

Estudo de um sistema de cogeração com motor Stirling e concentrador solar

Marco Ricardo Correia dos Santos

Relatório do Projecto Final / Dissertação do MIEM

Orientador na FEUP: Prof. Armando C. Oliveira



FEUP

**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica**

Janeiro de 2012

*Há que trabalhar no presente
Para que as gerações futuras
Não tenham que viver com os erros
Deixados pelas que já passaram*

Resumo

Este trabalho trata-se do estudo da utilização conjunta de um espelho concentrador solar e de um motor Stirling do tipo Alfa, existente no mercado, de modo a produzir energia elétrica e térmica. Este tipo de motor, ao funcionar com um gás selado no seu interior e utilizando uma fonte de calor numa das suas faces exteriores, consegue produzir movimento de rotação no seu veio, que é utilizado para produzir eletricidade. Como não é possível transformar todo o calor em energia mecânica, parte deste é cedido ao exterior, sendo aproveitado para aquecimento de água para consumo, aquecimento ambiente ou de piscina, ou até mesmo para ativar um sistema de arrefecimento por adsorção, fazendo-se também arrefecimento ambiente.

Foi simulada a utilização deste sistema numa cidade portuguesa e duas angolanas, sendo elas Lisboa, Lubango e Dundo. Utilizaram-se valores de radiação solar horários, gerados pelo programa TRNSYS para cada localização e um modelo de funcionamento do motor, criado a partir das suas características de funcionamento, sendo posteriormente validado por dados experimentais da literatura.

No caso de Lisboa, foram comparadas várias combinações da utilização da energia produzida com alternativas existentes no mercado, sendo elas os coletores solares ou esquentador para aquecimento de águas sanitárias, o ar condicionado por compressão de gás e o aquecimento ambiente por caldeira a gás ou óleo, ou por recuperador de calor a lenha. A análise económica passou por comparar os custos iniciais de cada sistema, comparando posteriormente o ganho ou gasto que cada uma tem ao longo do tempo, contabilizando também a energia vendida à rede, tanto em regime geral, como em regime bonificado EDP.

No caso das cidades angolanas, foram consideradas as mesmas alternativas, embora não se tenham utilizado as de aquecimento central e piscina, visto não serem necessárias para aquele clima. Neste último caso foi também considerada a utilização de um gerador de eletricidade a gás e a utilização do mesmo motor em estudo, mas alimentado a gás, para produção de eletricidade e calor. A análise económica foi também feita como para Lisboa, embora não tenha sido contabilizada a energia vendida à rede, o que não é possível.

Concluiu-se que, para Lisboa, se consegue, no mínimo, um retorno de investimento de 3 anos e no máximo de 12 anos, comparativamente aos outros sistemas, com poupanças que vão dos 2800 € aos 6900 € anuais, ao preço atual da energia

Nas cidades angolanas, caso seja possível utilizar a eletricidade da rede, este sistema não é economicamente viável. Também não o é, caso se pretenda utilizar um sistema independente com ar condicionado a adsorção, sendo mais económico utilizar o mesmo motor, mas alimentado a gás. Apenas para a hipótese de se utilizar o sistema de ar condicionado convencional é que compensa utilizar este sistema, que ainda assim tem que ser auxiliado por outro sistema de energia ou por algum tipo de armazenamento, de modo a garantir o fornecimento durante o período noturno. Neste caso o retorno do investimento situa-se entre os 10 e 17 anos para Dundo e entre os 6 e 12 anos para o Lubango, conseguindo-se poupanças anuais que vão dos 410 aos 1200 € e dos 710 aos 1500 €, respetivamente.

Concluiu-se para o sistema em geral, que a utilização da sua energia térmica representa um terço das poupanças anuais, caso se utilize um sistema de adsorção e que a venda de eletricidade à rede representa cerca de metade, caso esta seja possível, para residências com famílias até 5 pessoas.

Study of a cogeneration system with Stirling engine and solar concentrator

Abstract

This study's aim is to evaluate the use of a solar concentrator and an Alfa type Stirling engine, combined to produce electricity and heat. This type of engine runs using an external heat source to heat its hot side, by transferring that heat to its cold side, through a gas sealed inside it. That continuous cycle makes the gas expand and contract, making its pistons move and turning the heat into mechanical power. As it is not possible to make use of all the heat, there is still a great flow of thermal energy coming out of the cold side, which can be used as water, ambient or swimming pool heating, or even to power an adsorption cooling system.

Using hourly radiation values generated by TRNSYS software and a validated mathematical model of the system, it was reproduced one year of its operation in Lisbon, Lubango and Dundo, a Portuguese and two Angolan cities.

Lisbon's operation output energy was then simulated as being used in different sort of ways, being also compared with several existing alternatives, such as solar collectors, gas water heating, split-type air conditioner and ambient heating using diesel or gas boiler, or even fireplace heat recovery system. The economical analysis regarding this city was made by comparing both initial costs and comparing the operational gains or expenses throughout the years, accounting the energy sold to the grid, both in general and subsidized tariffs, of the local supplier.

For the Angolan cities, the same simulations were made, being also compared with the same alternatives, except for the ambient and swimming pool heating, which are unnecessary for such climates. In this case a diesel generator and a gas fueled Stirling heat and power generator were taken into account, as the local power grid isn't reliable, doesn't cover most of the territory and doesn't allow energy to be sold back.

In conclusion, if the system were to operate in Lisbon in the studied conditions, the payback period would range from 3 to 12 years, compared to the alternatives considered, and would generate annual savings of 2800 € to 6900 €.

Concerning the Angolan cities, if the power grid is available for a certain place, economically this system is not worth using. It is also not worth using if it is to be used off grid with an adsorption cooling system, being more profitable the use of the same Stirling engine, powered by combustion gas. The only profitable way to use the studied system, which still has the need of an auxiliary storage or powering system for the night period, is by using the conventional split-type air conditioner. In this case the payback periods are 10 to 17 years for Dundo and 6 to 12 years do Lubango, thus achieving 410 to 1340 € and 710 to 2300 € of annual savings for each city respectively.

For the overall system, the use of the produced thermal energy represents one third of the annual savings, considering the use of an adsorption system, as the sale of electrical energy, if possible, represents half of them, for families up to 5 people.

Agradecimentos

A conclusão deste trabalho marca o final de uma etapa muito importante. Os objetivos que consegui alcançar até agora e a pessoa na qual me tornei não dependem apenas de mim, mas também de um conjunto de grandes pessoas que me foram ensinando, influenciando e moldado. Gostava de agradecer a essas pessoas, pois sem elas não poderia estar a escrever estas palavras após ter concluído esta dissertação de mestrado.

Ao Professor Armando Oliveira por ter aceitado esta minha proposta de estudo e por me ter orientado e aconselhado durante o decorrer de todo o projeto. Ao Professor Clito Afonso por me ter ajudado com questões do funcionamento geral da dissertação. A todos os professores do departamento de Engenharia Mecânica pela formação e motivação que me forneceram.

A todos os meus amigos que mais me apoiaram e influenciaram: Ana Moura, André Cardoso, André Ferreira, André Soares, Andreia Freitas, António Beça, António Gonçalves, António Caeiro, António Scarfone, Bruno Gregório, Carlos Correia, Carlos Moreira, Carlos Neves, Carlos Oliveira, Carlos Silva, Carlos Sol, Catarina Spratley, César Vasconcelos, Clara Magalhães, Dário Gouveia, Décio Mendes, Diogo Gouveia, Duarte Pestana, Edgar Bento, Edgar Gonçalves, Edgar Sousa, Eduardo Araújo, Eduardo Barbosa, Ester Silva, Filipe Almeida, Francisco Marques, Gustavo Leoni, Hélio Silva, Hugo Neves, Hugo Oliveira, Hugo Vilas Boas, Inês Caldeira, Inês Cunha, Inês Fevereiro, Ivone Sousa, Joana Almeida, Joana Teixeira, João Araújo, João Azevedo, João Fevereiro, João Miguel, João Petiz, João Pimenta, João Portásio, João Carvalho, João Quintela, João Sampaio, João Sousa, Joaquim Ascensão, Jorge Ascensão, Jorge Machado, Jorge Teixeira, José Botelho, Júlio Martins, Laurence Martin, Luís Bessa, Luís Martins, Luís Sobral, Maikel Santos, Manuel Alves, Manuel Ramos, Marco Gonçalves, Marcos Costa, Maria Assunção, Maria João Magalhães, Mário Maia, Nelson Pião, Nuno Brochado, Nuno Ferreira, Nuno Soares, Nuno Trindade, Oscar Duarte, Paulo Vasconcelos, Pedro Guimarães, Pedro Morgado, Pedro Pinto, Pedro Silva, Pedro Teixeira, Philippe Oliveira, Renato Soares, Ricardo Costa, Ricardo Gonçalves, Rita Costa, Rita Ramos, Rodrigo Rocha, Ruben Afonso, Ruben Santos, Rui Barata, Rui Monteiro, Rui Oliveira, Sancho Correia, Sara Pimenta, Sérgio Andrade, Sérgio Paiva, Susana Montenegro, Suzy Magalhães, Tati Sobral, Teresa Quelhas, Tiago Barreira, Tiago Godinho, Tiago Gomes, Tomás Alves, Vasco Jorge, Vitor Ribeiro. A toda a equipa John is Gone.

A toda a família da ginástica que me viu crescer, fazendo de mim uma pessoa cada vez melhor e à família Domingues que me acolheu durante toda a minha vida académica e viu em mim um membro integrante da sua família.

À minha família em geral, e à minha mãe em particular um agradecimento muito especial, pelo seu amor e apoio incondicionais, por todos os princípios e valores transmitidos e por todos os sacrifícios que alguma vez fizeram por mim, sem os quais não seria possível eu chegar onde cheguei.

À minha namorada que eu amo muito.

A todos os que me ajudaram financeiramente: Governo Regional da RAM, Fundação Berardo, SASUP e Ministério dos Petróleos de Angola.

A todos vocês, MUITO OBRIGADO.

Índice de Conteúdos

1	Introdução	1
1.1	Organização e Temas Abordados no Presente Relatório	1
2	Estado da arte	3
2.1	Motor Stirling	3
2.2	Cogeração.....	5
2.3	Coletores solares	6
2.4	Contextualização.....	8
3	Modelação do sistema	10
3.1	Modelação em regime estacionário	10
3.2	Modelação em regime dinâmico	16
3.3	Validação do modelo.....	20
3.4	Aproveitamento do calor no Verão.....	22
3.4.1	Escolha do sistema de ar condicionado	22
3.4.2	Cálculo da área ideal para a piscina	23
3.5	Cálculo da área de edifício ideal para se utilizar o sistema.....	24
3.6	Cálculo do depósito de armazenamento de água	26
3.7	Cálculo do número de coletores solares térmicos a serem comparados com o sistema	28
3.8	Retorno do investimento	30
3.8.1	Lisboa	30
3.8.1.1	Cálculo do preço da energia primária	30
3.8.1.1.1	Cálculo do preço da eletricidade	30
3.8.1.1.2	Cálculo do preço do gás natural.....	30
3.8.1.1.3	Cálculo do preço do gasóleo de aquecimento.....	31
3.8.1.1.4	Cálculo do preço da lenha.....	31
3.8.1.2	Cálculo do consumo	31
3.8.1.3	Caracterização dos sistemas a comparar.....	32
3.8.1.4	Cálculo do retorno de investimento para Lisboa.....	34
3.8.2	Dundo e Lubango	35
3.8.2.1	Cálculo do preço da energia primária	35
3.8.2.1.1	Cálculo do preço da eletricidade da rede	35
3.8.2.1.2	Cálculo do preço do gasóleo	35
3.8.2.1.3	Cálculo do preço do gás.....	36
3.8.2.2	Cálculo do consumo	36
3.8.2.3	Caracterização dos sistemas a comparar.....	36
3.8.2.4	Cálculo do retorno de investimento para Dundo e Lubango.....	37
4	Apresentação e discussão dos resultados obtidos	38
5	Conclusões e perspectivas de trabalho futuro	44
6	Referências e Bibliografia	45
7	Anexo A: Modelo em regime estacionário	47
8	Anexo B: Modelo em regime dinâmico	50
9	Anexo C: Modelo da simulação	55
10	Anexo D: Características InvenSor LTC 10 plus	63
11	Anexo E: Características do permutador Bowman 5113-3 C	65

12 Anexo F: Propriedades dos componentes do edifício	68
13 Anexo G: Cálculo da área do edifício de Lisboa	69
14 Anexo H: Cálculo da área do edifício de Dundo	74
15 Anexo I: Cálculo da área do edifício do Lubango	77
16 Anexo J: Folheto do termoacumulador THK B2S 080/20	80
17 Anexo K: Características do coletor Wikosun 2340-Ti.....	82
18 Anexo L: Cálculo da área do coletor solar térmico para Lisboa	83
19 Anexo M: Cálculo da área do coletor solar térmico para Angola.....	86
20 Anexo N: Características do coletor Wikosun 2020-Mi.....	89
21 Anexo O: Massa volúmica do gasóleo.....	90
22 Anexo P: Documento do PCI da lenha	92
23 Anexo Q: Cálculo do retorno de investimento para Lisboa.....	93
24 Anexo R: Cálculo do retorno de investimento para Dundo.....	103
25 Anexo S: Cálculo do retorno de investimento para o Lubango	110

Índice de Figuras

Figura 1 – Configurações de motores Stirling: a) configuração Alfa; b) configuração Beta; c) configuração Gama [1]	3
Figura 2 – Representação dos quatro tempos do motor Stirling [2]	4
Figura 3 – Relação entre do rendimento do coletor e a diferença entre a temperatura de entrada do fluido e a temperatura ambiente, para os diferentes coletores [6]	6
Figura 4 – Variação do rendimento do coletor com a diferença entre a temperatura de entrada do fluido e a temperatura ambiente e com a radiação incidente [6]	7
Figura 5 – Concentrador e Motor Stirling em testes na National Solar Thermal Test Facility em Sandia (Estados Unidos da América) [11]	8
Figura 6 – Esquema de um motor Solo Stirling 161 a gás natural [13]	10
Figura 7 – Pormenor do recetor do motor à direita [14] e a cavidade recetora à esquerda [15]	11
Figura 9 – Relação entre o caudal de refrigeração e a diferença de temperaturas de refrigeração	17
Figura 10 – Relação entre a radiação incidente e as potências de saída. Comparação entre o modelo de Nepvau e os pontos experimentais [17]	17
Figura 11 – Relação entre a radiação incidente no recetor e as potências de saída com polinómio interpolador	19
Figura 12 – Comparação entre os valores obtidos pelo modelo e os da literatura	20
Figura 13 – Planta do edifício genérico	24
Figura 14 – Esquema do circuito hidráulico do sistema, relativo ao reservatório	28
Figura 15 – Perfil do consumo elétrico diário de uma residência	32
Figura 16 – Perfil da produção, consumo e compra à rede de eletricidade de um dia genérico em regime bonificado	32
Figura 17 – Evolução do preço do gasóleo em Angola [37][38][39]	36
Figura 18 – Distribuição da percentagem de poupança anual pelos diversos tipos de ganho utilizando AC de adsorção	40
Figura 19 – Distribuição da percentagem de poupança anual pelos diversos tipos de ganho utilizando AC de compressão	41
Figura 20 – Recetores solares híbridos. Recetor BioDish à esquerda; recetor volumétrico de ar pressurizado DLR à direita [15]	43

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Características dos vários tipos de central de micro-cogeração (dados de 2006) [3]	5
Tabela 2 – Dados do motor quando se atingiu a potência máxima [16]	11
Tabela 3 – Dados dos refletores anterior e calculado.....	12
Tabela 4 – Condições de funcionamento do motor em regime normal [17]	18
Tabela 5 – Valores utilizados na obtenção do R^2	21
Tabela 6 – Resultados da simulação.....	22
Tabela 7 – Cargas térmicas e necessidades de aquecimento/arrefecimento.....	26
Tabela 8 – Características dos equipamentos utilizados	33
Tabela 9 – Ganhos e perdas anuais de cada sistema.....	34
Tabela 10 – Características dos equipamentos utilizados em Dundo e no Lubango.....	37
Tabela 11 – Resultados obtidos para um ano de Sol em cada cidade em estudo	38
Tabela 12 – Tempos de retorno e poupança anual para Lisboa em regimes geral e bonificado	39
Tabela 13 – Tempos de retorno e poupança anual para Dundo, com e sem armazenamento ..	41
Tabela 14 – Tempos de retorno e poupança anual para o Lubango, com e sem armazenamento	42

Símbolos e Abreviaturas

a – Sistema de cogeração com motor Stirling e concentrador solar

A_{abs} – Área do absorvedor [m^2]

AC – Ar condicionado

A_{col} – Área do concentrador solar [m^2]

α – Coeficiente de absorção do absorvedor

A_{pp} – Área do coletor solar térmico [m^2]

AQS – Águas quentes sanitárias

Aquec. – Aquecimento

Arref. – Arrefecimento

b – Sistema comparativo

Ba – Balanço de custos do sistema a

Bb – Balanço de custos do sistema b

Bon – Regime bonificado de venda à rede

c/arm – Com armazenamento de eletricidade

C_{AQS} – Custo da energia de águas quentes sanitárias

C_i – Custo da energia térmica de aquecimento consumida no Inverno [€/kWh]

C_{Man} – Custo de manutenção do motor Stirling [€/kWh]

$c_{p,arm}$ – Capacidade calorífica da água dentro do reservatório [kJ/kg.K]

$c_{p,func}$ – Capacidade calorífica do fluido utilizado em funcionamento normal do motor Stirling [kJ/kg.K]

$c_{p,max}$ – Capacidade calorífica do fluido em regime de potência máxima do motor Stirling [kJ/kg.K]

C_v – Custo da energia térmica de arrefecimento consumida no Verão [€/kWh]

CA_a – Custo de aquisição do sistema a [€]

CA_b – Custo de aquisição do sistema b [€]

$Calor_{Inverno}$ – Energia térmica produzida pelo motor na época de aquecimento [kWh]

$Calor_{Verão}$ – Energia térmica produzida pelo motor na época de arrefecimento [kWh]

CHS – Coletores solares híbridos

CO – Monóxido de carbono

CO₂ – Dióxido de carbono

coger. – Aproveitamento por cogeração

COP – Eficiência de um ciclo de produção de calor ou frio

c_p – Capacidade calorífica do fluido [kJ/kg.K]

- ΔT – Diferença entre as temperaturas do fluido à entrada e à saída do motor [°C]
- ΔT_{col} – Diferença entre a temperatura de entrada no coletor solar e a temperatura ambiente [°C]
- E – Energia contida no reservatório [kJ]
- E_0 – Energia contida no reservatório na iteração anterior [kJ]
- E_c – Energia elétrica consumida na residência [kWh]
- E_{ganhos} – Energia ganha e perdida pelo reservatório [kJ]
- E_{prod} – Energia elétrica produzida pelo motor Stirling [kWh]
- E_r – Energia elétrica comprada à rede [kWh]
- E_v – Energia elétrica vendida à rede [kWh]
- Eletric.* – Eletricidade
- ε_{ap} – Emissividade do absorvedor
- ε_{PC} – Eficiência do permutador de calor do coletor solar
- ε_{pisc} – Eficiência do permutador de calor da piscina
- η_{ger} – Rendimento do gerador [%]
- η_{pp} – Rendimento do coletor solar [%]
- $Fr_{\tau\alpha}$ – Rendimento ótico do coletor solar [%]
- FrK – Coeficiente de perdas do coletor solar [kW/m².K]
- FV – Fotovoltaico
- $GaAs$ – Arseneto de gálio
- Ger – Regime geral de venda à rede
- h_{conv} – Coeficiente de transferência de calor por convecção [W/m².K]
- $I_{direta,n,Dundo}$ – Radiação direta normal anual para o Dundo [kWh]
- $I_{direta,n,Lisboa}$ – Radiação direta normal anual para Lisboa [kWh]
- \dot{I}_{β} – Radiação solar incidente na superfície do coletor [kW/m²]
- $I_{direção,Dundo}$ – Radiação média incidente por orientação para Dundo [kWh/m²]
- $I_{direção,Lisboa}$ – Radiação média incidente por orientação para Lisboa [kWh/m²]
- $I_{n,dir}$ – Radiação normal direta [W/m²]
- $I_{n,dir,ref}$ – Radiação normal direta incidente em regime de potência máxima [kW/m²]
- INF – Inflação
- Int – Fator de interceção [%]
- KA – Coeficiente de perdas do reservatório [W/K]
- m_{cons} – Massa de água consumida [kg]
- \dot{m}_{func} – Caudal de fluido de arrefecimento do motor em funcionamento normal [kg/s]

\dot{m}_{pisc} – Caudal de água da piscina no permutador de calor [kg/s]

NO_x – Óxidos de azoto

P_f – Pressão média no interior do motor [bar]

P_{min} – Pressão média mínima no interior do motor [bar]

$P_{parasitics}$ – Potência dispendida em equipamento paralelo, necessário ao funcionamento do motor Stirling [kW]

ϕ – Diâmetro do concentrador [m]

$Poup$ – Poupança anual com o aquecimento da piscina [€]

PP – Poupança obtida [€]

Q – Energia em forma de calor [kJ]

$Q_{AC,AQ}$ – Calor retirado para aquecimento ou arrefecimento [kWh]

Q_{AQS} – Energia consumida em águas quentes sanitárias [kWh]

$Q_{AQS,col}$ – Energia contida no reservatório de águas quentes sanitárias, transferida pelo coletor solar térmico [kJ]

Q_{col} – Energia térmica fornecida pelo coletor solar térmico [kJ]

\dot{Q}_{abs} – Radiação absorvida pelo absorvedor [kW]

\dot{Q}_{conv} – Perdas por convecção [kW]

\dot{Q}_{inv} – Carga térmica do edifício no Inverno [kW]

\dot{Q}_{out} – Potência térmica debitada pelo motor [kW]

$\dot{Q}_{out,literatura}$ – Potência térmica debitada pelo motor, da literatura [kW]

$\dot{Q}_{out,modelo}$ – Potência térmica debitada pelo motor, calculada pelo modelo [kW]

$\dot{Q}_{out,polinómio}$ – Potência térmica debitada pelo motor, calculada pelo polinómio de regressão [kW]

$\dot{Q}_{out,ef}$ – Potência térmica debitada pelo motor, dividida pelo fator de ajustamento [kW]

\dot{Q}_p – Potência de perdas [kW]

\dot{Q}_{pisc} – Potência térmica transferida para a piscina [kW]

\dot{Q}_{rad} – Potência térmica de perdas por radiação [kW]

Q_i – Energia térmica de aquecimento consumida no Inverno [kWh]

Q_{out} – Potência térmica debitada pelo motor [kW]

$Q_{perdida}$ – Energia térmica perdida para o exterior [kJ]

Q_v – Energia térmica de arrefecimento consumida no Verão [kWh]

R^2 – Coeficiente de determinação

$RCCTE$ – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

rpm – Velocidade de rotação do motor [min^{-1}]

ρ_{agua} – Massa volúmica da água [kg/m^3]

ρ_{col} – Refletividade do concentrador

s/arm – Sem armazenamento de eletricidade

σ – Constante de Stefan-Boltzmann [$W/m^2.K^4$]

SS_{err} – Soma dos quadrados dos resíduos [kW^2]

SS_{tot} – Soma dos quadrados total [kW^2]

T – Temperatura [$^{\circ}C$]

T_{amb} – Temperatura ambiente [$^{\circ}C$]

$T_{amb;0}$ – Temperatura ambiente na iteração anterior [$^{\circ}C$]

$T_{arm;0}$ – Temperatura do reservatório na iteração anterior [$^{\circ}C$]

T_{final} – Temperatura do reservatório no final da noite [$^{\circ}C$]

$T_{gas;frio}$ – Temperatura do gás no interior da câmara fria do motor [$^{\circ}C$]

$T_{gas;quente}$ – Temperatura do gás no interior da câmara quente do motor [$^{\circ}C$]

T_{in} – Temperatura da face quente do motor [$^{\circ}C$]

$T_{in,máx}$ – Temperatura máxima da face quente do motor [$^{\circ}C$]

$T_{in;ref}$ – Temperatura da face quente do motor em funcionamento nominal [K]

$T_{máx}$ – Temperatura ambiente máxima [$^{\circ}C$]

T_{min} – Temperatura ambiente mínima [$^{\circ}C$]

T_{out} – Temperatura do líquido de refrigeração à saída do motor [K]

$T_{out;perm}$ – Temperatura da água da piscina à saída do permutador de calor da piscina [$^{\circ}C$]

T_{pisc} – Temperatura da água da piscina [$^{\circ}C$]

T_{rede} – Temperatura da água da rede [$^{\circ}C$]

T_{res} – Temperatura no reservatório [$^{\circ}C$]

T_{retorn} – Temperatura do líquido de refrigeração à entrada do motor [K]

$V1$ – Válvula 1

$V2$ – Válvula 2

V_{res} – Volume do reservatório de água [m^3]

VA – Valor da amortização [€]

$\dot{W}_{consumo}$ – Potência elétrica consumida na residência [kW]

\dot{W}_i – Potência elétrica debitada pelo motor, calculada pelo polinómio ou modelo, na radiação i [kW]

\dot{W}_{out} – Potência elétrica debitada pelo motor [kW]

$\dot{W}_{out,literatura}$ – Potência elétrica debitada pelo motor, da literatura [kW]

$\dot{W}_{out,modelo}$ – Potência elétrica debitada pelo motor calculada pelo modelo [kW]

$\dot{W}_{out,polinómio}$ – Potência elétrica debitada pelo motor calculada pelo polinómio de regressão [kW]

$\dot{W}_{out,ef}$ – Potência elétrica debitada pelo motor, multiplicada pelo fator de ajustamento [kW]

$\dot{W}_{out,final}$ – Potência elétrica líquida debitada pelo motor [kW]

$\bar{\dot{W}}_{real}$ – Média de todos os valores de potência elétrica da literatura [kW]

$\dot{W}_{real,i}$ – Potência elétrica debitada pelo motor, da literatura, na radiação i [kW]

\dot{W}_{rede} – Potência elétrica debitada pelo motor, da literatura, na radiação i [kW]

W_e – Potência elétrica debitada pelo motor [kW]

W_{out} – Energia debitada pelo motor após uma rotação [kWh]

x – Fator de ajustamento

1 Introdução

A taxa de crescimento populacional aumenta de ano para ano, levando também, a um aumento das necessidades energéticas em todo o planeta, bem como a um aumento nas emissões de gases de estufa para a atmosfera. Associando este fator ao aumento dos preços dos combustíveis fósseis, somos levados a procurar alternativas às fontes de energia habituais. Alternativas estas que sejam compensatórias, tanto a nível ambiental, como a nível económico. Foi com esta ideologia em mente, que surgiu a ideia de utilizar o Sol como fonte de energia para produzir eletricidade e, inevitavelmente, calor.

O sistema em estudo trata-se da utilização conjunta de um espelho concentrador solar e de um motor Stirling do tipo Alfa existente no mercado. Este motor, ao utilizar uma fonte de calor externa como fonte de energia, demonstra ser a solução ideal para se utilizar a radiação solar concentrada. Essa radiação, ao ser captada por uma área ampla e concentrada numa área pequena, consegue produzir temperaturas extremamente elevadas, associadas a um bom fluxo energético. O calor ao ser transferido da face quente para a face fria do motor, pelo gás que este contém no seu interior, consegue produzir energia mecânica, aproveitada para gerar eletricidade, e ao mesmo tempo gera calor que pode ser utilizado para diversos fins, como o aquecimento ambiente ou de água para consumo, ou até mesmo para ativar um sistema de arrefecimento por adsorção, fazendo-se também arrefecimento ambiente.

Após o estudo da simulação de um ano de funcionamento deste sistema, numa cidade portuguesa e duas angolanas, fez-se uma comparação com outros do mesmo segmento, existentes no mercado, e concluiu-se que, de modo ao sistema ser economicamente viável, é preciso ter em atenção a utilização de todo o seu potencial. Isto porque o aproveitamento da sua energia térmica representa um terço das poupanças anuais por ele geradas e a venda de eletricidade representa metade destas, para residências com famílias até 5 pessoas. Caso tal não seja possível, é mais vantajoso utilizar a eletricidade da rede ou, à falta de rede elétrica, usar o mesmo sistema, mas alimentado a gás, também em regime de cogeração.

1.1 Organização e Temas Abordados no Presente Relatório

Neste trabalho, será inicialmente feito um apanhado dos diversos tipos de equipamentos existentes no mercado que, de uma forma ou de outra, conseguem realizar o que se propõe que faça o sistema em estudo, comparando as suas performances e os seus custos associados. Seguidamente será apresentado o sistema em estudo, fazendo-se uma breve descrição dos o que se pretende determinar com este trabalho. Será então criado um modelo de funcionamento em regime estacionário, para a potência máxima, sendo posteriormente alargado aos restantes pontos de funcionamento. De seguida far-se-á a validação do modelo, comparando com resultados experimentais presentes na literatura, procedendo-se à simulação de um ano de funcionamento, com incrementos horários, para as cidades escolhidas. Após obtidos os resultados, serão dimensionados os sistemas de aproveitamento do calor obtido no Verão, a

área da residência que maximiza a utilização da energia térmica produzida e o reservatório de água que será utilizado para armazenar esta energia. Projetar-se-á também um sistema de coletores solares térmicos, de modo a ser comparado com o presente sistema. Posteriormente, serão calculados os custos dos diferentes tipos de energia primária considerados, caracterizando-se também os diversos equipamentos utilizados, através do seu rendimento e do custo da sua forma de energia final. Finalmente será exposto e executado o cálculo do tempo de retorno do investimento, fazendo-se uma discussão dos resultados obtidos e concluindo o presente relatório com algumas perspectivas de trabalho futuro.

2 Estado da arte

2.1 Motor Stirling

O estudo efetuado nesta dissertação, desenvolveu-se em torno do motor Stirling. Este motor, inventado por Robert Stirling em 1816, foi utilizado até ao início do século XX para substituir os motores a vapor que explodiam com frequência, tendo sido substituído pelos motores elétricos e de combustão interna, devido à sua dificuldade em iniciar ou fazer variar a sua velocidade [1]. Com o paradigma energético em que se vive hoje em dia, várias empresas estão a retomar o desenvolvimento deste tipo de motores, visto que é possível utilizar, virtualmente, qualquer tipo de fonte de calor, podendo ser utilizado para aproveitar desperdícios de calor ou, como é aqui estudado, energia solar.

Existem três tipos de configuração básica para motores Stirling: Alfa, Beta e Gama. Neste trabalho será estudado um motor com a configuração Alfa que, como se pode ver na Figura 1a) tem dois pistões ligados a um excêntrico, desfasados de 90°.

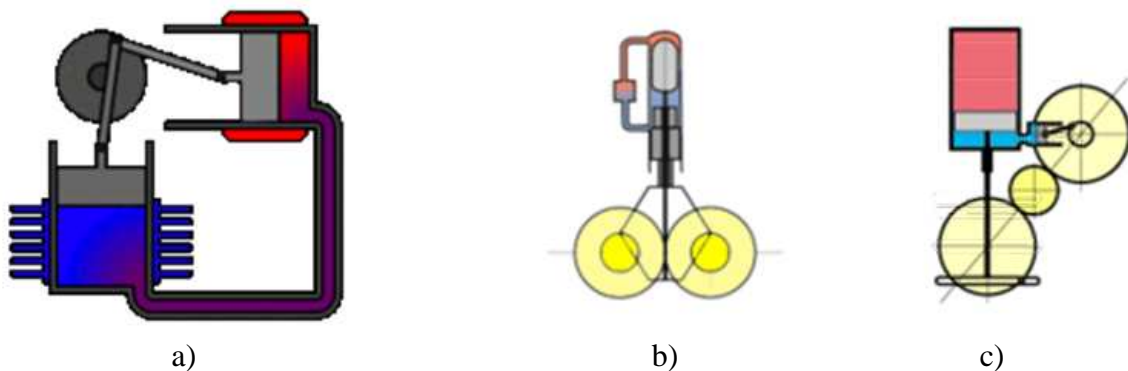


Figura 1 – Configurações de motores Stirling: a) configuração Alfa; b) configuração Beta; c) configuração Gama [1]

O princípio de funcionamento do motor Stirling passa por utilizar um gás selado no seu interior, aquecendo-o de um lado para o fazer arrefecer do outro, sendo também possível aproveitar este calor de arrefecimento para aquecer outro qualquer sistema. Como se pode ver na Figura 2a), o gás ao aquecer, expande, fazendo mover os seus êmbolos e aumentando o seu volume interior, passando a ocupar também a câmara de arrefecimento, como se verifica na Figura 2b). Pela Figura 2c) é possível observar que na câmara fria o gás ao arrefecer, contrai, fazendo com que os êmbolos se movam no sentido contrário, passando assim para o lado quente, Figura 2d). Entre as duas câmaras existe um regenerador que serve para ajudar o gás a arrefecer ou aquecer, dependendo se vem do lado quente ou frio, respetivamente.

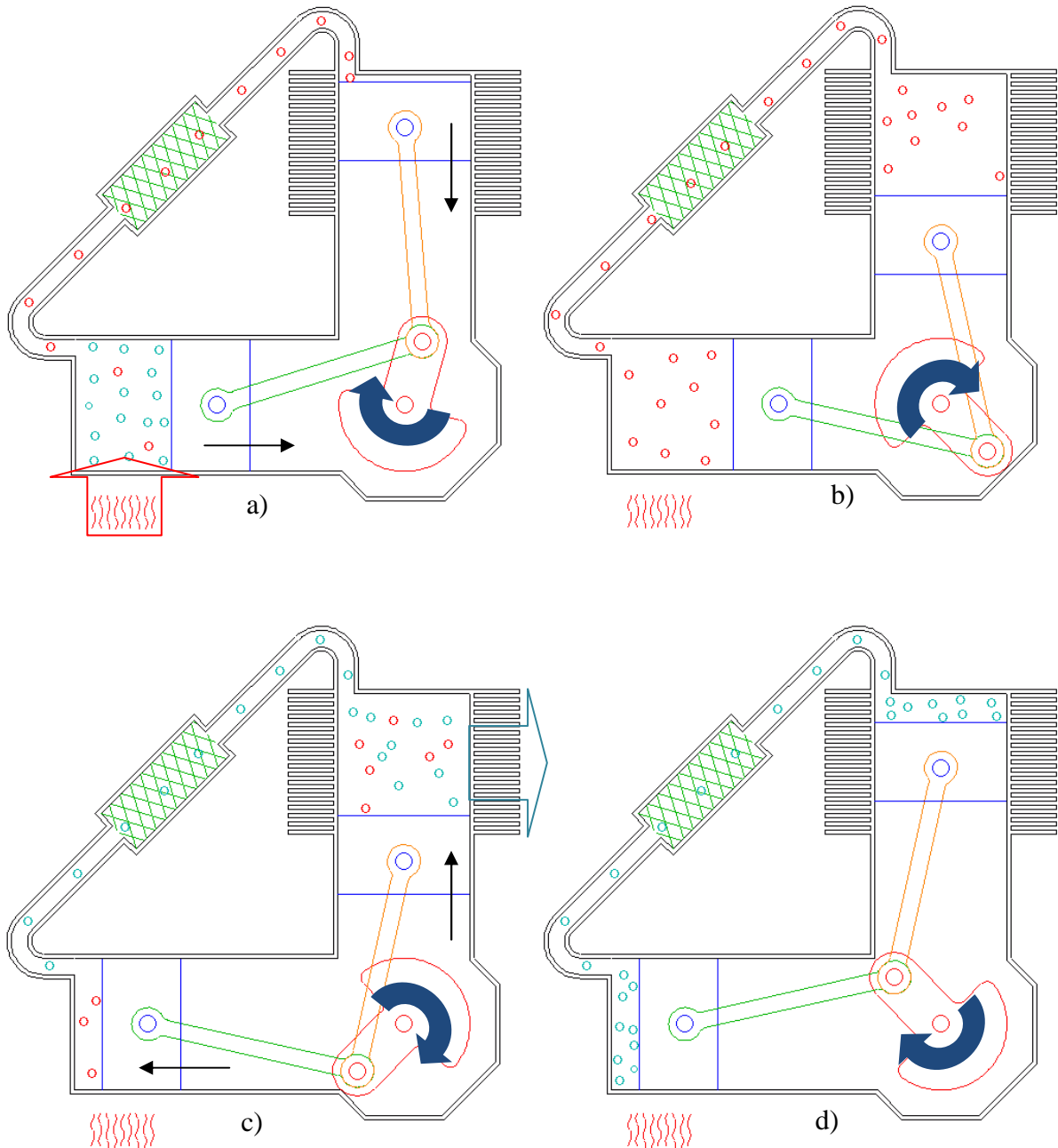


Figura 2 – Representação dos quatro tempos do motor Stirling [2]

Uma das vantagens destes sistemas em relação aos motores de combustão interna é que o calor fornecido vem do exterior, não havendo explosão e podendo ser usado qualquer tipo de fonte de calor. O que, além de resultar num funcionamento mais silencioso e com menor vibração, resulta também numa menor quantidade de gases de estufa emitidos, já que a queima do combustível é contínua, logo mais completa e eficiente.

Como todos os motores que utilizam uma fonte de calor para gerar energia mecânica, este também tem as suas perdas e não consegue transformar todo o calor que lhe é fornecido em movimento. No entanto, é possível controlar a temperatura a que o calor é desperdiçado, transformando-o em calor útil para aquecer, por exemplo, água para banhos, piscinas ou até mesmo o ambiente de edifícios. A este tipo de “duplo” aproveitamento de energia, chama-se cogeração e é utilizado para aumentar o rendimento de ciclos térmicos. Ao aproveitar-se a energia que seria desperdiçada, está-se a aumentar o rendimento da instalação, pagando o

mesmo, em energia primária, e emitindo a mesma quantidade de gases de estufa para obter mais energia útil.

2.2 Cogeração

Atualmente existem poucos produtos no mercado que estão direcionados para a cogeração em ambiente doméstico unifamiliar (micro-cogeração, até 10 kW de potência elétrica máxima) e multifamiliar (de 10 a 50 kW de potência elétrica máxima). Estando este estudo centrado num sistema com 10 kW de potência máxima, estaremos então a apontar para um sistema de residência unifamiliar. Neste segmento as tecnologias de cogeração existentes são o motor Stirling e o motor a combustão interna (ciclo Otto), sendo este último o que se afirma mais no mercado, com sistemas robustos e que já deram provas da sua fiabilidade, possuindo o maior rendimento elétrico, mas maior periodicidade de manutenção (de 500 a 2000 horas). Os fabricantes recomendam, no entanto, uma reconstrução da cabeça do motor e do turbo em intervalos de 12000 a 15000 horas, bem como a substituição dos pistões, rolamentos e vedantes em intervalos de 24000 a 30000 horas. Também existem as células de combustível que estão ainda em desenvolvimento, mas estima-se que o seu rendimento venha a ser maior que o do Otto, sendo ainda necessário algum progresso em termos de desempenho. Devido às poucas partes móveis que estas possuem, são também as que potencialmente precisarão de menos tempo de manutenção, no entanto o facto de carecerem de bombas e ventoinhas para o seu correto funcionamento, diminui o intervalo entre manutenções aumentando o seu custo. O motor Stirling, ao funcionar com câmaras seladas, tem menor desgaste, conseguindo 5000 a 8000 horas sem precisar de manutenção, sendo esperado um custo de 0,005 €/kWh elétricos para tal. Em termos de custos chave na mão, a célula de combustível é a que apresenta o maior custo, seguida do motor Stirling. Quando comparadas as suas emissões de CO, NO_x e CO₂ a classificação inverte-se, ficando o Otto em último lugar, com emissões até 10 vezes superiores ao Stirling. A célula de combustível, devido ao seu processo ausente de combustão e alto rendimento, emite menor quantidade de gases de estufa que os seus concorrentes [3]. Na Tabela 1 é possível comparar as várias características de cada opção.

Tabela 1 – Características dos vários tipos de central de micro-cogeração (dados de 2006) [3]

	Combustão interna	Célula combustível	Stirling
Potência elétrica máxima [kWh]	5,5 – 10,7	10	2 - 9
Rendimento elétrico máximo [%]	27,5 – 28,1	30	22 – 24
Rendimento global máximo [%]	84,6 – 90	68	82 - > 90
Preço chave na mão [€/kW _e]	2162 – 2226	4372	1148
Tempo entre manutenções	500 – 2000h	2000 – 4000	5000 – 8000
Custo de manutenção [€/kWh _e]	0,006 – 0,02	0,03	0,01

Hoje em dia já existem várias mini-centrais Stirling de micro-cogeração até 1 kW de eletricidade e 24 kW de calor do tamanho de um esquentador, bem como células de combustível que debitam 1 kW de eletricidade e 1,7 kW de calor em regime nominal [4].

Por maior que seja o rendimento de uma central de cogeração, o tipo e custo da energia primária e as emissões de gases de estufa, inerentes ao seu funcionamento, são sempre uma preocupação quando se está a fazer contas à energia produzida. Uma das formas de evitar tal situação é utilizar uma forma de energia primária de origem renovável, que é limpa e fica a custo zero. Sabendo que a fonte mais abundante de energia na Terra é a energia solar, podendo atingir os 1000 W/m^2 medidos numa superfície perpendicular à orientação do Sol, num dia de céu limpo, faz sentido que se queira apostar neste tipo de energia [5].

2.3 Coletores solares

Atualmente, dependendo da aplicação e da temperatura desejada, existem vários equipamentos que possibilitam o aproveitamento da energia solar, transformando-a em eletricidade e/ou calor. Dos mais conhecidos há os coletores térmicos que podem ou não ser envidraçados, podendo também ter concentradores parabólicos ou tubos de vácuo. Da energia solar que incide na sua área frontal, o rendimento de um coletor solar térmico representa a percentagem dessa energia que é efetivamente transferida para o líquido interior. Em aplicações domésticas, os coletores não envidraçados são habitualmente utilizados para aquecer piscinas, pois conseguem rendimentos entre 60 e 90% ao aquecer fluidos até $20 \text{ }^\circ\text{C}$ acima da temperatura ambiente ao serem irradiados por 1000 W por metro quadrado de coletor. Os coletores envidraçados de placa plana estão já bastante difundidos no mercado e são os que normalmente se encontram montados nas residências um pouco por todo país, sendo aplicados maioritariamente no aquecimento de águas sanitárias (AQS), mas também para aquecimento ambiente. Estes coletores, ao serem também irradiados por 1000 W/m^2 conseguem rendimentos entre 50 e 80% ao aquecerem um fluido até $80 \text{ }^\circ\text{C}$ acima da temperatura ambiente. Caso se pretenda uma temperatura superior, ou se interligam os coletores em série (a entrada de um à saída do outro), o que faz com que o rendimento dos coletores seguintes diminua progressivamente, ou se utilizam coletores de tubos de vácuo. Estes coletores servem, normalmente, para residências onde a insolação é relativamente baixa, já que ao serem revestidos por tubos de vácuo perdem menos calor para o exterior [6]. É possível observar esta comparação de rendimentos na Figura 3.

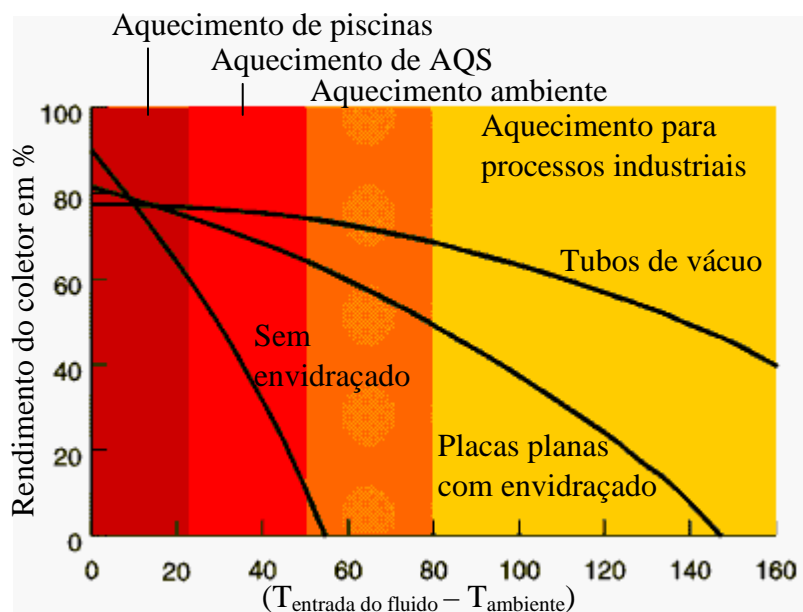


Figura 3 – Relação entre do rendimento do coletor e a diferença entre a temperatura de entrada do fluido e a temperatura ambiente, para os diferentes coletores [6]

Durante este estudo houve a hipótese de equiparar este sistema à utilização de coletores de placas planas. Após uma vasta pesquisa, o coletor com a melhor relação preço por área-rendimento encontrado tinha um rendimento máximo de 93% ($T_{\text{entrada do fluido}} = T_{\text{ambiente}}$) ao ser irradiado por de 1000 W/m^2 . Tendo em conta que o coletor (apenas a placa) custa 600 € para a sua área de $2,143 \text{ m}^2$, pode se dizer que o seu custo mínimo é de $301,06 \text{ €/kW}_{\text{picp}}$. Para kits de circulação forçada, os preços sem instalação variam entre os 678 e os $1129 \text{ €/kW}_{\text{pico}}$ nas mesmas condições [7]. No entanto, como se pode ver pela Figura 4, quanto menor for a radiação incidente, menor será o rendimento, para a mesma diferença de temperaturas.

