rosas, gerberas, Alstroemerias, Lisianthus, girassóis, Liliun, cravos, Statice e Proteas.



Figura 1. Instalação Piloto (Estufa de Rosas da Floralves).

No caso específico das rosas, esta empresa possui uma estufa dedicada a esta cultura, com uma área de cultivo de cerca de 1 ha.

De forma a incrementar a produção deste tipo de flores, a Floralves adquiriu no passado uma caldeira a gás natural com uma potência nominal de 2300 kW. Esta caldeira aquecia água até determinada temperatura que era distribuída por uma rede hidráulica instalada em toda estufa de forma a proceder ao seu aquecimento nos períodos mais frios do ano. Os gases de exaustão produzidos durante o processo de combustão eram injetados na estufa de forma a auxiliar o processo de crescimento das flores e, desta forma, incrementar a produção de rosas.

Com a escalada de preços associados à aquisição deste tipo de combustível, tornou-se inviável a utilização desta forma de aquecimento, pelo que a Floralves abandonou esta solução.

Equipamentos utilizados

Nesse sentido, a Floralves adquiriu duas caldeiras a biomassa da marca Keima (modelo KA400) com uma potência nominal de 522 kW por caldeira, para aquecer água que será posteriormente utilizada para efeitos de aquecimento da estufa.

Na figura 2 apresentam-se as caldeiras em questão.

As características técnicas dos equipamentos supracitados são apresentados na Tabela 1.



Figura 2. Caldeiras instaladas na empresa Floralves.

Tabela 1. Características técnicas das caldeiras

Caraterística	Valor
Potência útil [kW]	465
Potência Nominal [kW]	522
Rendimento [%]	89%
Consumo de Combustível [kg/h]*	34-110
$T_{\text{gás}}$ [°C]	115-180
$T_{\text{máx.água}}$ [°C]	90
Pressão trabalho [bar]	6
Peso [kg]	2300
Volume de água [l]	1620
Dimensões AxLxC [mm]	2560x1550x2210

Arquitetura do sistema

A arquitetura do sistema implementado na Floralves numa maneira simplista apresenta-se na figura seguinte.

O sistema é composto por duas caldeiras, as quais funcionavam com estilha de biomassa florestal. Essa estilha é descarregada para um reservatório com capacidade de 25 m³, o qual possui um sistema hidráulico que alimenta essa estilha aos parafusos sem-fim, os quais por sua vez irão encaminhar essa estilha para o interior de cada caldeira de acordo com as solicitações operativas em termos de temperatura de saída da água de cada uma das caldeiras.

Essas solicitações operativas consistem nas seguintes ordens de comando, se a água de saída de cada uma das caldeiras se encontra a uma temperatura inferior a 50°C é acionado o parafuso sem-fim de alimentação da estilha à caldeira bem como a bomba de circulação B1, o qual vai permitir a alimentação da estilha às caldeiras bem como a circulação da água desde do reservatório às caldeiras de forma a proceder ao aquecimento desta corrente. Quando se atinge o valor pretendido (70°C), o sistema de alimentação da estilha é desligado assim como a bomba de circulação B1.

Para aquecer a estufa, a água existente no interior do reservatório é bombeada pelas bombas circulação B2 para rede distribuição existente no interior estufa. O controlo de funcionamento é efetuado por

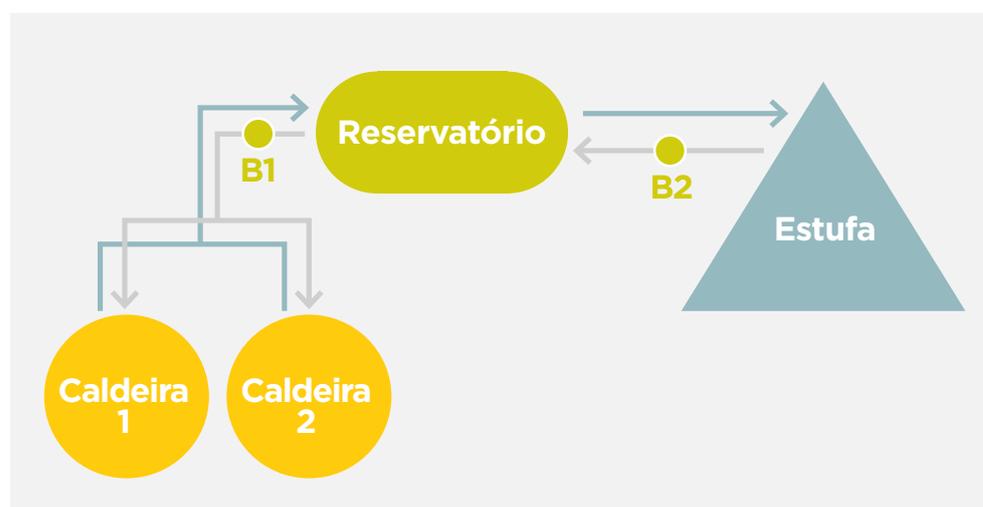


Figura 3. Arquitetura do sistema implementado.