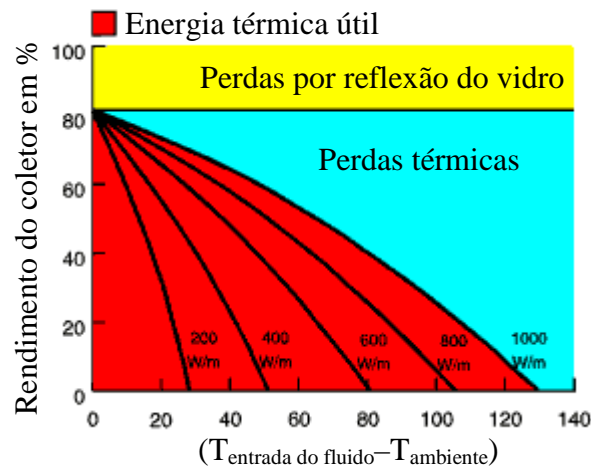


Figura 4 – Variação do rendimento do coletor com a diferença entre a temperatura de entrada do fluido e a temperatura ambiente e com a radiação incidente [6]

Habitualmente, este tipo de coletores encontra-se fixo no edifício, estando sujeito às variações da posição solar. Quanto menos perpendicular estiver o Sol, relativamente à superfície coletora, menor é a quantidade de radiação incidente no coletor. Este facto resulta numa dupla agravante: quanto mais longe o Sol estiver da posição de “meio-dia” (o mais alto que pode estar num dia), além de a radiação incidente ser menor devido à natureza da orientação terrestre, também devido à amplitude do ângulo que o Sol faz com o coletor, a quantidade de radiação incidente no coletor será ainda menor.

Já é possível contornar esta situação, mantendo o coletor permanentemente orientado com o Sol, tipo girassol, através de um sistema de rotação. Este tipo de sistemas apenas costuma ser utilizado em aplicações industriais para coletores térmicos. Em termos de aplicações domésticas, é mais provável se encontrar esta solução em coletores fotovoltaicos (FV). Este tipo de coletores consegue fazer a conversão direta da energia solar para energia elétrica. Cada coletor é formado por várias células fotovoltaicas que, ao serem ligadas em série, resultam numa determinada potência máxima (pico) de saída. Atualmente estes coletores são fabricados em vários tipos de materiais, fazendo assim variar o seu rendimento elétrico.

A utilização de silício monocristalino abrange cerca de 60% do mercado e apresenta uma eficiência de cerca de 15%. No caso do silício policristalino, este apenas atinge 30% do mercado, sendo a sua eficiência de cerca de 12%. É possível obterem-se eficiências maiores utilizando outros materiais, como por exemplo o arsenieto de gálio com estrutura cristalina semelhante à do silício (GaAs), com o qual se obtêm entre 25 a 30% de rendimento. A desvantagem deste tipo de material é o seu custo. É também possível reproduzir células de baixo custo, depositando, através de um processo rápido, um filme fino de material semiconductor num material de baixo custo (vidro, plástico ou metal). No entanto a eficiência deste tipo de células passa a rondar os 7% [5].

Outro fator que influencia o rendimento de um painel fotovoltaico é a sua temperatura. A radiação solar ao incidir no painel, é absorvida devido à sua cor escura, aumentando a sua temperatura e diminuindo o seu rendimento na ordem dos 3 a 6% por cada grau Celsius. Uma solução encontrada foi a utilização deste calor para o aquecimento de ar (ambiente) ou água, com Coletores Solar Híbridos (CHS) que, ao aquecerem um fluido por baixo do painel fotovoltaico, estão a arrefecer o próprio painel. Neste caso é possível obter menos 38% de área ocupada em comparação com um sistema combinado de painéis FV e coletores solares [7]. Para coletores deste tipo, já foram registados rendimentos mistos de 10,02% para a conversão elétrica e 54,7% para a conversão térmica, enquanto em regime térmico já se conseguiram rendimentos de 65% [7]. No âmbito deste estudo, procurou-se um sistema fotovoltaico do mercado com potência máxima equivalente mas em painéis fotovoltaicos e os preços de um sistema completo sem instalação rondavam os 3490 €/kW_{pico} [10]. Para os coletores CHS, estes podem ser encontrados a 720 €/m² [8], o que, em termos otimistas se traduz num preço mínimo de compra de 1316 €/kW_{pico,calor} com uma radiação de 1000 W/m² e um rendimento térmico de 54,7%.

2.4 Contextualização

Dado este panorama energético, é possível inserir o projeto de estudo deste trabalho, exatamente no centro destes temas, ao se utilizar um concentrador solar para excitar um motor Stirling e daí fazer-se cogeração, a partir de uma energia de fonte renovável.

Através de uma pequena pesquisa, chegou-se à conclusão que o motor Stirling tem um bom rendimento elétrico, assim como térmico em cogeração a gás [11]. A partir daí a ideia passou a ser adaptar um motor desses, já existente no mercado, a um concentrador solar, de modo a reproduzir-se a temperatura gerada com a queima do gás. Chegou-se à conclusão que tal sistema já existia mas apenas para geração de eletricidade, pelo que se tentou entrar em contacto com várias empresas, mas com pouco sucesso. Optou-se por utilizar o sistema sobre o qual se tinha mais informação. O motor é o Stirling V161, construído pela primeira vez em 1995, como atualização do V160. Em 1997 começou a ser testado na versão solar, tendo apresentado em 2002 uma potência elétrica e rendimento superiores a 10 kW e 25% respetivamente. Em 2006 foram acumuladas mais de 2 milhões de horas de funcionamento, tendo sido construídas perto de 150 unidades. Construídas por Cleanergy AB em Åmål, na Suécia, em 2011 foram entregues as primeiras unidades solares a Espanha, à Coreia e à China, sendo este último com sucesso utilizando um concentrador solar chinês [12].



Figura 5 – Concentrador e Motor Stirling em testes na National Solar Thermal Test Facility em Sandia (Estados Unidos da América) [11]

O preço por unidade (excluindo transporte, instalação e fundações) foi estimado, em Outubro de 2002, em 1500 US\$/kW, para uma produção anual de 5000 unidades [15]. Considerando que a empresa, Alemã em 2002, foi vendida a uma empresa Sueca em 2008, considerando a taxa de câmbio para euro em 2002 (1,0192 €/US\$) e as respectivas inflações em cada período até agora (7,960% e 2,574%), pode se estimar que atualmente o preço esteja a 1693 €/kW. Tendo em conta que a potência nominal é de 10 kW, o seu preço final atual poderá rondar os 16930 €.

A partir de um estudo realizado por Diver et al. em 1998 [18] e utilizando o mesmo método de cálculo anterior, estimou-se que o custo atual de um concentrador, incluindo a sua estrutura, seja de 37,56 €/m² perfazendo um total de 1530 € para um concentrador de 40,7 m².

3 Modelação do sistema

O objetivo deste trabalho é estudar o comportamento de um motor Stirling, em regime de cogeração, ao ser ativado por um concentrador solar. Para tal é necessário modelar o seu comportamento, de modo a se poder simular um ano de funcionamento e obter a energia anual produzida. Serão utilizados os dados solares de três cidades e, posteriormente será comparado este sistema a outros alternativos, calculando-se também o tempo de retorno do investimento, relativamente a esses.

3.1 Modelação em regime estacionário

O Stirling V161 é um motor com 160 cm³ de cilindrada que funciona pressurizado com um gás inerte. Na Figura 6 é possível observar-se o esquema do motor em estudo, equipado com o aquecedor a gás natural.

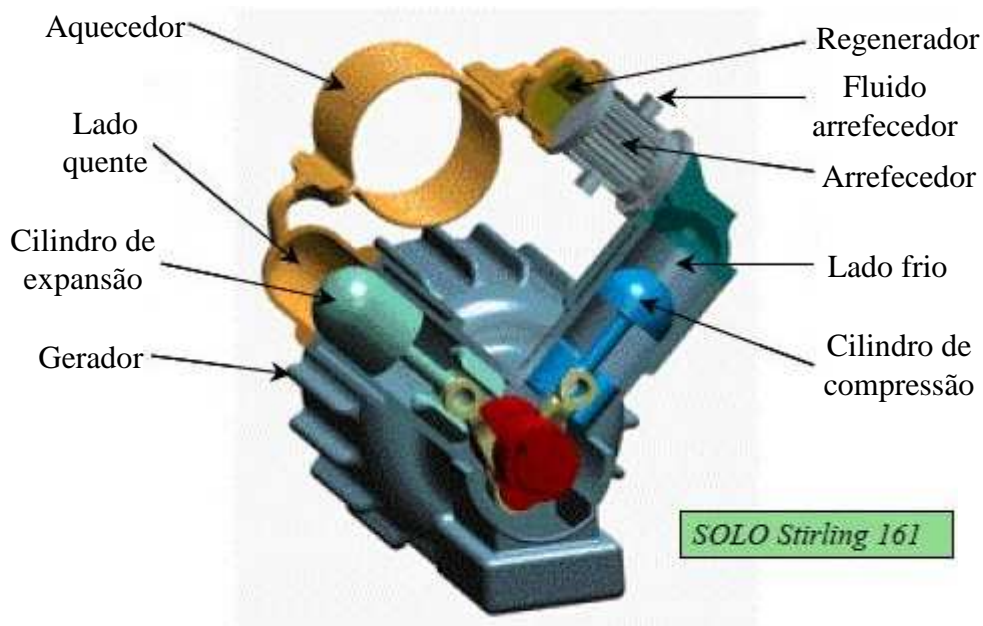


Figura 6 – Esquema de um motor Solo Stirling 161 a gás natural [13]

Na Figura 7 é possível visualizar, com mais detalhe, o recetor e a cavidade recetora do modelo solar, que é acoplado no lugar do aquecedor.



Figura 7 – Pormenor do recetor do motor à direita [14] e a cavidade recetora à esquerda [15]

Como não foi possível obter resposta do fabricante, foi compilada uma série de dados sobre as várias configurações de funcionamento deste equipamento, de modo a se ter o máximo de informação possível. Desses dados, foram cruzados alguns valores, tendo estes sido assumidos como valores que estavam em falta na configuração em estudo.

Em 2005 Reinaltier et al registaram a potência máxima alguma vez atingida por este motor, até à altura. Esse valor foi conseguido reunindo um conjunto de condições favoráveis ao seu funcionamento. Na Tabela 2 são apresentadas as condições em que foi conseguida essa potência máxima. Foi com esses valores que se fez uma primeira abordagem à modelação do sistema em estudo.

Tabela 2 – Dados do motor quando se atingiu a potência máxima [16]

			Comentários	Erro
	Temperatura ambiente	-5 °C		
	Pressão [15]	150 bar		
Entrada de energia	Radiação normal direta ($I_{n,dir}$)	906 W/m ²		± 1,5 %
	Área do coletor (A_{col})	52 m ²		
	Refletividade do coletor (ρ_{col})	92,5 %		± 1,9 %
	Fator de interseção	85 %		
	Radiação incidente no recetor	37,75 kW		± 3,1 %
	Temperatura do recetor	850 °C		
Saída de energia	Potência elétrica líquida	10,85 kW		± 1,0 %
	Potência no veio	12,25 kW		± 1,1 %
	Caudal de fluido refrigerante	$4,92 \times 10^{-4}$ m ³ /s		± 0,17 %
	Diferença de temperatura entre a saída do fluido e a entrada	9,94 K	≈ 305 – 295 K [17]	± 0,1 %
	Capacidade calorífica do fluido refrigerante	3574 J/kg K	ELAN FLUID D	± 4,0 %
	Potência térmica de saída	18,53 kW		± 4,0%

Aquando da aquisição destes dados, o motor estava a funcionar a uma temperatura ambiente de -5 °C (268,15 K) e a com uma pressão interna de 150 bar. A radiação incidente no concentrador (coletor) era de 906 W/m², tendo este uma área de 52 m². Dessa radiação, apenas 92,5 % foi refletida, sendo que apenas 85 % desta atingiu o recetor. Sendo assim, a radiação total incidente no recetor foi de 37,75 kW, obtendo-se uma temperatura de 850 °C no mesmo. O resultado destas condições foi uma potência térmica de saída de 18,53 kW para o fluido e condições referidas, tendo-se obtido uma potência de 12,25 kW no veio do motor. Descontando a potência dispendida em equipamento paralelo, necessário ao funcionamento do motor, e a eficiência do gerador (92,5 %), obteve-se uma potência elétrica útil de 10,85 kW.

A partir destes dados, foi calculada uma nova área do coletor, visto ser possível obter melhor performance em termos de interseção e refletividade para o coletor [15].

Admitindo uma radiação máxima de 1000 W/m², de modo a se igualar a potência elétrica de líquida presente na Tabela 2, a radiação máxima incidente no absorvedor terá que ser:

$$\dot{Q}_{in} \leq 37,75 \text{ [kW]} \tag{1}$$

Sabendo que a radiação incidente no absorvedor (\dot{Q}_{in}) é o resultado da radiação incidente ($\dot{I}_{n,dir}$) na área do concentrador (A_{col}), sendo que parte desta é refletida (ρ_{col}) e apenas parte dessa atinge o absorvedor (Int), é possível calcular uma nova área para o concentrador, sabendo os restantes dados.

$$\dot{I}_{n,dir} \cdot A_{col} \cdot \rho_{col} \cdot Int = \dot{Q}_{in} \tag{2}$$

$$1000 \cdot A_{col} \cdot 0,94 \cdot 0,99 = 37,75 \cdot 1000 \tag{3}$$

$$A_{col} = 40,51 \text{ [m}^2\text{]} \tag{4}$$

$$\phi = 7,18 \text{ [m]} \tag{5}$$

Para um diâmetro efetivo de 7,2 m, a área efetiva será de 40,72 m². Compare-se então a diferença de diâmetros, entre o refletor anterior e o calculado, pela Tabela 3.

Tabela 3 – Dados dos refletores anterior e calculado

Dados do refletor anterior [16]				Dados do refletor calculado			
Diâmetro [m]	Área [m ²]	Refletividade %	Fator de interseção	Diâmetro [m]	Área [m ²]	Refletividade %	Fator de interseção
8,21	52,9	0,925	0,85	7,2	40,72	0,94	0,99

O aumento do fator de interseção deve-se à alteração nos processos e materiais de fabrico dos elementos refletores e à solução de montagem utilizada.

Após a radiação solar ser refletida no coletor, incide sobre o absorvedor sendo parte dela absorvida, \dot{Q}_{in} , e fazendo aumentar a sua temperatura, T_{in} . O que define a quantidade absorvida é o coeficiente de absorção do absorvedor, α .

$$\dot{Q}_{in} = I_{n;dir} \cdot \rho_{col} \cdot A_{col} \cdot \alpha \quad (6)$$

O facto de o absorvedor ficar a uma temperatura superior à envolvente, faz com que se perca calor para o exterior, tanto por radiação, \dot{Q}_{rad} , como por convecção, \dot{Q}_{conv} . A vantagem de se utilizar um concentrador solar é que o calor absorvido (ganho) é diretamente proporcional à área do concentrador, enquanto o calor perdido por convecção (perda) é diretamente proporcional à área do absorvedor. Se, como no caso dos coletores de placas planas, a área do coletor for igual à área do absorvedor, a área relacionada com as perdas é igual à área relacionada com os ganhos, não se conseguindo atingir temperaturas muito altas. Neste caso, a área associada aos ganhos é muito superior à área de perdas, conseguindo-se um fluxo de perdas muito menor, resultando numa temperatura alta. Para se saber qual o calor que passa para o gás interno, fazendo girar o motor, é necessário saber-se a quantidade perdida, \dot{Q}_p .

$$\dot{Q}_p = \dot{Q}_{rad} + \dot{Q}_{conv} \quad (7)$$

De modo a minimizar ainda mais as perdas, inseriu-se o absorvedor numa cavidade cilíndrica, fazendo com que a área de perdas por radiação passasse a ser a área da abertura da cavidade, A_{ap} . Esta perda, depende também da emissividade, ε_{ap} , do material de que é feito o absorvedor. O material é Inconel, uma combinação de várias ligas metálicas, e a sua emissividade é 0,9 à temperatura de funcionamento [16].

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon_{ap} \cdot \sigma \cdot A_{ap} \cdot (T_{in}^4 - T_{amb}^4) \quad (8)$$

$$\dot{Q}_{conv} = h_{conv} \cdot A_{abs} \cdot (T_{in} - T_{amb}) \quad (9)$$

O facto de se utilizar uma cavidade cilíndrica, altera o modo como as perdas por convecção, relativamente ao absorvedor, se processam. Para se poder saber qual a relação, h_{conv} , destas perdas com as dimensões da cavidade, utilizaram-se as expressões a que Paitoonsurikarn et al chegaram, verificadas experimentalmente [19]. Através destas, h_{conv} é também relacionado com o ângulo que o motor faz, relativamente à horizontal, tomando o valor de 19,98 W/m²K nas condições referidas e a um ângulo de 45 °. Com isto, já é possível definir a quantidade de calor perdido, podendo-se finalmente quantificar o calor efetivamente absorvido, que é dado pela expressão (10).

$$\dot{Q}_{abs} = \dot{Q}_{in} - \dot{Q}_p \quad (10)$$

Agora que já é possível definir a quantidade de energia utilizada para ativar o motor, é necessário relacionar como é que o calor recebido se relaciona com as potências elétrica e calorífica de saída. Como diz a Lei de Lavoisier, nada se cria e nada se perde, tudo se

transforma. O mesmo acontece com este motor, em que o calor que é, efetivamente absorvido pelo motor, é igual à soma do calor que sai pelo fluido refrigerador com a energia que é transmitida pela rotação do seu veio.

$$\dot{Q}_{out} + \dot{W}_{out} = \dot{Q}_{abs} \quad (11)$$

Na realidade isso acontece, mas em termos numéricos, devido a pequenas perdas difíceis de contabilizar e à utilização de modelos diferentes para o calor e para o trabalho, é necessário utilizar um fator de ajustamento, x . Este fator é um número obtido simulando o sistema em regime estacionário, inserindo os dados de funcionamento e potências obtidas. Sendo assim o calor real de saída é dividido pelo fator de ajustamento, sendo o trabalho do veio multiplicado pelo mesmo fator.

$$\dot{Q}_{out;ef} = \frac{\dot{Q}_{out}}{x} \quad (12)$$

$$\dot{W}_{out;ef} = \dot{W}_{out} \cdot x \quad (13)$$

Há ainda que ter em conta o rendimento do gerador, $\eta_{gerador}$, e a energia utilizada para orientar o sistema com o Sol e para ativar a bomba de circulação de fluido refrigerante e outros equipamentos paralelos, $P_{parasitics}$. Posto isto, a potência final elétrica de saída resulta na equação (14).

$$\dot{W}_{out;final} = \dot{W}_{out;ef} \cdot \eta_{gerador} - P_{parasitics} \quad (14)$$

Para se conseguir completar este modelo, é necessário saber como é que se relaciona apenas uma das potências de saída com a potência de entrada. Para tal, recorreu-se ao manual de design de motores Stirling, que Martini preparou para a NASA. Nesse manual, é possível prever o comportamento de motor Stirling através do conhecimento das suas características, utilizando a equação de Schmidt (15), que simula uma rotação de um motor com este ciclo. O resultado não é exacto, visto que, para a pressão, não se tem em consideração que esta varia internamente no espaço e que também é necessário saber as características do regenerador, o que não é o caso [20].

$$W_{out} = \left[-P_{max} \cdot V_T \cdot \pi \cdot \left(\frac{\tau - 1}{k + 1} \right) \cdot \left(\frac{1 - \delta}{1 + \delta} \right)^{(1/2)} \right] \cdot \delta \cdot \left[\frac{\sin(\gamma)}{1 + (1 - \delta^2)^{(1/2)}} \right] \quad (15)$$

A pressão máxima utilizada foi de 150 bar, utilizando-se também o volume de cada câmara interna, 80 cm³. O volume do regenerador, V_r, foi encontrado iterativamente, bem como as temperaturas do gás interno, nas respectivas câmaras. A temperatura do regenerador foi calculada conforme o manual recomenda, bem como os restantes termos. O termo *angle* é o desfasamento entre o movimento de cada pistão.

$$P_{\max} = 150 \cdot \left| 0,1 \cdot \frac{\text{MPa}}{\text{bar}} \right| \quad (16)$$

$$V_T = V_E + V_C \quad (17)$$

$$V_T = 80 + 80 \quad (18)$$

$$\text{angle} = 90 \quad (19)$$

$$k = \frac{V_C}{V_E} \quad (20)$$

$$\delta = \frac{(\tau^2 + 2 \cdot \tau \cdot k \cdot \cos(\text{angle}) + k^2)^{(1/2)}}{\tau + k + 2 \cdot s} \quad (21)$$

$$\gamma = \arctan \left[k \cdot \left(\frac{\sin(\text{angle})}{\tau + k \cdot \cos(\text{angle})} \right) \right] \quad (22)$$

$$s = V_r \cdot \frac{T_{\text{gás;frio}}}{V_E \cdot T_r} \quad (23)$$

$$\tau = \frac{T_{\text{gás;frio}}}{T_{\text{gás;quente}}} \quad (24)$$

$$V_r = 20 \quad (25)$$

$$T_r = \frac{T_{\text{gás;quente}} - T_{\text{gás;frio}}}{\ln \left[\frac{T_{\text{gás;quente}}}{T_{\text{gás;frio}}} \right]} \quad (26)$$

Como não se sabem as temperaturas reinantes no interior do motor e, de modo a haver transferência de calor, admitiu-se que a temperatura do gás em cada lado deveria ter uma diferença mínima de 5 °C relativamente à respetiva face. De modo a se obter o mesmo valor

de potência elétrica em funcionamento real, chegou-se aos valores de $T_{gás,quente} = T_{in} - 5 \text{ } ^\circ\text{C}$ e $T_{gás,frio} = T_{out} + 13 \text{ } ^\circ\text{C}$, sendo T_{out} a temperatura do fluido do lado frio e não da face. Relativamente à equação de Schmidt, o resultado retirado é o trabalho de um ciclo, W_{out} , em *Joule*, sendo necessário convertê-lo em potência, através da velocidade de rotação do motor, como se pode ver na equação (27).

$$\dot{W}_{out} = \frac{W_{out} \cdot \frac{\text{rpm}}{60}}{1000} \quad (27)$$

De modo a se poderem simular as condições de funcionamento do sistema à potência máxima e conferir se o modelo se adequa ao sistema em causa, utilizou-se o valor da radiação que resulta na incidência de 37,75 kW no absorvedor [13], $I_{n,dir} = 996,2 \text{ W/m}^2$, tendo em conta a mudança das características do coletor. As restantes condições e características foram mantidas, chegando-se a um fator de ajustamento de 1,103, libertando-se as equações restringidas (Anexo A). Com este modelo compilado, o valor obtido para a potência calorífica de saída foi o valor certo, já que, pelos dados iniciais isso já estava garantido. Relativamente à potência elétrica, foi também possível chegar ao valor exato, devido às temperaturas admitidas para gás, no interior.

3.2 Modelação em regime dinâmico

Agora que se tem um modelo funcional na potência máxima do sistema, é necessário verificar, para os restantes pontos de funcionamento, se o modelo se mantém com igual rigor. Para tal, foi necessário realizar algumas adaptações, de modo a simular o funcionamento real do sistema. Em primeiro lugar, é preciso ter em mente que o sistema de controlo do motor reage de modo a que a temperatura do absorvedor seja sempre de 1053 K (780 °C), fazendo variar a sua pressão média interna, entre as pressões mínima e máxima, do seguinte modo: caso a temperatura tenda a aumentar, o sistema aumenta a pressão interna, aumentando a massa de gás interna e favorecendo a transferência de calor interna do lado quente para o lado frio; caso a temperatura tenda a diminuir, acontece o inverso [17]. Em segundo lugar para se poder manter a face fria à temperatura desejada, é necessário utilizar um sistema de controlo que monitorize e altere o caudal de fluido que passa nessa face, em função das condições de funcionamento. Caso as condições resultem num aumento da temperatura, o sistema de controlo aumentará o caudal, e vice-versa. Em termos de modelação, esta questão já não é assim tão simples, visto que a temperatura de saída, T_{out} , também depende da temperatura de retorno do fluido, T_{retorn} , da radiação solar incidente no sistema, $I_{n,dir}$, e da capacidade calorífica do fluido, C_p , que por sua vez também depende da temperatura do mesmo. O método utilizado para modelar a variação do caudal de saída foi, inicialmente, fixar $I_{n,dir}$ e C_p nos valores da literatura e fazer variar a diferença $T_{out} - T_{retorn}$, entre os 5 e os 60 °C, obtendo vários valores de caudal. Desses valores construiu-se o gráfico da Figura 8, a partir do qual foi obtida uma equação por regressão.

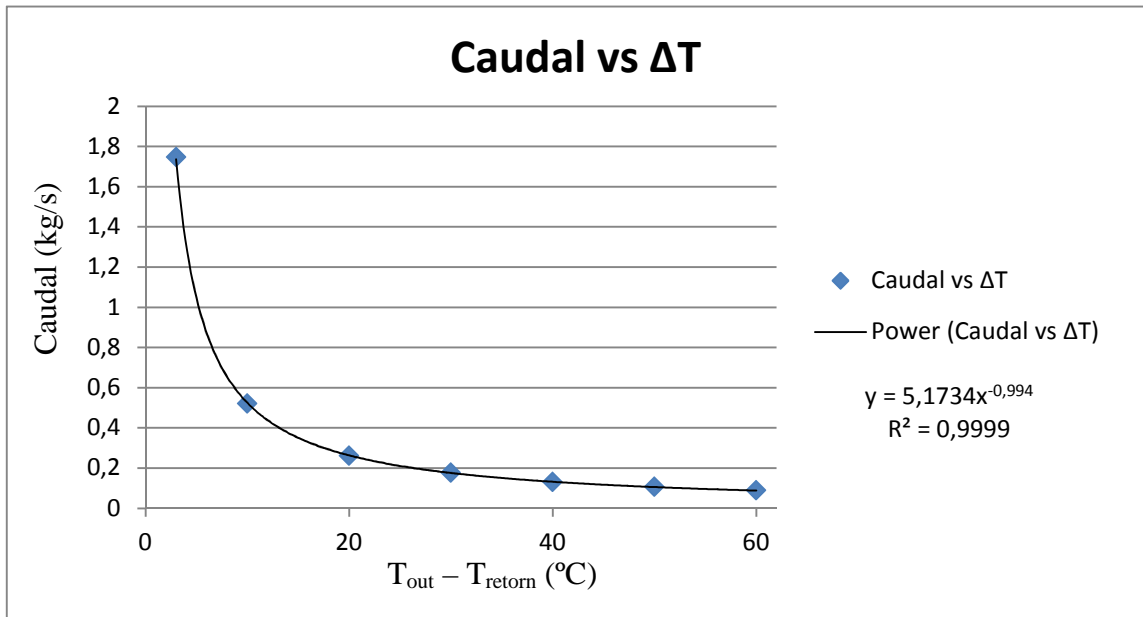


Figura 8 – Relação entre o caudal de refrigeração e a diferença de temperaturas de refrigeração

Ao se substituir o valor do ΔT pelo dos dados, não se obteve o caudal inicial. Foram então introduzidos, iterativamente, Algarismos ao expoente de x , em que x representa ΔT , obtendo-se a equação (28).

$$\dot{m} = 5,173 \cdot (T_{out} - T_{retorn})^{-0,99648} \quad (28)$$

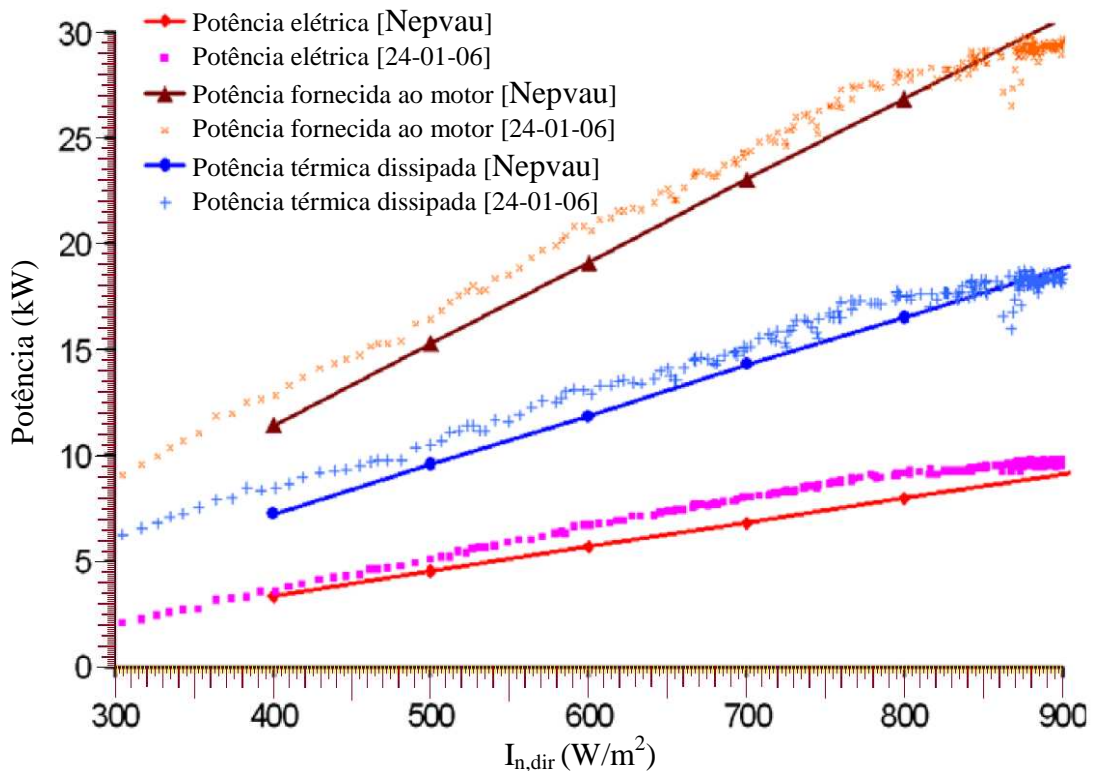


Figura 9 – Relação entre a radiação incidente e as potências de saída. Comparação entre o modelo de Nepvau e os pontos experimentais [17]

De seguida analisou-se o gráfico da Figura 9 que relaciona a entrada e saídas de energia do sistema e concluiu-se que a entrada e saída de calor têm uma relação praticamente linear, o que levou à introdução, na equação do caudal, de uma parcela que relaciona a radiação incidente em regime de potência máxima, com a radiação incidente em qualquer ponto de funcionamento.

$$\dot{m} = \frac{I_{n;dir}}{I_{n;dir;ref}} \cdot 5,173 \cdot (T_{out} - T_{retorn})^{-0,99648} \quad (29)$$

Ficou a faltar a relação com o c_p , que foi obtida na equação (31) tendo esta sido formulada de modo a que uma alteração do fluido seja compensada com uma alteração do caudal, mantendo-se a mesma temperatura de saída.

$$c_{p;máx} \cdot \dot{m}_{máx} = c_{p;func} \cdot \dot{m}_{func} \quad (30)$$

$$\dot{m}_{func} = \dot{m}_{máx} \cdot \frac{c_{p;máx}}{c_{p;func}} \quad (31)$$

Note-se que o gráfico da Figura 9 compara, pelas linhas retas, o modelo desenvolvido por Nepvau et al com o funcionamento real de um motor Stirling (os pontos) a funcionar nas condições referidas na Tabela 4. Os pontos a laranja representam a radiação absorvida pelo motor, os pontos a rosa representam a potência elétrica de saída e os pontos a azul representam a potência térmica de saída.

Tabela 4 – Condições de funcionamento do motor em regime normal [17]

Fluido de trabalho	Hidrogénio
Área do recetor	52,9 m ²
Pressão máxima de funcionamento	[130 – 140] bar
T _{in,máx}	1053 K
T _{out} -T _{retorn}	305 – 295 K
T _{amb}	293 K
Velocidade de rotação	1500 rpm

De modo a se poder comparar o modelo desenvolvido neste trabalho com os pontos de funcionamento reais da Figura 9, utilizou-se a escala das abcissas que representa a radiação normal directa incidente e, sabendo a área do colector, a sua refletividade e o factor de intersecção do feixe de radiação solar no absorvedor (valores anteriores da Tabela 3), foi possível ficar a saber qual a radiação que atinge o recetor em cada ponto de funcionamento. Utilizando o concentrador calculado neste estudo, relacionou-se esta última radiação com as duas potências de saída, para cada ponto, obtendo-se dois polinómios de 2º grau, por

regressão, representados na Figura 10. Para este caso, relativamente ao modelo, admitiu-se que a pressão máxima de funcionamento era de 140 bar, como indicado na Tabela 4, utilizando-se também as condições existentes na referida tabela. O que acontece na realidade é que, próximo da irradiação máxima, após o sistema atingir a pressão máxima, esta mantém-se, sendo ativado um sistema soprador que fará a ventilação da cavidade, mantendo a temperatura do absorvedor a 1053 K [17]. Caso se esteja perto da irradiação mínima e se atinja a pressão mínima, continuará a haver débito de energia a essa pressão, até se atingir a temperatura mínima de 923,15 K [15], desligando-se abaixo desse valor. A razão de decréscimo até essa temperatura é concretizada, utilizando uma pressão fictícia P_f , que continuaria a decrescer, caso não houvesse pressão mínima. Considerando $T_{in,ref} = 1053 K$, caso a pressão média de funcionamento tome o valor da pressão mínima, a temperatura de entrada do sistema está representada na equação (32).

$$T_{in} = T_{in,ref} - \left[\left(1 - \frac{P_f}{P_{min}} \right) \cdot (T_{in,ref} - T_{amb}) \right] \quad (32)$$

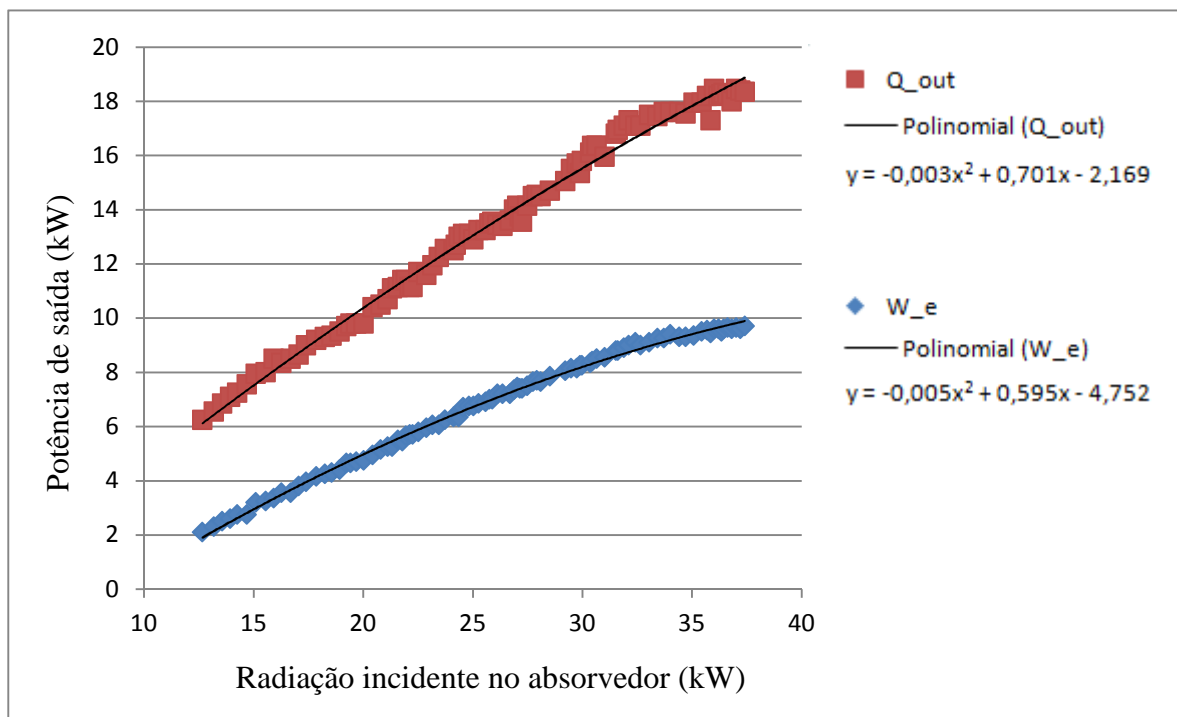


Figura 10 – Relação entre a radiação incidente no recetor e as potências de saída com polinómio interpolador

Após ter sido simulado o funcionamento do sistema (Anexo B), pelo modelo, nas condições acima descritas, foi necessário comparar os valores reais com os obtidos pela modelação, estando o resultado representado na Figura 11.

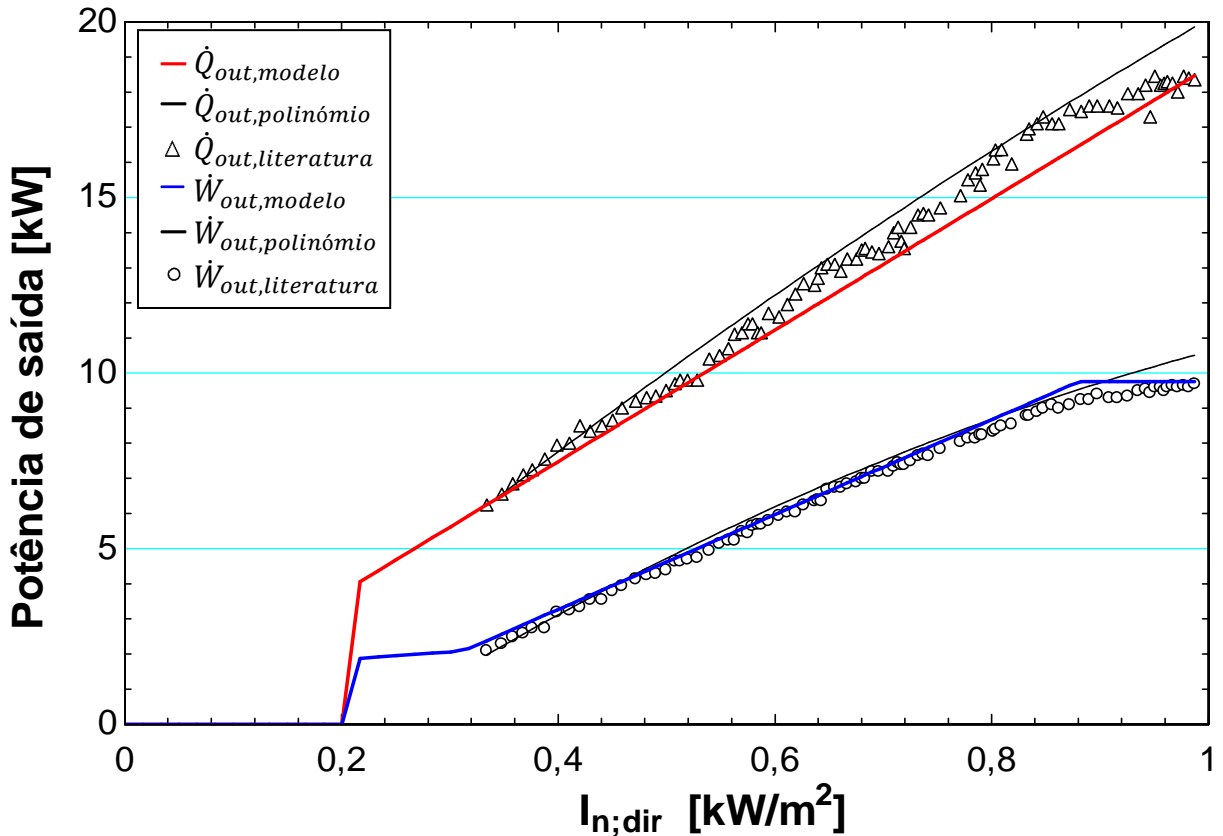


Figura 11 – Comparação entre os valores obtidos pelo modelo e os da literatura

A zona da linha vermelha, representa a potência calorífica de saída, enquanto a zona da linha azul representa a potência elétrica de saída. As linhas coloridas representam o modelo aqui desenvolvido, os pontos representam os pontos de funcionamento reais retirados da Figura 9 e as linhas finas representam os polinômios de regressão a estes pontos [17]. Repare-se nos patamares da linha azul, que representam as zonas de funcionamento às pressões máxima, em cima, e mínima, em baixo, tendo este último uma ligeira inclinação, devido à variação da temperatura. A quebra aos 200 W/m^2 deve-se ao facto do motor se desligar, caso a temperatura de entrada seja inferior a $650 \text{ }^\circ\text{C}$, como explicado anteriormente.

3.3 Validação do modelo

Para se poder avaliar a qualidade do modelo, utilizou-se a definição de R^2 , que indica o quanto da variância da potência de saída é bem representada pela variância da equação ou modelo utilizados. Estando o seu valor entre 0 e 1, quanto maior este for, mais fielmente a equação ou modelo representam os valores originais.

$$SS_{tot} = \sum_i (\dot{W}_{real,i} - \bar{\dot{W}}_{real})^2 \quad (33)$$

$$SS_{err} = \sum_i (\dot{W}_{real,i} - \dot{W}_i)^2 \quad (34)$$

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{err}}{SS_{tot}} \quad (35)$$

Para cada valor de $I_{n,dir}$ está associado um valor de $\dot{W}_{real,i}$ e \dot{W}_i , em que o primeiro é referente aos pontos medidos e o segundo ao modelo ou polinómio. O termo \dot{W}_{real} representa a média dos valores de potência elétrica medidos. O mesmo se aplica, tratando-se da potência calorífica de saída \dot{Q}_{out} .

Tabela 5 – Valores utilizados na obtenção do R^2

	Modelo		Polinómio	
	\dot{W}_{out}	\dot{Q}_{out}	\dot{W}_{out}	\dot{Q}_{out}
SS_{tot}	442	236413	442	236413
SS_{err}	4,987	39,61	12,88	38,03
R^2	0,9887	0,9998	0,9709	0,9998

Como se pode verificar pela Tabela 5, o modelo do presente estudo representa 98,87% e 99,98% da variância dos pontos experimentais de \dot{W}_{out} e \dot{Q}_{out} respetivamente, enquanto o polinómio de regressão representa 97,09% e 99,98% relativamente às mesmas referências, respetivamente. Tendo também em conta que o modelo consegue representar a alteração de rendimento, devido a variações na temperatura de saída, usar-se-á o modelo desenvolvido para efetuar as simulações necessárias neste estudo.

Após se ter definido o modelo a utilizar, simulou-se o funcionamento do sistema em 3 cidades diferentes: Lisboa, Dundo e Lubango, sendo as duas últimas angolanas (Anexo C). Como é da natureza deste sistema, foi considerado que o Sol foi sempre seguido pelo coletor, mantendo-se sempre perpendicular ao concentrador. Como tal, os valores utilizados para a simulação foram a compilação de um ano de radiação solar normal direta, registada em intervalos de 1 hora, fazendo com que a potência de saída registada em cada valor horário represente diretamente um ganho de energia, como se pode ver pela equação (36).

$$1 \text{ kW} \times 1 \text{ h} = 1 \text{ kWh} \quad (36)$$

Os calores produzidos no Inverno e Verão são correspondentes às épocas de aquecimento e arrefecimento, respetivamente. No caso do Dundo e Lubango não foi considerada época de aquecimento, devido às condições climáticas características dessas cidades.