Figura 4. Sistema de alimentação das caldeiras.

diversos sensores de temperatura localizados no interior da estufa, os quais dão ordem de acionamento de acordo com a temperatura pretendida (18 °C). Se a temperatura no interior num determinado ponto da estufa for inferior ao estabelecido, a bomba de circulação B2 específica para esse local é acionada até que se atinga a temperatura alvo.

Ainda no âmbito deste projeto, o processo de queima das caldeiras da BF foi alvo de uma monitorização e acompanhamento periódico de forma a caracterizar a BF recolhida, eficiência da queima e quantificar e controlar as emissões gasosas produzidas por estas.

03. CARATERIZAÇÃO DO PROCESSO DE QUEIMA

Para avaliar o processo de queima existente, foi realizada uma caracterização da biomassa alimentada aos queimadores das caldeiras, bem como uma análise em termos de composição, temperatura e caudal dos gases de combustão provenientes de cada uma destas, pela combustão do dito combustível. Os valores obtidos estão apresentados nas tabelas seguinte.

Tabela 2. Análise elementar e valores de PCS e PCI do combustível utilizado

Parâmetro	Unidades	Resultado
Humidade total	% (m/m)	33,7
Cinzas	% (m/m)	2,1
Matéria Volátil	% (m/m)	86,6
Carbono fixo	% (m/m)	11,3
Carbono total (B.S)	% (m/m)	45,6
Hidrogénio (B.S) ^a	% (m/m)	6,98
Azoto (B.S)	% (m/m)	0,21
Enxofre (B.S)	%(m/m)	0,02
Oxigénio (B.S) ^a	%(m/m)	47,19
PCS	MJ/kg	17,29
PCI	MJ/kg	15,79

^a Não inclui o hidrogénio e oxigénio da água;
B.S - Biomassa

Tabela 3. Caracterização dos gases de combustão na chaminé de exaustão das caldeiras

Parâmetro	Caldeira N° 1	Caldeira N° 2
T gases caldeira (°C)	153,9	148.8
Pressão absoluta (kPa)	101,4	101.3
Caudal de gases húmidos (kg/h)	1708,2	1968.5
Caudal de gases secos (kg/h)	1655,9	1907.0
% Oxigénio (v/v)	16,2	16.1
% Dióxido de carbono (v/v)	4,6	4.6
% Humidade (v/v)	4,9	5.0
Monóxido de carbono (ppm)	2700,0	3461.7
Monóxido de azoto (ppm)	40,3	31.0
Dióxido de azoto (ppm)	2,0	2.0
Excesso de ar (%)	306%	297%

04. DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO PROCESSO DE QUEIMA

Uma vez avaliado o processo de queima em termos de emissões gasosas, procedeu-se à determinação da eficiência deste processo de queima das duas caldeiras, os valores apurados encontram-se na tabela seguinte.

Tabela 4. Perdas existentes nas caldeiras utilizadas

	Caldeira nº1		Caldeira nº2	
	(kW)	%	(kW)	%
Potência introduzida pelo combustível	465	100	523	100
Perdas				
Perdas associadas ao calor sensível nos gases secos da combustão (P_{GC})	100,3	21,6%	107,6	20,6%
Perdas associadas à entalpia do vapor de água no combustível (P_{Comb_H2O})	8,3	1,8%	9,2	1,7%
Perdas associadas a inqueimados nos gases de combustão (P_{CO})	16,3	3,5%	23,0	4,4%
Perdas por radiação, convecção e outras perdas não-contabilizáveis (P_r)	10,5	2,2%	10,5	2,0%
Perdas totais	135,4	29,1%	150,1	28,7%
Potência útil	329,6	70,9%	373,1	71,3%

Em termos de eficiência térmica calculada para a caldeira nº1, verifica-se que o valor determinado (70,9%) se encontra abaixo dos valores típicos de eficiência térmica deste tipo de equipamentos que segundo as informações fornecidas pelo fabricante deveria rondar os 89%.

A parcela que contribui mais para essa ineficiência está relacionada com as perdas associadas ao calor sensível nos gases secos da combustão ($P_{GC}=21,6\%$). Esta situação poderá ser revertida através de uma

afinação do processo de combustão, isto é, através de uma redução do excesso de ar de combustão.

Para a determinação do valor da potência útil desta caldeira, isto é, a potência térmica que é realmente transferida para a água, multiplica-se o valor da eficiência obtida pela potência fornecida pelo combustível o que corresponderá ao valor de 329,6 kW.