As necessidades de AQS foram calculadas segundo o RCCTE e para o ano todo. Ao se subtrair o calor necessário para AQS ao produzido, ambos relativamente ao período de aquecimento ou arrefecimento, obtém-se o calor restante, utilizado para aquecimento ou arrefecimento ambientes.

Os rendimentos presentes na Tabela 6 à primeira vista podem parecer pequenos para um motor Stirling, mas tendo em conta que o concentrador também faz parte do sistema, a energia considerada como recebida é a que incide no concentrador e não apenas a que entra efetivamente no motor. Caso se tivesse considerado apenas o último, os rendimentos teriam um aumento na ordem dos 34% relativamente ao valor presente na Tabela 6.

Tabela 6 – Resultados da simulação

Valores anuais	Lisboa	Dundo	Lubango
$I_{n,dir}$ (kWh/m ²)	1815	1337	2294
E_{prod} (kWh)	13145	9124	17583
Calor _{produzido} (kWh)	29210	20749	37466
Calor _{Inverno} (kWh)	8185	-	-
Calor _{Verão} (kWh)	13715	20749	29339
Rendimento total (%)	57,3	54,87	58,94
Potência elétrica máxima (kW)	9,157	9,069	9,157
Potência térmica máxima (kW)	18,61	18,8	19,85
Necessidade AQS (5 pessoas) (kWh)	3820,6	3820,6	3820,6
Calor _{Inverno} – AQS _{Inverno} (kWh)	6604	16928	33645
Calor _{Verão} – AQS _{Verão} (kWh)	12438		

3.4 Aproveitamento do calor no Verão

Como já era de esperar, no Verão grande parte do calor corre o risco de cair em desuso. Olhe-se para Lisboa, por exemplo, em que o calor utilizado para AQS nos meses de Verão (1273,5 kWh) é menos de 10% do calor produzido nessa mesma época. De forma a se minimizar este desperdício, encontraram-se duas hipóteses: ou aplicá-lo num sistema de ar condicionado que produz frio a partir do calor, ou usá-lo para aquecer uma piscina.

3.4.1 Escolha do sistema de ar condicionado

Segundo Jakob os sistemas de arrefecimento existentes no mercado, indicados ao uso doméstico, são de absorção e de adsorção e podem debitar entre 7,5 e 17,5 kW, apresentando COPs entre 0,5 e 0,7. Para se poder ter uma ideia do que este valor significa, note-se que os sistemas de ar condicionado elétrico normalmente utilizados, funcionam a compressor de gás e apresentam um COP superior a 2, o que significa que por cada unidade de energia consumida, são produzidas, no mínimo, 2 unidades de frio. A principal vantagem dos sistemas de absorção ou adsorção é estes servirem para aproveitar calor que, de outra forma, seria desperdiçado, conseguindo-se arrefecer um espaço interior a um custo praticamente nulo, pagando-se apenas a energia necessária ao funcionamento de uma pequena bomba de circulação de fluido. Por norma, quanto mais baixa for a temperatura do líquido fornecido ao aparelho, mais baixo será o seu COP. No caso dos sistemas de absorção, que funcionam com um líquido absorvente, as temperaturas de alimentação variam entre os 70 e os 120 °C. Já os

sistemas de adsorção, que funcionam com um material sólido adsorvente, podem ser alimentados com por fluidos a temperaturas de 55 a 70 °C [23].

Segundo Thomas Bernd, para o motor Stirling V161 alimentado a gás natural, uma temperatura de saída do fluido de refrigeração, superior a 75 °C, compromete o rendimento elétrico do sistema de cogeração [11]. Sendo assim, a escolha de um equipamento de arrefecimento a adsorção fica automaticamente excluída. No mercado de arrefecedores a adsorção, ao se entrar em contacto com a InvenSor, um fabricante alemão, obteve-se prontamente uma resposta, tendo sido apresentados dois aparelhos, sendo o segundo mais atrativo. Trata-se do InvenSor LTC 10 Plus (Anexo D), um sistema com uma temperatura mínima de alimentação de 45 °C que, no seu ponto de funcionamento ótimo, a 65 °C, consegue debitar 10 kW de frio com um COP de 0,6, atingindo os 0,65 em condições excepcionais. É possível também utilizá-lo como bomba de calor, obtendo-se um COP próximo de 1,5. Todos estes valores têm em conta o funcionamento com água no circuito de alimentação. O aparelho já inclui as bombas e sistema de controlo necessários ao seu bom funcionamento, sendo apenas necessário fazer a ligação das tubagens ao resto do sistema [24]. O seu custo é de 17900 € excluindo o transporte.

3.4.2 Cálculo da área ideal para a piscina

Pelo Instituto de Meteorologia de Portugal, a média da temperatura máxima de Abril situa-se entre os 24 e os 26 °C e a de Outubro situa-se entre os 26 e os 28 °C. Sendo assim, a época considerada para aquecimento de uma piscina, estará contida entre estes dois meses, inclusive. Caso se tenha uma piscina e se prefira mantê-la a uma temperatura agradável fora da época balnear, em vez de se investir num sistema de arrefecimento ambiente, será necessário utilizar um permutador de calor ligado ao sistema de aquecimento da piscina, já que o calor obtido entre Abril e Outubro apenas conseguiria manter a 24 °C uma piscina de 9 m². Como, geralmente, as piscinas têm uma área superior a essa, qualquer ganho nessa época seria imediatamente transformado em poupança. Note-se que, devido ao uso de um permutador, apenas parte do calor passa para a piscina. Caso se utilize, por exemplo, o permutador 5113-3 C da Bowman, para manter uma piscina de Lisboa com 50 m³ à temperatura de 30 °C e com uma temperatura de fluido quente de 60 °C, a eficiência, ε_{pisc} , do permutador seria de 0,431 (Anexo E).

$$\dot{Q}_{pisc} = \dot{m}_{pisc} \cdot c_p \cdot (T_{out;perm} - T_{pisc}) \quad (37)$$

$$18 = 6,2 \cdot \frac{1000}{3600} \cdot 4,182 \cdot (T_{out;perm} - 30) \quad (38)$$

$$T_{out;perm} = 32,5 \quad (39)$$

$$\varepsilon_{pisc} = \frac{6,2 \cdot (32,5 - 30)}{1,2 \cdot (60 - 30)} \quad (40)$$

Sabendo o calor total fornecido pelo motor na época de aquecimento da piscina, Q_p , e também que uma bomba de calor tem um COP médio de 4 [25], é possível prever-se que a poupança anual inicial será dada pela expressão (41).

$$P_{oup} = Q_p \cdot \frac{Preco_{elec}}{COP \cdot \varepsilon_{pisc}} \quad (41)$$

$$P_{oup} = 14532 \cdot \frac{0,1713}{3 \cdot 0,431} \quad (42)$$

$$P_{oup} = 1925,2 \text{ [€/ano]} \quad (43)$$

Este valor deverá crescer anualmente devido ao aumento do preço da eletricidade.

3.5 Cálculo da área de edifício ideal para se utilizar o sistema

Para se saber qual a quantidade de energia térmica aproveitada, seria necessário calcular as necessidades térmicas de um edifício em causa. Não sendo do âmbito deste trabalho incidir num edifício em particular, decidiu-se calcular, a partir das características de um edifício genérico, a área à qual este sistema mais se adequa.

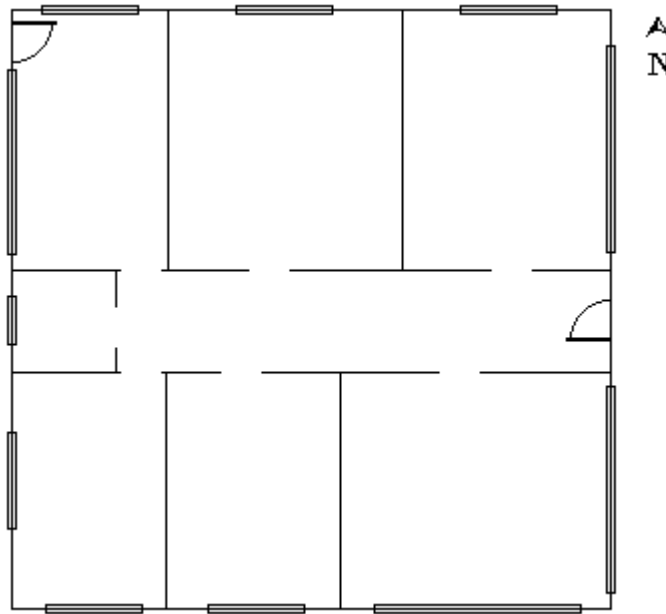


Figura 12 – Planta do edifício genérico

O edifício genérico tinha uma planta quadrangular, sendo a área de envidraçados 15% da área total de pavimento útil. Não foi considerado qualquer tipo de obstáculo ao Sol e admitiu-se que no piso inferior ao principal havia uma garagem com uma área de 25 m². Excluindo as portas, que tinham um coeficiente de transmissão térmica de 1,75 W/m²K [26], as características dos seus materiais de construção podem ser visualizadas no Anexo F.

Para o caso de Lisboa, obtiveram-se duas áreas diferentes, devido ao facto de haver uma estação de arrefecimento e uma estação de aquecimento e as energias envolvidas (perdas e ganhos) serem diferentes.

Fez-se então o cálculo de qual era o ganho anual em relação a várias alternativas energéticas (Anexo G) que foi efetuado comparando, para a mesma área de Verão e de Inverno, qual a que resultaria em maior poupança conjunta, sabendo que se houvesse energia produzida a

mais, era desperdiçada, e se houvesse a menos, era comprada à rede ao preço de cada alternativa. Comparando com a alternativa mais barata (que dá menos margem de lucro), a área de 169,3 m² e 2,6 m de pé direito (1 piso) é a que proporciona maior lucro, utilizando-se todo o calor produzido no Inverno e obtendo-se uma margem de 449 kWh para o Verão. Posto isto, a utilização deste sistema em edifícios na zona de Lisboa, é recomendado quando a sua área varia entre os 169 e os 180 m², com apenas um piso. Para edifícios com dois pisos, a área ideal ronda os 87 m² de área de base. Ambas dependem dos materiais de construção e do formato do edifício, bem como dos obstáculos presentes em seu redor, como se pode deprender pelo regulamento utilizado.

Caso se utilize um sistema de ar condicionado elétrico, deve-se, de modo a maximizar a utilização do calor produzido no Inverno e minimizar as necessidades térmicas de Verão, escolher uma residência com uma área de base de 87 m² com 2 pisos. Esta configuração permite que todo o calor produzido no Inverno seja utilizado, tornando menores as necessidades de arrefecimento no Verão. Tendo em conta que a alta potência do sistema serve para suprir picos, é possível produzir eletricidade suficiente para alimentar um sistema de AC com um COP de 3 e manter a utilização normal da energia elétrica, bem como para venda ou armazenamento.

Para as cidades angolanas, não existe época de aquecimento, sendo mais fácil determinar a área ideal para se utilizar este sistema. De modo a se poder calcular essa área, foi considerado que no Dundo há 365 dias de Verão por ano ($T_{média} = 24,49 \text{ }^{\circ}\text{C}$ [27]) e no Lubango, onde as médias das temperaturas da época mais fria são $T_{min} = 8^{\circ}\text{C}$ e $T_{máx} = 24 \text{ }^{\circ}\text{C}$ [28], há 10 meses de Verão, sendo considerados dois meses de temperatura amena, em que apenas se poderia justificar o aquecimento numa pequena parte do tempo. Devido a estas cidades se situarem no hemisfério Sul, considerar-se-á que o Norte da Figura 12 passa a ser Sul.

Como, segundo o Regulamento da Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), a estação de arrefecimento dura 4 meses [25], foi necessário multiplicar os ganhos por 3, de modo a resultar em 12 meses, no caso de Dundo (Anexo H). Para o Lubango, como a média das temperaturas de Junho e Julho, 16°C, se encontram abaixo da temperatura média de Verão considerada no RCCTE, foram considerados estes dois meses como de temperatura amena, em que apenas se poderia justificar o aquecimento numa pequena parte do tempo. Neste último caso multiplicaram-se os ganhos pelo fator 5/2 (Anexo I).

Devido à falta dos valores da radiação média incidente por orientação, necessário para se calcularem os ganhos solares do edifício no Verão, efetuaram-se os cálculos dos mesmos pela equação (44), a partir dos valores da radiação direta normal anteriormente utilizados para a simulação, tanto para Dundo como para o Lubango.

$$I_{\text{direção}} = I_{n;\text{dir}} \cdot \cos(i) \quad (44)$$

$$\cos(i) = \sin(h) \cdot \cos(\beta) + \cos(h) \cdot \sin(\beta) \cdot \cos(a_{\text{sup}} - a_{\text{Sol}}) \quad (45)$$

$$\beta = 90 \quad (46)$$

Os termos h e a_{sol} representam a altura e azimute solares, associados a cada valor de radiação horária. O termo β representa a inclinação das superfícies relativamente ao chão e o termo a_{sup} é o azimute referente à orientação de cada superfície.

Podem observar-se na Tabela 7 os valores das cargas térmicas e necessidades diárias de aquecimento e arrefecimento.

Tabela 7 – Cargas térmicas e necessidades de aquecimento/arrefecimento

	Lisboa	Dundo	Lubango
A_{ideal} útil (m^2)	169,3	121,5	167,8
$\dot{Q}_{Verão}$ (kW)	2,396	1,159	1,791
$Q_{Verão}$ (kWh)	7016	10157	15693
$\dot{Q}_{Inverno}$ (kW)	2,553	-	-
$Q_{Inverno}$ (kWh)	9743	-	-

3.6 Cálculo do depósito de armazenamento de água

Como se sabe, para Lisboa é possível vender a eletricidade não consumida à rede de distribuição. Mas caso se tenha calor não consumido, já não é possível vendê-lo. A melhor opção é armazená-lo para se poder utilizar quando for necessário. Como se pode ver pela equação (47) utilizou-se o ganho médio diário de cada estação (Tabela 6) para se calcular o volume do reservatório, de modo a armazenar-se a água a uma temperatura de $T_{res} = 65$ °C.

$$\frac{Q_{Inv}}{\text{dias}_{Inv}} = \frac{\rho_{\text{agua}} \cdot V_{res} \cdot c_{p_{\text{agua}}} \cdot (T_{res} - T_{rede})}{3600} \quad (47)$$

Para a estação com menores ganhos diários, 67 kWh/dia, o volume obtido foi de 1155 litros. No entanto, ao observarem-se os resultados obtidos na simulação, reparou-se que em determinados dias de Inverno houve ganhos diários na ordem dos 18 kWh, sendo calculado pela equação (47) um volume de 442 litros, para um dia como esse. De modo a haver sempre calor suficiente para AQS e considerando também que no reservatório existe estratificação, optou-se então por um valor intermédio que resultou num volume nominal de 800 litros. Utilizou-se o acumulador THK B2S 080/20 (Anexo J), que consiste num reservatório de 800 litros combinado com um de 200 litros no seu interior. De modo a evitar perdas pelos permutadores, utiliza-se o reservatório interior para AQS, ficando o exterior para aquecimento ou arrefecimento ambientes. No Inverno, caso se tenha o reservatório cheio a 65 °C consegue-se suprir as necessidades de AQS para uma família de 5 pessoas, restando energia suficiente para aquecer a área da casa em questão com a sua carga térmica de Inverno durante cerca de 7 horas, utilizando a mais recente tecnologia de piso radiante de muito baixa temperatura, que aproveita o calor até 35°C [22]. Sendo assim, a primeira parcela de equação (48) representa a energia contida no reservatório, com a água a 65 °C e a segunda parcela representa as necessidades de consumo AQS para n pessoas. Este balanço resulta numa quantidade de energia que será aproveitada para aquecer a casa à potência de \dot{Q}_{inv} , durante algum tempo, até a água ficar a uma temperatura final de 35 °C.

$$\begin{aligned} & \rho_{\text{agua}} \cdot V_{\text{res}} \cdot c_{p,\text{agua}} \cdot (T_{\text{res}} - T_{\text{rede}}) - \\ & - n_{\text{pessoas}} \cdot m_{\text{agua}} \cdot c_{p,\text{consumo}} \cdot (T_{\text{cons}} - T_{\text{rede}}) = \\ & = \dot{Q}_{\text{inv}} \cdot \text{tempo} \cdot 3600 + \rho_{\text{agua}} \cdot V_{\text{res}} \cdot c_{p,\text{agua}} \cdot (T_{\text{final}} - T_{\text{rede}}) \end{aligned} \quad (48)$$

$$\text{tempo} = 7,11 \text{ [horas]} \quad (49)$$

Caso se opte por utilizar o sistema de adsorção no Verão, é aconselhável deixá-lo em funcionamento durante a noite, já que este se desliga automaticamente, caso não tenha calor a temperatura suficiente para o seu bom funcionamento. Caso se desligue com o reservatório a 55 °C, é possível, após 8 horas, suprir as necessidades de AQS, em termos energéticos, para uma família de 5 pessoas e ainda assim obter uma temperatura final de 43 °C no reservatório. Como se pode observar pela equação (50), a primeira parcela representa a energia que a massa de água do reservatório tem a 40 °C acima da temperatura da água da rede, a segunda parcela representa o consumo de AQS e a terceira parcela representa as perdas de energia da água do reservatório para o ambiente, durante 8 horas. Esse balanço resulta numa energia final dentro do reservatório que está relacionada com a temperatura da água da rede e a temperatura final a que a água de reserva se encontra.

$$\begin{aligned} & \rho_{\text{agua}} \cdot V_{\text{res}} \cdot c_{p,\text{agua}} \cdot (T_{\text{res}} - T_{\text{rede}}) - \\ & - n_{\text{pessoas}} \cdot m_{\text{agua}} \cdot c_{p,\text{consumo}} \cdot (T_{\text{cons}} - T_{\text{rede}}) - \\ & - KA \cdot (T_{\text{res}} - T_{\text{amb}}) \cdot 8 \cdot 3600 = \\ & = \rho_{\text{agua}} \cdot V_{\text{res}} \cdot c_{p,\text{agua}} \cdot (T_{\text{final}} - T_{\text{rede}}) \end{aligned} \quad (50)$$

$$T_{\text{final}} = 42,7 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (51)$$

$$T_{\text{amb}} = 25 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (52)$$

$$KA = 0,0049 \text{ [kW/K]} \quad (53)$$

Deste modo o sistema motor, o reservatório e as tubagens de AQS e aquecimento/ar condicionado ficam interligados como se pode ver na Figura 13.

No caso da potência libertada do motor para o reservatório não ser suficiente para manter a temperatura de saída a 65 °C, devido à bomba já ter atingido a sua velocidade máxima, a válvula V1 roda um quarto de volta no sentido horário e a V2 roda um quarto no sentido anti-horário, relativamente à posição em que se encontram, de modo a dissipar calor para o radiador que se encontra em contacto com o ar exterior. Caso seja suficiente, as válvulas mantêm-se na posição de um quarto de volta, rodadas nos respetivos sentidos contrários ao referido anteriormente.

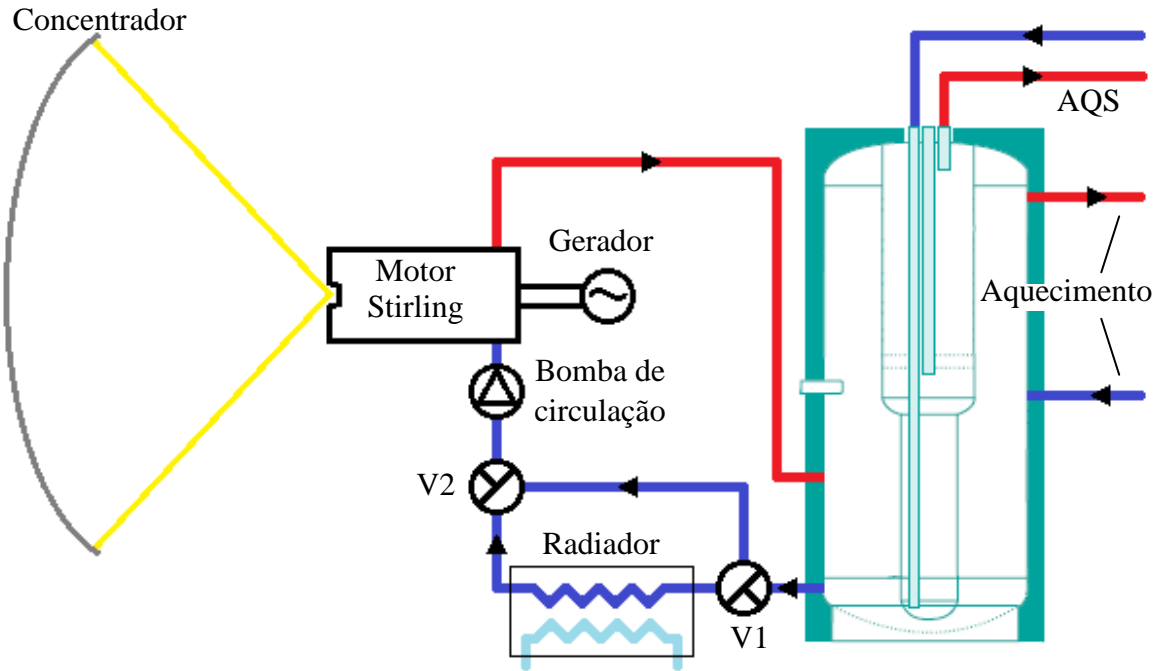


Figura 13 – Esquema do circuito hidráulico do sistema, relativo ao reservatório

No caso da potência libertada do motor para o reservatório não ser suficiente para manter a temperatura de saída a 65 °C, devido à bomba já ter atingido a sua velocidade máxima, a válvula V1 roda um quarto de volta no sentido horário e a V2 roda um quarto no sentido anti-horário, relativamente à posição em que se encontram, de modo a dissipar calor para o radiador que se encontra em contacto com o ar exterior. Caso seja suficiente, as válvulas mantêm-se na posição de um quarto de volta, rodadas nos respetivos sentidos contrários ao referido anteriormente.

3.7 Cálculo do número de coletores solares térmicos a serem comparados com o sistema

Após alguma pesquisa sobre fornecedores de coletores solares térmicos de placas planas, chegou-se à conclusão que o Wikosun 2340-Ti (Anexo K) era o que apresentava a melhor relação preço/potência térmica de saída, com $\dot{I}_\beta = 800 \text{ W/m}^2$ e $\Delta T_{col} = 45 \text{ }^\circ\text{C}$.

Os termos com índice zero das equações (54) a (58) são os valores da iteração anterior e o KA utilizado é o indicado pelo fornecedor, sendo E a energia contida no reservatório e E₀ a energia contida no reservatório na iteração anterior.

$$E = E_0 + E_{\text{ganhos}} \quad (54)$$

$$E_{\text{ganhos}} = Q_{\text{col}} - KA \cdot (T_{\text{arm};0} - T_{\text{amb};0}) - \frac{m_{\text{cons}} \cdot c_{p_{\text{arm}}} \cdot (T_{\text{cons}} - T_{\text{rede}})}{3600} - Q_{\text{AC};\text{AQ}} - Q_{\text{perdida}} \quad (55)$$

$$E = \frac{m_{res} \cdot c_{p_{res}} \cdot (T_{res} - T_{rede})}{3600} \quad (56)$$

$$Q_{col} = \eta_{PP} \cdot \dot{I}_{dir;\beta} \cdot \frac{A_{PP}}{1000} \quad (57)$$

$$\eta_{PP} = Fr_{\tau,\alpha} - Fr_K \cdot \left[\frac{T_{arm;0} - T_{amb;0}}{\dot{I}_{dir;\beta}} \right] \quad (58)$$

Como se pode ver na equação (57) a quantidade de calor transferido do coletor, Q_{col} , depende do seu rendimento, que por sua vez depende da temperatura de entrada do fluido no coletor. De modo a simplificar os cálculos, não foi considerada estratificação, admitindo-se que a temperatura dentro do reservatório era homogênea. Sendo assim, a temperatura de entrada no coletor passou a ser a temperatura de armazenamento, T_{arm} . Para se poder calcular de forma mais realista possível o calor transferido, utilizaram-se os dados de radiação usados na simulação do funcionamento do motor Stirling. Começou-se com uma temperatura inicial de 40 °C no reservatório, sendo incrementado, a cada 10 minutos, o ganho de energia com a radiação solar e a perda com o KA do reservatório. Caso a temperatura do reservatório ultrapassasse os 65 °C (temperatura pretendida), era retirada a energia equivalente para o ar condicionado por adsorção (no Verão, para temperaturas acima dos 55 °C) ou para o aquecimento (no Inverno, para qualquer temperatura), $Q_{AC;AQ}$. Caso as necessidades diárias de aquecimento/arrefecimento já tivessem sido colmatadas, o calor passava a ser retirado através de um sistema de dissipação, $Q_{perdida}$. Este último sistema também era utilizado durante os meses em que não é considerado Verão nem Inverno. Como explicado anteriormente, para o consumo de AQS no Verão, das 7 às 9 horas e de meia em meia hora, foi retirada a energia de 40 litros de água à temperatura de consumo, o equivalente aos gastos de 5 pessoas, caso ainda houvesse calor para tal. No Inverno, este consumo ocorreu de hora em hora das 19 às 23 horas. O número de coletores utilizado foi o que perfizesse o preço do sistema estudado.

Após este cálculo (Anexo L), a energia térmica obtida a partir dos coletores foi menor do que a obtida com o motor Stirling. Sendo assim, conclui-se que os coletores não poderiam ser comparados ao sistema em estudo, já que, para se obter a mesma energia estar-se-ia a partir de um custo inicial superior ao sistema com Stirling. Optou-se então por um cálculo semelhante, para um reservatório de 300 litros a utilizar apenas para AQS. Neste caso o que se pretendia saber era qual o número de coletores que resultaria na produção de calor suficiente para colmatar as necessidades de AQS para o ano todo. Deste modo, a variável a ser monitorizada não seria Q_{col} , mas sim $Q_{AQS;col}$.

$$Q_{AQS;col} = Q_{col} - KA \cdot T_{res;T;amb} - Q_{perdida} \quad (59)$$

Foi considerada uma temperatura máxima de 80 °C, já que o único limite para a temperatura era o do reservatório, tomando o valor de 95 °C.

Na execução deste cálculo, incrementando um coletor a cada simulação, observou-se que seria melhor aumentar a capacidade do reservatório por cada coletor adicionado. Pelo que se concluiu que se estava a aumentar substancialmente o custo inicial do sistema, para o ganho mínimo obtido. Foi então que se decidiu utilizar um sistema completo existente no mercado,

cujo número de pessoas recomendado pelo fabricante seja o mesmo utilizado neste estudo. Escolheu-se o Kit Wikora 300L [29], que funciona por circulação forçada, com os coletores Wikosun 2020Mi (Anexo N), da mesma marca utilizada até agora, e com um reservatório de 300l. Calculou-se então $Q_{AQS;col}$ para esta situação e por fim a energia auxiliar, $Q_{aux;col}$, que representa a energia extra necessária para se suprir por completo a demanda energética anual de águas quentes sanitárias.

3.8 Retorno do investimento

Sabendo o preço do sistema, é necessário ficar a saber quanto tempo demora o retorno do investimento. Para isso há que transformar os ganhos energéticos do sistema em ganhos monetários equivalentes, comparando-o com vários sistemas alternativos, cada um com o seu tipo de energia primária e rendimento até à forma e preço de energia final.

3.8.1 Lisboa

3.8.1.1 Cálculo do preço da energia primária

Dado que este estudo assenta na comparação de sistemas com formas e preços de energias primárias diferentes, é necessário saber qual o preço de cada uma delas nas mesmas unidades. A unidade de base utilizada foi o kWh.

3.8.1.1.1 Cálculo do preço da eletricidade

Consultando os preços do fornecedor, observou-se que havia diversos tarifários para diversos tipos de consumo. Tendo em conta que apenas é possível vender à rede metade da potência elétrica contratada e que o sistema em estudo debita uma potência máxima de 10 kW, optou-se pela Baixa Tensão Normal até 20 kVA. Seguidamente selecionou-se a tarifa simples, já que, não foi utilizado nenhum perfil de consumo. Sendo assim, o preço de compra de eletricidade à rede é de 0,1393 €/kWh + IVA [30].

Como se sabe, em Portugal é possível fazer-se microgeração elétrica e vender a energia excedentária à rede. Existem atualmente dois regimes de venda à rede pela EDP, o geral e o bonificado. No primeiro o preço de venda é igual ao preço de compra, e a potência máxima de ligação é de 5,75 kW, enquanto no segundo o preço de venda depende da quantidade de anos decorridos desde a assinatura do contrato (0,326 €/kWh nos primeiros 8 anos, 0,185 €/kWh nos 7 anos seguintes e preço igual ao de compra a partir do 16º ano) e a potência máxima é de 3,68 kW para instalações individuais ou 11,04 kW para condomínios [31].

Foram então consideradas duas hipóteses. Inicialmente, foi considerada a venda a preço de regime geral, com uma potência de ligação de 5,75 kW. Posteriormente, foram considerados os preços de venda em regime bonificado, com uma potência de ligação até 11,04 kW

3.8.1.1.2 Cálculo do preço do gás natural

O preço do gás, segundo o fornecedor, já se encontra na base desejada. A única nuance é que pode variar, segundo o consumo anual. Para o sistema em estudo, estimou-se que o consumo energético seria 4245 kWh para AQS e 10187 kWh para aquecimento a gás, considerando um rendimento da caldeira de 90% [25]. Foi então consultada uma empresa de instalações de redes de gás, obtendo-se o PCI_n e a densidade do mesmo [32]. Calculou-se o PCI às condições de utilização (20 °C e 1,021 bar) em kWh/m³ e obteve-se a quantidade de gás utilizada para

cada caso. Se apenas se utilizar o gás para AQS, insere-se o utilizador no escalão 2 (0,0595 €/kWh + IVA). Se se utilizar para aquecimento e/ou para AQS, insere-se o utilizador no escalão 4 (0,0561 €/kWh + IVA) [33].

3.8.1.1.3 Cálculo do preço do gasóleo de aquecimento

Para este cálculo, foi consultado um distribuidor de gasóleo de aquecimento, que apenas forneceu o preço deste combustível em €/l (euros por litro) [34]. Houve então a necessidade de se consultarem as propriedades do gasóleo de aquecimento noutra fornecedor [35], não resultando em grande discrepância visto que os valores médios de PCI e máximos de densidade estão definidos por lei (Anexo O). Foi obtido um valor final de 0,1207 €/kWh.

3.8.1.1.4 Cálculo do preço da lenha

Foi consultado um fornecedor local, que comercializava três tipos de lenha, cada um a seu preço. Por simples cálculo da média obteve-se o preço de 0,14 €/kg. Seguidamente, “através dos dados constantes na Tabela de Conversão no anexo II da Directiva 2006/2006/32/CE publicada no Jornal Oficial da União Europeia de 27 de Abril de 2006, e do Quadro 4 da Decisão da Comissão n.º 2007/589/CE, de 18 de Julho” (Anexo P), foi calculada a média do PCI da lenha, considerada “Madeira / resíduos de Madeira” na referida tabela. Por fim, obteve-se o preço da energia fornecida pela lenha, na base desejada, 0,0351 €/kWh.

3.8.1.2 Cálculo do consumo

De modo a se saber qual a quantidade de energia consumida e vendida, é necessário traçar um perfil de consumo diário. Neste trabalho, considerou-se que este teria um formato sinusoidal, estando os seus picos máximos situados nas 8 e 20 horas, e os mínimos às 2 e 14 horas. Através da ferramenta de cálculo de consumo da EDP [41] estimou-se que o consumo anual fosse de 5940 kWh, fixando-se uma potência de consumo mínimo de 200W, não tendo sido contabilizado equipamento de climatização ambiente. Partindo destes dados e sabendo que o consumo diário resulta em 16,72 kWh, obtiveram-se por integração numérica, os coeficientes 0,678 e 0,478 da equação (60), que caracteriza o perfil de consumo diário, representado na Figura 14.

$$\dot{W}_{\text{consumo}} = 0,678 - 0,478 \cdot \cos \left[2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{t - 2}{12} \right) \right] \quad (60)$$

De modo análogo, foram também calculados os perfis de consumo diário de Verão e Inverno, caso se utilize um sistema de arrefecimento e aquecimento elétrico, a compressão de gás. Adicionaram-se as necessidades térmicas de cada época aos consumos diários, bem como as cargas térmicas referentes a cada época ao consumo mínimo de potência. Neste cálculo teve-se em conta que as necessidades de eletricidade e a potência consumida, que resulta em potência térmica, estão afetadas pelos COP de aquecimento e arrefecimento do AC.

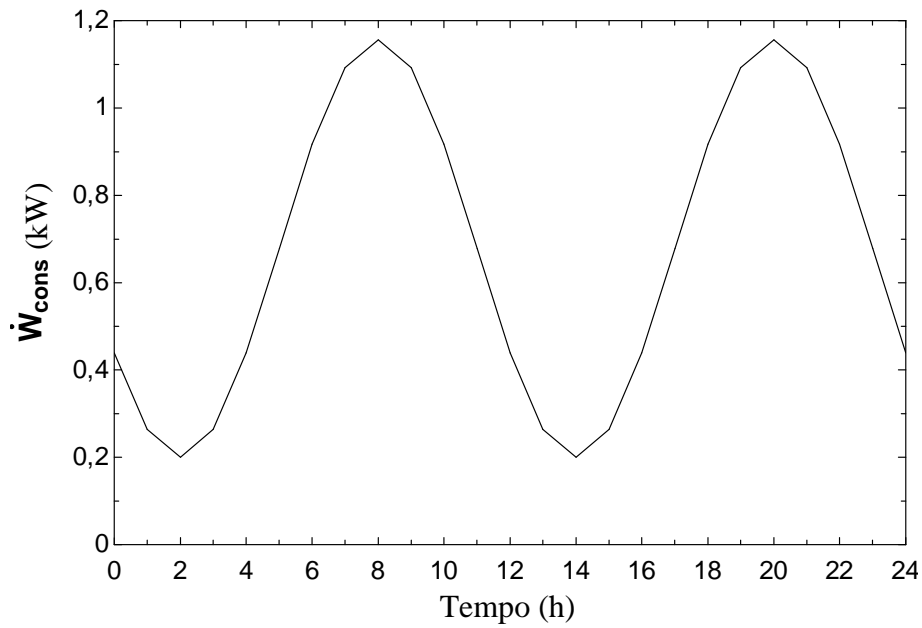


Figura 14 – Perfil do consumo elétrico diário de uma residência

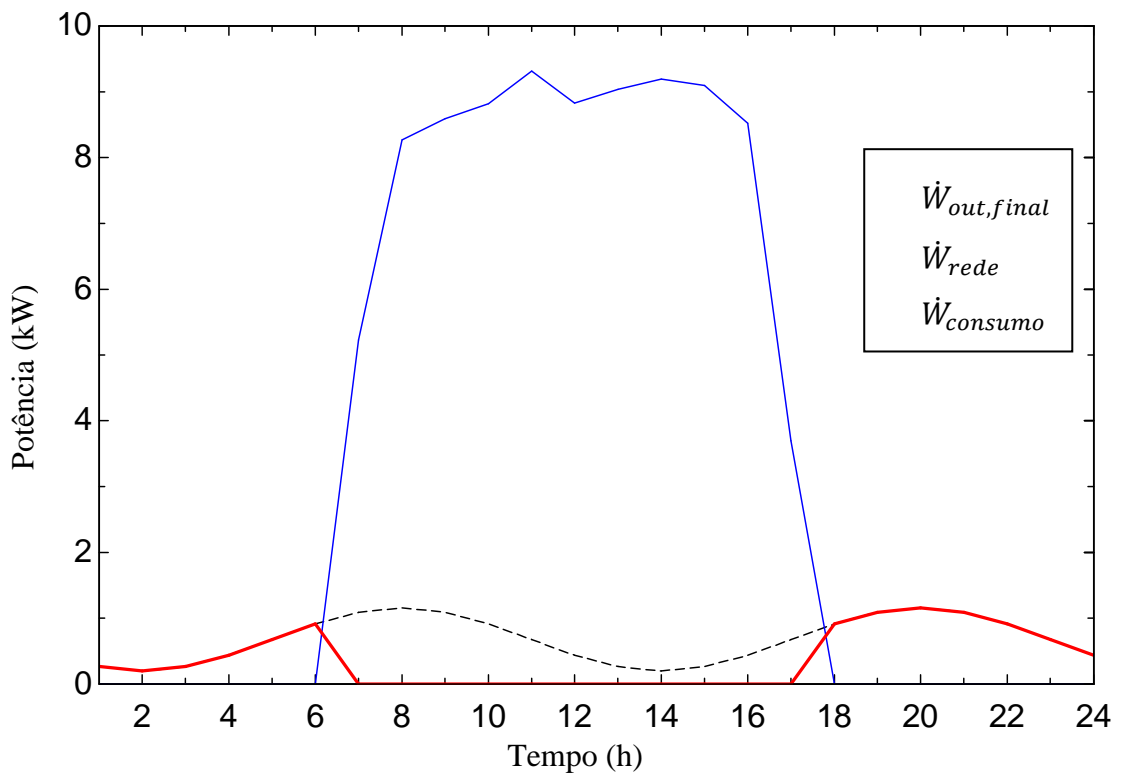


Figura 15 – Perfil da produção, consumo e compra à rede de eletricidade de um dia genérico em regime bonificado

3.8.1.3 Caracterização dos sistemas a comparar

Relativamente ao sistema em estudo, foram associados alternadamente dois sistemas de arrefecimento. O primeiro foi o de adsorção e o segundo de compressão de gás. Também foi

equacionado o uso do calor de Verão no auxílio do aquecimento de uma piscina, mas apenas quando não se considerou o uso do sistema de adsorção.

Do lado convencional foram criadas diversas combinações de equipamentos, que resultaram em diferentes sistemas de geração de aquecimento, arrefecimento e aquecimento de AQS. Cada equipamento está associado a um preço de compra, ao preço da energia primária utilizada e a um rendimento, resultando num custo de investimento e preço de energia final. Na Tabela 8 estão listados os equipamentos utilizados nas variadas combinações, bem como as suas características.

Não foram considerados os custos de transporte porque ainda não há produção em série para venda ao público e os preços não seriam muito realistas, visto que estes custos baixam com o transporte em grandes quantidades, podendo baixar ainda mais, caso haja a possibilidade da estrutura de base ser construída com materiais adquiridos no país/cidade de montagem.

Foi também equacionada a comparação com um sistema fotovoltaico de igual potência, mas o facto de o seu custo rondar os 40000 €, apenas para gerar eletricidade como é sabido, retirou logo esta hipótese de cima da mesa.

Tabela 8 – Características dos equipamentos utilizados

		Custo inicial (€)	Preço da energia primária (€/kWh)	Rendimento *COP	Preço da energia final (€/kWh)
Motor Stirling		18430	0	-	0,005 (C_{man} em €/kWh)
AC adsorção	Aquec.	17900	0	0,6*	0
	Arrefec.			1,5*	0
Desumidificador		139	-	-	-
AC compressão	Aquec.	379	0,1713	3,61*	0,04745
	Arrefec.			3,27*	0,05239
Caldeira a gasóleo		1118,9	0,1207	0,9	0,1341
Caldeira a gás		762,76	0,06900	0,9	0,07667
Recuperador de calor a lenha		1700	0,0351	0,72	0,04875
Esquentador		339	0,07319	0,9	0,08132
Kit de coletores solares		2900	0	-	0
Aquecimento auxiliar de kit coletores solares		0	0,1713	100	0,1713

3.8.1.4 Cálculo do retorno de investimento para Lisboa

De modo a se poder calcular o retorno de investimento, é necessário ter em mente que o que se obtém deste sistema é energia gerada a custo zero. Mesmo sabendo que é possível comprar e vender eletricidade à rede, caso se utilizasse toda a energia produzida e não se comprasse nenhuma, já se estava a obter lucro, apenas pelo facto de não se ter comprado essa energia. A única forma de se poder avaliar o valor da energia gerada, é compará-la com outra forma de energia que tenha um valor definido no mercado. Sendo assim, considerou-se que o melhor método a usar seria compará-lo com outro sistema que produza a mesma quantidade e formas de energia, mas a partir de energia com preço de mercado. Para se perceber melhor como se procedeu ao cálculo, fez-se uma tabela com os vários ganhos e gastos anuais de ambos os sistemas, associados aos respetivos preços por unidade de energia. Os ganhos são valores positivos e os gastos valores negativos que, ao serem somados, internamente para cada sistema, resultam num balanço de custos. Caso o balanço seja positivo, significa que se ganhou mais do que se gastou e caso seja negativo, gastou-se mais do que se ganhou.

Para se saber com que sistema se gasta menos, subtrai-se o balanço do que se suspeita que esteja a gastar mais, ao outro, e se o resultado for positivo significa que as suspeitas estavam corretas. Esse mesmo resultado representa a poupança que se obtém caso se utilize um sistema em vez do outro.

Tabela 9 – Ganhos e perdas anuais de cada sistema

Sistema em estudo, a (Custo de aquisição = CA_a)	Sistema comparativo, b (Custo de aquisição = CA_b)
$+ E_v \times C_v$	$- E_c \times C_e$
$- E_r \times C_e$	$- Q_v \times C_v$
$- E_{prod} \times C_{Man}$	$- Q_i \times C_i$
	$- Q_{AQS} \times C_{AQS}$

De modo a se exemplificar, fizeram-se os cálculos genericamente, com a suspeita de que o sistema *b* estivesse a gastar mais que o *a*.

$$E_c = E_r + E_s \quad (61)$$

$$E_{prod} = E_v + E_s \quad (62)$$

$$Ba = E_v \times C_v - E_r \times C_e - E_{prod} \times C_{Man} \quad (63)$$

$$Bb = - E \times C_e - Q_v \times C_v - Q_i \times C_i - Q_{AQS} \times C_{AQS} \quad (64)$$

$$Ba - Bb = E_v \times C_v - E_r \times C_e - E_{prod} \times C_{Man} - (- E \times C_e - Q_v \times C_v - Q_i \times C_i - Q_{AQS} \times C_{AQS}) \quad (65)$$

$$Ba - Bb = E_v \times C_v - E_r \times C_e - E_{\text{prod}} \times C_{\text{Man}} + E_r \times C_e + E_s \times C_e + Q_v \times C_v + Q_i \times C_i + Q_{AQS} \times C_{AQS} \quad (66)$$

$$Ba - Bb = E_v \times C_v + E_s \times C_e + Q_v \times C_v + Q_i \times C_i + Q_{AQS} \times C_{AQS} \quad (67)$$

$$PP = Ba - Bb \quad (68)$$

De facto, considerando que todos os coeficientes são maiores que zero, concluiu-se efetivamente que $Ba - Bb > 0$, o que significa que, ao se utilizar o sistema *a* está se a obter uma poupança anual de *PP* unidades monetárias.

Agora que se sabe qual a poupança anual, é possível calcular o tempo de retorno do investimento, que é obtido quando o valor da amortização, *VA*, for menor do que zero.

$$VA = (CA_a - CA_b) - \sum_n PP_n \cdot INF^n, \quad n = 1, 2, 3 \dots [\text{em anos}] \quad (69)$$

O valor de *j* que resultar em $VA < 0$, é o número de anos que o sistema *a* demora a ser pago, relativamente ao custo de aquisição de *b* (Anexo Q).

Caso se pretenda substituir o sistema *b* pelo *a*, sem haver lucro com a venda de *b*, o tempo de amortização passa a não contabilizar o custo de aquisição CA_b .

De modo a se contabilizar o aumento do preço da energia devido à inflação, adicionou-se o fator *INF* que, no caso em estudo, representa uma inflação fixa de valor igual a 3%, tal que:

$$INF = 1 + \frac{3}{100} \quad (70)$$

3.8.2 Dundo e Lubango

Em Angola, não é possível vender a eletricidade à rede, pelo que se fará inicialmente o cálculo, como se toda a energia produzida fosse consumida e, posteriormente, considerar-se-á que apenas parte dela é consumida, sendo necessário comprar à rede ou utilizar um gerador auxiliar para suprimir as restantes necessidades.

3.8.2.1 Cálculo do preço da energia primária

3.8.2.1.1 Cálculo do preço da eletricidade da rede

Por simples consulta da página da internet da empresa de distribuição de eletricidade de Angola, obteve-se o preço de 0,02774 €/kWh, já convertidos da moeda angolana [36].