Relativamente à caldeira nº2 verificou-se que o valor da eficiência determinado (71,3%) encontra-se igualmente abaixo dos valores típicos de eficiência térmica deste tipo de equipamentos (valores a rondar os 89%, segundo o fabricante). A parcela que contribui mais para essa ineficiência está relacionada com as perdas associadas ao calor sensível dos gases de exaustão no qual se verifica que 20,6% da potência introduzida é dissipada nessa corrente o que corresponderá a cerca de 107,6 kW. Este elevado valor encontra-se relacionado também com o elevado excesso de ar existente atualmente neste equipamento.

Em termos de valores de potência útil constata-se que é igual a 373,1 kW.

Estudo técnico-económico da aplicação das medidas preconizadas

Neste mesmo estudo realizou-se um estudo técnico-económico das medidas de melhoria do processo de queima preconizadas na seção anterior, as quais se passam a citar:

Medida A: Instalação de um economizador na conduta de exaustão das caldeiras de forma a permitir o aproveitamento térmico dos gases de exaustão para pré aquecer a água de alimentação das caldeiras.

Medida B: Afinação dos queimadores das caldeiras para que o excesso de ar seja reduzido para valores típicos (50%) e que os valores de dióxido de carbono (CO₂) e monóxido de carbono (CO) tenham os valores típicos (13,3% e 300 ppm, respetivamente).

Medida A

A aplicação desta medida consistiria na instalação de um economizador para cada uma das caldeiras ou de um único de economizador.

Para preconização deste cenário apenas se irá considerar a instalação de um único economizador na conduta de exaustão comum às duas caldeiras.

O economizador consistiria num permutador de calor ar/água no qual os gases de exaustão provenientes das caldeiras iriam pré-aquecer a água de alimentação às caldeiras. O permutador deveria ser projetado para que os gases de combustão à saída deverão ser aproximadamente de 105°C de forma a evitar a condensação da humidade presente nos gases de exaustão. Para este cenário assumiu-se que ambas caldeiras se encontrariam a funcionar anualmente 2880 horas (4 meses por ano).

Tabela 5. Economia expectável com a instalação de um economizador

Perdas	Caldeira nº1		Caldeira nº2	
	s/ econ	c/ econ	s/ econ	c/ econ
Perdas associadas ao calor sensível nos gases secos da combustão (P_{GC})	21,6%	13,7%	20,6%	13,6%
Perdas associadas à entalpia do vapor de água no combustível (P_{comb_H2O})	1,8%	1,4%	1,7%	1,4%
Perdas associadas a inqueimados nos gases de combustão (P_{CO})	3,5%	3,5%	4,4%	4,4%
Perdas por radiação, convecção e outras perdas não-contabilizáveis (P_r)	2,2%	2,2%	2,0%	2,0%
Perdas totais	29,1%	20,9%	28,7%	21,4%
Eficiência da caldeira	70,9%	79,1%	71,3%	78,6%
Economia de biomassa	31 ton/ano		32 ton/ano	
	1537€/ano		1547€/ano	
Investimento	6600 €			
PRI	2,1 anos			

Medida B

A aplicação desta medida consistiria na afinação dos queimadores das caldeiras para que o excesso de ar seja reduzido para valores típicos (50%) e os valores de CO₂ e CO tenham os valores típicos (13,3% e 300 ppm, respetivamente).

Tabela 6. Economia expectável com afinação dos queimadores

Perdas	Caldeira nº1		Caldeira nº2	
	s/econ	c/econ	s/econ	c/econ
Perdas associadas ao calor sensível nos gases secos da combustão (P _{GC})	21,6%	7,4%	20,6%	7,1%
Perdas associadas à entalpia do vapor de água no combustível (P _{comb_H2O})	1,8%	1,8%	1,7%	1,7%
Perdas associadas a inqueimados nos gases de combustão (P _{CO})	3,5%	0,1%	4,4%	0,1%
Perdas por radiação, convecção e outras perdas não-contabilizáveis (P _r)	2,2%	2,2%	2,0%	2,0%
Perdas totais	29,1%	11,6%	28,7%	11,0%
Eficiência da caldeira	70,9%	88,4%	71,3%	89,0%
Economia de biomassa	61 ton/ano		68 ton/ano	
	2917 €/ano		3290 €/ano	
Investimento	4000 €			
PRI	0,6 anos			

Tal como se verifica, ambas medidas possuem um elevado potencial de aplicação uma vez que possuem investimentos iniciais relativamente baixos e poupanças elevadas, o que se traduz em períodos de retorno de investimento bastantes atrativos (0,6 a 2 anos).

05. COMPARAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DAS CALDEIRAS DE BIOMASSA EM RELAÇÃO À CALDEIRA A GÁS NATURAL

No âmbito deste estudo realizou-se a comparação das caldeiras de biomassa analisadas anteriormente em relação ao cenário base de uso de uma caldeira a Gás Natural (GN).