3.8.2.1.2 Cálculo do preço do gásóleo

Para Angola, embora tenha sido considerada uma inflação de 3% para o preço da eletricidade e do gás, devido ao recente aumento de 37,9% no preço do gásóleo, foi feito um pequeno estudo da evolução dos preços dos combustíveis nos últimos 7 anos. Converteu-se o preço por litro para preço por kWh utilizando a massa volúmica (Anexo O) e o PCI do gásóleo (Anexo

P) e, como se pode ver pela Figura 16, obtiveram-se duas equações que aproximam a evolução com uma diferença de 5% entre si, mas com cerca de 15% de diferença relativamente à variação da evolução real. De modo a não ser feita uma análise muito otimista nem muito conservadora, utilizou-se a média dos valores obtidos em cada equação. A este preço foi adicionado o custo de transporte em cisterna, do distribuidor até à residência, cujo valor varia entre os 10 e os 15 kwanzas, resultando num valor médio convertido de 0,01085 €/kWh.

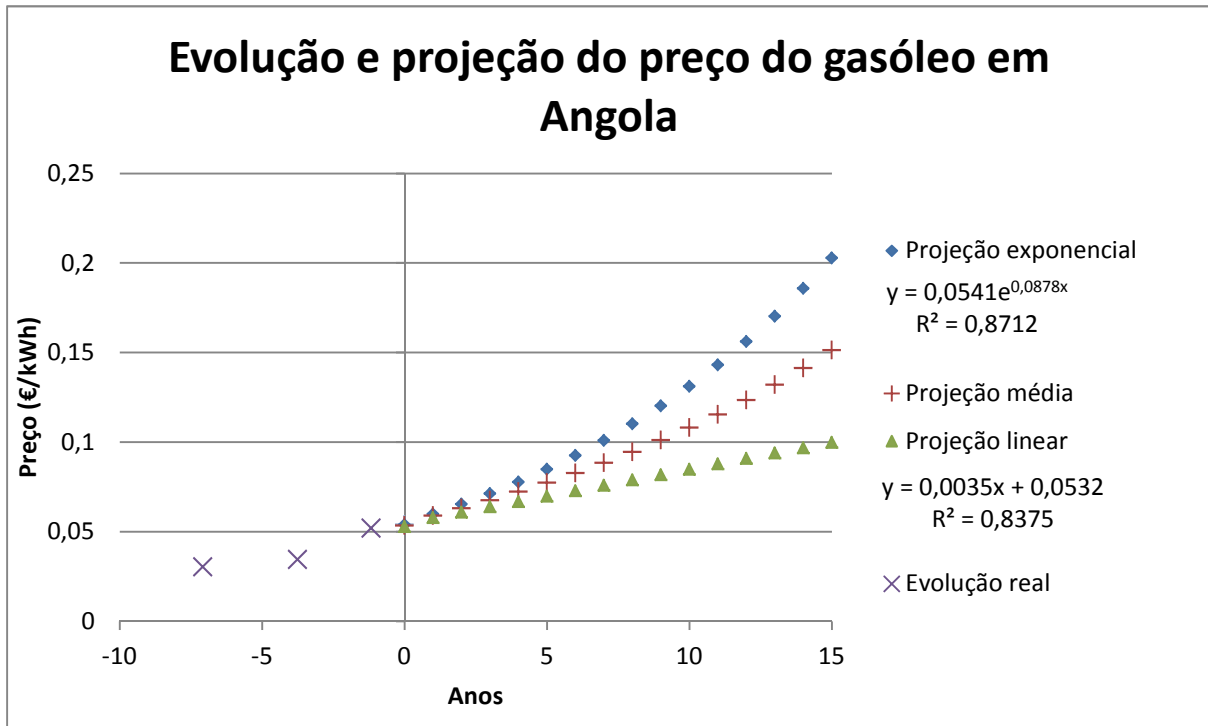


Figura 16 – Evolução do preço do gasóleo em Angola [37][38][39]

3.8.2.1.3 Cálculo do preço do gás

O gás comercializado em Angola é o butano, em botijas do tipo Pluma, que armazena 12 kg de combustível. Soube-se pelos locais que o preço médio por unidade é de 7,453 €. Através do seu PCI [40] foi possível obter o seu preço por unidade de energia, sendo este de 0,0489 €/kWh.

3.8.2.2 Cálculo do consumo

O cálculo do consumo, para as cidades angolanas, é feito analogamente ao de Lisboa. Tem-se no entanto em consideração que não há época de aquecimento para nenhuma das cidades e considera-se um custo de manutenção do gerador de 0,0105 €/kWh.

3.8.2.3 Caracterização dos sistemas a comparar

Analogamente ao método de cálculo para Lisboa, para as cidades angolanas foram associados, alternadamente, ao sistema em estudo os mesmos dois sistemas de arrefecimento. Para estas cidades, dado o seu clima, não se equacionou utilizar o calor produzido para aquecer uma

piscina. Na Tabela 10 estão listados os equipamentos utilizados nas variadas combinações, bem como as suas características.

Tabela 10 – Características dos equipamentos utilizados em Dundo e no Lubango

		Custo inicial (€)	Preço da energia primária (€/kWh)		Rendimento *COP	Preço da energia final (€/kWh)	
Motor Stirling		18430	0		-	0,005 (C_{man})	
Gerador a gasóleo		1934	0,07485		0,25	0,2994	
Gerador Stirling (gás butano)	Eletric.	16930	0,3319		0,2449	0,1997	
	Calor				0,7165	0,1473	
AC adsorção	Aquec.	17900	0		0,6*	0	
	Arrefec.				1,5*	0	
Desumidificador		139	-		-	-	
Esquentador		339	0,0489		0,9	0,0543	
Kit de coletores solares		2900	0		-	0	
Aquecimento auxiliar de kit coletores solares	0		Rede	Gerador	100	Rede	Gerador
			0,02774	0,2994		0,02774	0,2994

3.8.2.4 Cálculo do retorno de investimento para Dundo e Lubango

O método de cálculo utilizado é análogo ao utilizado para Lisboa, exceto no preço do gasóleo, que é dado pelo valor médio da Figura 16, no custo de manutenção do gerador a gasóleo que também é contabilizado e na comparação com o sistema de cogeração Stirling. Neste último caso, considerou-se que o funcionamento principal do gerador seria gerar eletricidade, e o calor extra daí resultante viria a custo zero. Caso fosse necessário mais calor, este custaria o preço do funcionamento apenas para produção de calor, já que o gerador apenas estaria a funcionar para tal. No Anexo R é possível verificar o cálculo para Dundo e no Anexo S para o Lubango.

4 Apresentação e discussão dos resultados obtidos

Na Tabela 11 estão registados os valores da energia produzida por um ano de Sol em cada cidade em estudo. Note-se que os rendimentos foram calculados relacionando toda a radiação incidente na área do coletor com toda a energia produzida, durante o ano.

Tabela 11 – Resultados obtidos para um ano de Sol em cada cidade em estudo

Valores anuais	Lisboa	Dundo	Lubango
E_c (kWh)	5940	5940	5940
E_r (kWh)	4270	4649	4042
E_{prod} (kWh)	13145	9124	17583
E_v em regime geral	10349	-	-
E_v em regime bonificado	11475	-	-
Calor _{produzido} (kWh)	29210	20749	37466
Calor _{Inverno} (kWh)	8185	-	8127
Calor _{Verão} (kWh)	13715	-	29339
Calor _{Piscina} (kWh)	16442	-	-
Rendimento total (%)	57,3	54,87	58,94
Potência elétrica máxima (kW)	9,157	9,069	9,157
Potência térmica máxima (kW)	18,61	18,8	19,85
Necessidade AQS (5 pessoas) (kWh)	3820,6	3820,6	3820,6

No caso referente a Lisboa, é possível aumentar o ganho com a venda de eletricidade nos meses em que as condições ambientais não requerem qualquer tipo de tratamento, baixando a temperatura de saída do motor, quando a água armazenada já se encontra à temperatura desejada. Há também que ter em conta que a utilização da energia gerada em Angola, sem armazenamento e com ar condicionado de compressão de gás, poderá ser maior, visto que durante o dia o uso do sistema de arrefecimento será maior, conduzindo a um maior uso da energia elétrica desperdiçada. Pelo contrário, durante a noite, a utilização deste sistema será mais moderada, visto que não há radiação solar e que as pessoas estarão a dormir, resultando num ganho energético interno menor.

Tabela 12 – Tempos de retorno e poupança anual para Lisboa em regimes geral e bonificado

Sistema Stirling	Sistema comparativo				Tempo de retorno (anos)		Poupança no ano n ($\times \text{INF}^n$ anos)	
	Arrefecimento	Aquecimento	AQS	Piscina	Ger	Bon	Ger	Bon
Adsorção	Compressão	Gás	Gás	Não	9	7	3739	5392
Adsorção	Compressão	Elétrico	Gás	Não	12	8	2925	5134
Adsorção	Compressão	Gasóleo	Gás	Não	8	6	4302	5955
Adsorção	Compressão	Lenha	Gás	Não	10	7	3494	5147
Adsorção	Compressão	Gás	Coletor	Não	8	6	3896	5548
Adsorção	Compressão	Elétrico	Coletor	Não	9	7	3620	5272
Adsorção	Compressão	Gasóleo	Coletor	Não	7	6	4440	6093
Adsorção	Compressão	Lenha	Coletor	Não	9	6	3632	5284
Compressão	Compressão	Gás	Gás	Não	6	4	3119	4852
Compressão	Compressão	Elétrico	Gás	Não	7	5	4726	2890
Compressão	Compressão	Gasóleo	Gás	Não	5	4	3682	5415
Compressão	Compressão	Lenha	Gás	Não	6	4	2874	4607
Compressão	Compressão	Gás	Coletor	Não	5	4	3275	5008
Compressão	Compressão	Elétrico	Coletor	Não	6	4	3027	4864
Compressão	Compressão	Gasóleo	Coletor	Não	4	3	3820	5553
Compressão	Compressão	Lenha	Coletor	Não	5	4	3011	4745
Compressão	Compressão	Gás	Gás	Sim	5	4	4606	6340
Compressão	Compressão	Elétrico	Gás	Sim	5	4	4377	5094
Compressão	Compressão	Gasóleo	Gás	Sim	4	3	5170	6903
Compressão	Compressão	Lenha	Gás	Sim	5	3	4361	6094
Compressão	Compressão	Gás	Coletor	Sim	4	3	4763	6496
Compressão	Compressão	Elétrico	Coletor	Sim	4	3	4515	5872
Compressão	Compressão	Gasóleo	Coletor	Sim	3	3	5308	7041
Compressão	Compressão	Lenha	Coletor	Sim	4	3	4499	6232

Analisando a Tabela 12 conclui-se que, para qualquer tipo de tarifário de venda de eletricidade à rede, é possível pagar o equipamento antes do final do seu tempo esperado de vida, que é de 25 anos [12], poupando-se no mínimo 2800 €/ano em regime geral. Caso seja possível associar este sistema ao regime bonificado, vendendo eletricidade à maior potência disponível, é possível em menos de 8 anos, ter o sistema pago. É necessário ter em conta que estes valores dependem da área e tipo de construção da residência onde é utilizado.

Pela Figura 17 é possível concluir que, caso se utilize o sistema de adsorção (realçado na Tabela 12), a maior parte da poupança gerada, resulta da venda de eletricidade à rede e que cerca de um terço da poupança está sujeita ao aproveitamento da energia térmica gerada. Observando a Figura 18 nota-se que a dependência da poupança, relativamente ao calor produzido baixou de 33 para 15%, ao utilizar-se o ar sistema de ar condicionado a compressão (realçado na Tabela 12). Ao se mudar esta utilização energética, abre-se espaço a duas hipóteses: ou utilizar o calor gerado no Verão para outro fim, ou desperdiçá-lo, diminuindo o rendimento total do sistema.

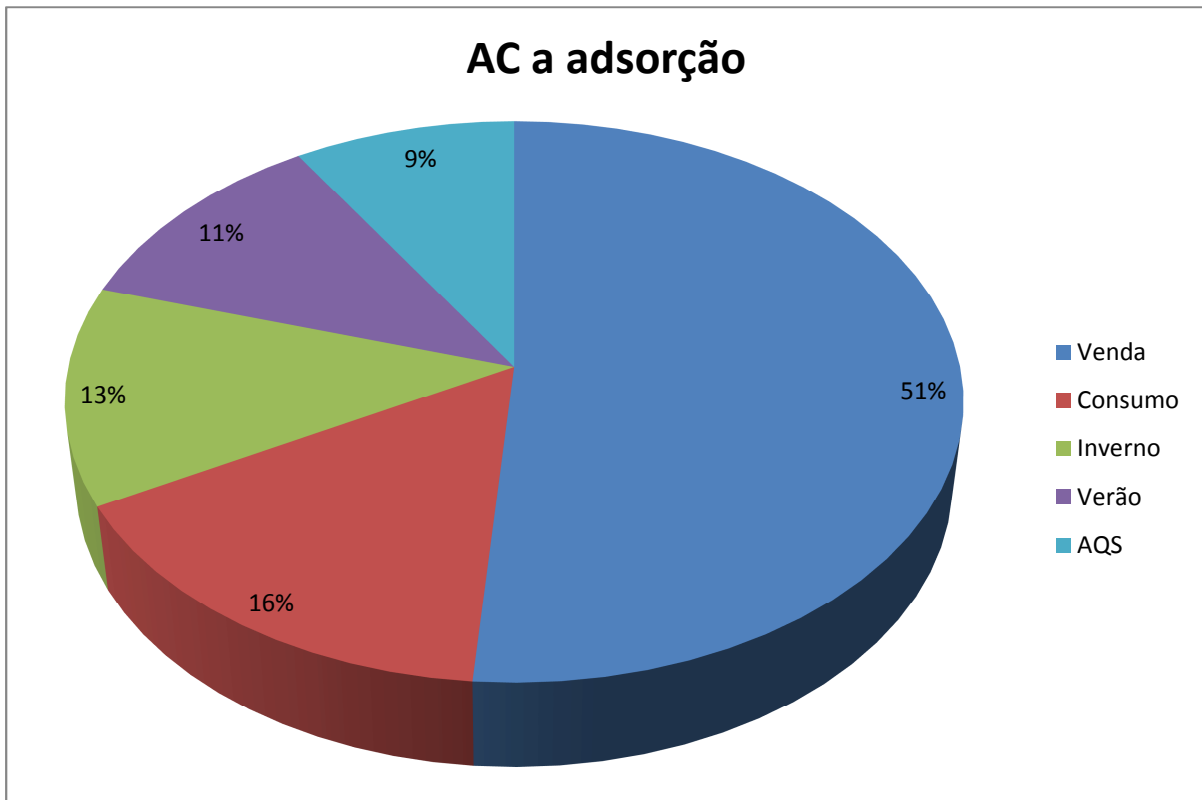


Figura 17 – Distribuição da percentagem de poupança anual pelos diversos tipos de ganho utilizando AC de adsorção

Note-se, tanto pela distribuição da percentagem de poupança anual, como pelos tempos de retorno das cidades angolanas sem armazenamento, que a venda de eletricidade à rede elétrica é um fator decisivo no retorno do investimento, caso se tenha possibilidade de o fazer. No caso destas últimas, onde normalmente é necessário um sistema desligado da rede, se houver a possibilidade de adquirir um sistema de adsorção, é preferível adquirir a versão do motor Stirling a gás natural. Se apenas se utilizar um sistema de ar condicionado a compressão de gás, consegue-se o retorno do investimento em entre 6 e 17 anos, economizando de 400 a 1500 € por ano. Comparando com o sistema alternativo mais utilizado, gerador a gásóleo e AC a compressão, no caso de Dundo é possível obter o retorno cerca de 17 anos após a aquisição do equipamento. Relativamente ao Lubango, que teve mais 72% de irradiação solar que o Dundo, é possível ter-se o sistema pago em aproximadamente de 13 anos. Para ambas as cidades, a utilização do sistema a adsorção consegue gerar maiores poupanças, devido à utilização do calor produzido, sendo o custo inicial, o responsável pelo longo período de retorno

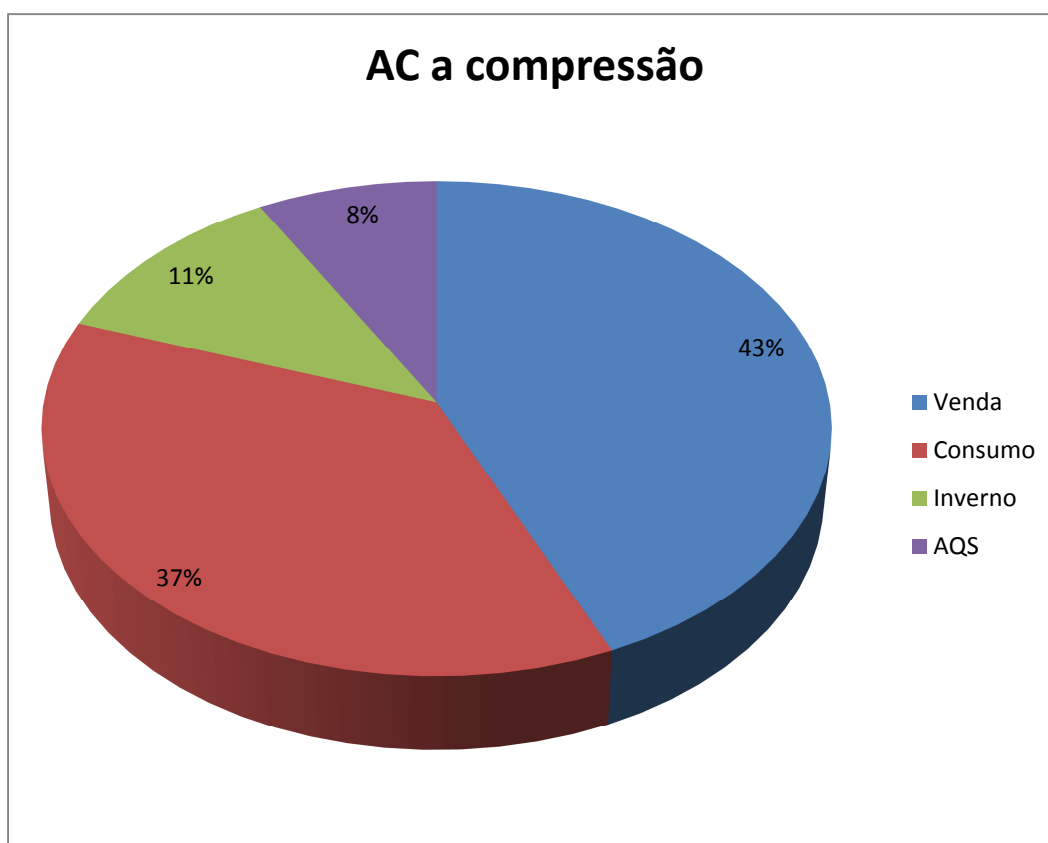


Figura 18 – Distribuição da porcentagem de poupança anual pelos diversos tipos de ganho utilizando AC de compressão

Tabela 13 – Tempos de retorno e poupança anual para Dundo, com e sem armazenamento

Sistema Stirling	Sistema comparativo			Tempo de retorno (anos)		Poupança no 1º ano	
				c/ arm	s/ arm	c/ arm	s/ arm
Arrefecimento	Eletricidade	Arrefecimento	AQS	c/ arm	s/ arm	c/ arm	s/ arm
Adsorção	Rede	Compressão	Gás	> 25	> 25	516,3	292,6
Adsorção	Gerador gasóleo	Compressão	Gás	9	17	3607	1468
Adsorção	Gerador a gás	Compressão	Gás cogер.	8	19	2515	905,2
Adsorção	Gerador a gás	Adsorção	Gás cogер.	2	> 25	1877	-956,2
Adsorção	Rede	Compressão	Coletor	> 25	> 25	375,9	152,2
Adsorção	Gerador gasóleo	Compressão	Coletor	7	13	4095	1956
Compressão	Rede	Compressão	Gás	> 25	> 25	427,6	224,7
Compressão	Gerador gasóleo	Compressão	Gás	6	17	2758	818,8
Compressão	Gerador a gás	Compressão	Gás cogер.	2	10	1877	416,5
Compressão	Rede	Compressão	Coletor	> 25	> 25	287,1	84,28
Compressão	Gerador gasóleo	Compressão	Coletor	5	10	3246	1307

Tabela 14 – Tempos de retorno e poupança anual para o Lubango, com e sem armazenamento

Sistema Stirling	Sistema comparativo			Tempo de retorno (anos)		Poupança no 1º ano	
				c/ arm	s/ arm	c/ arm	s/ arm
Arrefecimento	Eletricidade	Arrefecimento	AQS	c/ arm	s/ arm	c/ arm	s/ arm
Adsorção	Rede	Compressão	Gás	> 25	> 25	762,8	314,7
Adsorção	Gerador gasóleo	Compressão	Gás	5	13	6429	2143
Adsorção	Gerador a gás	Compressão	Gás cogер.	5	14	4603	1378
Adsorção	Gerador a gás	Adsorção	Gás cogер.	1	> 25	3767	-681,2
Adsorção	Rede	Compressão	Coletor	> 25	> 25	603,5	155,3
Adsorção	Gerador gasóleo	Compressão	Coletor	5	11	6736	2451
Compressão	Rede	Compressão	Gás	23	> 25	625,7	222,7
Compressão	Gerador gasóleo	Compressão	Gás	4	12	5117	1264
Compressão	Gerador a gás	Compressão	Gás cogер.	1	6	3616	715,5
Compressão	Rede	Compressão	Coletor	25	> 25	466,3	63,34
Compressão	Gerador gasóleo	Compressão	Coletor	3	9	5425	1571

Dada a quantidade de eletricidade excedentária vendida à rede e à necessidade de haver utilização da energia térmica produzida por este sistema, de modo a haver um rápido retorno de investimento, pode dizer-se que este estará, provavelmente, mais indicado à utilização em centros empresariais que necessitem de uma grande quantidade de eletricidade durante as horas de expediente, que coincidem com as horas de sol. Habitualmente durante esse período também é necessária uma grande quantidade de energia térmica, de modo a manter sempre uma temperatura de conforto nos seus escritórios, o que aumenta a utilizabilidade do sistema. Deste modo não existe a preocupação da necessidade de venda à rede.

Caso se opte por utilizar este sistema em ambiente doméstico, de modo a aumentar a sua utilizabilidade, pode se considerar usá-lo numa residência multi-familiar e/ou armazenar o excedente de eletricidade. Foi considerado um sistema de armazenamento elétrico a baterias que servisse para armazenar energia suficiente para um dia sem energia solar, mas devido à quantidade de baterias necessárias para se fazer bom uso da energia, decidiu-se abandonar essa hipótese, que se tornaria claramente dispendiosa. Talvez a utilização de um sistema mais pequeno, com armazenamento em baterias, apenas para suprir os picos, fosse uma melhor opção, já que há um excedente energético de 7883 kWh/ano em Dundo e 15685 kWh/ano no Lubango, caso se utilize o sistema de adsorção. Os picos a considerar seriam devido às seguintes fontes de consumo [41]:

1000W – Microondas

750W – Torradeira

2500W – Forno

2300W – Máquina de lavar roupa

700W – Bomba de água

Utilizando um compressor e reservatórios de ar comprimido, à primeira vista não seria uma má hipótese de armazenamento de energia, principalmente se o compressor a usar tiver a opção de aproveitamento do calor gerado na compressão. Quando fosse necessário utilizar a energia armazenada, utilizar-se-ia um motor a ar comprimido (Di Pietro [42], a título de exemplo). Normalmente o armazenamento de energia em pressão de ar não costuma ser viável, devido ao baixo rendimento da conversão de energia. Mas como a energia utilizada sai a custo zero, deve ser uma hipótese a considerar, dependendo do preço dos reservatórios, dos compressores e dos motores.

O uso de um recetor híbrido (absorvedor/queimador a gás – Figura 19) acoplado a este sistema já está a ser estudado. Em 2003 o preço de instalação de um recetor BioDish deste género num motor Stirling rondava os 13100 €, a umacadência de produção de 100 unidades por ano. Esta hipótese resultaria na junção do sistema solar ao auxiliar, podendo viabilizar, dependendo do preço final do conjunto, a utilização do sistema resultante.

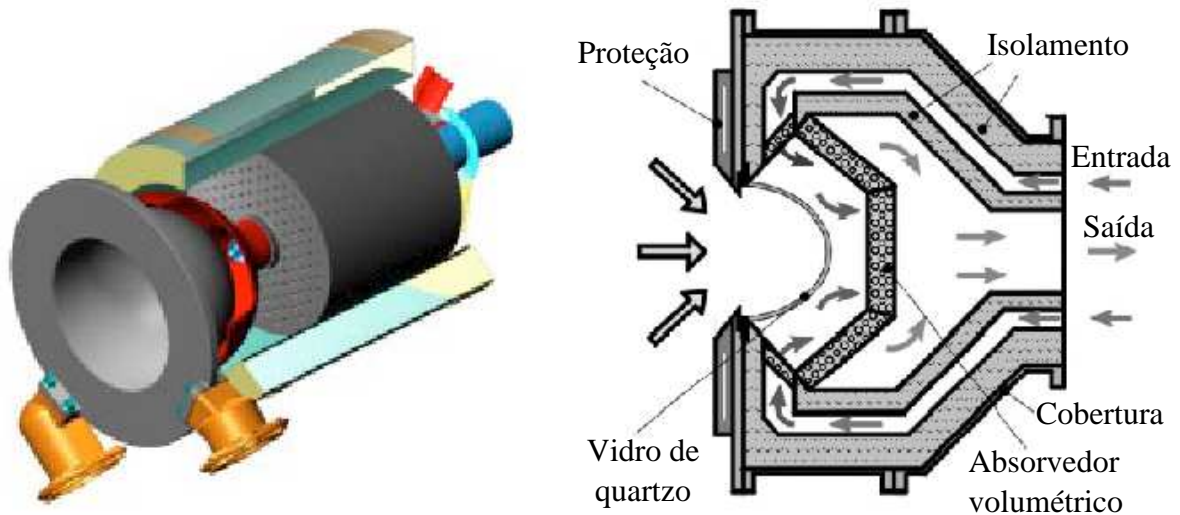


Figura 19 – Recetores solares híbridos. Recetor BioDish à esquerda; recetor volumétrico de ar pressurizado DLR à direita [15]

5 Conclusões e perspectivas de trabalho futuro

Após a realização deste estudo, concluiu-se que a utilização deste sistema apenas é uma hipótese a considerar, caso seja possível utilizar todo o seu potencial, quer seja para vender eletricidade à rede ou utilizá-la por completo, sendo um quarto desse potencial, o calor por ele produzido.

Em Portugal, onde é possível vender a eletricidade excedentária, apenas se tem que ter em atenção a área do edifício onde este é inserido, de modo a se maximizar a utilização da sua energia térmica.

No caso de Angola, há diversos fatores a considerar. Há que ter em mente que a rede não é fiável, havendo frequentemente interrupções no seu fornecimento e que não abrange todo o território, sendo elevado o custo de desenvolver a infraestrutura pública distribuição. Dado este panorama, grande parte da população tem gerador próprio a gasóleo e utiliza ar condicionado. Caso seja possível utilizar a eletricidade da rede, este sistema não é economicamente viável. Também não o é, caso se pretenda utilizar um sistema independente com ar condicionado a adsorção, sendo mais económico utilizar o mesmo motor, mas alimentado a gás. Apenas para a hipótese de se utilizar o sistema de ar condicionado convencional é que compensa utilizar este sistema, que ainda assim tem que ser auxiliado por outro sistema de energia ou por algum tipo de armazenamento, de modo a garantir o fornecimento durante o período noturno.

Existem dois grandes impedimentos à utilização deste sistema. A primeira é o volume ocupado pelo concentrador, que tem que ter mais de 7 m de diâmetro. A segunda é o fabricante não comercializar o sistema em unidades individuais para aplicações domésticas, estando no entanto a desenvolver esforços nesse sentido, que não incluem obrigatoriamente a cogeração.

De futuro, seria interessante estudar o funcionamento do motor com um recetor híbrido acoplado. Também seria de grande interesse, estudar formas de armazenamento de energia económicas, mesmo que de baixo rendimento, dada a grande quantidade de energia desperdiçada, caso não haja forma de a rentabilizar.

Caso este sistema venha a ser comercializado, seria uma boa ferramenta, desenvolver um programa para auxiliar no projeto de um novo edifício, determinando os diversos tipos de soluções construtivas que maximizem a utilização deste sistema. Incluir-se-ia no programa uma opção para calcular o período de retorno do investimento, caso o sistema seja implementado numa habitação já existente, considerando o tipo de energias primárias e equipamentos utilizados que já estivessem implementados.

Também seria interessante, efetuar um estudo da pegada de carbono deixada pela construção e abate deste tipo de sistemas.

6 Referências e Bibliografia

- [1] http://pt.wikipedia.org/wiki/Motor_Stirling. Acedido a 24 de Janeiro de 2012
- [2] <http://www.animatedengines.com/vstirling.html>. Acedido a 24 de Janeiro de 2012
- [3] Onovwiona, I., Ugursal, I. *Residential cogeneration systems: review of the current technology*. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 13/07/2004, pp. 389 – 431, Elsevier, Halifax
- [4] <http://www.baxi.co.uk/products/combinedheatandpower.htm>. Acedido a 24 de Janeiro de 2012
- [5] Ferreira, C., *Implementação e Estudo de um Colector Solar do Tipo Termossifão e de um Sistema de Painéis*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010
- [6] http://www.daviddarling.info/encyclopedia/S/AE_solar_collector.html. Acedido a 24 de Janeiro de 2012
- [7] <http://www.lusosol.com/tabela1.htm>. Acedido a 24 de Janeiro de 2012
- [8] Almeida, L., *Estudo de um Colector Solar Híbrido para Produção de Electricidade e Calor*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008
- [9] Ibrahim, A., Othman, M. *Recent advances in flat plate photovoltaic/thermal (PV/T) solar collectors*. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 9/09/2010, pp. 362 – 365, Elsevier, Selangor
- [10] <http://www.marla.pt/paineis-fotovoltaicos.php>. Acedido a 24 de Janeiro de 2012
- [11] Thomas, B. *Benchmark testing of Micro-CHP units*. Applied Thermal Engineering, 5/03/2008, pp. 2049 – 2054, Elsevier, Reutlingen
- [12] <http://www.cleanergy.com/>. Acedido a 24 de Janeiro de 2012
- [13] <http://www.buildup.eu/cases/19164>. Acedido a 24 de Janeiro de 2012
- [14] <http://newenergydirection.com/blog/2008/12/concentrated-solar-thermal-power/>. Acedido a 24 de Janeiro de 2012
- [15] Mancini, T., Heller, P. *Dish-Stirling Systems: An Overview of Development and Status*. Journal of Solar Energy Engineering, 10/2002, pp. 138 – 147, R. Pitz-Paal, Albuquerque
- [16] Reinalter, W., Ulmer, S. *Detailed Performance Analysis of a 10 kW Dish/Stirling System*. Journal of Solar Energy Engineering, 28/12/2007, pp. 1 – 5, Font-Romeu
- [17] Nepveu, F., Ferriere, A. *Thermal model of a dish/Stirling systems*. Solar Energy, 1/07/2008, pp. 81 – 89, Elsevier, Font-Romeu
- [18] Diver, R., Grossman, J. *Sandwich Construction Solar Structural Facets*. Sandia National Laboratories, Albuquerque, 1998
- [19] Paitoonsurikarn, S., Lovegrove, K. *Numerical Investigation of Natural Convection Loss From Cavity Receivers in Solar Dish Applications*. Journal of Solar Energy Engineering, 22/03/2011, Robert Palumbo, Canberra
- [20] M., William, *Stirling Engine Design Manual*, University of Washington, 1978
- [21] <http://pt.wikipedia.org/wiki/R%C2%B2>. Acedido a 24 de Janeiro de 2012

- [22] Ren, J., Zhu, L. *Very low temperature radiant heating/cooling indoor end system for efficient use of renewable energies*. Solar Energy, 18/03/2012, pp. 1072 – 1083, Elsevier, Tianjin
- [23] Jakob, U., Saulich, S. *Development and Investigation of Solar Cooling Systems Based on Small-Scale Sorption Heat Pumps*. Eurosun 2008, SolarNext AG, Rimsting
- [24] <http://www.invensor.com/en/usage-fields/ltc-10-plus.htm>. Acedido a 12 de Janeiro de 2012
- [25] *Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) – Decreto Lei nº 80/2006 de 4 de Abril*. 2006, Ministério das Obras Públicas Transportes e Comunicações (MOPTC): Portugal
- [26] Ferreira, A., *Sistemas de Ventilação Híbridos em Edifícios*, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2006
- [27] <http://www.levoyageur.net/weather-city-DUNDO.html>. Acedido a 24 de Janeiro de 2012
- [28] <http://www.myweather2.com/City-Town/Angola/Lubango/climate-profile.aspx>. Acedido a 24 de Janeiro de 2012
- [29] http://www.lusolol.com/tabela_forcada.htm. Acedido a 24 de Janeiro de 2012
- [30] <http://www.edpsu.pt/pt/particulares/tarifasehorarios/BTN/Pages/TarifasBTNate20.7kVA.aspx>. Acedido a 25 de Janeiro de 2012
- [31] <http://www.microgeracaoedp.com/produza-energia-e-ganhe-dinheiro>. Acedido a 24 de Janeiro de 2012
- [32] <http://www.peninsulagas.com/content/view/25/39/1/2/>. Acedido a 25 de Janeiro de 2012
- [33] <http://www.galpenenergia.com/PT/ProdutosServicos/GasNatural/Mercado-Livre/Residencial/Paginas/Residencial.aspx>. Acedido a 25 de Janeiro de 2012
- [34] http://www.combustoil.pt/orcamento_combustoil.php. Acedido a 25 de Janeiro de 2012
- [35] <http://www.galpenenergia.com/PT/ProdutosServicos/Servicos/EntregaGasoleoAquecimentoColorido/Paginas/FAQs.aspx>. Acedido a 25 de Janeiro de 2012
- [36] <http://www.edel.utils.com.br/conteudo/orientacao/trf.html>. Acedido a 25 de Janeiro de 2012
- [37] <http://www.angonoticias.com/Artigos/item/2893>. Acedido a 24 de Janeiro de 2012
- [38] <http://angola.fotosblogue.com/35750/A-gasolina-e-gasoleo-voltaram-a-aumentar/>. Acedido a 24 de Janeiro de 2012
- [39] <http://www.angonoticias.com/Artigos/item/27094>. Acedido a 24 de Janeiro de 2012
- [40] <http://www.minetur.gob.es/Energia/glp/Paginas/Index.aspx>. Acedido a 25 de Janeiro de 2012
- [41] <http://www.edp.pt/pt/particulares/bemvindoedp/Documents/Flash.htm#home>. Acedido a 20 de Dezembro de 2011
- [42] <http://www.engineair.com.au/>. Acedido a 24 de Janeiro de 2012

7 Anexo A: Modelo em regime estacionário

File: ANEXO A - Modelo em regime estacionário.EES

29-01-2012 09:55:42 Page 1

EES Ver. 8.874: #0725: For use by students and faculty in the Faculdade de Engenharia, D. Mech. Universidade do Porto

$$\dot{m} = 5,173 \cdot [T_{out} - T_{rotorn}]^{-0,99648}$$

$$T_{in} = 850 + 273,15$$

$$T_{out} = 305$$

$$T_{rotorn} = 295$$

$$T_{cav} = 150 + 273,15$$

$$T_{amb} = 270,15$$

$$I_{nzd} = 0,9963 \text{ [kW]}$$

$$\theta = 45$$

$$rpm = 1500$$

$$\rho_{col} = 0,94$$

$$Inc = 0,99$$

$$r = 3,6$$

$$A_{abs} = 0,058$$

$$A_{col} = \pi \cdot r^2$$

$$A_{ap} = \pi \cdot 0,095^2$$

$$D_{ap} = 0,095 \cdot 2$$

$$\alpha = 0,93$$

$$\epsilon_{A,ap} = \frac{0,9 + 0,889}{2}$$

$$\sigma = 5,729 \times 10^{-11} \text{ [kW/m}^2\text{·K}^4\text{]}$$

$$A_{cav} = 0,47$$

$$D_{cav} = 2 \cdot 0,136$$

$$B = 0,12$$

$$Q_{tot,out} = \dot{Q}_{out} + W_{out}$$

$$P_{max} = 150 \cdot \left| 0,1 \cdot \frac{\text{MPa}}{\text{bar}} \right|$$

$$V_E = 80 \text{ [cm}^3\text{]}$$

$$V_C = 80 \text{ [cm}^3\text{]}$$

$$V_T = 20$$

$$V_T = V_E + V_C$$

$$\dot{Q}_{in} = I_{nzd} \cdot \rho_{col} \cdot Inc \cdot A_{col} \cdot \alpha$$

$$\dot{Q}_{out} = \frac{\dot{Q}_in - \dot{W}_{out} - \dot{Q}_p}{x}$$

$$\dot{W}_{out} = \frac{W_{out} \cdot \frac{rpm}{60}}{1000} \cdot x$$

$$W_{final} = \dot{W}_{out} \cdot 0,925 - Parasitics$$

$$Parasitics = 0,48125$$

$$\dot{Q}_p = \dot{Q}_{rad} + \dot{Q}_{conv}$$

$$\dot{Q}_{rad} = \epsilon A_{ap} \cdot \sigma \cdot A_{ap} \cdot [T_{in}^4 - T_{amb}^4]$$

$$h_{conv} = \lambda \cdot \frac{Nus}{L_c}$$

$$\dot{Q}_{conv} = h_{conv} \cdot A_{abs} \cdot \left[\frac{T_{in} - T_{amb}}{1000} \right]$$

$$Nus = 0,0196 \cdot Ra_L^{0,41} \cdot Pr_L^{0,13}$$

$$Ra_L = \frac{\mu}{a}$$

$$Pr_L = 9,81 \cdot \beta \cdot [T_{in} - T_{amb}] \cdot \frac{L_c^3}{\mu \cdot a}$$

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_{par}}$$

$$\lambda = \text{Interpolate} ['Inconel 617'; 'Temp'; 'lambda'; 'Temp' = T_{in}]$$

$$c_{par} = \text{Cp} \left['Air_{na}'; T = \frac{|T_{in} + T_{amb}|}{2}; P = 101,325 \right]$$

$$\rho = \rho \left['Air_{na}'; T = \frac{|T_{in} + T_{amb}|}{2}; P = 101,325 \right]$$

$$\mu = \frac{\text{Visc} \left['Air_{na}'; T = \frac{|T_{in} + T_{amb}|}{2}; P = 101,325 \right]}{\rho}$$

$$\beta = \beta \left['Air_{na}'; T = \frac{|T_{in} + T_{amb}|}{2}; P = 101,325 \right]$$

$$L_c = |a_1 \cdot \cos^{b_1} [\theta + \psi_1] \cdot L_1 + a_2 \cdot \cos^{b_2} [\theta + \psi_2] \cdot L_2 + a_3 \cdot \cos^{b_3} [\theta + \psi_3] \cdot L_3|$$

$$a_1 = 4,08$$

$$a_2 = -1,17$$

$$a_3 = 0,07$$

$$b_1 = 5,41$$

$$b_2 = 7,17$$

$$b_3 = 1,99$$

$$\psi_1 = -0,11 \cdot \left| 57,3 \cdot \frac{\text{deg}}{\text{rad}} \right|$$

$$\psi_2 = -0,3 \cdot \left[\left| 57,3 \cdot \frac{\text{deg}}{\text{rad}} \right| \right]$$

$$\psi_3 = -0,09 \cdot \left| 57,3 \cdot \frac{\text{deg}}{\text{rad}} \right|$$

$$L_1 = 0,136$$

$$L_2 = 0,12$$

$$L_3 = 0,095$$

$$\dot{Q}_{\text{out}} = \dot{m} \cdot c_p \cdot [T_{\text{out}} - T_{\text{retorn}}]$$

$$c_p = 3,574$$

$$W_{\text{out}} = \left[-P_{\text{max}} \cdot V_T \cdot \pi \cdot \left(\frac{\tau - 1}{k + 1} \right) \cdot \left(\frac{1 - \delta}{1 + \delta} \right)^{(1/2)} \right] \cdot \delta \cdot \left[\frac{\sin(\gamma)}{1 + (1 - \delta^2)^{(1/2)}} \right]$$

$$k = \frac{V_C}{V_E}$$

$$T_{\text{dita}} = 13$$

$$T_{\text{dita}} = 5$$

$$\tau = \frac{T_{\text{out}} + T_{\text{dita}}}{T_{\text{in}} - T_{\text{dita}}}$$

$$\delta = \frac{[\tau^2 + 2 \cdot \tau \cdot k \cdot \cos(\text{angle}) + k^2]^{(1/2)}}{\tau + k + 2 \cdot s}$$

$$\gamma = \arctan \left[k \cdot \left(\frac{\sin[\text{angle}]}{\tau + k \cdot \cos[\text{angle}]} \right) \right]$$

$$\text{angle} = 90$$

$$s = V_r \cdot \left[\frac{T_{\text{out}} + T_{\text{dita}}}{V_E \cdot T_r} \right]$$

$$T_r = \frac{T_{\text{in}} - T_{\text{dita}} - [T_{\text{out}} + T_{\text{dita}}]}{\ln \left[\frac{T_{\text{in}} - T_{\text{dita}}}{T_{\text{out}} + T_{\text{dita}}} \right]}$$

Inconel 617 table: <http://www.hightempmetals.com/techdata/hitemp/inconel617data.php>

8 Anexo B: Modelo em regime dinâmico

File:ANEXO B - Modelo em regime alternado.EES

29-01-2012 09:59:59 Page 1

EES Ver. 8.874: #0725: For use by students and faculty in the Faculdade de Engenharia, D. Mech. Universidade do Porto

$$\dot{m} = \frac{C_{p,ref}}{C_p} \cdot \frac{I_{n,ref}}{I_{n,dref}} \cdot 5,173 \cdot [T_{out} - T_{rotom}]^{-0,99648}$$

$$C_{p,ref} = 3,574$$

$$I_{n,dref} = 0,9962$$

$$T_{in} = \text{If} \left[P ; P_{min} ; T_{in,ref} - \left(\left[1 - \frac{P}{P_{min}} \right] \cdot [T_{in,ref} - T_{amb}] \right) ; T_{in,ref} ; T_{in,ref} \right]$$

$$T_{in,ref} = \text{If} [\dot{Q}_{in} ; 300 ; T_{in} ; T_{amb} ; T_{amb}]$$

$$T_{in,ref} = 1053$$

$$T_{out} = 305$$

$$T_{rotom} = 295$$

$$T_{cav} = 150 + 273,15$$

$$T_{amb} = 270,15$$

$$I_{n,d} = \frac{\dot{Q}_{inc}}{A_{col} \cdot \rho_{col} \cdot Inc}$$

$$rpm = 1500$$

$$x = 1,103$$

$$P_{ref} = \text{If} [P ; P_{max} ; P ; P ; P_{max}] \cdot \text{If} [P ; P_{min} ; 0 ; 1 ; 1] + \text{If} [P ; P_{min} ; 1 ; 0 ; 0] \cdot P_{min}$$

$$P_{max} = 140 \cdot \left| 0,1 \cdot \frac{\text{MPa}}{\text{bar}} \right|$$

$$P_{min} = 35 \cdot \left| 0,1 \cdot \frac{\text{MPa}}{\text{bar}} \right|$$

$$\rho_{col} = 0,94$$

$$Inc = 0,99$$

$$r = 3,6$$

$$A_{abs} = 0,058$$

$$A_{col} = \pi \cdot r^2$$

$$A_{ap} = \pi \cdot 0,095^2$$

$$D_{ap} = 0,095 \cdot 2$$

$$\alpha = 0,93$$

$$\epsilon_{A,ap} = \frac{0,9 + 0,889}{2}$$

$$\sigma = 5,729 \times 10^{-11} \quad [\text{KW/m}^2 \cdot \text{K}^4]$$

$$A_{cav} = 0,47$$

$$D_{cav} = 2 \cdot 0,136$$

$$B = 0,12$$

$$SS_{err,modelo;W} = [\dot{W}_{real} - \dot{W}_{NET,ref}]^2$$

$$SS_{err,modelo;Q} = [\dot{Q}_{real} - \dot{Q}_{out,ref}]^2$$

REAL

$$\dot{Q}_{inc} = \text{Lookup}[\text{'tabela do motor EES'; contador; 'Qdot,tabela'}]$$

$$\dot{W}_{real} = \text{Lookup}[\text{'tabela do motor EES'; contador; 'Wdot,tabela'}]$$

$$\dot{Q}_{real} = \text{Lookup}[\text{'tabela do motor EES'; contador; 'Qdot,tabela'}]$$

$$W_{diff} = \left[\frac{|\dot{W}_{real} - \dot{W}_{NET,ref}|}{\dot{W}_{real}} \right] \cdot 100$$

$$Q_{diff} = \left[\frac{|\dot{Q}_{real} - \dot{Q}_{out,ref}|}{\dot{Q}_{real}} \right] \cdot 100$$

$$SS_{tot;W} = [W_{real} - 6,802]^2$$

$$SS_{tot;Q} = [Q_{real} - 64,263]^2$$

Polinomial

$$W_{pol} = \text{If}[-0,005 \cdot \dot{Q}_{inc}^2 + 0,595 \cdot \dot{Q}_{inc} - 4,752; 0; 0; 0; -0,005 \cdot \dot{Q}_{inc}^2 + 0,595 \cdot \dot{Q}_{inc} - 4,752]$$

$$\dot{Q}_{pol} = \text{If}[-0,003 \cdot \dot{Q}_{inc}^2 + 0,701 \cdot \dot{Q}_{inc} - 2,169; 0; 0; 0; -0,003 \cdot \dot{Q}_{inc}^2 + 0,701 \cdot \dot{Q}_{inc} - 2,169]$$

$$SS_{err,pol;W} = [W_{real} - W_{pol}]^2$$

$$SS_{err,pol;Q} = [\dot{Q}_{real} - \dot{Q}_{pol}]^2$$

$$V_E = 80 \text{ [cm}^3\text{]}$$

$$V_C = 80 \text{ [cm}^3\text{]}$$

$$V_r = 20$$

$$V_T = V_E + V_C$$

$$I_{nzd,p} = \text{If}[I_{nzd}; 0,126; 10; I_{nzd}; I_{nzd}]$$

$$\dot{Q}_{in} = I_{nzd,p} \cdot \rho_{col} \cdot Inc \cdot A_{col} \cdot \alpha$$

$$\dot{Q}_{in,ref} = \text{If}[\dot{Q}_{in}; 300; I_{nzd} \cdot \rho_{col} \cdot Inc \cdot A_{col} \cdot \alpha; 0; 0]$$

$$\dot{Q}_{out} = \frac{\dot{Q}_{in} - \dot{W}_{cut} - \dot{Q}_p}{X}$$

$$\dot{Q}_{out,ref} = \text{If}[\dot{Q}_{in}; 300; \dot{Q}_{out}; 0; 0] \cdot \text{If}[T_{in}; 923,15; 0; 1; 1]$$

$$\dot{W}_{cut} = \frac{W_{out} \cdot \frac{rpm}{60}}{1000} \cdot X$$

$$\dot{W}_{out;Pmax} = \frac{W_{out;Pmax} \cdot \frac{rpm}{60}}{1000} \cdot X$$

$$\dot{W}_{out;Pmin} = \frac{W_{out;Pmin} \cdot \frac{rpm}{60}}{1000} \cdot X$$

$$\dot{W}_{final} = \dot{W}_{out} \cdot 0,925 - \text{Parasitics}$$

$$\dot{W}_{NET} = \text{If} [P; P_{max}; \dot{W}_{final}; \dot{W}_{final}; \dot{W}_{out;Pmax} \cdot 0,925 - \text{Parasitics}] \cdot \text{If} [P; P_{min}; 0; 1; 1] + \text{If} [P; P_{min}; 1; 0; 0] \cdot [\dot{W}_{out;Pmin} \cdot 0,925 - \text{Parasitics}]$$

$$\dot{W}_{NET,af} = \text{If} [\dot{O}_{in}; 300; \dot{W}_{NET}; 0; 0] \cdot \text{If} [T_{in}; 923,15; 0; 1; 1]$$

$$\text{Parasitics} = 0,48125$$

Perdas

$$\dot{O}_p = \dot{O}_{rad} + \dot{O}_{conv}$$

$$\dot{O}_{rad} = \epsilon_{A,sp} \cdot \sigma \cdot A_{sp} \cdot [T_{in}^4 - T_{amb}^4]$$

$$h_{conv} = \lambda \cdot \frac{Nus}{L_c}$$

$$\dot{O}_{conv} = h_{conv} \cdot A_{abs} \cdot \left[\frac{T_{in} - T_{amb}}{1000} \right]$$

$$Nus = 0,0196 \cdot Ra_L^{0,41} \cdot Pr_L^{0,13}$$

$$Ra_L = \frac{\mu}{a}$$

$$Pr_L = 9,81 \cdot \beta \cdot [T_{in} - T_{amb}] \cdot \frac{L_c^3}{\mu \cdot a}$$

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_{par}}$$

$$\lambda = \text{Interpolate} ['Inconel 617'; 'Temp'; 'lambda'; 'Temp' = T_{in}]$$

$$c_{par} = \text{Cp} \left['Air_{na}'; T = \frac{|T_{in} + T_{amb}|}{2}; P = 101,325 \right]$$

$$\rho = \rho \left['Air_{na}'; T = \frac{|T_{in} + T_{amb}|}{2}; P = 101,325 \right]$$

$$\mu = \frac{\text{Visc} \left['Air_{na}'; T = \frac{|T_{in} + T_{amb}|}{2}; P = 101,325 \right]}{\rho}$$

$$\beta = \beta \left['Air_{na}'; T = \frac{|T_{in} + T_{amb}|}{2}; P = 101,325 \right]$$

$$L_c = |a_1 \cdot \cos^{b_1} [\theta + \psi_1] \cdot L_1 + a_2 \cdot \cos^{b_2} [\theta + \psi_2] \cdot L_2 + a_3 \cdot \cos^{b_3} [\theta + \psi_3] \cdot L_3|$$

$$a_1 = 4,08$$

$$a_2 = -1,17$$

$$a_3 = 0,07$$

$$b_1 = 5,41$$

$$b_2 = 7,17$$

$$b_3 = 1,99$$

$$\psi_1 = -0,11 \cdot \left[57,3 \cdot \frac{\text{deg}}{\text{rad}} \right]$$

$$\psi_2 = -0,3 \left[\left[57,3 \cdot \frac{\text{deg}}{\text{rad}} \right] \right]$$

$$\psi_3 = -0,09 \cdot \left[57,3 \cdot \frac{\text{deg}}{\text{rad}} \right]$$

$$L_1 = 0,136$$

$$L_2 = 0,12$$

$$L_3 = 0,095$$

$$\dot{Q}_{out} = \dot{Q}_{diss}$$

$$\dot{Q}_{diss} = \dot{m} \cdot c_p \cdot [T_{out} - T_{rotor}]$$

$$c_p = 3,574$$

$$A_{out} = 0,7 - \pi \cdot \left[\frac{0,136 + 0,01}{2} \right]^2$$

Motor

$$W_{out} = \left[-P \cdot V_T \cdot \pi \cdot \left(\frac{\tau - 1}{k + 1} \right) \cdot \left(\frac{1 - \delta}{1 + \delta} \right)^{(1/2)} \right] \cdot \delta \cdot \left[\frac{\sin(\gamma)}{1 + (1 - \delta^2)^{(1/2)}} \right]$$

$$W_{out:Pmax} = \left[-P_{max} \cdot V_T \cdot \pi \cdot \left(\frac{\tau - 1}{k + 1} \right) \cdot \left(\frac{1 - \delta}{1 + \delta} \right)^{(1/2)} \right] \cdot \delta \cdot \left[\frac{\sin(\gamma)}{1 + (1 - \delta^2)^{(1/2)}} \right]$$

$$W_{out:Pmin} = \left[-P_{min} \cdot V_T \cdot \pi \cdot \left(\frac{\tau - 1}{k + 1} \right) \cdot \left(\frac{1 - \delta}{1 + \delta} \right)^{(1/2)} \right] \cdot \delta \cdot \left[\frac{\sin(\gamma)}{1 + (1 - \delta^2)^{(1/2)}} \right]$$

$$k = \frac{V_C}{V_E}$$

$$T_{dt,o} = 13$$

$$T_{dt,j} = 5$$

$$\tau = \frac{T_{out} + T_{dt,o}}{T_{in} - T_{dt,j}}$$

$$\delta = \frac{[\tau^2 + 2 \cdot \tau \cdot k \cdot \cos(\text{angle}) + k^2]^{1/2}}{\tau + k + 2 \cdot s}$$

$$\gamma = \arctan \left[k \cdot \left(\frac{\sin[\text{angle}]}{\tau + k \cdot \cos[\text{angle}]} \right) \right]$$

$$\text{angle} = 90$$

$$s = V_r \cdot \left[\frac{T_{\text{out}} + T_{\text{dtfo}}}{V_E \cdot T_r} \right]$$

$$T_r = \frac{T_{\text{in}} - T_{\text{dtj}} - [T_{\text{out}} + T_{\text{dtfo}}]}{\ln \left[\frac{T_{\text{in}} - T_{\text{dtj}}}{T_{\text{out}} + T_{\text{dtfo}}} \right]}$$

9 Anexo C: Modelo da simulação

File: ANEXO C - Modelo da Simulação.EES

29-01-2012 10:06:12 Page 1

EES Ver. 8.874: #0725: For use by students and faculty in the Faculdade de Engenharia, D. Mech. Universidade do Porto

$$r = 3,5$$

$$A_{\text{col}} = \pi \cdot r^2$$

$$\rho_{\text{col}} = 0,95$$

$$\text{Inc} = 0,99$$

$$Q_{\text{AQS}} = \frac{Q_{\text{AQS,ref}}}{\text{E}_{\text{term}}}$$

$$Q_{\text{AQS,ref}} = 40 \cdot 4 \cdot 4187 \cdot 45 \cdot \frac{365}{3,6 \times 10^6}$$

$$\text{E}_{\text{term}} = 0,75$$

$$\text{AQS}_{\text{max,year}} = 5 \text{ [kW]}$$

$$\text{AC}_{\text{max,year}} = 10 \text{ [kW]}$$

$$Q_{\text{max,year}} = \text{AQS}_{\text{max,year}} + \text{AC}_{\text{max,year}}$$

$$\dot{Q}_{\text{year}} = 2,56$$

$$\text{mes}_{\text{year}} = 6$$

$$\text{mes}_{\text{t,year}} = 9$$

$$\text{AQS}_{\text{max,jnv}} = 10$$

$$\text{AC}_{\text{max,jnv}} = 15$$

$$Q_{\text{max,jnv}} = \text{AQS}_{\text{max,jnv}} + \text{AC}_{\text{max,jnv}}$$

$$\dot{Q}_{\text{inv}} = 2,41$$

$$\text{mes}_{\text{inv}} = 11$$

$$\text{mes}_{\text{t,inv}} = 3$$

$$T_{\text{In,ref}} = 1053$$

$$T_{\text{out}} = 273,15 + 65$$

$$T_{\text{rotorn}} = 273,15 + 47,97$$

$$T_{\text{rotorn,ref}} = T_{\text{amb}} + 10$$

$$T_{\text{amb}} = 273,15 + 12,4 + 6,6 \cdot \text{If}[\text{mes}_1; \text{mes}_{1,p}; 0; 1; 1] \cdot \text{If}[\text{mes}_1; \text{mes}_{1,p}; 1; 0; 0]$$

$$T_p = 273,15 + 24$$

$$\text{mes}_{1,p} = 5$$

$$\text{mes}_{t,p} = 10$$

$$c_p = \text{Cp} \left[\text{Water}; T = \frac{T_{\text{out}} + T_{\text{rotorn}}}{2}; P = 101,325 \right]$$

$$I_{n,d} = \frac{\text{Lookup}['\text{Dados radiacao W-m}^2'; t + 1; 'Lisboa']}{1000}$$

MODELO

$$\dot{m} = \frac{C_{p,ref}}{C_p} \cdot \frac{I_{n,d,0}}{I_{n,d,ref}} \cdot 5,173 \cdot [T_{out} - T_{rotom}]^{-0,99648}$$

$$I_{n,d,ref} = 0,9962$$

$$T_{in} = \text{If} \left[P; P_{min}; T_{in,ref} - \left(\left[1 - \frac{P}{P_{min}} \right] \cdot [T_{in,ref} - T_{amb}] \right); T_{in,ref}; T_{in,ref} \right]$$

$$T_{in,ref} = \text{If} [\dot{Q}_{in}; 50; T_{in}; T_{amb}; T_{amb}]$$

$$T_{cav} = 150 + 273,15$$

$$\theta = \text{If} [h_{Lis}; 0; 0; 0; h_{Lis}]$$

$$\text{rpm} = 1500$$

$$x = 1,103$$

$$P_{ot} = \text{If} [\dot{Q}_{in}; 50; \text{If} (P; P_{min}; P_{min}; P; P); P_{min}; P_{min}]$$

$$P_{max} = 140 \cdot \left| 0,1 \cdot \frac{\text{MPa}}{\text{bar}} \right|$$

$$P_{min} = 35 \cdot \left| 0,1 \cdot \frac{\text{MPa}}{\text{bar}} \right|$$

$$A_{abs} = 0,058$$

$$A_{ap} = \pi \cdot 0,095^2$$

$$D_{ap} = 0,095 \cdot 2$$

$$\alpha = 0,93$$

$$\epsilon A_{ap} = \frac{0,9 + 0,889}{2}$$

$$\sigma = 5,729 \times 10^{-11} \quad [\text{kW/m}^2 \cdot \text{K}^4]$$

$$A_{cav} = 0,47$$

$$D_{cav} = 2 \cdot 0,136$$

$$B = 0,12$$

Energia

$$V_E = 80 \quad [\text{cm}^3]$$

$$V_C = 80 \quad [\text{cm}^3]$$

$$V_r = 20$$

$$V_T = V_E + V_C$$

$$I_{n,d,p} = \text{If} [I_{n,d}; 0,126; 1,5; I_{n,d}; I_{n,d}]$$

$$\dot{Q}_{in} = I_{n,d,p} \cdot \rho_{col} \cdot Inc \cdot A_{col} \cdot \alpha$$

$$\dot{Q}_{in,ref} = \text{If} [\dot{Q}_{in}; 50; I_{n,d} \cdot \rho_{col} \cdot Inc \cdot A_{col} \cdot \alpha; 0; 0]$$

$$\dot{Q}_{out} = \frac{\dot{Q}_{in} - \dot{W}_{out} - \dot{Q}_p}{X}$$

$$\dot{Q}_{out,ref} = \text{If} [\dot{Q}_{in}; 50; \dot{Q}_{out}; 0; 0] \cdot \text{If} [T_{in}; 923,15; 0; 1; 1]$$

$$\dot{W}_{out} = \frac{W_{out} \cdot \frac{rpm}{60}}{1000} \cdot X$$

$$\dot{W}_{out,Pmax} = \frac{W_{out,Pmax} \cdot \frac{rpm}{60}}{1000} \cdot X$$

$$\dot{W}_{out,Pmin} = \frac{W_{out,Pmin} \cdot \frac{rpm}{60}}{1000} \cdot X$$

$$\dot{W}_{final} = \dot{W}_{out} \cdot 0,925 - \text{Parasitics}$$

$$\dot{W}_{NET} = \text{If} [P; P_{max}; \dot{W}_{final}; \dot{W}_{final}; \dot{W}_{out,Pmax} \cdot 0,925 - \text{Parasitics}] \cdot \text{If} [P; P_{min}; 0; 1; 1] \\ + \text{If} [P; P_{min}; 1; 0; 0] \cdot [\dot{W}_{out,Pmin} \cdot 0,925 - \text{Parasitics}]$$

$$\dot{W}_{NET,ref} = \text{If} [\dot{Q}_{in}; 50; \dot{W}_{NET}; 0; 0] \cdot \text{If} [T_{in}; 923,15; 0; 1; 1]$$

$$\text{Parasitics} = 0,48125$$

Perdas

$$\dot{Q}_p = \dot{Q}_{rad} + \dot{Q}_{conv}$$

$$\dot{Q}_{rad} = \epsilon_{A,sp} \cdot \sigma \cdot A_{sp} \cdot [T_{in}^4 - T_{amb}^4]$$

$$h_{conv} = \lambda \cdot \frac{Nus}{L_c}$$

$$\dot{Q}_{conv} = h_{conv} \cdot A_{abs} \cdot \left[\frac{T_{in} - T_{amb}}{1000} \right]$$

$$Nus = 0,0196 \cdot Ra_L^{0,41} \cdot Pr_L^{0,13}$$

$$Ra_L = \frac{\mu}{a}$$

$$Pr_L = 9,81 \cdot \beta \cdot [T_{in} - T_{amb}] \cdot \frac{L_c^3}{\mu \cdot a}$$

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_{par}}$$

$$\lambda = \text{Interpolate} ['Inconel 617'; 'Temp'; 'lambda'; 'Temp' = T_{in}]$$

$$c_{par} = \text{Cp} \left['Air_{na}'; T = \frac{T_{in} + T_{amb}}{2}; P = 101,325 \right]$$

$$\rho = \rho \left[\text{'Air}_{ha'} ; T = \frac{|T_{in} + T_{amb}|}{2} ; P = 101,325 \right]$$

$$\mu = \frac{\text{Visc} \left[\text{'Air}_{ha'} ; T = \frac{|T_{in} + T_{amb}|}{2} ; P = 101,325 \right]}{\rho}$$

$$\beta = \beta \left[\text{'Air}_{ha'} ; T = \frac{|T_{in} + T_{amb}|}{2} ; P = 101,325 \right]$$

$$L_c = |a_1 \cdot \cos^{b_1} [\theta + \psi_1] \cdot L_1 + a_2 \cdot \cos^{b_2} [\theta + \psi_2] \cdot L_2 + a_3 \cdot \cos^{b_3} [\theta + \psi_3] \cdot L_3|$$

$$a_1 = 4,08$$

$$a_2 = -1,17$$

$$a_3 = 0,07$$

$$b_1 = 5,41$$

$$b_2 = 7,17$$

$$b_3 = 1,99$$

$$\psi_1 = -0,11 \cdot \left| 57,3 \cdot \frac{\text{deg}}{\text{rad}} \right|$$

$$\psi_2 = -0,3 \cdot \left[\left| 57,3 \cdot \frac{\text{deg}}{\text{rad}} \right| \right]$$

$$\psi_3 = -0,09 \cdot \left| 57,3 \cdot \frac{\text{deg}}{\text{rad}} \right|$$

$$L_1 = \frac{D_{cav}}{2}$$

$$L_2 = B$$

$$L_3 = \frac{D_{sp}}{2}$$

Energia térmica

$$\dot{Q}_{out} = \dot{Q}_{diss}$$

$$\dot{Q}_{diss} = \dot{m} \cdot c_p \cdot [T_{out} - T_{rotor}]$$

$$c_{p,ref} = 3,574$$

Motor

$$W_{out} = \left[-P \cdot V_T \cdot \pi \cdot \left(\frac{\tau - 1}{k + 1} \right) \cdot \left(\frac{1 - \delta}{1 + \delta} \right)^{(1/2)} \right] \cdot \delta \cdot \left[\frac{\sin(\gamma)}{1 + (1 - \delta^2)^{(1/2)}} \right]$$

$$W_{out,Pmax} = \left[-P_{max} \cdot V_T \cdot \pi \cdot \left(\frac{\tau - 1}{k + 1} \right) \cdot \left(\frac{1 - \delta}{1 + \delta} \right)^{(1/2)} \right] \cdot \delta \cdot \left[\frac{\sin(\gamma)}{1 + (1 - \delta^2)^{(1/2)}} \right]$$

$$W_{out;Pmin} = \left[-P_{min} \cdot V_T \cdot \pi \cdot \left(\frac{\tau - 1}{k + 1} \right) \cdot \left(\frac{1 - \delta}{1 + \delta} \right)^{(1 / 2)} \right] \cdot \delta \cdot \left[\frac{\sin(\gamma)}{1 + (1 - \delta^2)^{(1 / 2)}} \right]$$

$$k = \frac{V_C}{V_E}$$

$$T_{dt;2} = 13$$

$$T_{dt;1} = 5$$

$$\tau = \frac{T_{out} + T_{dt;2}}{T_{in} - T_{dt;1}}$$

$$\delta = \frac{[\tau^2 + 2 \cdot \tau \cdot k \cdot \cos(\text{angle}) + k^2]^{(1 / 2)}}{\tau + k + 2 \cdot s}$$

$$\gamma = \arctan \left[k \cdot \left(\frac{\sin[\text{angle}]}{\tau + k \cdot \cos[\text{angle}]} \right) \right]$$

$$\text{angle} = 90$$

$$s = V_r \cdot \left[\frac{T_{out} + T_{dt;2}}{V_E \cdot T_r} \right]$$

$$T_r = \frac{T_{in} - T_{dt;1} - [T_{out} + T_{dt;2}]}{\ln \left[\frac{T_{in} - T_{dt;1}}{T_{out} + T_{dt;2}} \right]}$$

FIM DO MODELO

Potência térmica horária recebida - Q_{in} em kW

$$\dot{Q}_{Lis} = \text{Lookup}[\text{'Dados radiacao W-m2'}; t + 1; \text{'Lisboa'}] \cdot A_{col} \cdot \rho_{col} \cdot \frac{Inc}{1000}$$

Potência eléctrica horária - \dot{W}_{out} em kW, a partir do polinómio de regressão

$$\dot{W}_{e;Lis;Pol} = \text{If}[-0,005 \cdot \dot{Q}_{Lis}^2 + 0,595 \cdot \dot{Q}_{Lis} - 4,752; 0; 0; 0; -0,005 \cdot \dot{Q}_{Lis}^2 + 0,595 \cdot \dot{Q}_{Lis} - 4,752]$$

$$\dot{W}_{e;Lis} = \dot{W}_{NET;el}$$

Energia eléctrica horária - $W_{el,out}$ em kWh

$$W_{e;Lis} = \dot{W}_{e;Lis}$$

Potência térmica horária - \dot{C}_{out} em kW, a partir do polinómio de regressão

$$\dot{C}_{out;Lis;Pol} = \text{If}[-0,003 \cdot \dot{Q}_{Lis}^2 + 0,701 \cdot \dot{Q}_{Lis} - 2,169; 0; 0; 0; -0,003 \cdot \dot{Q}_{Lis}^2 + 0,701 \cdot \dot{Q}_{Lis} - 2,169]$$

$$\dot{C}_{out;Lis} = \dot{C}_{out;el}$$

Energia térmica horária - $Q_{th,out}$ em kWh

$$Q_{out;Lis} = \dot{C}_{out;Lis}$$

Calor refrigeração horário

$$Q_{ver,Lis} = \dot{Q}_{cut,Lis} \cdot \text{If} [\text{mes}_1; \text{mes}_{1,ver}; 0; 1; 1] \cdot \text{If} [\text{mes}_1; \text{mes}_{1,ver}; 1; 1; 0]$$

Calor aquecimento horário

$$Q_{inv,Lis} = \dot{Q}_{cut,Lis} \cdot \text{If} [\text{mes}_1; \text{mes}_{1,inv}; 0; 1; 1] + \dot{Q}_{cut,Lis} \cdot \text{If} [\text{mes}_1; \text{mes}_{1,inv}; 1; 1; 0]$$

Energia eléctrica anual

$$W_{Lis,ano} = W_{e,Lis} + \text{TableValue} ['Resultados'; t; 'W_{Lis,ano}']$$

Energia térmica anual

$$Q_{Lis,ano} = Q_{out,Lis} + \text{TableValue} ['Resultados'; t; 'Q_{Lis,ano}']$$

Potência máxima

$$\dot{W}_{max,Lis} = \text{If} [\text{TableValue} ('Resultados'; t; 'W_{dot,max,Lis}'); \dot{W}_{e,Lis}; \dot{W}_{e,Lis}; \dot{W}_{e,Lis}; \text{TableValue} ('Resultados'; t; 'W_{dot,max,Lis}')]]$$

Potência térmica máxima

$$\dot{Q}_{max,Lis} = \text{If} [\text{TableValue} ('Resultados'; t; 'Q_{dot,max,Lis}'); \dot{Q}_{out,Lis}; \dot{Q}_{out,Lis}; \dot{Q}_{out,Lis}; \text{TableValue} ('Resultados'; t; 'Q_{dot,max,Lis}')]]$$

$$\text{mes}_0 = \text{Lookup} ['Dados radiacao W-m2'; t; 'mes']$$

$$\text{mes}_1 = \text{Lookup} ['Dados radiacao W-m2'; t + 1; 'mes']$$

Energia eléctrica mensal

$$W_{mes,Lis,ant} = \text{TableValue} ['Resultados'; t; 'W_{mes,Lis}']$$

$$W_{mes,Lis} = \text{If} [\text{mes}_1; \text{mes}_0; 0; W_{e,Lis} + \text{TableValue} ('Resultados'; t; 'W_{mes,Lis}'); W_{e,Lis}]$$

Energia térmica mensal

$$Q_{mes,Lis,ant} = \text{TableValue} ['Resultados'; t; 'Q_{mes,Lis}']$$

$$Q_{mes,Lis} = \text{If} [\text{mes}_1; \text{mes}_0; 0; Q_{out,Lis} + Q_{mes,Lis,ant}; Q_{out,Lis}]$$

$$\text{hdia}_0 = \text{Lookup} ['Dados radiacao W-m2'; t; 'h-dia']$$

$$\text{hdia}_1 = \text{Lookup} ['Dados radiacao W-m2'; t + 1; 'h-dia']$$

Energia eléctrica diária

$$W_{dia,Lis,ant} = \text{TableValue} ['Resultados'; t; 'W_{dia,Lis}']$$

$$W_{dia,Lis} = \text{If} [\text{hdia}_0; \text{hdia}_1; W_{e,Lis} + W_{dia,Lis,ant}; 0; W_{e,Lis}]$$

Energia térmica diária

$$Q_{dia,Lis,ant} = \text{TableValue} ['Resultados'; t; 'Q_{dia,Lis}']$$

$$Q_{dia,Lis} = \text{If} [\text{hdia}_0; \text{hdia}_1; Q_{out,Lis} + Q_{dia,Lis,ant}; 0; Q_{out,Lis}]$$

Energia total anual

$$QW_{Lis} = W_{Lis,ano} + Q_{Lis,ano}$$

Energia recibia anual

$$Q_{in, Lis} = \text{Lookup} ['\text{Dados radiacao W-m}^2'; t + 1; 'Lisboa'] \cdot \frac{a}{1000} + \text{TableValue} ['\text{Resultados}'; t; 'Q_{in, Lis}']$$

Rendimento médio total anual

$$\eta_{Lis} = \text{If} \left[Q_{in, Lis}; 0,00001; 0; 0; \frac{Q_{W_{Lis}}}{Q_{in, Lis}} \cdot 100 \right]$$

Consumo energia da rede

$$\dot{W}_{cons} = 0,678 - 0,478 \cdot \cos \left[\left(\frac{h - 2}{12} \right) \cdot 2 \cdot \pi \cdot \left[57,3 \cdot \frac{\text{deg}}{\text{rad}} \right] \right]$$

$$\dot{W}_{redo, Lis} = \text{If} [\dot{W}_{e, Lis}; \dot{W}_{cons}; \dot{W}_{cons} - \dot{W}_{e, Lis}; 0; 0]$$

$$\dot{W}_{lim, geral} = \dot{W}_{cons} + 5,75$$

$$\dot{W}_{v, geral, aux} = \text{If} [\dot{W}_{e, Lis}; \dot{W}_{lim, geral}; \dot{W}_{e, Lis} - \dot{W}_{cons}; \dot{W}_{e, Lis} - \dot{W}_{cons}; \dot{W}_{lim, geral} - \dot{W}_{cons}]$$

$$\dot{W}_{v, geral} = \text{If} [\dot{W}_{v, geral, aux}; 0; 0; 0; \dot{W}_{v, geral, aux}]$$

$$\dot{W}_{lim, bonus} = \dot{W}_{cons} + 11,04$$

$$\dot{W}_{v, bonus, aux} = \text{If} [\dot{W}_{e, Lis}; \dot{W}_{lim, bonus}; \dot{W}_{e, Lis} - \dot{W}_{cons}; \dot{W}_{e, Lis} - \dot{W}_{cons}; \dot{W}_{lim, bonus} - \dot{W}_{cons}]$$

$$\dot{W}_{v, bonus} = \text{If} [\dot{W}_{v, bonus, aux}; 0; 0; 0; \dot{W}_{v, bonus, aux}]$$

$$h = \text{Lookup} ['\text{Dados radiacao W-m}^2'; t + 1; 'h-dia']$$

Piscina

$$A_p = \left[\frac{\left(Q_{outp} - \frac{Q_{AQS}}{2} \right) \cdot E_{pem}}{Q_{radp} + Q_{conv} + Q_{evap} - Q_{sol} + \text{If} (mes_1; mes_{1p}; 1; 0; 0) + \text{If} (mes_1; mes_{1p}; 0; 1; 1)} \right]$$

$$\cdot \text{If} [mes_1; mes_{1p}; 0; 1; 1] \cdot \text{If} [mes_1; mes_{1p}; 1; 0; 0]$$

$$Q_{outp} = [Q_{out, Lis} + \text{TableValue} ('\text{Resultados}'; t; 'Q_{outp}')] \cdot \text{If} [mes_1; mes_{1p}; 0; 1; 1] \\ \cdot \text{If} [mes_1; mes_{1p}; 1; 0; 0]$$

$$Q_{sol} = [\alpha_p \cdot I_{n, p} \cdot F_{sol} + \text{TableValue} ('\text{Resultados}'; t; 'Q_{sol}')] \cdot \text{If} [mes_1; mes_{1p}; 0; 1; 1] \\ \cdot \text{If} [mes_1; mes_{1p}; 1; 0; 0]$$

$$Q_{\text{radp}} = [\epsilon_p \cdot \sigma \cdot (T_p^4 - T_{\text{amb}}^4) + \text{TableValue}('Resultados'; t; 'Q_{\text{radp}}')] \cdot \text{If}[\text{mes}_1; \text{mes}_{1p}; 0; 1; 1] \\ \cdot \text{If}[\text{mes}_1; \text{mes}_{1p}; 1; 0; 0]$$

$$Q_{\text{conv}} = [\alpha_{\text{convp}} \cdot (T_p - T_{\text{amb}}) + \text{TableValue}('Resultados'; t; 'Q_{\text{conv}}')] \cdot \text{If}[\text{mes}_1; \text{mes}_{1p}; 0; 1; 1] \\ \cdot \text{If}[\text{mes}_1; \text{mes}_{1p}; 1; 0; 0]$$

$$Q_{\text{wap}} = [0,3 + \text{TableValue}('Resultados'; t; 'Q_{\text{wap}}')] \cdot \text{If}[\text{mes}_1; \text{mes}_{1p}; 0; 1; 1] \\ \cdot \text{If}[\text{mes}_1; \text{mes}_{1p}; 1; 0; 0]$$

$$\epsilon_{\text{perm}} = 0,359$$

$$\alpha_p = 0,9$$

$$\epsilon_p = 0,9$$

$$F_{\text{sol}} = 0,95$$

$$\alpha_{\text{convp}} = \frac{6,19 + 4,29 \cdot V}{1000}$$

$$V = 1 \text{ m/s}$$

10 Anexo D: Características InvenSor LTC 10 plus

Adsorption Chiller InvenSor LTC 10 plus



The InvenSor LTC 10 plus compact chiller is particularly easy to install and maintain

The LTC 10 plus achieves virtually full efficiency at just 65°C. Its integrated chilling station means that installation essentially comes down to the pipework systems, as the necessary pumps, mixers and valves are already integrated into the machine. The InvenSor LTC 10 plus is suitable for outside temperatures of up to approximately 35°C. For higher temperatures, we recommend InvenSor's HTC machines.

Compact design, 10 kW cooling capacity

The LTC 10 plus's compact size and low weight facilitate transport and fitting. The housing is optimised for transport using lift trucks and transport dollies. To simplify hydraulic connection for the chiller, all connections are located on top of the machine for ease of access. The LTC 10 plus's rated power is 10 kW. Even with more demanding applications, this provides extra available cooling capacity.

InvenSor integrated chilling station

The LTC 10 plus brings together all the basic components for thermal cooling in one device. It contains an integrated hydraulic unit including three electronically controlled high-efficiency pumps (energy efficiency class A), a three way mixer, temperature sensors and switching valves – insulated and connected ready for operation. That means that all water circuits for the drive, cooling distribution and re-cooling are directly and simply connected to the LTC 10 plus, from where they are controlled.

Convenient settings

Important LTC 10 plus functions can be set and programmed directly on the machine via the multilingual colour touchscreen display. This makes it easy to customise the target temperatures for cold water, return flow in the drive circuit and re-cooling to the specific project. The configuration level is PIN-protected against unintentional access.

Free cooling & heat pump

The InvenSor chilling station's free cooling function is available already integrated on an optional basis. This ensures considerably lower electricity consumption, because no additional heat is required as drive energy in cooling mode if outside temperatures are sufficiently low. Operation as a heat pump has also been pre-prepared and can be activated on the equipment.



Dimensions of the machine

Length	1,100 mm
Height	1,370 mm
Width	750 mm
Weight	330 kg

Position of the connectors

from the ground	1,400 mm
-----------------------	----------

Nominal widths

Drive (2x)	G 1"
Cooling (2x)	G 1 1/4"
Re-cooling (2x)	G 1 1/2"

General technical specifications		InvenSor LTC 10 plus		
Chilling capacity	kW	4–12		
COP maximum		0.65		
Max. overpressure	bar	4		
Electrical connection	V-, Hz	230, 50		
electrical power consumption excluding pumps	W	20		
electrical power consumption including pumps	W	395		
Specifications at nominal conditions		Cooling circuit	Recooling circuit	Drive circuit
COP		0.6		
Capacity	kW	10	26.7	16.7
Temperature – chiller inlet (IN)	°C	18	27	72
Temperature – chiller outlet (OUT)	°C	15	31.5	66
Temperatures – range	°C	10–25	20–37	45–100
Volume flows	l/h	2,900	5,100	2,500
Available ext. pressure head	mbar	450	300	200

All specifications apply for operation with water in hydraulic circuits.

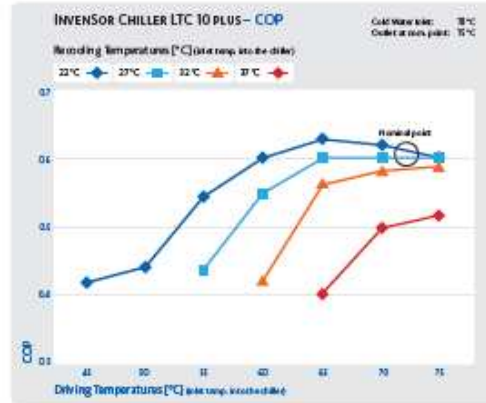
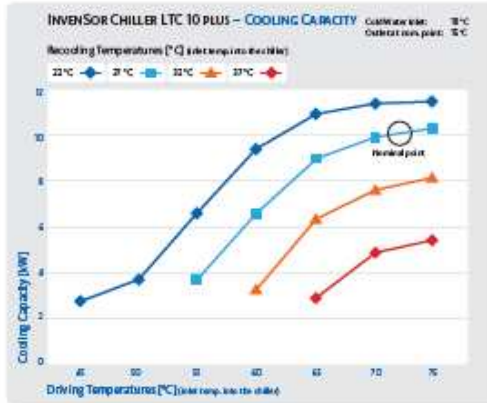
www.invensor.com

Adsorption Chiller InvenSor LTC 10 plus

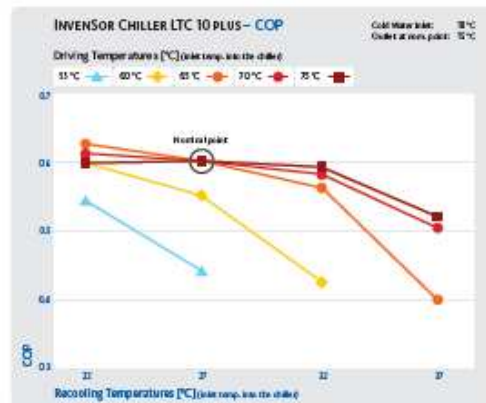
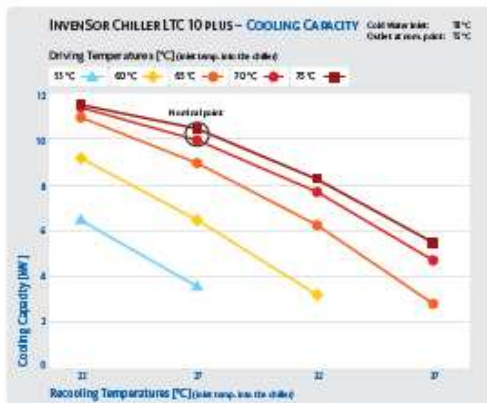


Technical specifications at different conditions

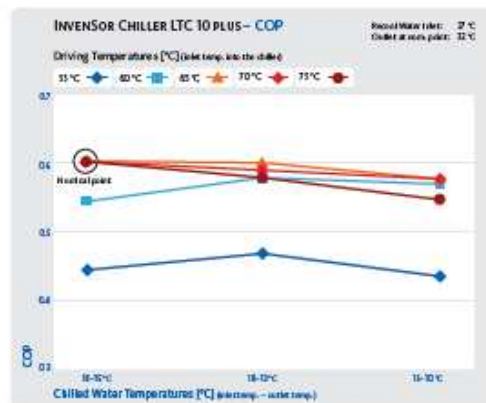
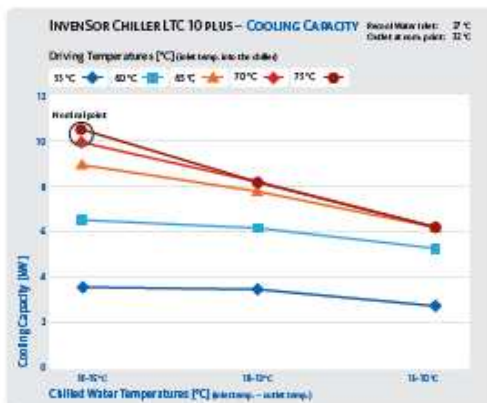
Capacity and COP at different temperatures of recooling and driving energy



Capacity and COP at different temperatures of driving energy and recooling



Capacity and COP at different temperatures of driving energy and chilled water



www.invensor.com

LTC10plus.01de Technical modifications and errors reserved (status: 05/2016)

11 Anexo E: Características do permutador Bowman 5113-3 C



Swimming Pool Heat Exchangers for use with solar panels and heat pumps

The table below shows the heat that can be transferred by Bowman units with the water temperature from the solar panels or heat pump being 70°C (158°F), 60°C (140°F) or 45°C (113°F) for various pool capacities and the swimming pool water at 30°C (86°F).

Schwimmbadwärmetauscher zur Verwendung mit Solarkollektoren und Wärmepumpen

Die nachstehende Tabelle zeigt die Wärmeübertragung an, die Bowman Wärmetauscher mit einer Wassertemperatur der Solarkollektoren oder der Wärmepumpe von 70°C (158°F), 60°C (140°F) oder 45°C (113°F) für verschiedene Schwimmbadvolumen und mit einer Badewassertemperatur von 30°C (86°F) erzielen können.

Échangeurs de chaleur pour piscines pour utilisation avec des panneaux solaires et avec des pompes à chaleur

Le tableau ci-dessous vous montre la chaleur qui peut être transférée par les échangeurs Bowman avec les températures d'eau à l'entrée de l'échangeur provenant des panneaux solaires ou d'une pompe à chaleur. Ces températures étant 70°C (158°F), 60°C (140°F) ou 45°C (113°F) pour des différents volumes de piscines et avec la température de l'eau de la piscine à 30°C (86°F).

Type	Pool capacity		Solar/heat pump water flow		Maximum pool water flow		Heat transfer	
	Schwimmbadvolumen		Durchfluss Solar-/Wärmepumpen-Wasser		Maximaler Durchfluss Schwimmbadwasser		Wärmeübertragung	
Type	Volume de la piscine		Débit d'eau des panneaux solaires/ de la pompe à chaleur		Débit d'eau de la piscine maximal		Transfert thermique	
	m ³	gal	m ³ /h	l/m	m ³ /h	l/m	KW	BTU
HOT WATER AT 70°C BEI 70°C HEIßEM WASSER EAU CHAUDE À 70°C								
5113-3 C/S/T *	50	11000	1.2	20	6.2	104	24	82000
5113-5 C/S/T *	120	26000	3	50	15.0	250	70	240000
5114-5 C/S/T *	180	40000	4.5	76	23.0	380	123	420000
4827-5 C	230	50000	5.7	96	29.0	480	176	600000
HOT WATER AT 60°C BEI 60°C HEIßEM WASSER EAU CHAUDE À 60°C								
5113-3 C/S/T*	50	11000	1.2	20	6.2	104	18	61000
5113-5 C/S/T*	120	26000	3	50	15.0	250	52	175000
5114-5 C/S/T*	180	40000	4.5	76	23.0	380	91	310000
4827-5 C	230	50000	5.7	96	29.0	480	131	440000
HOT WATER AT 45°C BEI 45°C HEIßEM WASSER EAU CHAUDE À 45°C								
5113-3 C/S/T *	50	11000	1.2	20	6.2	104	9	30000
5113-5 C/S/T *	120	26000	3	50	15.0	250	25	85000
5114-5 C/S/T *	180	40000	4.5	76	23.0	380	45	150000
4827-5 C	230	50000	5.7	96	29.0	480	64	220000

* Add the appropriate suffix indicating tube material when ordering these part numbers (C, S or T).

* Bei der Bestellung dieser Teilenummern den entsprechenden Zusatz zur Angabe des Rohrmaterials hinzufügen (C, S oder T).

* Ajoutez le suffixe approprié indiquant le matériau du tube, lorsque vous commandez ces échangeurs de chaleur (C, S ou T).

C = Cupronickel
S = Stainless steel
T = Titanium

C = Kupfernichel
S = Edelstahl
T = Titan

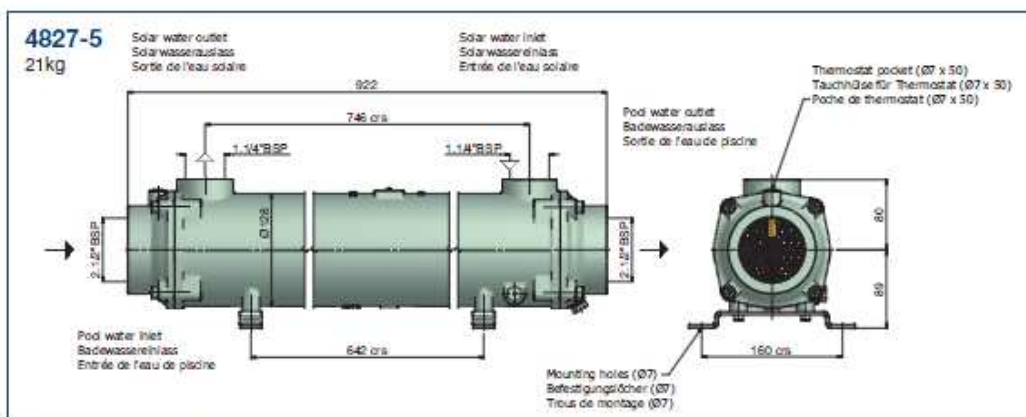
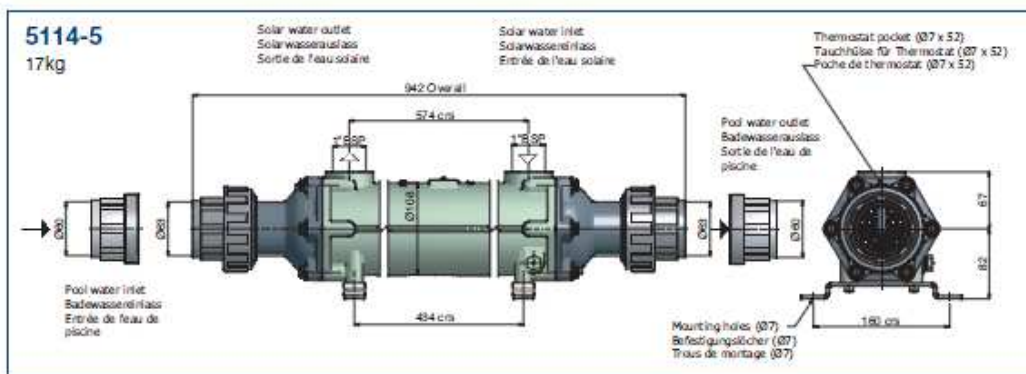
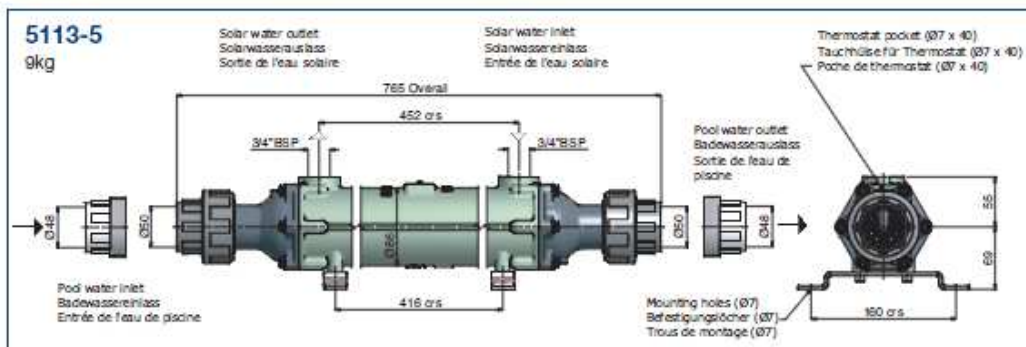
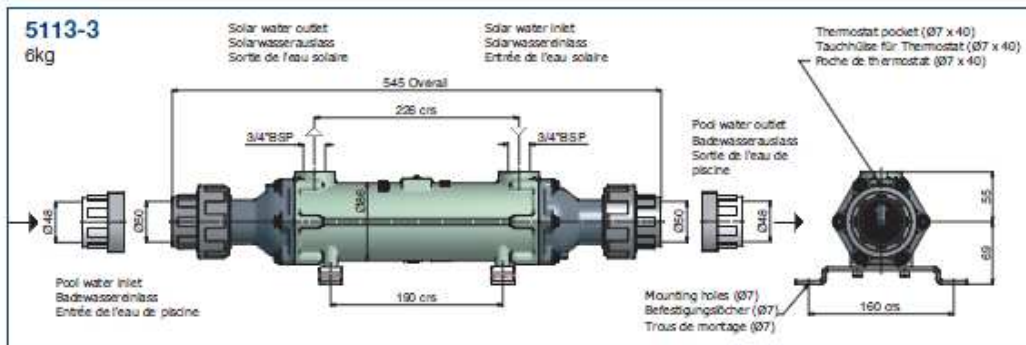
C = Cupronickel
S = Acier inoxydable
T = Titane

N.B. Stainless steel heat exchangers should not be used on pools fitted with salt water chlorinators.