Tal como referenciado anteriormente, a Floralves adquiriu no passado uma caldeira a gás natural com uma potência nominal de 2300 kW, com a qual efetuava o aquecimento do ambiente da estufa nos períodos mais frios do ano. Adicionalmente os gases de exaustão produzidos durante o processo de combustão deste combustível eram injetados na estufa de forma a auxiliar também o processo de crescimento das flores e, desta forma, incrementar a produção de rosas. No entanto com a escalada de preços associados à aquisição deste tipo de combustível, tornou-se inviável sua utilização para aquecimento e desta forma a Floralves abandonou esta solução.

Segundo informações fornecidas pela Floralves, o custo médio de aquisição deste combustível (GN), para esse período rondaria os 0,075 €/kWh. Esta tarifa já incluiria todos os custos associados à utilização deste tipo de combustível (consumo, impostos e potência contratada).

Tabela 7. Consumos mensais e respetivas tarifas de GN

Período	kWhGN	Tarifa €/kWh
16/12/2013 a 14/01/2014	80165	0,078
14/01/2014 a 14/02/2014	91953	0,072
14/02/2014 a 12/03/2014	40627	0,076
12/03/2014 a 09/04/2014	42587	0,075
Média	63833	0,075

Analisando o histórico constata-se que o consumo médio de GN, rondaria os 63.833 kWh/mês. Tendo em conta os rendimentos típicos (85

a 92%) destas caldeiras o valor de energia útil fornecida (a energia que era utilizada para aquecer a água) seria de aproximadamente, 54.248 a 58.726 kWh/mês.

No âmbito do projeto GOTECFOR, a Floralves adquiriu duas caldeiras a biomassa, as quais foram analisadas anteriormente. O investimento para aquisição destes equipamentos e respetivas obras de infraestruturas, segundo informações dadas pelo responsável da Floralves, foi de aproximadamente 95.000 €.

O custo de aquisição e de transporte da biomassa até instalações da Floralves é de cerca 35,25 €/ton (assumindo uma massa volúmica 425 kg/m³), tendo em conta o poder calorífico inferior deste combustível isto corresponderá acerca 0,008 €/kWh.

Na tabela seguinte encontra-se a biomassa consumida durante um mês de operação, bem como a tarifa relativa à aquisição deste combustível.

Tabela 8. Consumos mensais e respetivas tarifa de aquisição da BF

Período de análise	Volume [m ³]	Massa [ton]	Custo [€]	Custo [€/kWh]
13/02/2020 a 13/03/2020	148	62,9	2220	0,008

Se se comparar, em termos de tarifas, ambos combustíveis verifica-se que o GN apresenta um custo em termos de kWh cerca de 10 vezes superior à biomassa utilizada.

Tendo em conta o investimento efetuado neste equipamento, efetuar-se-á uma análise económica simplificada com objetivo de se apurar qual será o período de retorno de investimento simples da aquisição, tendo em conta as poupanças económicas relacionadas com a mudança de combustível. Para tal assumir-se-á os seguintes pressupostos:

- que as necessidades térmicas úteis são iguais em ambas condições preconizadas (caldeira a GN e caldeiras a BF) e igual a **54248 kWh/mês** valor das necessidades térmicas antes da implementação das caldeiras;

- o rendimento da caldeira a GN será igual a 85% e das caldeiras a BF igual a **71%**;
- Período de funcionamento das caldeiras anuais de 4 meses o que corresponderá a 2.880 h/ano;
- Investimento inicial efetuado 95.000 €.

Assumindo essas premissas poder-se-á determinar o período de retorno de investimento o qual se encontra exposto na seguinte tabela

Tabela 9. Calculo da Período de Retorno de Investimento

Parâmetro	Caldeira GN	Caldeiras BF
Energia útil necessária [kWh/ano]	217 032	217 032
Eficiência [%]	85%	71%
Energia de combustível [kWh/ano]	255 332	305 679
Tarifa [€/kWh]	0,075	0.008
Custo de combustível [€/ano]	19 173	2 445
Poupança [€/ano]	16 728	
Investimento [€]	95 000	
PRI [anos]	5.7	

Tal como se observa o período de retorno de investimento efetuado rondará os 5,7 anos.

Claro que esta diminuição de custos terá que ser comparada com a variação de produtividade (eventualmente pode a produtividade diminuir em relação ao anterior uso de GN, pois deixamos de injetar CO₂ na estufa), no entanto essa comparação deverá ser realizada quando se possuir mais dados com um período de operação significativamente mais extenso de forma a poder-se tecer conclusões mais fidedignas.





TECFOR

TECNOLOGIA PARA
A MOBILIZAÇÃO E
APROVEITAMENTO DE
BIOMASSA FLORESTAL
NA AGROINDÚSTRIA

www.gotecfor.pt