Anmerkung: Edelstahlwärmetauscher sollten nicht in mit Chlor-Elektrolyse-Anlagen ausgestatteten Schwimmbecken verwendet werden.

Nota: Échangeurs de chaleur en acier inoxydable ne devraient pas être utilisés avec des piscines équipées avec un chlorinateur d'eau salée.





All dimensions in mm. Alle Dimensionen in mm. Toutes les dimensions en mm.

12 Anexo F: Propriedades dos componentes do edifício

Componentes do edifício	Material	Espessura (m)	Condutividade térmica (kJ/h m·K)	Capacidade térmica (kJ/kg K)	Massa volumica (kg/m ³)	U (W/m ² K)
Parede exterior		0,320				0,367
<i>Dentro</i>	Estuque	0,02	4,68	0,837	1900	
	Tijolo	0,20	1,368	0,936	1224	
	EPS(isolante)	0,08	0,144	1,21	15	
<i>Fora</i>	Reboco	0,02	4,68	0,837	1900	
Chão		0,370				0,332
<i>Dentro</i>	Madeira	0,02	0,468	2,75	650	
	Cimento	0,25	4,68	0,837	1900	
<i>Fora</i>	EPS	0,10	0,144	1,21	15	
Tecto		0,370				0,332
<i>Dentro</i>	Madeira	0,02	0,468	2,75	650	
	Cimento	0,25	4,68	0,837	1900	
<i>Fora</i>	EPS	0,10	0,144	1,21	15	
Parede interior		0,190				1,679
<i>Dentro</i>	Estuque	0,02	4,68	0,837	1900	
	Tijolo	0,15	1,368	0,936	1224	
<i>Fora</i>	Estuque	0,02	4,68	0,837	1900	

Componentes do edifício	Material	Área/Área da janela (%)	U (W/m ² K)
Janela	Vidro duplo	80	1,4
	Caixilho	20	8,17

¹ Pinto, P., *Estudo do Comportamento Energético de um Edifício que Integra Colectores Solares*, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2011

13 Anexo G: Cálculo da área do edifício de Lisboa

File:ANEXO F - Cálculo da área residencial Lisboa.EES

03-02-2012 14:10:48 Page 1

EES Ver. 8.874: #0725: For use by students and faculty in the Faculdade de Engenharia, D. Mech. Universidade do Porto

$$P_d = 2,6$$

$$\text{Lado} = \sqrt{A_1}$$

$$Q_{\text{sol};j} = \left[8185 - \frac{Q_{\text{AGS}}}{12} \cdot 5,3 \right] \cdot \text{COP}_{\text{Aquec}}$$

$$Q_{\text{sol};V} = \left[13715 - \frac{Q_{\text{AGS}}}{12} \cdot 4 \right] \cdot \text{COP}_{\text{Var}}$$

$$Q_{\text{prod};j} = 8185 - \frac{Q_{\text{AGS}}}{12} \cdot 5,3$$

$$Q_{\text{prod};V} = \left[13715 - \frac{Q_{\text{AGS}}}{12} \cdot 4 \right] \cdot \text{COP}_{\text{Var}}$$

$$Q_{\text{AGS}} = Q_{\text{AGS};\text{at}}$$

$$Q_{\text{AGS};\text{at}} = 40 \cdot 5 \cdot 4187 \cdot 45 \cdot \frac{365}{3,6 \times 10^6}$$

$$\text{COP}_{\text{Var}} = 0,6$$

$$\text{COP}_{\text{Aquec}} = 1,5$$

$$A_{\text{real};V} = \text{If} [P_d ; 3 ; A_v ; 0 ; 2 \cdot A_v]$$

$$A_{\text{real};j} = \text{If} [P_d ; 3 ; A_1 ; 0 ; 2 \cdot A_1]$$

$$P_{\text{gas}} = Q_{\text{sol};j} \cdot \text{Preco}_{\text{gas}} - |Q_{\text{radio};j} \cdot \text{Preco}_{\text{gas}}|$$

$$P_{\text{gasol}} = Q_{\text{sol};j} \cdot \text{Preco}_{\text{gasol}} - |Q_{\text{radio};j} \cdot \text{Preco}_{\text{gasol}}|$$

$$P_{\text{elec};j} = Q_{\text{sol};j} \cdot \text{Preco}_{\text{elec}} - |Q_{\text{radio};j} \cdot \text{Preco}_{\text{elec}}|$$

$$Q_{\text{radio};j} = Q_{\text{inv}} - Q_{\text{sol};j}$$

$$P_{\text{elec};V} = Q_{\text{sol};V} \cdot \text{Preco}_{\text{elec}} - |Q_{\text{radio};V} \cdot \text{Preco}_{\text{elec}}|$$

$$Q_{\text{radio};V} = Q_{\text{Var}} - Q_{\text{sol};V}$$

$$\text{Preco}_{\text{gas}} = 0,069$$

$$\text{Preco}_{\text{gasol}} = 0,1207$$

$$\text{Preco}_{\text{elec}} = \frac{0,1713}{3,3}$$

$$P_{\text{total};\text{gas};26} = \text{If} [P_d ; 3 ; P_{\text{gas}} + P_{\text{elec};V} ; 0 ; 0]$$

$$P_{\text{total};\text{gasol};26} = \text{If} [P_d ; 3 ; P_{\text{gasol}} + P_{\text{elec};V} ; 0 ; 0]$$

$$P_{\text{total};\text{elec};26} = \text{If} [P_d ; 3 ; P_{\text{elec};j} + P_{\text{elec};V} ; 0 ; 0]$$

$$P_{\text{total};\text{gas};52} = \text{If} [P_d ; 3 ; 0 ; 0 ; P_{\text{gas}} + P_{\text{elec};V}]$$

$$P_{\text{total};\text{gasol};52} = \text{If} [P_d ; 3 ; 0 ; 0 ; P_{\text{gasol}} + P_{\text{elec};V}]$$

$$P_{\text{total};\text{elec};52} = \text{If} [P_d ; 3 ; 0 ; 0 ; P_{\text{elec};j} + P_{\text{elec};V}]$$

$$A_{\text{porta}} = 1 \cdot 2,1$$

$$A_{\text{garagem}} = 5 \cdot 5$$

$$A_{\text{env},j} = A_{\text{real},j} \cdot 0,15$$

$$U_{\text{paredo}} = 0,367$$

$$U_{\text{cobertura}} = 0,47$$

$$U_{\text{pavimento}} = 0,62$$

$$U_v = 1,4$$

$$U_{\text{caixilho}} = 8,17$$

$$U_{\text{env}} = 0,8 \cdot U_v + 0,2 \cdot U_{\text{caixilho}}$$

$$U_{\text{porta}} = 1,75$$

$$R_{\text{ph}} = 0,6$$

$$qq_1 = 4 \text{ Edifício Residencial}$$

ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

A_j - o que se quer saber

$$A_{\text{paredo},j,n} = \sqrt{A_1} \cdot P_d - A_{\text{env},j,n}$$

$$A_{\text{paredo},j,a} = \sqrt{A_1} \cdot P_d - A_{\text{env},j,a} - A_{\text{porta}}$$

$$A_{\text{paredo},j,s} = \sqrt{A_1} \cdot P_d - A_{\text{env},j,s}$$

$$A_{\text{paredo},j,o} = \sqrt{A_1} \cdot P_d - A_{\text{env},j,o} - A_{\text{porta}}$$

$$A_{\text{paredo}} = A_{\text{paredo},j,n} + A_{\text{paredo},j,a} + A_{\text{paredo},j,s} + A_{\text{paredo},j,o}$$

$$A_{\text{env},j,n} = 0,21 \cdot A_{\text{env},j}$$

$$A_{\text{env},j,a} = 0,27 \cdot A_{\text{env},j}$$

$$A_{\text{env},j,s} = 0,28 \cdot A_{\text{env},j}$$

$$A_{\text{env},j,o} = 0,24 \cdot A_{\text{env},j}$$

$$Q_{\text{inv}} = Q_t + Q_v - Q_{\text{gu}}$$

$$\dot{Q}_{\text{inv}} = \frac{Q_{\text{inv}}}{M \cdot 30 \cdot 24}$$

Perdas por condução

$$Q_t = Q_{\text{ext}} + Q_{\text{ins}} + Q_{\text{pe}} + Q_{\text{pt}}$$

$$Q_{\text{ext}} = 0,024 \cdot \text{GD} \cdot [U_{\text{paredo}} \cdot A_{\text{paredo}} + U_{\text{env}} \cdot A_{\text{env},j} + U_{\text{cobertura}} \cdot A_1 + U_{\text{porta}} \cdot A_{\text{porta}}]$$

$$Q_{\text{ins}} = 0,024 \cdot U_{\text{pavimento}} \cdot A_{\text{garagem}} \cdot \text{GD} \cdot \tau$$

$$Q_{\text{pe}} = 0,024 \cdot L_{\text{pe}} \cdot \text{GD}$$

$$Q_{pt} = 0,024 \cdot L_{pt} \cdot GD$$

$$L_{pt} = L_{pt,cobertura} + L_{pt,repartido} + L_{pt,paredas}$$

$$L_{pt,cobertura} = 0,55 \cdot \sqrt{A_1} \cdot 4$$

$$L_{pt,repartido} = \text{If} [P_d ; 2,6 ; 0 ; 0 ; 0,1 \cdot \sqrt{A_1} \cdot 4 \cdot 2]$$

$$L_{pt,paredas} = \text{If} [P_d ; 2,6 ; 0 ; 0,15 \cdot P_d \cdot 4 ; 0,15 \cdot P_d \cdot 4 \cdot 2]$$

$$GD = 1190$$

$$M = 5,3$$

$$\tau = 0,5$$

$$L_{po} = \psi \cdot \sqrt{A_1} \cdot 4$$

$$\psi = 2,5 \text{ [W/m-C]}$$

$$Q_{ext} = [U_{pareda} \cdot A_{pareda} + U_{env} \cdot A_{env} + U_{cobertura} \cdot A_1 + U_{porta} \cdot A_{porta}] \cdot \Delta T_{inv}$$

Perdas de calor resultantes da renovação do ar

$$Q_v = 0,024 \cdot 0,34 \cdot R_{ph} \cdot A_1 \cdot P_d \cdot GD$$

Ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento

$$Q_{gu} = \eta \cdot [Q_i + Q_s]$$

$$Q_i = qq_i \cdot M \cdot A_1 \cdot 0,72$$

$$Q_s = G_{sol} \cdot F \cdot g \cdot [X_o \cdot A_{env;o} + X_s \cdot A_{env;s} + X_o \cdot A_{env;o} + X_n \cdot A_{env;n}]$$

$$X_o = 0,56$$

$$X_s = 1$$

$$X_o = 0,56$$

$$X_n = 0,27$$

$$F = 0,46$$

$$g = 0,63$$

$$G_{sol} = 108$$

$$Q_g = \frac{Q_{gu}}{\eta}$$

$$\gamma = \frac{Q_g}{Q_i + Q_v}$$

$$\eta = \text{If} \left[\gamma ; 1 ; \frac{1 - \gamma^{aa}}{1 - \gamma^{(aa + 1)}} ; \frac{aa}{aa + 1} ; \frac{1 - \gamma^{aa}}{1 - \gamma^{(aa + 1)}} \right]$$

$$aa = 2,6$$

ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO

A_V - o que se quer saber

$$\text{dias} = 122 \quad \text{4 Meses de Verão}$$

$$A_{\text{env},V} = A_{\text{real},V} \cdot 0,15$$

$$A_{\text{paredo},V,n} = \sqrt{A_V} \cdot P_d - A_{\text{env},V,n}$$

$$A_{\text{paredo},V,p} = \sqrt{A_V} \cdot P_d - A_{\text{env},V,p} - A_{\text{porta}}$$

$$A_{\text{paredo},V,s} = \sqrt{A_V} \cdot P_d - A_{\text{env},V,s}$$

$$A_{\text{paredo},V,o} = \sqrt{A_V} \cdot P_d - A_{\text{env},V,o} - A_{\text{porta}}$$

$$A_{\text{env},V,n} = 0,21 \cdot A_{\text{env},V}$$

$$A_{\text{env},V,p} = 0,27 \cdot A_{\text{env},V}$$

$$A_{\text{env},V,s} = 0,28 \cdot A_{\text{env},V}$$

$$A_{\text{env},V,o} = 0,24 \cdot A_{\text{env},V}$$

$$N_{vc} = Q_{gv} \cdot \left[\frac{1 - \eta_v}{A_V} \right]$$

$$Q_{\text{var}} = N_{vc} \cdot A_V \quad \text{kWh/ano}$$

$$\dot{Q}_{\text{ver}} = \frac{Q_{\text{var}}}{\text{dias} \cdot 24}$$

$$\gamma_v = \frac{Q_{gv}}{Q_s}$$

$$\eta_v = \frac{1 - \gamma_v^{\text{av}}}{1 - \gamma_v [\text{av} + 1]}$$

$$\text{av} = 2,6 \quad \text{edifício com inércia média}$$

$$Q_{gv} = Q_t + Q_{sv} + Q_s + Q_v$$

Ganhos pela envolvente

$$Q_t = 2,928 \cdot (|\theta_m - \theta_t|) \cdot [UA_n + UA_s + UA_o + UA_o + 2 \cdot UA_p + UA_{\text{cobertura}}] + [(UA_n \cdot Ir_n + UA_s \cdot Ir_s + UA_o \cdot Ir_o + UA_o \cdot Ir_o) \cdot \alpha_{\text{paredo}} + 2 \cdot UA_p \cdot Ir_o \cdot \alpha_{\text{porta}} + UA_{\text{cobertura}} \cdot Ir_h \cdot \alpha_{\text{cobertura}}] \cdot \frac{1}{h_o}$$

$$UA_n = U_{\text{paredo}} \cdot A_{\text{paredo},V,n}$$

$$UA_o = U_{\text{paredo}} \cdot A_{\text{paredo},V,p}$$

$$UA_s = U_{\text{paredo}} \cdot A_{\text{paredo},V,s}$$

$$UA_o = U_{\text{paredo}} \cdot A_{\text{paredo},V,o}$$

$$UA_p = U_{\text{porta}} \cdot A_{\text{porta}}$$

$$UA_{\text{cobertura}} = U_{\text{cobertura}} \cdot A_V$$

$$l_{r_n} = 200$$

$$l_{r_o} = 450$$

$$l_{r_s} = 420$$

$$l_{r_o} = 450$$

$$l_{r_n} = 790$$

$$\alpha_{pareda} = 0,4$$

$$\alpha_{porta} = 0,8$$

$$\alpha_{cobertura} = 0,4 \text{ laranja}$$

$$\theta_m = 19$$

$$\theta_i = 25$$

$$h_a = 25$$

Ganhos pelos vãos envidraçados

$$Q_{sv} = F_w \cdot g_i \cdot [A_{env,v_n} \cdot l_{r_n} + A_{env,v_o} \cdot l_{r_o} + A_{env,v_s} \cdot l_{r_s} + A_{env,v_o} \cdot l_{r_o}]$$

$$F_w = 0,7$$

$$g_i = 0,3 \cdot 0,63 + 0,7 \cdot 0,04$$

Perdas por ventilação

$$Q_d = 2,928 \cdot 0,34 \cdot R_{ph} \cdot A_v \cdot P_d \cdot (|\theta_m - \theta_i|)$$

Ganhos internos

$$Q_w = 2,928 \cdot qq_i \cdot A_v$$

14 Anexo H: Cálculo da área do edifício de Dundo

File:ANEXO - Cálculo da área residencial Dundo.EES

03-02-2012 14:57:19 Page 1

EES Ver. 8.874: #0725: For use by students and faculty in the Faculdade de Engenharia, D. Mech. Universidade do Porto

$$P_d = 2,6$$

$$\text{Lado} = \sqrt{A_v}$$

$$A_{\text{real}} = \text{If} [P_d ; 3 ; A_v ; 0 ; 2 \cdot A_v]$$

$$Q_{\text{Var}} = [20749 - Q_{\text{AGS}}] \cdot 0,6$$

$$\dot{Q}_{\text{Var}} = \frac{Q_{\text{Var}}}{365 \cdot 24}$$

$$Q_{\text{AGS}} = Q_{\text{AGS,at}}$$

$$Q_{\text{AGS,at}} = 5 \cdot 40 \cdot 4187 \cdot 45 \cdot \frac{365}{3,6 \times 10^6}$$

$$A_{\text{porta}} = 1 \cdot 2,1$$

$$A_{\text{garagem}} = 5 \cdot 5$$

$$U_{\text{parade}} = 0,367$$

$$U_{\text{cobertura}} = 0,47$$

$$U_{\text{parlamento}} = 0,62$$

$$U_v = 1,4 \text{ vidro duplo}$$

$$U_{\text{caixilho}} = 8,17$$

$$U_{\text{env}} = 0,8 \cdot U_v + 0,2 \cdot U_{\text{caixilho}}$$

$$U_{\text{porta}} = 1,75$$

$$R_{\text{ph}} = 0,6$$

$$qq_1 = 4 \text{ Edifício Residencial}$$

ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO

A_v - o que se quer saber

$$A_{\text{env,v}} = A_{\text{real}} \cdot 0,15$$

$$A_{\text{parade,v,n}} = \sqrt{A_v} \cdot P_d - A_{\text{env,v,n}}$$

$$A_{\text{parade,v,p}} = \sqrt{A_v} \cdot P_d - A_{\text{env,v,p}} - A_{\text{porta}}$$

$$A_{\text{parade,v,s}} = \sqrt{A_v} \cdot P_d - A_{\text{env,v,s}}$$

$$A_{\text{parade,v,o}} = \sqrt{A_v} \cdot P_d - A_{\text{env,v,o}} - A_{\text{porta}}$$

$$A_{\text{env,v,n}} = 0,21 \cdot A_{\text{env,v}}$$

$$A_{\text{env,v,p}} = 0,27 \cdot A_{\text{env,v}}$$

$$A_{\text{env,v,s}} = 0,38 \cdot A_{\text{env,v}}$$

$$A_{\text{env,v,o}} = 0,25 \cdot A_{\text{env,v}}$$

$$N_{vc} = Q_{gv} \cdot \left[\frac{1 - \eta_v}{A_v} \right]$$

$$Q_{var} = N_{vc} \cdot A_v \text{ kWh/ano}$$

$$\gamma_v = \frac{Q_{gv}}{Q_s}$$

$$\eta_v = \frac{1 - \gamma_v^{av}}{1 - \gamma_v [av + 1]}$$

$$av = 2,6 \text{ edifício com inércia média}$$

$$Q_{gv} = Q_1 + Q_{sv} + Q_3 + Q_N$$

Ganhos pela envolvente

$$Q_1 = 3 \cdot \left[2,928 \cdot (|\theta_m - \theta_i|) \cdot (UA_n + UA_s + UA_o + UA_o + 2 \cdot UA_p + UA_{cobertura}) + \left([UA_n \cdot Ir_n + UA_s \cdot Ir_s + UA_o \cdot Ir_o + UA_o \cdot Ir_o] \cdot \alpha_{parade} + 2 \cdot UA_p \cdot Ir_o \cdot \alpha_{porta} + UA_{cobertura} \cdot Ir_h \cdot \alpha_{cobertura} \right) \cdot \frac{1}{h_a} \right]$$

o RCCTE está feito para se calcular só em 4 meses de Verão, por isso tem que se multiplicar por 3 para dar 12

$$UA_n = U_{parade} \cdot A_{parade,N}$$

$$UA_o = U_{parade} \cdot A_{parade,S}$$

$$UA_s = U_{parade} \cdot A_{parade,S}$$

$$UA_o = U_{parade} \cdot A_{parade,S}$$

$$UA_p = U_{porta} \cdot A_{porta}$$

$$UA_{cobertura} = U_{cobertura} \cdot A_v$$

$$Ir_n = 86,39$$

$$Ir_o = 305,9$$

$$Ir_s = 326$$

$$Ir_o = 305,9$$

$$Ir_h = 853$$

$$\alpha_{parade} = 0,4$$

$$\alpha_{porta} = 0,8$$

$$\alpha_{cobertura} = 0,4 \text{ laranja}$$

$$\theta_m = \frac{24,4 + 24,6 + 24,8 + 24,9 + 24,6 + 23,7 + 23,8 + 25 + 24,9 + 24,7 + 24,2 + 24,3}{12}$$

$$\theta_i = 25$$

$$h_a = 25$$

Ganhos pelos vãos envidraçados

$$Q_{ev} = F_w \cdot g_l \cdot [A_{env,V,T} \cdot I_{r_n} + A_{env,V,a} \cdot I_{r_a} + A_{env,V,s} \cdot I_{r_s} + A_{env,V,o} \cdot I_{r_o}] \cdot 3$$

o RCCTE está feito para se calcular só em 4 meses de Verão, por isso tem que se multiplicar por 3 para dar 12

$$F_w = 0,7$$

$$g_l = 0,3 \cdot 0,63 + 0,7 \cdot 0,04$$

Perdas por ventilação

$$Q_3 = 2,928 \cdot 0,34 \cdot R_{ph} \cdot A_v \cdot P_d \cdot (|\theta_m - \theta_i|) \cdot 3$$

o RCCTE está feito para se calcular só em 4 meses de Verão, por isso tem que se multiplicar por 3 para dar 12

Ganhos internos

$$Q_{iv} = 2,928 \cdot qq_i \cdot A_v \cdot 3$$

o RCCTE está feito para se calcular só em 4 meses de Verão, por isso tem que se multiplicar por 3 para dar 12

15 Anexo I: Cálculo da área do edifício do Lubango

File:ANEXO - Cálculo da área residencial Lubango.EES

03-02-2012 14:23:25 Page 1

EES Ver. 8.874: #0725: For use by students and faculty in the Faculdade de Engenharia, D. Mech. Universidade do Porto

$$P_d = 2,6$$

$$\text{Lado} = \sqrt{A_v}$$

$$A_{\text{real}} = \text{If} [P_d ; 3 ; A_v ; 0 ; 2 \cdot A_v]$$

$$Q_{\text{Var}} = \left[29339 - \frac{Q_{\text{AQS}}}{12} \cdot 10 \right] \cdot 0,6$$

$$\dot{Q}_{\text{Var}} = \frac{Q_{\text{Var}}}{365 \cdot 24}$$

$$Q_{\text{AQS}} = Q_{\text{AQS,at}}$$

$$Q_{\text{AQS,at}} = 40 \cdot 5 \cdot 4187 \cdot 45 \cdot \frac{365}{3,6 \times 10^6}$$

$$A_{\text{porta}} = 1 \cdot 2,1$$

$$A_{\text{garagem}} = 5 \cdot 5$$

$$U_{\text{paredo}} = 0,367$$

$$U_{\text{cobertura}} = 0,47$$

$$U_{\text{parimento}} = 0,62$$

$$U_v = 1,4$$

$$U_{\text{caixilho}} = 8,17$$

$$U_{\text{env}} = 0,8 \cdot U_v + 0,2 \cdot U_{\text{caixilho}}$$

$$U_{\text{porta}} = 1,75$$

$$R_{\text{ph}} = 0,6$$

$$qq_1 = 4 \text{ Edifício Residencial}$$

ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO

A_v - o que se quer saber

$$A_{\text{env,v}} = A_{\text{real}} \cdot 0,15$$

$$A_{\text{paredo,v,ph}} = \sqrt{A_v} \cdot P_d - A_{\text{env,v,ph}}$$

$$A_{\text{paredo,v,p}} = \sqrt{A_v} \cdot P_d - A_{\text{env,v,p}} - A_{\text{porta}}$$

$$A_{\text{paredo,v,s}} = \sqrt{A_v} \cdot P_d - A_{\text{env,v,s}}$$

$$A_{\text{paredo,v,sp}} = \sqrt{A_v} \cdot P_d - A_{\text{env,v,sp}} - A_{\text{porta}}$$

$$A_{\text{env,v,ph}} = 0,21 \cdot A_{\text{env,v}}$$

$$A_{\text{env,v,p}} = 0,27 \cdot A_{\text{env,v}}$$

$$A_{\text{env,v,s}} = 0,28 \cdot A_{\text{env,v}}$$

$$A_{\text{env,v,sp}} = 0,24 \cdot A_{\text{env,v}}$$

$$N_{vc} = Q_{gv} \cdot \left[\frac{1 - \eta_v}{A_v} \right]$$

$$Q_{var} = N_{vc} \cdot A_v \text{ kWh/ano}$$

$$\gamma_v = \frac{Q_{gv}}{Q_s}$$

$$\eta_v = \frac{1 - \gamma_v^{av}}{1 - \gamma_v [av + 1]}$$

$$av = 2,6 \text{ edifício com inércia média}$$

$$Q_{gv} = Q_1 + Q_{sv} + Q_s + Q_v$$

Ganhos pela envolvente

$$Q_1 = 3 \cdot \left[2,928 \cdot (|\theta_m - \theta_1|) \cdot (UA_n + UA_s + UA_o + UA_o + 2 \cdot UA_p + UA_{cobertura}) + \left([UA_n \cdot Ir_n + UA_s \cdot Ir_s + UA_o \cdot Ir_o + UA_o \cdot Ir_o] \cdot \alpha_{parada} + 2 \cdot UA_p \cdot Ir_a \cdot \alpha_{porta} + UA_{cobertura} \cdot Ir_n \cdot \alpha_{cobertura} \right) \cdot \frac{1}{h_a} \right]$$

o RCCTE está feito para se calcular só em 4 meses de Verão, por isso tem que se multiplicar por 5/2 para dar 12

$$UA_n = U_{parada} \cdot A_{parada,V,n}$$

$$UA_o = U_{parada} \cdot A_{parada,V,o}$$

$$UA_s = U_{parada} \cdot A_{parada,V,s}$$

$$UA_o = U_{parada} \cdot A_{parada,V,o}$$

$$UA_p = U_{porta} \cdot A_{porta}$$

$$UA_{cobertura} = U_{cobertura} \cdot A_v$$

$$Ir_n = 290,3$$

$$Ir_o = 426,3$$

$$Ir_s = 290,3$$

$$Ir_o = 421,9$$

$$Ir_n = 1138$$

$$\alpha_{parada} = 0,4$$

$$\alpha_{porta} = 0,8$$

$$\alpha_{cobertura} = 0,4 \text{ laranja}$$

$$\theta_m = 23,1$$

$$\theta_1 = 25$$

$$h_a = 25$$

Ganhos pelos vãos envidraçados

$$Q_{sv} = F_w \cdot g_i \cdot [A_{env,vz} \cdot I_{r_n} + A_{env,vz} \cdot I_{r_e} + A_{env,vz} \cdot I_{r_s} + A_{env,vz} \cdot I_{r_o}] \cdot 5 / 2$$

o RCCTE está feito para se calcular só em 4 meses de Verão, por isso tem que se multiplicar por 5/2 para dar 12

$$F_w = 0,7$$

$$g_i = 0,3 \cdot 0,63 + 0,7 \cdot 0,04$$

Perdas por ventilação

$$Q_s = 2,928 \cdot 0,34 \cdot R_{ph} \cdot A_v \cdot P_d \cdot (|\theta_m - \theta_i|) \cdot 5 / 2$$

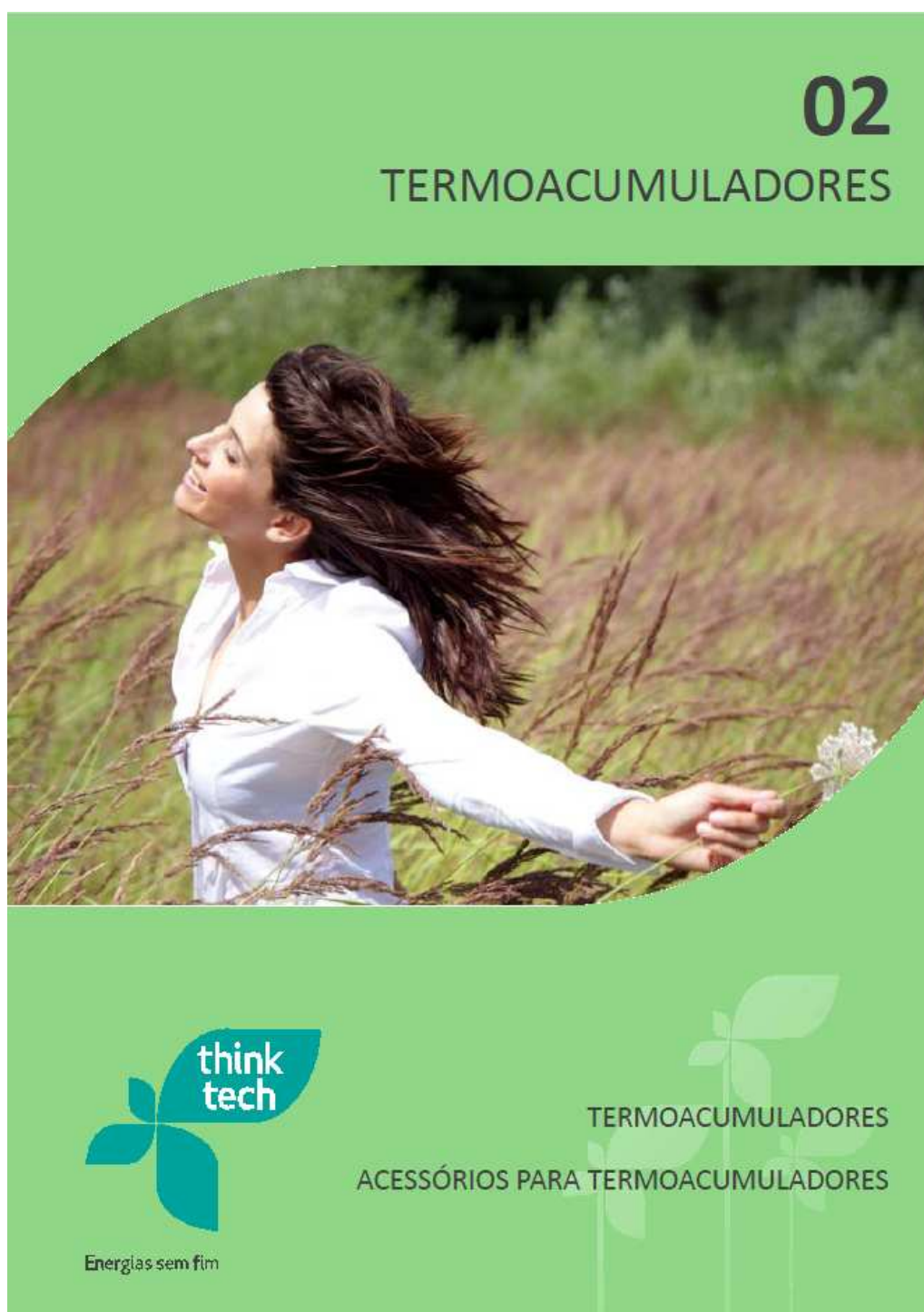
o RCCTE está feito para se calcular só em 4 meses de Verão, por isso tem que se multiplicar por 5/2 para dar 12

Ganhos internos

$$Q_v = 2,928 \cdot qq_i \cdot A_v \cdot 5 / 2$$

o RCCTE está feito para se calcular só em 4 meses de Verão, por isso tem que se multiplicar por 5/2 para dar 12

16 Anexo J: Folheto do termoacumulador THK B2S 080/20



02 TERMOACUMULADORES



Termoacumuladores Combinados

código	descrição	volume total (lt)	vol. AQS (lt)	diâmetro mm	serpentina solar (m²)	peso (kg)	preço (€)
6211581	Depósito Combinado 2S Vert. THK B25 060/15	600	150	850	1,6	200	1.857,00
6211582	Depósito Combinado 2S Vert. THK B25 080/20	800	200	990	2,3	250	1.954,00
6211583	Depósito Combinado 2S Vert. THK B25 100/20	1000	200	990	2,5	370	2.189,00
6211584	Depósito Combinado 2S Vert. THK B25 150/30	1500	300	1200	3,9	400	2.895,00

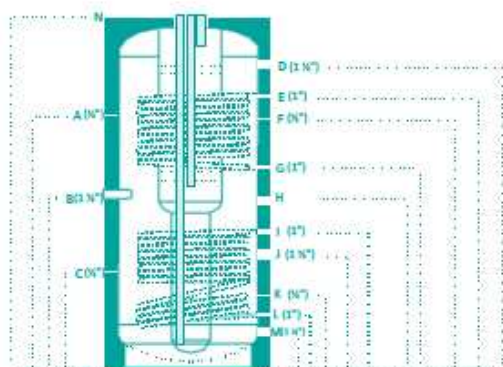
Os termoacumuladores combinados são especialmente concebidos para tirar proveito da estratificação da temperatura do volume acumulado, deste modo, aumentamos a eficiência energética da instalação e garantimos a maior disponibilidade para a energia solar térmica.

Estes termoacumuladores são ideais para aplicações integradas, reduzindo o espaço técnico necessário e aumentando o rendimento da instalação quando aplicada em soluções para produção de AQS e aquecimento ambiente. São dotados de grande capacidade de inércia com aplicação de termoacumulador sanitário vitrificado na zona alta para garantir a prioridade às AQS.

A aplicação da segunda serpentina permite a utilização de sistemas de apoio energético com circuito hidráulico distinto.

As múltiplas ligações disponíveis permitem associar-lhes aplicações de alta e baixa temperatura.

- Possibilidade de ligação com resistência eléctrica (opcional)
- Elevado isolamento em poliuretano conformado e espuma flexível
- Ampla gama com versões de acumulação sanitária de 150 a 300L para maior conforto
- Fornecido de fábrica com dupla serpentina para maior versatilidade de utilização
- Acabamento em lona
- Ânodo de magnésio e acessórios incluídos
- Ideal para aplicações integradas.



Legenda	Designação	Depósito Combinado (THK B25)			
		600L	800L	1000L	1500L
A	Sonda Alta	1400	1910	1500	1700
B	Resistência Eléctrica	860	920	1130	1130
C	Sonda Baixa	440	570	580	875
D	Ligação Alta	1300	1573	1742	1808
E	Entrada Serpentina Superior	1300	1390	1520	1635
F	Sonda Alta	1130	1290	1450	1525
G	Saída Serpentina Superior	1020	1072	1172	1225
H	Ligação Média	910	980	1060	1130
I	Entrada Serpentina Inferior	800	820	880	895
J	Ligação Semi-baixa	650	670	730	765
K	Sonda Baixa	480	485	485	520
L	Saída Serpentina Inferior	280	310	310	375
M	Ligação Baixa	150	170	170	235
N	Altura	1870	1910	2086	2220

17 Anexo K: Características do coletor Wikosun 2340-Ti



Gesellschaft für Konformitätsbewertung mbH

Summary of Collector Test Data for Wikosun 2340-Ti Registernummer: 011-7S021 F

Anlage zum Zertifikat Solar Keymark für Sonnenkollektoren

Zertifikatsinhaber

Firma: Wikora GmbH
 Straße: Friedrichstrasse 9
 PLZ/Ort: D-89568 Hermingen

Produktbezeichnung: Wikosun
 Typ: Wikosun 2340-Ti

Prüflaboratorium: SPF-Solartechnik Prüfbericht:
 Straße: Oberseestrasse 10 Bericht-Nr: C715LPEN-A1, C715QPEN-A1
 PLZ/Ort: CH-8640 Rapperswil vom: 07.07.2005

Bauteile:	Werkstoff:	Abmessungen/Dicke:
Absorber:	Kupfer	1030 mm x 2084 mm x 0.2 mm
Oberflächenbehandlung:	Aufdampfen	--
Abdeckung:	Einscheiben Sicherheitsglas	3.2 mm
Gehäuse:	Aluminium, Strangpressprofil	--
Wärmedämmung:	Steinwolle	40 mm / 20 mm

Aperturfläche (Bezugsfläche): 2.142 [m²] Zulässiger Betriebsüberdruck: 1000 [kPa]

Wärmeträgerfluid:

Art: Wasser-Glykol
 Inhalt: 1.8 [l]

Technische Daten:

Konversionsfaktor η_D : 0.800 [-]
 Wärmedurchgangskoeffizient a_1 : 4.31 [W/m²·K]
 Temperaturabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient a_2 : 0.0033 [W/m²·K²]
 Einfallswinkel-Korrekturfaktor: $K_g(50^\circ)$: $K_g=0.93$ [-]
 Einfallswinkel-Korrekturfaktor: Flachkollektor
 $K_g(\theta = 20^\circ)$: $K_g=1.00$ [-]
 $K_g(\theta = 40^\circ)$: $K_g=0.97$
 $K_g(\theta = 60^\circ)$: $K_g=0.85$
 Effektive Kollektorkapazität c_{eff} : 5.5 [kJ/m²·K]

Druckabfall des Kollektors bei Nenndurchfluss:
 (Wärmeträgerfluid: Wasser-Glykol bei 20 ± 2 °C)

Nenndurchfluss: 120 [l/h]
 Druckabfall: 335 [Pa]

Stagnationstemperatur t_{stg} : 208 [°C]

(bei Bestrahlungsstärke $G_0 = 1000$ W/m² und Umgebungstemperatur $t_{um} = 30$ °C)

Dr. A. Bohren
 SPF- Solartechnik
 CH-8640 Rapperswil
 11.07.2005

Stempel und Unterschrift Prüflaboratorium

18 Anexo L: Cálculo da área do coletor solar térmico para Lisboa

File:ANEXO - Cálculo da área do coletor Lisboa.EES 03-02-2012 14:42:24 Page 1
 EES Ver. 8.874: #0725: For use by students and faculty in the Faculdade de Engenharia, D. Mech. Universidade do Porto

```

mes1,year = 6
mest,year = 9
Tin,ref = 1053
Tout = 273,15 + 65
Trotor = 273,15 + 47,97
Trotor,ref = Tamb + 10
Tamb = 273,15 + 12,4 + 6,6 · If [mes1; mes1p; 0; 1; 1] · If [mes1; mes1p; 1; 0; 0]
Tp = 273,15 + 24
mes1p = 5
mes1p = 10
cp = Cp [ 'Water'; T =  $\frac{T_{out} + T_{rotor}}{2}$ ; P = 101,325 ]
tcont = If [frac0; frac1; TableValue ('Resultados'; trun; 'tcont')]; 0; TableValue ('Resultados'; trun; 'tcont') + 1 ]
hdia = Lookup ['Dados radiacao W-m2'; tcont + 1; 'h-dia'] + frac
tempo = Lookup ['Dados radiacao W-m2'; tcont + 1; 'Tempo'] + frac
frac0 = TableValue ['Resultados'; trun; 'frac']
frac1 = TableValue ['Resultados'; trun + 1; 'frac']
Ind,tabola = Interpolate ['Dados radiacao W-m2'; 'Tempo'; 'Lisboa'; 'Tempo' = tempo]
Ind = If [Ind,tabola; 0; 0; 0; Ind,tabola]
Indir,t = Interpolate ['Dados radiacao W-m2'; 'h-dia'; 'Lisboa'; 'h-dia' = tcont]
tcont=0
h = hdia
mes1 = Lookup ['Dados radiacao W-m2'; tcont + 1; 'mes']
hdia0 = TableValue ['Resultados'; trun; 'hdia']
hdia1 = hdia
dia = If [hdia0; hdia1; TableValue ('Resultados'; trun; 'dia'); TableValue ('Resultados'; trun; 'dia'); TableValue ('Resultados'; trun; 'dia') + 1 ]

```

Área do Colector PP Lisboa

```

E1 = E0 + Eg
E0 = TableValue ['Resultados'; trun; 'E1']
Eg = Qcol - KA · [Tarm,0 - Tamb,0] · 1 / 6 - mcons · Cp,arm ·  $\frac{45}{3600}$  - Qperda

```

$$E_1 \cdot 3600 = m_{arm} \cdot c_{p,arm} \cdot [T_{arm,t} - T_{roda}]$$

$$E_{excesso} = m_{arm} \cdot c_{p,ax} \cdot \left[\frac{T_{arm,0} - T_{arm,lim}}{3600} \right]$$

$$c_{p,lim} = Cp ['Water'; T = T_{arm,lim}; P = 101,325 \cdot 6]$$

$$c_{p,ax} = Cp ['Water'; T = T_{arm,0}; P = 101,325 \cdot 6]$$

$$T_{arm,lim} = 273,15 + 80$$

Temperatura mínima atingida

$$T_{arm,max} = \text{If} \left[\text{TableValue} ('Resultados'; t_{run}; 'T_{arm,max}'); T_{arm,t}; T_{arm,t}; T_{arm,t}; \text{TableValue} ('Resultados'; t_{run}; 'T_{arm,max}') \right]$$

$$T_{arm,min} = \text{If} \left[\text{TableValue} ('Resultados'; t_{run}; 'T_{arm,min}'); T_{arm,t}; \text{TableValue} ('Resultados'; t_{run}; 'T_{arm,min}'); T_{arm,t}; T_{arm,t} \right]$$

$$Q_{cool} = \text{If} \left[\eta_{PP} \cdot I_{dir\beta} \cdot A_{PP}; 0; 0; 0; \eta_{PP} \cdot I_{dir\beta} \cdot \frac{A_{PP}}{1000} \right] \cdot 1 / 6$$

$$\eta_{PP} = \text{If} \left[I_{dir\beta}; 100000; Fr_{cyl} - FrK \cdot \left(\frac{T_{arm,0} - T_{amb,0}}{I_{dir\beta}} \right); 0; 0 \right]$$

$$Q_{perdida} = [E_{excesso} + Q_{cool} - KA \cdot (T_{arm,0} - T_{amb,0}) \cdot 1 / 6] \cdot \text{If} [T_{arm,0}; T_{arm,lim}; 0; 1; 1]$$

$$T_{arm,0} = \text{TableValue} ['Resultados'; t_{run}; 'T_{arm,t}']$$

$$T_{arm,00} = \text{TableValue} ['Resultados'; t_{run} - 1; 'T_{arm,t}']$$

$$T_{amb,0} = \text{TableValue} ['Resultados'; t_{run} - 1; 'T_{amb}']$$

$$T_{roda} = 273,15 + 16$$

$$c_{p,arm} = Cp ['Water'; T = T_{arm,0}; P = 101,325 \cdot 6]$$

$$m_{arm} = \rho_{agua} \cdot V_{arm}$$

$$V_{arm} = 0,3$$

$$\rho_{agua} = 1000$$

$$KA = 0,00256$$

$$m_{cons} = m_{cons,ver} + m_{cons,iv}$$

$$m_{cons,ver} = \left[\text{If} \left(E_0 - 2,358; 1,1; \frac{E_0 - 2,358}{40}; 1; 1 \right) \cdot \text{If} (E_0; 2,358; 0; 0; 1) \cdot \text{If} (h; 7; 0; 40; 0) \right. \\
 + \text{If} \left(E_0 - 2,358; 1,1; \frac{E_0 - 2,358}{40}; 1; 1 \right) \cdot \text{If} (E_0; 2,358; 0; 0; 1) \cdot \text{If} (h; 7,5; 0; 40; 0) + \text{If} \left(E_0 - 2,358; 1,1; \frac{E_0 - 2,358}{40}; 1; 1 \right) \cdot \text{If} (E_0; 2,358; 0; 0; 1) \cdot \text{If} (h; 8; 0; 40; 0) + \text{If} \left(E_0 - 2,358; 1,1; \frac{E_0 - 2,358}{40}; 1; 1 \right) \cdot \text{If} (E_0; 2,358; 0; 0; 1) \cdot \text{If} (h; 8,5; 0; 40; 0) + \text{If} \left(E_0 - 2,358; 1,1; \frac{E_0 - 2,358}{40}; 1; 1 \right) \cdot \text{If} (E_0; 2,358; 0; 0; 1) \cdot \text{If} (h; 9; 0; 40; 0) \left. \right] \\
 \cdot \text{If} [mes_t; mes_{t,ver}; 0; 1; 1] \cdot \text{If} [mes_t; mes_{t,ver}; 1; 1; 0]$$

$$m_{\text{consjnv}} = \left[\text{If} \left(E_0 - 2,358 ; 1,1 ; \frac{E_0 - 2,358}{40} ; 1 ; 1 \right) \cdot \text{If} (E_0 ; 2,358 ; 0 ; 0 ; 1) \cdot \text{If} (h ; 19 ; 0 ; 40 ; 0) \right. \\ \left. + \text{If} \left(E_0 - 2,358 ; 1,1 ; \frac{E_0 - 2,358}{40} ; 1 ; 1 \right) \cdot \text{If} (E_0 ; 2,358 ; 0 ; 0 ; 1) \cdot \text{If} (h ; 20 ; 0 ; 40 ; 0) + \text{If} \left(E_0 \right. \right. \\ \left. \left. - 2,358 ; 1,1 ; \frac{E_0 - 2,358}{40} ; 1 ; 1 \right) \cdot \text{If} (E_0 ; 2,358 ; 0 ; 0 ; 1) \cdot \text{If} (h ; 21 ; 0 ; 40 ; 0) + \text{If} \left(E_0 \right. \right. \\ \left. \left. - 2,358 ; 1,1 ; \frac{E_0 - 2,358}{40} ; 1 ; 1 \right) \cdot \text{If} (E_0 ; 2,358 ; 0 ; 0 ; 1) \cdot \text{If} (h ; 22 ; 0 ; 40 ; 0) + \text{If} \left(E_0 \right. \right. \\ \left. \left. - 2,358 ; 1,1 ; \frac{E_0 - 2,358}{40} ; 1 ; 1 \right) \cdot \text{If} (E_0 ; 2,358 ; 0 ; 0 ; 1) \cdot \text{If} (h ; 23 ; 0 ; 40 ; 0) \right] \\ \cdot \left[\text{If} (\text{mes}_1 ; \text{mes}_{1\text{var}} ; 1 ; 0 ; 0) + \text{If} (\text{mes}_1 ; \text{mes}_{1\text{var}} ; 0 ; 0 ; 1) \right]$$

$$\text{Fr}_{\text{sol}} = 0,774$$

$$\text{FrK} = 3,83$$

$$n_{\text{col,PP}} = 2$$

$$A_{\text{PP}} = 1,837 \cdot n_{\text{col,PP}}$$

$$\beta_{\text{Lis}} = \phi_{\text{Lis}} + 10$$

$$h_{\text{Lis}} = \arcsin \left[\sin (\delta_{\text{Lis}}) \cdot \sin (\phi_{\text{Lis}}) + \cos (\delta_{\text{Lis}}) \cdot \cos (\phi_{\text{Lis}}) \cdot \cos (ah_{\text{Lis}}) \right]$$

$$I_{\text{dir},\beta} = \text{If} \left[I_{\text{dir}} \cdot \cos (i) ; 0 ; 100000 ; 100000 ; I_{\text{dir}} \cdot \cos (i) \right]$$

$$i = \arccos \left[\sin (\delta_{\text{Lis}}) \cdot \sin (\phi_{\text{Lis}} - \beta_{\text{Lis}}) + \cos (\delta_{\text{Lis}}) \cdot \cos (\phi_{\text{Lis}} - \beta_{\text{Lis}}) \cdot \cos (ah_{\text{Lis}}) \right]$$

$$\delta_{\text{Lis}} = 23,45 \cdot \sin [0,986 \cdot d - 80]$$

$$ah_{\text{Lis}} = 15 \cdot [\text{TSV} - 12]$$

$$\text{TSV} = \text{TL} + \frac{\lambda_{\text{Lis}}}{15} + \text{ET} + \text{If} [\text{mes}_1 ; 5 ; 0 ; 1 ; 1] \cdot \text{If} [\text{mes}_1 ; 9 ; 1 ; 1 ; 0]$$

$$\text{ET} = 229,18$$

$$\cdot \left[\frac{0,000075 + 0,001868 \cdot \cos (\gamma_{\text{Lis}}) - 0,032077 \cdot \sin (\gamma_{\text{Lis}}) - 0,014615 \cdot \cos (2 \cdot \gamma_{\text{Lis}}) - 0,040849 \cdot \sin (2 \cdot \gamma_{\text{Lis}})}{60} \right]$$

$$\gamma_{\text{Lis}} = 2 \cdot \frac{\pi}{365} \cdot [d - 1] \cdot \left| 57,3 \cdot \frac{\text{deg}}{\text{rad}} \right|$$

$$\phi_{\text{Lis}} = 38,72$$

$$\lambda_{\text{Lis}} = -9,15$$

$$d = \text{dia}$$

$$\text{TL} = h$$

t=0

19 Anexo M: Cálculo da área do coletor solar térmico para Angola

File:ANEXO - Cálculo da área do coletor Angola.EES

03-02-2012 14:45:40 Page 1

EES Ver. 8.874: #0725: For use by students and faculty in the Faculdade de Engenharia, D. Mech. Universidade do Porto

$$\dot{Q}_{ver} = 2,56$$

$$mes_{t_{ypr}} = 6$$

$$mes_{t_{ypr}} = 9$$

$$T_{amb} = 273,15 + 26$$

$$mes_{tp} = 5$$

$$mes_{tp} = 10$$

$$t_{cont} = \text{If} \left[\text{frac}_0 ; \text{frac}_1 ; \text{TableValue} ('Resultados'; t_{run}; 't_{cont}'); 0 ; \text{TableValue} ('Resultados'; t_{run}; 't_{cont}') + 1 \right]$$

$$hdia = \text{Lookup} ['Dados radiacao W-m2'; t_{cont} + 1; 'h-dia'] + \text{frac}$$

$$\text{tempo} = \text{Lookup} ['Dados radiacao W-m2'; t_{cont} + 1; 'Tempo'] + \text{frac}$$

$$\text{frac}_0 = \text{TableValue} ['Resultados'; t_{run}; 'frac']$$

$$\text{frac}_1 = \text{TableValue} ['Resultados'; t_{run} + 1; 'frac']$$

$$I_{nd,tabela} = \text{Interpolate} ['Dados radiacao W-m2'; 'Tempo'; 'Dundo'; 'Tempo' = \text{tempo}]$$

$$I_{nd} = \text{If} [I_{nd,tabela}; 0; 0; 0; I_{nd,tabela}]$$

$$I_{ndr2} = \text{Interpolate} ['Dados radiacao W-m2'; 'h-dia'; 'Dundo'; 'h-dia' = t_{cont}]$$

$$t_{cont}=0$$

$$h = hdia$$

$$mes_1 = \text{Lookup} ['Dados radiacao W-m2'; t_{cont} + 1; 'mes']$$

$$hdia_0 = \text{TableValue} ['Resultados'; t_{run}; 'hdia']$$

$$hdia_1 = hdia$$

$$dia = \text{If} [hdia_0; hdia_1; \text{TableValue} ('Resultados'; t_{run}; 'dia'); \text{TableValue} ('Resultados'; t_{run}; 'dia'); \text{TableValue} ('Resultados'; t_{run}; 'dia') + 1]$$

Área do Colector PP Angola

$$E_1 = E_0 + E_g$$

$$E_0 = \text{TableValue} ['Resultados'; t_{run}; 'E_1']$$

$$E_g = Q_{col} - KA \cdot [T_{arm,0} - T_{amb,0}] \cdot 1 / 6 - m_{cons} \cdot c_{p,arm} \cdot \frac{45}{3600} - Q_{perdida}$$

$$E_1 \cdot 3600 = m_{arm} \cdot c_{p,arm} \cdot [T_{arm,t} - T_{reda}]$$

$$E_{excesso} = m_{arm} \cdot c_{p,ex} \cdot \left[\frac{T_{arm,0} - T_{arm,tm}}{3600} \right]$$

$$c_{p,ex} = \text{Cp} ['Water'; T = T_{arm,0}; P = 101,325 \cdot 6]$$

$$T_{arm,tm} = 273,15 + 80$$

Temperatura minima atingida

$$T_{arm,max} = \text{If} \left[\text{TableValue} ('Resultados'; t_{run}; 'T_{arm,max}'); T_{arm,t}; T_{arm,t}; T_{arm,t}; \text{TableValue} ('Resultados'; t_{run}; 'T_{arm,max}') \right]$$

$$T_{arm,min} = \text{If} \left[\text{TableValue} ('Resultados'; t_{run}; 'T_{arm,min}'); T_{arm,t}; \text{TableValue} ('Resultados'; t_{run}; 'T_{arm,min}'); T_{arm,t}; T_{arm,t} \right]$$

$$Q_{cool} = \text{If} \left[\eta_{PP} \cdot I_{dir,\beta} \cdot A_{PP}; 0; 0; 0; \eta_{PP} \cdot I_{dir,\beta} \cdot \frac{A_{PP}}{1000} \right] \cdot 1 / 6$$

$$\eta_{PP} = \text{If} \left[I_{dir,\beta}; 100000; Fr_{c,ex} - FrK \cdot \left(\frac{T_{arm,\beta} - T_{amb,\beta}}{I_{dir,\beta}} \right); 0; 0 \right]$$

$$Q_{perdida} = [E_{excesso} + Q_{cool} - KA \cdot (T_{arm,\beta} - T_{amb,\beta})] \cdot 1 / 6 \cdot \text{If} [T_{arm,\beta}; T_{arm,m}; 0; 0; 1]$$

$$T_{arm,\beta} = \text{TableValue} ['Resultados'; t_{run}; 'T_{arm,\beta}']$$

$$T_{arm,0} = \text{TableValue} ['Resultados'; t_{run} - 1; 'T_{arm,t}']$$

$$T_{amb,\beta} = \text{TableValue} ['Resultados'; t_{run} - 1; 'T_{amb}']$$

$$T_{roda} = 273,15 + 17$$

$$C_{p,arm} = C_p ['Water'; T = T_{arm,\beta}; P = 101,325 \cdot 6]$$

$$m_{arm} = \rho_{agua} \cdot V_{arm}$$

$$V_{arm} = 0,3$$

$$\rho_{agua} = 1000$$

$$KA = 0,00256$$

$$m_{cons} = \text{If} \left[E_0 - 2,358; 1,1; \frac{E_0 - 2,358}{40}; 1; 1 \right] \cdot \text{If} [E_0; 2,358; 0; 0; 1] \cdot \text{If} [h; 7; 0; 40; 0]$$

$$+ \text{If} \left[E_0 - 2,358; 1,1; \frac{E_0 - 2,358}{40}; 1; 1 \right] \cdot \text{If} [E_0; 2,358; 0; 0; 1] \cdot \text{If} [h; 7,5; 0; 40; 0] + \text{If} \left[E_0 - 2,358; 1,1; \frac{E_0 - 2,358}{40}; 1; 1 \right] \cdot \text{If} [E_0; 2,358; 0; 0; 1] \cdot \text{If} [h; 8; 0; 40; 0] + \text{If} \left[E_0 - 2,358; 1,1; \frac{E_0 - 2,358}{40}; 1; 1 \right] \cdot \text{If} [E_0; 2,358; 0; 0; 1] \cdot \text{If} [h; 8,5; 0; 40; 0] + \text{If} \left[E_0 - 2,358; 1,1; \frac{E_0 - 2,358}{40}; 1; 1 \right] \cdot \text{If} [E_0; 2,358; 0; 0; 1] \cdot \text{If} [h; 9; 0; 40; 0]$$

$$Fr_{c,ex} = 0,774$$

$$FrK = 3,83$$

$$n_{col,PP} = 2$$

$$A_{PP} = 1,837 \cdot n_{col,PP}$$

$$\beta = \phi$$

$$h = \left[1 - \frac{\text{Interpolate} ('Dados radiacao W-m2'; 'Tempo'; 'Zenith'; 'Tempo' = tempo)}{100} \right] \cdot 90$$

$$Az = \text{Interpolate} ['Dados radiacao W-m2'; 'Tempo'; 'Azimuth'; 'Tempo' = tempo]$$

$$I_{dir,\beta} = \text{If} [I_{n,d} \cdot \cos(i); 0; 100000; 100000; I_{n,d} \cdot \cos(i)]$$

$$i = \arccos [\sin (h) \cdot \cos (\beta) + \cos (h) \cdot \sin (\beta) \cdot \cos (180 - Az)]$$

$$\phi = -7,4$$

$$\lambda = 20,82$$

$$d = \text{dia}$$

$$TL = h$$

$$t=0$$

20 Anexo N: Características do coletor Wikosun 2020-Mi



Gesellschaft für Konformitätsbewertung mbH

Summary of Collector Test Data - Solar KEYMARK

Registernummer: 011-7S109 F

Anlage zum Zertifikat Solar KEYMARK für Sonnenkollektoren

Zertifikatsinhaber

Firma: WIKORA GmbH
 Straße: Friedrichstrasse 9
 PLZ/Ort: D-89568 Hermaringen

Produktbezeichnung: Wikosun 2020-Mi
 Typ: Flachkollektor

Prüflaboratorium: SPF, Institut für Solartechnik
 Straße: Oberseestrasse 10
 PLZ/Ort: CH-8640 Rapperswil

Prüfbericht:
 Bericht-Nr.: C772LPEN, C772QPEN
 vom: 16.06.2006, 16.11.2006

Bauteile:	Werkstoff:	Abmessungen/Dicke:
▪ Absorber:	Aluminium	Fläche 1.810 m ² , Dicke 0.5 mm
▪ Oberflächenbehandlung:	Selektiv (Miro Therm)	
▪ Abdeckung:	Glas	3.2 mm
▪ Gehäuse:	Aluminium	2.020 m * 1.002 m
▪ Wärmedämmung:	Mineralwolle	60 mm / 30 mm

Aperturfläche (Bezugsfläche): 1.837 [m²] Zulässiger Betriebsüberdruck: 1000 [kPa]

Wärmeträgerfluid:

▪ Art: Glykol-Wasser
 ▪ Inhalt: 1.4 [l]

Technische Daten:

▪ Konversionsfaktor η_p : 0.774 [-]
 ▪ Wärmedurchgangskoeffizient a_1 : 3.83 [W/m²·K]
 ▪ Temperaturabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient a_2 : 0.0095 [W/m²·K²]
 ▪ Einfallswinkel-Korrekturfaktor:
 Flachkollektor $K_f(\theta_L = \theta_t = 50^\circ)$ 0.91 [-]
 Röhrenkollektor $K_f(\theta_L = 50^\circ)$ [-]
 $K_f(\theta_t = 20^\circ)$ [-]
 $K_f(\theta_t = 40^\circ)$ [-]
 $K_f(\theta_t = 60^\circ)$ [-]
 ▪ Effektive Kollektorkapazität c_{eff} : 6.8 [kJ/m²·K]

Druckabfall des Kollektors bei Nenndurchfluss:
 (Wärmeträgerfluid: Glykol-Wasser bei 20 ± 2 °C)

▪ Nenndurchfluss: 120 [l/h]
 ▪ Druckabfall: 308 [Pa]

Stagnationstemperatur t_{stg} : 206 [°C]

(bei Bestrahlungsstärke $G_b = 1000$ W/m² und Umgebungstemperatur $t_{um} = 30$ °C)

Dr. A. Bohren
 Institut für Solartechnik SPF
 CH-8640 Rapperswil
 16.11.2006

Maßgaben des Prüflaboratoriums: Keine

Stempel und Unterschrift Prüflaboratorium

DIN CERTCO • Alboinstraße 56 • D-12103 Berlin

Tel: +49 30 7562-1140 • Fax: +49 30 7562-1141 • E-Mail: zentrale@dincertco.de • www.dincertco.de

© DIN CERTCO

swa, Stand: 03.06, Druck: 17.11.2006

21 Anexo O: Massa volúmica do gasóleo

3076

Diário da República, 1.ª série — N.º 104 — 30 de Maio de 2008

2 — A execução nas Regiões Autónomas dos Açores e da Madeira, regiões ultraperiféricas, do previsto no n.º 3 do artigo 5.º e no n.º 5 do artigo 7.º pode ser objecto de disposições específicas que devem ser comunicadas à Comissão Europeia.

Artigo 19.º

Norma revogada

São revogados:

- a) O Decreto-Lei n.º 235/2004, de 16 de Dezembro;
- b) O Decreto-Lei n.º 186/99, de 31 de Maio;
- c) A Portaria n.º 17/2003, de 9 de Janeiro;
- d) A Portaria n.º 1298/2002, de 27 de Setembro;
- e) A Portaria n.º 348/96, de 8 de Agosto;
- f) A Portaria n.º 441/96, de 6 de Setembro;
- g) A Portaria n.º 462/99, de 25 de Junho;
- h) O despacho n.º 7043/2005 (2.ª série), de 6 de Abril;
- i) O despacho n.º 8197/97 (2.ª série), de 26 de Setembro.

Artigo 20.º

Entrada em vigor

O presente decreto-lei entra em vigor no dia seguinte ao da sua publicação.

Visto e aprovado em Conselho de Ministros de 3 de Abril de 2008. — José Sócrates Carvalho Pinto de Sousa — Fernando Teixeira dos Santos — Humberto Delgado Ubach Chaves Rosa — Manuel António Gomes de Almeida de Pinho — Mário Lino Soares Correia — Francisco Ventura Ramos.

Promulgado em 21 de Maio de 2008.

Publique-se.

O Presidente da República, ANÍBAL CAVACO SILVA.

Referendado em 23 de Maio de 2008.

O Primeiro-Ministro, José Sócrates Carvalho Pinto de Sousa.

ANEXO I

Especificações dos gases de petróleo liquefeitos

Característica	Unidades	Gases de petróleo liquefeitos		Métodos de ensaio
		Propano	Butano	
Massa volúmica a 15°C	kg/m ³	A relatar	A relatar	ISO 3993; ISO 8973.
Composição:				
C2		5 máx.	—	
C3		92 mín.	15 máx.	
C4	% (molar)	5 máx.	85 mín.	EN 27941.
C5		0,1 máx.	3 máx.	
Insaturados totais		2,5 máx.	2,5 máx.	
Dienes (como 1,3-butadieno)		0,5 máx.	0,5 máx.	
Resíduo de evaporação	% (v/v)	0,05 máx.	0,05 máx.	ASTM D 2158.
Tensão de vapor a 40°C	kPa	1550 máx.	520 máx.	EN ISO 4256; EN ISO 8973 e anexo C da EN 589.
Sulfureto de hidrogénio	—	Passa no ensaio	Passa no ensaio	EN ISO 8819; ASTM D 2420.
Errores de mercaptanos	ppm	6 mín.	6 mín.	NP4 188; IP 272 (*).
Errores total	mg/kg	50 máx.	50 máx.	EN 24260; ASTM D 6667.
Corrosão da lâmina de cobre (1h a 40°C/°C)	—	1	1	EN ISO 6251; ASTM D 1838.
Amoníaco	ppm	1 máx.	1 máx.	Tubos de absorção.
Água separada ou em suspensão	—	Isento	Isento	Inspeção visual.
Água dissolvida	—	Passa no ensaio	Passa no ensaio	ASTM D 2713.

(*): Se o odorizante for o etilmercaptano, pode-se determinar o teor em etilmercaptano utilizando o método ASTM D 5385, sendo neste caso especificado o valor mínimo de 12 ppm de etilmercaptano.

ANEXO II

Especificações do GPL carburante

Característica	Unidades	Límites	Métodos de ensaio
Índice de octano «Motor» (MON)	—	89,0 mín.	ASTM D 2598; NP EN 589; anexo B.
Insaturados totais		2,5 máx.	
Dienes (como 1,3-butadieno)	% (molar)	0,5 máx.	EN 27941.
Resíduo de evaporação	mg/kg	100 máx.	EN ISO 13757; NF M 41015.

ANEXO V

Especificações dos gasóleos

Característica	Unidade	Limites		Métodos de ensaio (*)
		Mínimo	Máximo	
Índice de cetano (°)		51,0	—	EN ISO 5165.
Índice de cetano calculado		46,0	—	EN ISO 4264.
Massa volúmica a 15°C (°)	kg/m ³	820	845	EN ISO 3675. EN ISO 12185.
Viscosidade a 40°C	mm ² /s	2,00	4,50	EN ISO 3104.
Destilação (°) (°)				EN ISO 3405.
Recuperado a 250°C	% v/v	—	65	
Recuperado a 350°C	% v/v	85	—	
95 % de recuperado	°C	—	360	
Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (°)	% m/m	—	11	EN 12916.
Teor de enxofre (°)	mg/kg	—	50	EN ISO 20846. EN ISO 20847. EN ISO 20884. EN ISO 20846. EN ISO 20884.
		—	(°) 10	
Temperatura limite de filtrabilidade				EN 116.
De 1 de Abril a 14 de Outubro	°C	—	0	
De 1 de Março a 31 de Março e de 15 de Outubro a 30 de Novembro	°C	—	-5	
De 1 de Dezembro a 28/29 de Fevereiro	°C	—	-10	
Ponto de inflamação	°C	55	—	EN ISO 2719.
Resíduo carbonoso (no resíduo 10 % da destilação) (°)	% m/m	—	0,30	EN ISO 10370.
Teor de cinzas	% m/m	—	0,01	EN ISO 6245.
Teor de água	mg/kg	—	200	EN ISO 12937 (°).
Contaminação total	mg/kg	—	24	EN 12662.
Corrosão da lâmina de cobre (3 h a 50°C)	Classificação	Classe 1		EN ISO 2160.
Estabilidade à oxidação	g/m ³	—	25	EN ISO 12305.
Lubrificidade—diâmetro corrigido da marca de desgaste (dmd 1,4) a 60°C	γM	—	460	ISO 12156-1.
FAME (°) (°)	% v/v	—	5	EN 14078.

(*) Todos os métodos de ensaio indicados incluem-se a referência quanto à sua precisão. Em caso de disputa, os procedimentos a seguir para a resolução e para interpretação dos resultados baseiam-se no método de ensaio de referência indicado na EN ISO 4259.

(°) Para a determinação do índice de cetano em caso de disputa, podem ser utilizados métodos alternativos desde que sejam reconhecidos e que tenham um critério de precisão válido, de acordo com a EN ISO 4259, e que apresentem uma precisão pelo menos igual à do método de referência. Se se utilizar um método de referência alternativo, deve haver uma correção entre os seus resultados e os obtidos pelo método de referência.

(°) Em caso de conflito deve ser usado o método descrito na EN ISO 3675.

(°) Para a determinação do índice de cetano calculado também são consideradas as postas 10 %, 50 % e 90 % (V/V) de recuperado.

(°) Os limites de destilação a 250°C e 350°C são incluídos para o gasóleo de acordo com a EU Common Customs Tariff.

(°) Os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos são definidos como o teor total de hidrocarbonetos aromáticos dividido do teor de hidrocarbonetos não-aromáticos, ambos determinados pelo método EN 12 916.

(°) Em caso de litígio referente ao teor de enxofre, o método descrito na EN ISO 20847 não é adequado como método de referência.

(°) Nos termos do n.º 5 do artigo 3.º, deve ser comercializado e disponibilizado no território nacional, numa base geográfica apropriada, combustível para motores de ignição por compressão com um teor máximo de enxofre de 10 mg/kg. A partir de 1 de Janeiro de 2009, todo o combustível para motores de ignição por compressão comercializado no País deve ter um teor máximo de enxofre inferior a 10 mg/kg.

(°) O valor limite do resíduo carbonoso refere-se a um produto isento de aditivo do índice de cetano. Se o gasóleo a comercializar tiver um valor superior a esse limite, deve comprová-lo pelo método ISO EN 13759 a presença de aditivo. Se se provar, desta modo, a presença de um aditivo modificador do índice de cetano, o valor limite do resíduo carbonoso de produto ensaiado não pode ser tido em conta. O teor de aditivo não isento é inferior a um valor máximo de 0,30 % em peso de resíduo carbonoso, antes da adição.

(°) Tendo sido detectada uma incompatibilidade entre os dados em EN 590 e EN ISO 12937, relativa à apresentação dos resultados e apresentada esta questão ao CEN/TC 19, foi por esta decidida uma alteração à norma EN 590, por forma a não afetar os a normas de ensaio. Assim, quando os resultados são expressos em % (m/m) o valor limite é 0,020 % (m/m).

(°) O FAME tem de cumprir os requisitos da EN 14214.

(°) A partir de 1 de Julho de 2008, o gasóleo colado e marcado, em vez de um teor máximo de 5 % de FAME terá um teor de biocombustíveis mínimo de 5 % e máximo de 10 %.

ANEXO VI

Especificações do gasóleo de aquecimento

Característica	Unidade	Limites		Métodos de ensaio
		Mínimo	Máximo	
Massa volúmica a 15°C	kg/m ³	—	900	ASTM D 4052; EN ISO 3675.
Viscosidade a 40°C	mm ² /s	—	7	ASTM D 445; EN ISO 3104.

22 Anexo P: Documento do PCI da lenha

27912

Diário da República, 2.ª série — N.º 122 — 26 de Junho de 2008

2003 — Nomeado perito institucional para a área de ambiente, junto da Comissão de Avaliação das propostas do concurso público internacional para a concessão rodoviária, em regime de portagem sem cobrança ao utilizador (SCUT), na ilha de S. Miguel.

2002 — Acompanhamento da elaboração do Plano Estratégico de Resíduos Hospitalares dos Açores, promovido pela Direcção Regional do Ambiente dos Açores.

1998-1999 — Representante da Direcção Regional do Ambiente no grupo de trabalho para a elaboração do «Quality Status of the Wider Atlantic, OSPAR -Region V», no âmbito da Convenção OSPAR.

1998 — Participação na elaboração do Plano Estratégico de Resíduos Sólidos Urbanos dos Açores, promovido pela Direcção Regional do Ambiente dos Açores.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA E DA INOVAÇÃO

Direcção-Geral de Energia e Geologia

Aviso n.º 18670/2008

Faz-se público, nos termos e para efeitos do n.º 1 do artigo 6.º do Decreto-Lei n.º 88/90, de 16 de Março, que CORBARIO — Minerais Industriais, S. A., requereu a atribuição de direitos de prospecção e pesquisa de depósitos minerais de caulino, numa área localizada no concelho de Pombal, delimitada pela poligonal cujos vértices se indicam seguidamente, em coordenadas Hayford-Gauss, referidas ao Ponto Central:

Área total do pedido: 5,5207 km²

Vértice	Meridiana (m)	Perpendicular (m)
1	- 47184,0103	32683,7006
2	- 46655,9210	35237,5556

Vértice	Meridiana (m)	Perpendicular (m)
3	- 44600,7455	35299,2275
4	- 44902,7066	32738,4384

Convidam-se todos os interessados a apresentar reclamações, por escrito e devidamente fundamentadas, no prazo de 30 dias a contar da data da publicação do presente Aviso.

O pedido está patente para consulta, dentro das horas de expediente, na Direcção de Serviços de Minas e Pedreiras da Direcção-Geral de Energia e Geologia, na Av.º 5 de Ourubo, 87, 5.º andar, 1069-039 Lisboa, entidade para quem devem ser remetidas as reclamações.

4 de Junho de 2008. — O Subdirector-Geral, Carlos A. A. Caxaria.
300440245

Despacho n.º 17313/2008

Nos termos da alínea a) do n.º 2 do artigo 19.º do Decreto-Lei n.º 71/2008, de 15 de Abril, do SGCE — Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia, o presente despacho procede à publicação dos factores de conversão para tonelada equivalente petróleo (tep) de teores em energia de combustíveis seleccionados para utilização final, bem como dos respectivos factores para cálculo da Intensidade Carbónica pela emissão de gases com efeito de estufa, referidos a quilograma de CO₂ equivalente (kgCO₂e).

Para efeitos deste Despacho, as quantidades e características das diferentes formas de energia consideradas devem ser verificadas à entrada da instalação CIE.

Nestes termos, estabelece-se o seguinte:

1 — Com base nos dados constantes da Tabela de Conversão incluída no Anexo II da Directiva 2006/32/CE publicada no Jornal Oficial da União Europeia de 27 de Abril de 2006, e do Quadro 4 da Decisão da Comissão n.º 2007/589/CE, de 18 de Julho, são adoptados para efeitos deste Despacho os factores de conversão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 — Poderes Caloríficos Inferiores e Factores de Emissão para Combustíveis

Combustível	PCI (MJ/kg)	PCI (tep/t)	FE (kgCO ₂ e/GJ)	FE (kgCO ₂ e/tep)
Antracite	26,7	0,638	98,2	4111,4
Benume / Alcatrão	40,2	0,96	80,6	3374,6
Biogásolina e Biodiesel	27	0,645	0	0,0
Briquetes de lignite	20	0,478	101,1	4232,9
Briquetes de turfa	16 — 16,8	0,382 — 0,401	105,9	4433,8
Carvão betuminoso	25,8	0,616	94,5	3956,5
Carvão sub-betuminoso	18,9	0,451	96,0	4019,3
Carvão vegetal	29,5	0,705	0	0,0
Combustível para motor (gasolina)	44 — 45	1,051 — 1,075	69,2	2897,3
Coque de Carvão	28,2	0,674	94,5	3956,5
Coque de forno / lignite ou gás	28,2 — 28,5	0,674 — 0,681	107	4479,9
Coque de Petróleo	31 — 32,5	0,740 — 0,776	97,5	4082,1
Etano	46,4	1,108	61,6	2579,1
Fuelóleo pesado	40 — 40,4	0,955 — 0,965	77,3	3236,4
Fuelóleo	41,2	0,984	77,3	3236,4
Gás de Alto Forno	2,5	0,060	259,4	10860,6
Gás de coqueria e de fábricas de Gás	38,7	0,924	44,7	1871,5
Gás de forno de azeite a oxigénio	7,1	0,170	171,8	7192,9
Gás de petróleo liquefeito	46 — 47,3	1,099 — 1,130	63,0	2637,7
Gás de Refinaria	49,5	1,182	51,3	2147,8
Gás natural (superior a 93% de metano)	47,2 — 48	1,127 — 1,146	56,1	2348,8
Gás natural liquefeito	44,2 — 45,2	1,056 — 1,080	64,1	2683,7
Gás natural (1)	45,1	1,077	64,1	2683,7
Gases de aterro/ lamas de depuração e outros biogases	50,4	1,204	0	0,0
Gasóleo / Diesel	42,3 — 43,3	1,010 — 1,034	74,0	3098,2
Hulha	17,2 — 30,7	0,411 — 0,733	97,5	4082,1
Lignite castanha	5,6 — 10,5	0,134 — 0,251	101,1	4232,9
Lignite negra	10,0 — 21	0,239 — 0,502	101,1	4232,9
Lubrificantes, ceras parafínicas e outros produtos Petrolíferos	40,2	0,960	73,3	3068,9
Madeira / resíduos de Madeira	13,8 — 15,6	0,330 — 0,373	0	0,0
Matérias-primas para refinaria	43	1,027	73,3	3068,9
Metano	50	1,194	54,9	2298,6
Monóxido de Carbono	10,1	0,241	155,2	6497,9
Nafta química / Condensados de gasolina	44,5	1,063	73,3	3068,9
Óleo de xisto	38,1	0,910	73,3	3068,9

23 Anexo Q: Cálculo do retorno de investimento para Lisboa

File:ANEXO - Payback Lisboa.EES

03-02-2012 14:47:48 Page 1

EES Ver. 8.874: #0725: For use by students and faculty in the Faculdade de Engenharia , D. Mech. Universidade do Porto

Payback - Lisboa

$$C_{\text{Stirling}} = 16900 + C_{\text{extras;stirling}}$$

$$C_{\text{extras;stirling}} = 1530$$

$$C_{\text{manutencao}} = 0,005$$

$$C_{\text{ac;adessorcao}} = 17900$$

$$C_{\text{ac;comp}} = 379$$

$$C_{\text{deumidificador}} = 139$$

$$C_{\text{extras;ac}} = 2100$$

$$C_{\text{termoac;300}} = 1035$$

$$C_{\text{termoac;800}} = 1954$$

$$C_{\text{colectores}} = 18 \cdot 600$$

$$C_{\text{colectores;AGS}} = 600 \cdot 6$$

$$C_{\text{kit;pool}} = 2900$$

$$C_{\text{esquent}} = 339$$

$$C_{\text{cald;gst}} = 1118,9$$

$$C_{\text{cald;gas}} = 762,76$$

$$C_{\text{recup;pal}} = 1700$$

$$\text{convert}_{\text{sz;eur}} = 0,00828086$$

$$\text{inflacao} = 1,03$$

Produção anual de energia

$$E = 14131 \text{ [kWh]}$$

$$E_{\text{cons}} = 5940$$

$$E_{\text{redo}} = 4270$$

$$E_{\text{vend}} = 10349$$

$$E_{\text{vend;p}} = 11476$$

$$E_{\text{cons;prod}} = E_{\text{cons}} - E_{\text{redo}}$$

$$E_c = 14131$$

$$E_{c;\text{cons}} = 10776$$

$$E_{c;\text{redo}} = 7620$$

$$E_{c;\text{vend}} = 9282$$

$$E_{c;\text{vend;p}} = 9990$$

$$E_{c,cons,prod} = E_{c,cons} - E_{c,rado}$$

$$E_{c,cons} = 8077$$

$$E_{c,rado} = 5490$$

$$E_{c,prod} = 9686$$

$$E_{c,prod,p} = 10560$$

$$E_{c,cons,prod} = E_{c,cons} - E_{c,rado}$$

$$E_{plsc} = 16442 - \frac{3820,64}{2}$$

$$E_{plsc} = 0,431$$

$$Q_{ver} = 7467 \text{ Frio produzido no Verão} = \text{frio necessário no Verão}$$

$$Q_{inv} = 9168 \text{ [kWh] Calor produzido no Inverno}$$

$$Q_{inv,nec} = 9168 \text{ Calor necessário no Inverno}$$

$$Q_{AGS} = 3821 \text{ [kWh]}$$

$$Q_{AC} = 2000$$

$$Q_{kit,zol} = 1226$$

$$Q_{aux,col} = Q_{AGS} - Q_{kit,zol}$$

$$\dot{W}_{\text{destumidificador}} = 350 \text{ [W]}$$

$$COP_{ads} = 0,6$$

$$COP_{comp,ver} = 3,27$$

$$COP_{comp,inv} = 3,61$$

$$COP_{BC,plsc} = 4 \cdot E_{plsc}$$

Evolução dos custos com AC adsorção

$$C_{ad,al,gas} = \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{ad,al,gas}'] - E_{vend} \cdot C_{eloc,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - \frac{Q_{ver}}{COP_{comp,ver}} \cdot C_{eloc,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{inv} \cdot C_{gas,AG} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{AGS} \cdot C_{gas,AG} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E \cdot C_{manutencao} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - E_{c,cons,prod} \cdot C_{eloc,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}}$$

$$Pp_{ad,al,gas} = | \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{ad,al,gas}'] - C_{ad,al,gas} |$$

$$C_{ad,al,zol} = \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{ad,al,zol}'] - E_{vend} \cdot C_{eloc,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - \frac{Q_{ver}}{COP_{comp,ver}} \cdot C_{eloc,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - \frac{Q_{inv}}{COP_{comp,inv}} \cdot C_{eloc,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{AGS} \cdot C_{gas,AGS} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E \cdot C_{manutencao} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}}$$

$$Pp_{ad,el,el} = \left| \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{ad,el,el}'] \right| - C_{ad,el,el}$$

$$C_{ad,el,el} = \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{ad,el,el}'] - E_{vend} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - \frac{Q_{var}}{COP_{comp,var}}$$

$$\cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{inv} \cdot C_{AQ,el,el} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{AQS} \cdot C_{gas,AQS} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E \cdot C_{manutencao}$$

$$\cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - E_{c,cons,prod} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}}$$

$$Pp_{ad,el,gel} = \left| \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{ad,el,gel}'] \right| - C_{ad,el,gel}$$

$$C_{ad,el,gel} = \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{ad,el,gel}'] - E_{vend} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - \frac{Q_{var}}{COP_{comp,var}}$$

$$\cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{inv} \cdot C_{AQ,el,gel} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{AQS} \cdot C_{gas,AQS} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E \cdot C_{manutencao}$$

$$\cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - E_{c,cons,prod} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}}$$

$$Pp_{ad,el,jelh} = \left| \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{ad,el,jelh}'] \right| - C_{ad,el,jelh}$$

$$C_{ad,el,gas,cool} = \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{ad,el,gas,cool}'] - E_{vend} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - \frac{Q_{var}}{COP_{comp,var}}$$

$$\cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{inv} \cdot C_{gas,AC} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E \cdot C_{manutencao} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{aux,cool} \cdot C_{elec,adp}$$

$$\cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - E_{c,cons,prod} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}}$$

$$Pp_{ad,el,gas,cool} = \left| \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{ad,el,gas,cool}'] \right| - C_{ad,el,gas,cool}$$

$$C_{ad,el,el,cool} = \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{ad,el,el,cool}'] - E_{vend} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - \frac{Q_{var}}{COP_{comp,var}}$$

$$\cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - \frac{Q_{inv}}{COP_{comp,inv}} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E \cdot C_{manutencao} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{aux,cool}$$

$$\cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - E_{c,cons,prod} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}}$$

$$Pp_{ad,el,el,cool} = \left| \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{ad,el,el,cool}'] \right| - C_{ad,el,el,cool}$$

$$C_{ad,el,gel,cool} = \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{ad,el,gel,cool}'] - E_{vend} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - \frac{Q_{var}}{COP_{comp,var}}$$

$$\cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{inv} \cdot C_{AQ,el,gel} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E \cdot C_{manutencao} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{aux,cool} \cdot C_{elec,adp}$$

$$\cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - E_{c,cons,prod} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}}$$

$$Pp_{ad,el,gel,cool} = \left| \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{ad,el,gel,cool}'] \right| - C_{ad,el,gel,cool}$$

$$C_{ad,el,jelh,cool} = \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{ad,el,jelh,cool}'] - E_{vend} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - \frac{Q_{var}}{COP_{comp,var}}$$

$$\cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{inv} \cdot C_{AQ,el,jelh} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E \cdot C_{manutencao} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{aux,cool} \cdot C_{elec,adp}$$

$$\cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - E_{c,cons,prod} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}}$$

$$Pp_{ad,el,jelh,cool} = \left| \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{ad,el,jelh,cool}'] \right| - C_{ad,el,jelh,cool}$$

Evolução dos custos com AC compressão

$$C_{el,el,gas} = \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{el,el,gas}'] - E_{cv,vend} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E_{cv,reds} \cdot C_{elec,adp}$$

$$\cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - E_{cv,cons} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{inv} \cdot C_{gas,AC} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{AQS} \cdot C_{gas,AC}$$

$$C_{el,pt,gs} = \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{el,pt,gs}'] - E_{cv,yend} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E_{cv,7ade} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - E_{cv,zons} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{inv} \cdot C_{gas,AQ} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{AQS} \cdot C_{gas,AQ} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E \cdot C_{manutencao} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}}$$

$$Pp_{el,pt,gs} = | \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{el,pt,gs}'] - C_{el,pt,gs} |$$

$$C_{el,pt,al} = \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{el,pt,al}'] - E_{cv,yend} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E_{cv,7ade} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - E_{cv,zons} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{AQS} \cdot C_{gas,AQS} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E \cdot C_{manutencao} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}}$$

$$Pp_{el,pt,al} = | \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{el,pt,al}'] - C_{el,pt,al} |$$

$$C_{el,pt,gs1} = \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{el,pt,gs1}'] - E_{cv,yend} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E_{cv,7ade} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - E_{cv,zons} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{AQS} \cdot C_{gas,AQS} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E \cdot C_{manutencao} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{inv} \cdot C_{AQ,gs1} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}}$$

$$Pp_{el,pt,gs1} = | \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{el,pt,gs1}'] - C_{el,pt,gs1} |$$

$$C_{el,pt,jenh} = \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{el,pt,jenh}'] - E_{cv,yend} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E_{cv,7ade} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - E_{cv,zons} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{AQS} \cdot C_{gas,AQS} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E \cdot C_{manutencao} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{inv} \cdot C_{AQ,jenh} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}}$$

$$Pp_{el,pt,jenh} = | \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{el,pt,jenh}'] - C_{el,pt,jenh} |$$

$$C_{el,pt,gs,cool} = \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{el,pt,gs,cool}'] - E_{cv,yend} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E_{cv,7ade} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - E_{cv,zons} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{inv} \cdot C_{gas,AQ} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E \cdot C_{manutencao} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{aux,cool} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}}$$

$$Pp_{el,pt,gs,cool} = | \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{el,pt,gs,cool}'] - C_{el,pt,gs,cool} |$$

$$C_{el,pt,al,cool} = \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{el,pt,al,cool}'] - E_{cv,yend} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E_{cv,7ade} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - E_{cv,zons} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E \cdot C_{manutencao} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{aux,cool} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}}$$

$$Pp_{el,pt,al,cool} = | \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{el,pt,al,cool}'] - C_{el,pt,al,cool} |$$

$$C_{el,pt,gs1,cool} = \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{el,pt,gs1,cool}'] - E_{cv,yend} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E_{cv,7ade} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - E_{cv,zons} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{inv} \cdot C_{AQ,gs1} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E \cdot C_{manutencao} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{aux,cool} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}}$$

$$Pp_{el,pt,gs1,cool} = | \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{el,pt,gs1,cool}'] - C_{el,pt,gs1,cool} |$$

$$C_{el,pt,jenh,cool} = \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{el,pt,jenh,cool}'] - E_{cv,yend} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E_{cv,7ade} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - E_{cv,zons} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{inv} \cdot C_{AQ,jenh} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E \cdot C_{manutencao} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{aux,cool} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}}$$

$$Pp_{el,pt,jenh,cool} = | \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{el,pt,jenh,cool}'] - C_{el,pt,jenh,cool} |$$

aquecimento de Piscina

$$C_{el,pt,gs,P} = \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{el,pt,gs,P}'] - E_{cv,yend} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E_{cv,7ade} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - E_{cv,zons} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{inv} \cdot C_{gas,AQ} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{AQS} \cdot C_{gas,AQ} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E \cdot C_{manutencao} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - E_{pisc} \cdot C_{elec,adp} \cdot \frac{\text{inflacao}^{\text{anos}}}{COP_{BC,pisc}}$$

$$Pp_{el,pt,gs,P} = | \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{el,pt,gs,P}'] - C_{el,pt,gs,P} |$$

$$C_{el,el,el,P} = \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{el,el,el,P}'] - E_{cv,yend} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E_{cv,rada} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - E_{c,cons} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{AQS} \cdot C_{gas,AQS} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E \cdot C_{manutencao} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - E_{pisc} \cdot C_{elec,adp} \cdot \frac{\text{inflacao}^{\text{anos}}}{COP_{BC,pisc}}$$

$$Pp_{el,el,el,P} = | \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{el,el,el,P}'] - C_{el,el,el,P} |$$

$$C_{el,el,gst,P} = \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{el,el,gst,P}'] - E_{cv,yend} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E_{cv,rada} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - E_{c,cons} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{AQS} \cdot C_{gas,AQS} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E \cdot C_{manutencao} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{inv} \cdot C_{AQ,gst} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - E_{pisc} \cdot C_{elec,adp} \cdot \frac{\text{inflacao}^{\text{anos}}}{COP_{BC,pisc}}$$

$$Pp_{el,el,gst,P} = | \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{el,el,gst,P}'] - C_{el,el,gst,P} |$$

$$C_{el,el,jenh,P} = \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{el,el,jenh,P}'] - E_{cv,yend} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E_{cv,rada} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - E_{c,cons} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{AQS} \cdot C_{gas,AQS} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E \cdot C_{manutencao} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{inv} \cdot C_{AQ,jenh} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - E_{pisc} \cdot C_{elec,adp} \cdot \frac{\text{inflacao}^{\text{anos}}}{COP_{BC,pisc}}$$

$$Pp_{el,el,jenh,P} = | \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{el,el,jenh,P}'] - C_{el,el,jenh,P} |$$

$$C_{el,el,gas,col,P} = \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{el,el,gas,col,P}'] - E_{cv,yend} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E_{cv,rada} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - E_{c,cons} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{inv} \cdot C_{gas,AQ} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E \cdot C_{manutencao} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{aux,col} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - E_{pisc} \cdot C_{elec,adp} \cdot \frac{\text{inflacao}^{\text{anos}}}{COP_{BC,pisc}}$$

$$Pp_{el,el,gas,col,P} = | \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{el,el,gas,col,P}'] - C_{el,el,gas,col,P} |$$

$$C_{el,el,el,col,P} = \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{el,el,el,col,P}'] - E_{cv,yend} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E_{cv,rada} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - E_{c,cons} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E \cdot C_{manutencao} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{aux,col} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - E_{pisc} \cdot C_{elec,adp} \cdot \frac{\text{inflacao}^{\text{anos}}}{COP_{BC,pisc}}$$

$$Pp_{el,el,el,col,P} = | \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{el,el,el,col,P}'] - C_{el,el,el,col,P} |$$

$$C_{el,el,gst,col,P} = \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{el,el,gst,col,P}'] - E_{cv,yend} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E_{cv,rada} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - E_{c,cons} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{inv} \cdot C_{AQ,gst} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E \cdot C_{manutencao} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{aux,col} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - E_{pisc} \cdot C_{elec,adp} \cdot \frac{\text{inflacao}^{\text{anos}}}{COP_{BC,pisc}}$$

$$Pp_{el,el,gst,col;P} = | \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; \text{'C}_{el,el,gst,col;P}] - C_{el,el,gst,col;P} |$$

$$C_{el,el,jenh,col;P} = \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; \text{'C}_{el,el,jenh,col;P}] - E_{cv,yend} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E_{cv,yoda} \\ \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - E_{cv,cons} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{inv} \cdot C_{AQ,jenh} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E \cdot C_{manutencao} \\ \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{aux,col} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - E_{plsc} \cdot C_{elec,adp} \cdot \frac{\text{inflacao}^{\text{anos}}}{\text{COP}_{BC;plsc}}$$

$$Pp_{el,el,jenh,col;P} = | \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; \text{'C}_{el,el,jenh,col;P}] - C_{el,el,jenh,col;P} |$$

Evolução dos custos com AC adsorção e regime bonificado

$$Cb_{ad,el,gas} = \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; \text{'Cb}_{ad,el,gas}] - E_{cons,prod} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - E_{vend,b} \\ \cdot C_{elec,bonus} - \frac{Q_{var}}{\text{COP}_{comp,yar}} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{inv} \cdot C_{gas,AQ} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{AGS} \cdot C_{gas,AG} \\ \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E \cdot C_{manutencao} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}}$$

$$Ppb_{ad,el,gas} = | \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; \text{'Cb}_{ad,el,gas}] - Cb_{ad,el,gas} |$$

$$Cb_{ad,el,el} = \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; \text{'Cb}_{ad,el,el}] - E_{cons,prod} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - E_{vend,b} \\ \cdot C_{elec,bonus} - \frac{Q_{var}}{\text{COP}_{comp,yar}} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - \frac{Q_{inv}}{\text{COP}_{comp,inv}} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{AGS} \\ \cdot C_{gas,AGS} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E \cdot C_{manutencao} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}}$$

$$Ppb_{ad,el,el} = | \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; \text{'Cb}_{ad,el,el}] - Cb_{ad,el,el} |$$

$$Cb_{ad,el,gst} = \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; \text{'Cb}_{ad,el,gst}] - E_{cons,prod} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - E_{vend,b} \\ \cdot C_{elec,bonus} - \frac{Q_{var}}{\text{COP}_{comp,yar}} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{inv} \cdot C_{AQ,gst} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{AGS} \cdot C_{gas,AGS} \\ \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E \cdot C_{manutencao} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}}$$

$$Ppb_{ad,el,gst} = | \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; \text{'Cb}_{ad,el,gst}] - Cb_{ad,el,gst} |$$

$$Cb_{ad,el,jenh} = \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; \text{'Cb}_{ad,el,jenh}] - E_{cons,prod} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - E_{vend,b} \\ \cdot C_{elec,bonus} - \frac{Q_{var}}{\text{COP}_{comp,yar}} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{inv} \cdot C_{AQ,jenh} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{AGS} \cdot C_{gas,AGS} \\ \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E \cdot C_{manutencao} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}}$$

$$Ppb_{ad,el,jenh} = | \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; \text{'Cb}_{ad,el,jenh}] - Cb_{ad,el,jenh} |$$

$$Cb_{ad,el,gas,col} = \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; \text{'Cb}_{ad,el,gas,col}] - E_{cons,prod} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - E_{vend,b} \\ \cdot C_{elec,bonus} - \frac{Q_{var}}{\text{COP}_{comp,yar}} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E \cdot C_{manutencao} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{aux,col} \cdot C_{elec,adp} \\ \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{inv} \cdot C_{gas,AQ} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}}$$

$$Ppb_{ad,el,gas,col} = | \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; \text{'Cb}_{ad,el,gas,col}] - Cb_{ad,el,gas,col} |$$

$$\begin{aligned}
 Cb_{ad,el,pol} &= \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'Cb_{ad,el,pol}'] - E_{cons,prod} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{anos} - E_{vend,b} \\
 &\cdot C_{elec,bonus} - \frac{Q_{var}}{COP_{comp,par}} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{anos} - \frac{Q_{inv}}{COP_{comp,inv}} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{anos} + E \\
 &\cdot C_{manutencao} \cdot \text{inflacao}^{anos} - Q_{aux,pol} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{anos}
 \end{aligned}$$

$$Ppb_{ad,el,pol} = | \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'Cb_{ad,el,pol}'] - Cb_{ad,el,pol} |$$

$$\begin{aligned}
 Cb_{ad,el,gst} &= \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'Cb_{ad,el,gst}'] - E_{cons,prod} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{anos} - E_{vend,b} \\
 &\cdot C_{elec,bonus} - \frac{Q_{var}}{COP_{comp,par}} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{anos} - Q_{inv} \cdot C_{AQ,gst} \cdot \text{inflacao}^{anos} + E \cdot C_{manutencao} \\
 &\cdot \text{inflacao}^{anos} - Q_{aux,pol} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{anos}
 \end{aligned}$$

$$Ppb_{ad,el,gst} = | \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'Cb_{ad,el,gst}'] - Cb_{ad,el,gst} |$$

$$\begin{aligned}
 Cb_{ad,el,jenh} &= \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'Cb_{ad,el,jenh}'] - E_{cons,prod} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{anos} - E_{vend,b} \\
 &\cdot C_{elec,bonus} - \frac{Q_{var}}{COP_{comp,par}} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{anos} - Q_{inv} \cdot C_{AQ,jenh} \cdot \text{inflacao}^{anos} + E \cdot C_{manutencao} \\
 &\cdot \text{inflacao}^{anos} - Q_{aux,pol} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{anos}
 \end{aligned}$$

$$Ppb_{ad,el,jenh} = | \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'Cb_{ad,el,jenh}'] - Cb_{ad,el,jenh} |$$

Evolução dos custos com AC compressão e regime bonificado

$$\begin{aligned}
 Cb_{el,el,gas} &= \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'Cb_{el,el,gas}'] - E_{cv,vend,b} \cdot C_{elec,bonus} + E_{cv,7ade} \cdot C_{elec,adp} \\
 &\cdot \text{inflacao}^{anos} - E_{cv,zons} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{anos} - Q_{inv} \cdot C_{gas,AQ} \cdot \text{inflacao}^{anos} - Q_{AQs} \cdot C_{gas,AQ} \\
 &\cdot \text{inflacao}^{anos} + E \cdot C_{manutencao} \cdot \text{inflacao}^{anos}
 \end{aligned}$$

$$Ppb_{el,el,gas} = | \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'Cb_{el,el,gas}'] - Cb_{el,el,gas} |$$

$$\begin{aligned}
 Cb_{el,el} &= \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'Cb_{el,el}'] - E_{cv,vend,b} \cdot C_{elec,bonus} \cdot \text{inflacao}^{anos} + E_{cv,7ade} \cdot C_{elec,adp} \\
 &\cdot \text{inflacao}^{anos} - E_{cv,zons} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{anos} - Q_{AQs} \cdot C_{gas,AQS} \cdot \text{inflacao}^{anos} + E \cdot C_{manutencao} \\
 &\cdot \text{inflacao}^{anos}
 \end{aligned}$$

$$Ppb_{el,el} = | \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'Cb_{el,el}'] - Cb_{el,el} |$$

$$\begin{aligned}
 Cb_{el,el,gst} &= \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'Cb_{el,el,gst}'] - E_{cv,vend,b} \cdot C_{elec,bonus} + E_{cv,7ade} \cdot C_{elec,adp} \\
 &\cdot \text{inflacao}^{anos} - E_{cv,zons} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{anos} - Q_{inv} \cdot C_{AQ,gst} \cdot \text{inflacao}^{anos} - Q_{AQs} \cdot C_{gas,AQS} \\
 &\cdot \text{inflacao}^{anos} + E \cdot C_{manutencao} \cdot \text{inflacao}^{anos}
 \end{aligned}$$

$$Ppb_{el,el,gst} = | \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'Cb_{el,el,gst}'] - Cb_{el,el,gst} |$$

$$\begin{aligned}
 Cb_{el,el,jenh} &= \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'Cb_{el,el,jenh}'] - E_{cv,vend,b} \cdot C_{elec,bonus} + E_{cv,7ade} \cdot C_{elec,adp} \\
 &\cdot \text{inflacao}^{anos} - E_{cv,zons} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{anos} - Q_{inv} \cdot C_{AQ,jenh} \cdot \text{inflacao}^{anos} - Q_{AQs} \cdot C_{gas,AQS} \\
 &\cdot \text{inflacao}^{anos} + E \cdot C_{manutencao} \cdot \text{inflacao}^{anos}
 \end{aligned}$$

$$Ppb_{el,el,jenh} = | \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'Cb_{el,el,jenh}'] - Cb_{el,el,jenh} |$$

$$\begin{aligned}
 Cb_{el,el,gas,pol} &= \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'Cb_{el,el,gas,pol}'] - E_{cv,vend,b} \cdot C_{elec,bonus} + E_{cv,7ade} \cdot C_{elec,adp} \\
 &\cdot \text{inflacao}^{anos} - E_{cv,zons} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{anos} - Q_{inv} \cdot C_{gas,AQ} \cdot \text{inflacao}^{anos} + E \cdot C_{manutencao} \\
 &\cdot \text{inflacao}^{anos} - Q_{aux,pol} \cdot C_{elec,adp} \cdot \text{inflacao}^{anos}
 \end{aligned}$$

$$Ppb_{el,el,gas,pol} = | \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'Cb_{el,el,gas,pol}'] - Cb_{el,el,gas,pol} |$$

$$Cb_{el,el,pol} = \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'Cb_{el,el,pol}'] - E_{cv,vend,b} \cdot C_{elec,bonus} \cdot \text{inflacao}^{anos} + E_{cv,7ade}$$

$$\begin{aligned} & \cdot C_{\text{elec,adp}} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - E_{\text{c,cons}} \cdot C_{\text{elec,adp}} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E \cdot C_{\text{manutencao}} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{\text{aux,cool}} \\ & \cdot C_{\text{elec,adp}} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} \end{aligned}$$

$$Ppb_{\text{el,el,cool}} = \left| \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; \text{'Cb}_{\text{el,el,cool}}] \right| - Cb_{\text{el,el,cool}}$$

$$\begin{aligned} Cb_{\text{el,el,gst,cool}} = & \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; \text{'Cb}_{\text{el,el,gst,cool}}] - E_{\text{cv,yend,b}} \cdot C_{\text{elec,bonus}} + E_{\text{cv,rode}} \cdot C_{\text{elec,adp}} \\ & \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - E_{\text{cv,cons}} \cdot C_{\text{elec,adp}} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{\text{inv}} \cdot C_{\text{AC,gst}} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E \cdot C_{\text{manutencao}} \\ & \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{\text{aux,cool}} \cdot C_{\text{elec,adp}} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} \end{aligned}$$

$$Ppb_{\text{el,el,gst,cool}} = \left| \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; \text{'Cb}_{\text{el,el,gst,cool}}] \right| - Cb_{\text{el,el,gst,cool}}$$

$$\begin{aligned} Cb_{\text{el,el,jenh,cool}} = & \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; \text{'Cb}_{\text{el,el,jenh,cool}}] - E_{\text{cv,yend,b}} \cdot C_{\text{elec,bonus}} + E_{\text{cv,rode}} \cdot C_{\text{elec,adp}} \\ & \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - E_{\text{cv,cons}} \cdot C_{\text{elec,adp}} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{\text{inv}} \cdot C_{\text{AC,jenh}} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E \cdot C_{\text{manutencao}} \\ & \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{\text{aux,cool}} \cdot C_{\text{elec,adp}} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} \end{aligned}$$

$$Ppb_{\text{el,el,jenh,cool}} = \left| \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; \text{'Cb}_{\text{el,el,jenh,cool}}] \right| - Cb_{\text{el,el,jenh,cool}}$$

aquecimento de piscina

$$\begin{aligned} Cb_{\text{el,el,gas,P}} = & \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; \text{'Cb}_{\text{el,el,gas,P}}] - E_{\text{cv,yend,b}} \cdot C_{\text{elec,bonus}} + E_{\text{cv,rode}} \cdot C_{\text{elec,adp}} \\ & \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - E_{\text{cv,cons}} \cdot C_{\text{elec,adp}} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{\text{inv}} \cdot C_{\text{gas,AQ}} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{\text{AQS}} \cdot C_{\text{gas,AQ}} \\ & \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E \cdot C_{\text{manutencao}} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - E_{\text{pisc}} \cdot C_{\text{elec,adp}} \cdot \frac{\text{inflacao}^{\text{anos}}}{\text{COP}_{\text{BC,pisc}}} \end{aligned}$$

$$Ppb_{\text{el,el,gas,P}} = \left| \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; \text{'Cb}_{\text{el,el,gas,P}}] \right| - Cb_{\text{el,el,gas,P}}$$

$$\begin{aligned} Cb_{\text{el,el,el,P}} = & \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; \text{'Cb}_{\text{el,el,el,P}}] - E_{\text{c,cons,prod}} \cdot C_{\text{elec,adp}} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - E_{\text{cv,yend,b}} \\ & \cdot C_{\text{elec,bonus}} + Q_{\text{AQS}} \cdot C_{\text{gas,AQS}} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E \cdot C_{\text{manutencao}} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - E_{\text{pisc}} \cdot C_{\text{elec,adp}} \\ & \cdot \frac{\text{inflacao}^{\text{anos}}}{\text{COP}_{\text{BC,pisc}}} \end{aligned}$$

$$Ppb_{\text{el,el,el,P}} = \left| \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; \text{'Cb}_{\text{el,el,el,P}}] \right| - Cb_{\text{el,el,el,P}}$$

$$\begin{aligned} Cb_{\text{el,el,gst,P}} = & \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; \text{'Cb}_{\text{el,el,gst,P}}] - E_{\text{cv,yend,b}} \cdot C_{\text{elec,bonus}} + E_{\text{cv,rode}} \cdot C_{\text{elec,adp}} \\ & \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - E_{\text{cv,cons}} \cdot C_{\text{elec,adp}} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{\text{inv}} \cdot C_{\text{AC,gst}} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{\text{AQS}} \cdot C_{\text{gas,AQS}} \\ & \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E \cdot C_{\text{manutencao}} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - E_{\text{pisc}} \cdot C_{\text{elec,adp}} \cdot \frac{\text{inflacao}^{\text{anos}}}{\text{COP}_{\text{BC,pisc}}} \end{aligned}$$

$$Ppb_{\text{el,el,gst,P}} = \left| \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; \text{'Cb}_{\text{el,el,gst,P}}] \right| - Cb_{\text{el,el,gst,P}}$$

$$\begin{aligned} Cb_{\text{el,el,jenh,P}} = & \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; \text{'Cb}_{\text{el,el,jenh,P}}] - E_{\text{cv,yend,b}} \cdot C_{\text{elec,bonus}} + E_{\text{cv,rode}} \cdot C_{\text{elec,adp}} \\ & \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - E_{\text{cv,cons}} \cdot C_{\text{elec,adp}} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{\text{inv}} \cdot C_{\text{AC,jenh}} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - Q_{\text{AQS}} \cdot C_{\text{gas,AQS}} \\ & \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} + E \cdot C_{\text{manutencao}} \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}} - E_{\text{pisc}} \cdot C_{\text{elec,adp}} \cdot \frac{\text{inflacao}^{\text{anos}}}{\text{COP}_{\text{BC,pisc}}} \end{aligned}$$

$$Ppb_{\text{el,el,jenh,P}} = \left| \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; \text{'Cb}_{\text{el,el,jenh,P}}] \right| - Cb_{\text{el,el,jenh,P}}$$

$$Cb_{el,el,el,el,el,el,P} = \text{TableValue} ['PayBack'; anos; 'Cb_{el,el,el,el,el,el,P}'] - E_{cv,yend,b} \cdot C_{elec,bonus} + E_{cv,yada} \cdot C_{elec,adp} \\ \cdot inflacao^{anos} - E_{cv,zons} \cdot C_{elec,adp} \cdot inflacao^{anos} - Q_{lrv} \cdot C_{gas,AQ} \cdot inflacao^{anos} + E \cdot C_{manutencao} \\ \cdot inflacao^{anos} - E_{plsc} \cdot C_{elec,adp} \cdot \frac{inflacao^{anos}}{COP_{BC,plsc}} - Q_{aux,zol} \cdot C_{elec,adp} \cdot inflacao^{anos}$$

$$Ppb_{el,el,el,el,el,el,P} = | \text{TableValue} ['PayBack'; anos; 'Cb_{el,el,el,el,el,el,P}'] - Cb_{el,el,el,el,el,el,P} |$$

$$Cb_{el,el,el,el,el,el,P} = \text{TableValue} ['PayBack'; anos; 'Cb_{el,el,el,el,el,el,P}'] - E_{c,zons,prod} \cdot C_{elec,adp} \cdot inflacao^{anos} - E_{cv,yend,b} \\ \cdot C_{elec,bonus} + E \cdot C_{manutencao} \cdot inflacao^{anos} - E_{plsc} \cdot C_{elec,adp} \cdot \frac{inflacao^{anos}}{COP_{BC,plsc}} - Q_{aux,zol} \cdot C_{elec,adp} \cdot inflacao^{anos}$$

$$Ppb_{el,el,el,el,el,el,P} = | \text{TableValue} ['PayBack'; anos; 'Cb_{el,el,el,el,el,el,P}'] - Cb_{el,el,el,el,el,el,P} |$$

$$Cb_{el,el,el,el,el,el,P} = \text{TableValue} ['PayBack'; anos; 'Cb_{el,el,el,el,el,el,P}'] - E_{cv,yend,b} \cdot C_{elec,bonus} + E_{cv,yada} \cdot C_{elec,adp} \\ \cdot inflacao^{anos} - E_{cv,zons} \cdot C_{elec,adp} \cdot inflacao^{anos} - Q_{lrv} \cdot C_{AQ,gsl} \cdot inflacao^{anos} + E \cdot C_{manutencao} \\ \cdot inflacao^{anos} - E_{plsc} \cdot C_{elec,adp} \cdot \frac{inflacao^{anos}}{COP_{BC,plsc}} - Q_{aux,zol} \cdot C_{elec,adp} \cdot inflacao^{anos}$$

$$Ppb_{el,el,el,el,el,el,P} = | \text{TableValue} ['PayBack'; anos; 'Cb_{el,el,el,el,el,el,P}'] - Cb_{el,el,el,el,el,el,P} |$$

$$Cb_{el,el,el,el,el,el,P} = \text{TableValue} ['PayBack'; anos; 'Cb_{el,el,el,el,el,el,P}'] - E_{cv,yend,b} \cdot C_{elec,bonus} + E_{cv,yada} \cdot C_{elec,adp} \\ \cdot inflacao^{anos} - E_{cv,zons} \cdot C_{elec,adp} \cdot inflacao^{anos} - Q_{lrv} \cdot C_{AQ,elh} \cdot inflacao^{anos} + E \cdot C_{manutencao} \\ \cdot inflacao^{anos} - E_{plsc} \cdot C_{elec,adp} \cdot \frac{inflacao^{anos}}{COP_{BC,plsc}} - Q_{aux,zol} \cdot C_{elec,adp} \cdot inflacao^{anos}$$

$$Ppb_{el,el,el,el,el,el,P} = | \text{TableValue} ['PayBack'; anos; 'Cb_{el,el,el,el,el,el,P}'] - Cb_{el,el,el,el,el,el,P} |$$

Custos da energia final

$$C_{AQ,gsl} = \frac{C_{gsl,zq}}{\eta_{cald,gsl}}$$

$$C_{gsl,zq} = \frac{P_{gsl,zq}}{PCI_{gsl}(Wh)}$$

$$P_{gsl,zq} = 1,289 \text{ [€/l]}$$

$$PCI_{gsl}(kcal/kg) = 10200$$

$$PCI_{gsl}(Wh/kg) = \frac{PCI_{gsl}(kcal/kg)}{859,82}$$

$$PCI_{gsl}(Wh/l) = PCI_{gsl}(Wh/kg) \cdot \rho_{gsl}$$

$$\rho_{gsl} = \frac{900}{1000} \text{ [kg/l]}$$

$$\eta_{\text{cald,gs1}} = \frac{0,9 + 0,897}{2}$$

$$C_{\text{gas,2}} = 0,0595 \cdot 1,23$$

$$C_{\text{gas,4}} = 0,0561 \cdot 1,23$$

$$C_{\text{gas,AQS}} = \frac{C_{\text{gas,2}}}{\eta_{\text{cald}}}$$

$$\eta_{\text{cald}} = 0,9$$

$$C_{\text{gas,AQ}} = \frac{C_{\text{gas,4}}}{\eta_{\text{cald}}}$$

$$C_{\text{AQ,lanha}} = \frac{C_{\text{lanha}}}{\eta_{\text{recup,zal}}}$$

$$PCI_{\text{lanha}} = \frac{13,8 + 15,6}{2} \text{ [MJ/kg]}$$

$$PCI_{\text{lanha,kWh}} = PCI_{\text{lanha}} \cdot \frac{1000}{3600}$$

$$P_{\text{lanha}} = \frac{0,12 + 0,14 + 0,17}{3} \text{ [€/kg]}$$

$$C_{\text{lanha}} = \frac{P_{\text{lanha}}}{PCI_{\text{lanha,kWh}}}$$

$$\eta_{\text{recup,zal}} = 0,72$$

$$C_{\text{elec,mdp}} = 0,1393 \cdot 1,23$$

$$C_{\text{elec,bonus}} = \text{If} [\text{anos} ; 8 ; 0,326 ; 0,326 ; 0] + \text{If} [\text{anos} ; 9 ; 0 ; 1 ; 1] \cdot \text{If} [\text{anos} ; 15 ; 1 ; 1 ; 0] \cdot 0,185 \\ + \text{If} [\text{anos} ; 15 ; 0 ; 0 ; 0,1448 \cdot \text{inflacao}^{\text{anos}}]$$

24 Anexo R: Cálculo do retorno de investimento para Dundo

File:ANEXO Payback Dundo.EES

05-02-2012 05:07:53 Page 1

EES Ver. 8.874: #0725: For use by students and faculty in the Faculdade de Engenharia, D. Mech. Universidade do Porto

Payback - Dundo

$$C_{\text{academico}} = 17900$$

$$C_{\text{comp}} = 379$$

$$C_{\text{desulfador}} = 139$$

$$C_{\text{stirling}} = 16900 + C_{\text{retrastirling}}$$

$$C_{\text{retrastirling}} = 1530$$

$$C_{\text{manutencao}} = E \cdot 0,005$$

$$C_{\text{motor}} = 1934$$

$$C_{\text{manutger}} = 0,0105$$

$$C_{\text{colorea}} = 600 \cdot 30$$

$$C_{\text{coloreaAGS}} = 600 \cdot 6$$

$$C_{\text{kitcol}} = 2900$$

$$C_{\text{motorgas}} = 16900$$

$$C_{\text{lampas200}} = 1035$$

$$C_{\text{lampas300}} = 1954$$

$$C_{\text{equipt}} = 339$$

$$\text{convertizador} = 0,00828086$$

$$\text{inflacao} = 1,03$$

Produção anual de energia

$$E = 9124 \text{ [kWh]}$$

$$E_{\text{cons}} = 5940$$

$$E_{\text{per}} = 4649$$

$$E_{\text{consAC}} = 9050$$

$$E_{\text{perAC}} = 7025$$

$$Q = 10157 \text{ [kWh]} \text{ Frio produzido anualmente - frio necessário anualmente}$$

$$Q_{\text{AGS}} = 3821 \text{ [kWh]}$$

$$Q_{\text{kitcol}} = 1252$$

$$Q_{\text{AGSreal}} = Q_{\text{AGS}} - Q_{\text{kitcol}}$$

$$Q_{\text{AC}} = Q$$

$$\text{COP}_{\text{eds}} = 0,6$$

$$\text{COP}_{\text{comp}} = 3,27$$

$$E_1 = E_{\text{cons}} + \frac{Q}{\text{COP}_{\text{comp}}}$$

$$E_{\text{term cog1}} = \frac{E_1}{\eta_{\text{stgpc}}} \cdot \eta_{\text{term cog}} - Q_{\text{ACS}}$$

$$E_{\text{term cog2}} = \frac{E_{\text{cons}}}{\eta_{\text{stgpc}}} \cdot \eta_{\text{term cog}} - Q_{\text{ACS}}$$

$$E_{\text{ACS term1}} = \frac{E_1}{\eta_{\text{stgpc}}} \cdot \eta_{\text{term cog}}$$

$$E_{\text{ACS term2}} = \frac{E_{\text{cons}}}{\eta_{\text{stgpc}}} \cdot \eta_{\text{term cog}}$$

$$Q_{\text{term cog1}} = \text{If} [E_{\text{term cog1}} ; Q ; Q - E_{\text{term cog1}} ; 0 ; 0]$$

$$Q_{\text{term cog2}} = \text{If} [E_{\text{term cog2}} ; Q ; Q - E_{\text{term cog2}} ; 0 ; 0]$$

$$Q_{\text{ACS term1}} = \text{If} [E_{\text{ACS term1}} ; Q_{\text{ACS}} ; Q_{\text{ACS}} - E_{\text{ACS term1}} ; 0 ; 0]$$

$$Q_{\text{ACS term2}} = \text{If} [E_{\text{ACS term2}} ; Q_{\text{ACS}} ; Q_{\text{ACS}} - E_{\text{ACS term2}} ; 0 ; 0]$$

Evolução dos custos com AC adsorção

$$C_{\text{act cog}} = \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{\text{act cog}}'] - E \cdot C_{\text{gas elec}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NCR}} - Q \cdot \frac{C_{\text{gas elec}}}{\text{COP}_{\text{comp}}} \\ - \text{Inflacao}^{\text{NCR}} - Q_{\text{ACS term1}} \cdot C_{\text{gas ACS term}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NCR}}$$

$$Pp_{\text{act cog}} = \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{\text{act cog}}'] - C_{\text{act cog}}$$

$$C_{\text{act ped}} = \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{\text{act ped}}'] - E \cdot C_{\text{elec ped}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NCR}} - Q \cdot \frac{C_{\text{elec ped}}}{\text{COP}_{\text{comp}}} \\ - \text{Inflacao}^{\text{NCR}} - Q_{\text{ACS}} \cdot C_{\text{gas ACS}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NCR}} + C_{\text{manutencia}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NCR}}$$

$$Pp_{\text{act ped}} = \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{\text{act ped}}'] - C_{\text{act ped}}$$

$$C_{\text{act cog ped}} = \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{\text{act cog ped}}'] - E$$

$$\cdot \left[\frac{0,055 \cdot \exp(0,087 \cdot \text{anos}) + 0,003 \cdot \text{anos} + 0,055}{2} + 0,011208385 \right] \cdot Q$$

$$\cdot \left[\frac{0,055 \cdot \exp(0,087 \cdot \text{anos}) + 0,003 \cdot \text{anos} + 0,055}{2} + 0,011208385 \right] \cdot Q_{\text{ACS}} \cdot C_{\text{gas ACS}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NCR}}$$

$$+ C_{\text{manutencia}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NCR}} - E \cdot C_{\text{manut cog}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NCR}}$$

$$Pp_{\text{act cog ped}} = \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{\text{act cog ped}}'] - C_{\text{act cog ped}}$$

$$C_{\text{act cog term}} = \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{\text{act cog term}}'] - E \cdot C_{\text{gas elec}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NCR}} - Q_{\text{term cog2}} \\ - C_{\text{gas term}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NCR}} - Q_{\text{ACS term2}} \cdot C_{\text{gas ACS}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NCR}}$$

$$Pp_{\text{at,gsa,term}} = \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; 'C_{\text{at,gsa,term}}'] - C_{\text{at,gsa,term}}$$

AQS coletores

$$C_{\text{at,pdel,pdel,col}} = \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; 'C_{\text{at,pdel,pdel,col}}'] - E \cdot C_{\text{at,pdel}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{anos}} - Q$$

$$\cdot \frac{C_{\text{at,pdel}}}{\text{COP}_{\text{comp}}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{anos}} + C_{\text{manutencao}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{anos}} - Q_{\text{ACS,gsa}} \cdot C_{\text{at,pdel}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{anos}}$$

$$Pp_{\text{at,pdel,pdel,col}} = \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; 'C_{\text{at,pdel,pdel,col}}'] - C_{\text{at,pdel,pdel,col}}$$

$$C_{\text{at,gsa,gsa,col}} = \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; 'C_{\text{at,gsa,gsa,col}}'] - E$$

$$\cdot \left[\frac{0,055 \cdot \exp(0,087 \cdot \text{anos}) + 0,003 \cdot \text{anos} + 0,055}{2} + 0,011208385 \right] \cdot \eta_{\text{el}} - Q$$

$$\cdot \left[\frac{0,055 \cdot \exp(0,087 \cdot \text{anos}) + 0,003 \cdot \text{anos} + 0,055}{2} + 0,011208385 \right] \cdot \text{COP}_{\text{comp}} \cdot \eta_{\text{el}} + C_{\text{manutencao}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{anos}}$$

$$- Q_{\text{ACS,gsa}} \cdot \left[\frac{0,055 \cdot \exp(0,087 \cdot \text{anos}) + 0,003 \cdot \text{anos} + 0,055}{2} + 0,011208385 \right] \cdot \eta_{\text{el}} - E \cdot C_{\text{renvd,gsa}}$$

$$\cdot \text{Inflacao}^{\text{anos}}$$

$$Pp_{\text{at,gsa,gsa,col}} = \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; 'C_{\text{at,gsa,gsa,col}}'] - C_{\text{at,gsa,gsa,col}}$$

Evolução dos custos com AC compressão

$$C_{\text{at,gsa,gsa}} = \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; 'C_{\text{at,gsa,gsa}}'] - \left[E - \frac{Q_{\text{AC}}}{\text{COP}_{\text{comp}}} \right] \cdot C_{\text{gsa,gsa}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{anos}}$$

$$- \frac{Q_{\text{AC}}}{\text{COP}_{\text{comp}}} \cdot C_{\text{gsa,gsa}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{anos}} - Q_{\text{ACS,term}} \cdot C_{\text{gsa,ACS,term}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{anos}}$$

$$Pp_{\text{at,gsa,gsa}} = \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; 'C_{\text{at,gsa,gsa}}'] - C_{\text{at,gsa,gsa}}$$

$$C_{\text{at,pdel,pdel}} = \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; 'C_{\text{at,pdel,pdel}}'] - \left[E - \frac{Q_{\text{AC}}}{\text{COP}_{\text{comp}}} \right] \cdot C_{\text{at,pdel}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{anos}}$$

$$- \frac{Q_{\text{AC}}}{\text{COP}_{\text{comp}}} \cdot C_{\text{at,pdel}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{anos}} - Q_{\text{ACS}} \cdot C_{\text{gsa,ACS}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{anos}} + C_{\text{manutencao}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{anos}}$$

$$Pp_{\text{at,pdel,pdel}} = \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; 'C_{\text{at,pdel,pdel}}'] - C_{\text{at,pdel,pdel}}$$

$$C_{\text{at,gsa,gsa}} = \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; 'C_{\text{at,gsa,gsa}}'] - \left[\left(E - \frac{Q_{\text{AC}}}{\text{COP}_{\text{comp}}} \right) \cdot \left(\frac{0,055 \cdot \exp(0,087 \cdot \text{anos}) + 0,003 \cdot \text{anos} + 0,055}{2} + 0,011208385 \right) \right] \cdot \eta_{\text{el}} - \frac{Q_{\text{AC}}}{\text{COP}_{\text{comp}}}$$

$$\cdot \left[\frac{0,055 \cdot \exp(0,087 \cdot \text{anos}) + 0,003 \cdot \text{anos} + 0,055}{2} + 0,011208385 \right] \cdot \eta_{\text{el}} - Q_{\text{ACS}} \cdot C_{\text{gsa,ACS}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{anos}}$$

$$+ C_{\text{manutencao}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NCR}} - E \cdot C_{\text{manutger}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NCR}}$$

$$Pp_{\text{el,gt,el}} = \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; \text{'Co}_{\text{el,gt,el}}] - C_{\text{el,gt,el}}$$

AQS Colatores

$$C_{\text{el,el,el,col}} = \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; \text{'Co}_{\text{el,el,el,col}}] - \left[E - \frac{Q_{\text{AC}}}{\text{COP}_{\text{comp}}} \right] \cdot C_{\text{el,el,el}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NCR}} \\ - \frac{Q_{\text{AC}}}{\text{COP}_{\text{comp}}} \cdot C_{\text{el,el,el}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NCR}} + C_{\text{manutencao}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NCR}} - Q_{\text{ACS,el}} \cdot C_{\text{el,el,el}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NCR}}$$

$$Pp_{\text{el,el,el,col}} = \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; \text{'Co}_{\text{el,el,el,col}}] - C_{\text{el,el,el,col}}$$

$$C_{\text{el,gt,el,col}} = \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; \text{'Co}_{\text{el,gt,el,col}}] - \left[\left(E - \frac{Q_{\text{AC}}}{\text{COP}_{\text{comp}}} \right) \cdot \left(\frac{0,055 \cdot \exp(0,087 \cdot \text{anos}) + 0,003 \cdot \text{anos} + 0,055}{2} + 0,011208385 \right) \right] \cdot \frac{Q_{\text{AC}}}{\text{COP}_{\text{comp}}} \\ - \left[\frac{0,055 \cdot \exp(0,087 \cdot \text{anos}) + 0,003 \cdot \text{anos} + 0,055}{2} + 0,011208385 \right] \cdot \frac{Q_{\text{AC}}}{\text{COP}_{\text{comp}}} + C_{\text{manutencao}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NCR}} \\ - Q_{\text{ACS,el}} \cdot \left[\frac{0,055 \cdot \exp(0,087 \cdot \text{anos}) + 0,003 \cdot \text{anos} + 0,055}{2} + 0,011208385 \right] \cdot \frac{Q_{\text{AC}}}{\text{COP}_{\text{comp}}} - E \cdot C_{\text{manutger}} \\ - \text{Inflacao}^{\text{NCR}}$$

$$Pp_{\text{el,gt,el,col}} = \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; \text{'Co}_{\text{el,gt,el,col}}] - C_{\text{el,gt,el,col}}$$

Evolução dos custos com AC adsorção - sem venda/armazenamento de energia elétrica

$$C_{\text{ad,el,gt,el,arm}} = \text{TableValue} [\text{'PayBack S-Arm'}; \text{anos}_{\text{arm}}; \text{'Co}_{\text{ad,el,gt,el,arm}}] + E_{\text{ger}} \cdot C_{\text{gas,elac}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NCR}_{\text{arm}}} \\ - E_{\text{cons,AC}} \cdot C_{\text{gas,elac}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NCR}_{\text{arm}}} - Q_{\text{ACS,el,arm}} \cdot C_{\text{gas,ACS,el,arm}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NCR}_{\text{arm}}}$$

$$Pp_{\text{ad,el,gt,el,arm}} = \text{TableValue} [\text{'PayBack S-Arm'}; \text{anos}_{\text{arm}}; \text{'Co}_{\text{ad,el,gt,el,arm}}] - C_{\text{ad,el,gt,el,arm}}$$

$$C_{\text{ad,el,el,el,arm}} = \text{TableValue} [\text{'PayBack S-Arm'}; \text{anos}_{\text{arm}}; \text{'Co}_{\text{ad,el,el,el,arm}}] + E_{\text{ger}} \cdot C_{\text{el,el,el}} \\ - \text{Inflacao}^{\text{NCR}_{\text{arm}}} - E_{\text{cons,AC}} \cdot C_{\text{el,el,el}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NCR}_{\text{arm}}} - Q_{\text{ACS}} \cdot C_{\text{gas,ACS}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NCR}_{\text{arm}}} + C_{\text{manutencao}} \\ - \text{Inflacao}^{\text{NCR}}$$

$$Pp_{\text{ad,el,el,el,arm}} = \text{TableValue} [\text{'PayBack S-Arm'}; \text{anos}_{\text{arm}}; \text{'Co}_{\text{ad,el,el,el,arm}}] - C_{\text{ad,el,el,el,arm}}$$

$$C_{\text{el,gt,el,arm}} = \text{TableValue} [\text{'PayBack S-Arm'}; \text{anos}_{\text{arm}}; \text{'Co}_{\text{el,gt,el,arm}}] + E_{\text{ger}}$$

$$\cdot \left[\frac{0,055 \cdot \exp(0,087 \cdot \text{anos}) + 0,003 \cdot \text{anos} + 0,055}{2} + 0,011208385 \right] \cdot \frac{Q_{\text{AC}}}{\text{COP}_{\text{comp}}} - E_{\text{cons,AC}} \\ - \left[\frac{0,055 \cdot \exp(0,087 \cdot \text{anos}) + 0,003 \cdot \text{anos} + 0,055}{2} + 0,011208385 \right] \cdot \frac{Q_{\text{AC}}}{\text{COP}_{\text{comp}}} - Q_{\text{ACS}} \cdot C_{\text{gas,ACS}}$$

$$\cdot \text{Inflacao}^{\text{NCR}_{\text{em}}} + C_{\text{manutencao}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NCR}_{\text{em}}} - E \cdot C_{\text{manutger}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NCR}_{\text{em}}}$$

$$Pp_{\text{ed,gl,gl,em}} = \text{TableValue} [\text{'PayBack S-Arm'}; \text{anos}_{\text{em}}; \text{'Co}_{\text{ed,gl,gl,em}}'] - C_{\text{ed,gl,gl,em}}$$

$$C_{\text{ed,gl,gl,em}} = \text{TableValue} [\text{'PayBack S-Arm'}; \text{anos}_{\text{em}}; \text{'Co}_{\text{ed,gl,gl,em}}'] + E_{\text{ger}} \cdot C_{\text{gas,glc}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NCR}_{\text{em}}} - Q_{\text{em,comp2}} \cdot C_{\text{gas,em}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NCR}_{\text{em}}} - Q_{\text{ACS,tem2}} \cdot C_{\text{gas,ACS,em}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NCR}_{\text{em}}}$$

$$Pp_{\text{ed,gl,gl,em}} = \text{TableValue} [\text{'PayBack S-Arm'}; \text{anos}_{\text{em}}; \text{'Co}_{\text{ed,gl,gl,em}}'] - C_{\text{ed,gl,gl,em}}$$

AQS Coletoras

$$C_{\text{ed,pdel,pdel,em,col}} = \text{TableValue} [\text{'PayBack S-Arm'}; \text{anos}_{\text{em}}; \text{'Co}_{\text{ed,pdel,pdel,em,col}}'] + E_{\text{ger}} \cdot C_{\text{ele,pdel}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NCR}_{\text{em}}} - E_{\text{cons,AC}} \cdot C_{\text{ele,pdel}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NCR}_{\text{em}}} + C_{\text{manutencao}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NCR}_{\text{em}}} - Q_{\text{ACS,usa}} \cdot C_{\text{ele,pdel}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NCR}_{\text{em}}}$$

$$Pp_{\text{ed,pdel,pdel,em,col}} = \text{TableValue} [\text{'PayBack S-Arm'}; \text{anos}_{\text{em}}; \text{'Co}_{\text{ed,pdel,pdel,em,col}}'] - C_{\text{ed,pdel,pdel,em,col}}$$

$$C_{\text{ed,gl,gl,em,col}} = \text{TableValue} [\text{'PayBack S-Arm'}; \text{anos}_{\text{em}}; \text{'Co}_{\text{ed,gl,gl,em,col}}'] + E_{\text{ger}}$$

$$\cdot \left[\frac{0,055 \cdot \exp(0,087 \cdot \text{anos}) + 0,003 \cdot \text{anos} + 0,055}{2} + 0,011208385 \right] \cdot \frac{1}{\eta_{\text{el}}} - E_{\text{cons,AC}}$$

$$\cdot \left[\frac{0,055 \cdot \exp(0,087 \cdot \text{anos}) + 0,003 \cdot \text{anos} + 0,055}{2} + 0,011208385 \right] \cdot \frac{1}{\eta_{\text{el}}} + C_{\text{manutencao}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NCR}_{\text{em}}}$$

$$- Q_{\text{ACS,usa}} \cdot \left[\frac{0,055 \cdot \exp(0,087 \cdot \text{anos}) + 0,003 \cdot \text{anos} + 0,055}{2} + 0,011208385 \right] \cdot \frac{1}{\eta_{\text{el}}} - E \cdot C_{\text{manutger}}$$

$$\cdot \text{Inflacao}^{\text{NCR}_{\text{em}}}$$

$$Pp_{\text{ed,gl,gl,em,col}} = \text{TableValue} [\text{'PayBack S-Arm'}; \text{anos}_{\text{em}}; \text{'Co}_{\text{ed,gl,gl,em,col}}'] - C_{\text{ed,gl,gl,em,col}}$$

Evolução dos custos com AC compressão - sem venda/armazenamento de energia elétrica

$$C_{\text{el,gl,gl,em}} = \text{TableValue} [\text{'PayBack S-Arm'}; \text{anos}_{\text{em}}; \text{'Co}_{\text{el,gl,gl,em}}'] + E_{\text{ger,AC}} \cdot C_{\text{gas,glc}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NCR}_{\text{em}}} - E_{\text{cons,AC}} \cdot C_{\text{gas,glc}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NCR}_{\text{em}}} - Q_{\text{ACS,tem1}} \cdot C_{\text{gas,ACS,em}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NCR}_{\text{em}}}$$

$$Pp_{\text{el,gl,gl,em}} = \text{TableValue} [\text{'PayBack S-Arm'}; \text{anos}_{\text{em}}; \text{'Co}_{\text{el,gl,gl,em}}'] - C_{\text{el,gl,gl,em}}$$

$$C_{\text{el,pdel,pdel,em}} = \text{TableValue} [\text{'PayBack S-Arm'}; \text{anos}_{\text{em}}; \text{'Co}_{\text{el,pdel,pdel,em}}'] + E_{\text{ger,AC}} \cdot C_{\text{ele,pdel}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NCR}_{\text{em}}} - E_{\text{cons,AC}} \cdot C_{\text{ele,pdel}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NCR}_{\text{em}}} - Q_{\text{ACS}} \cdot C_{\text{gas,ACS}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NCR}_{\text{em}}} + C_{\text{manutencao}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NCR}_{\text{em}}}$$

$$Pp_{\text{el,pdel,pdel,em}} = \text{TableValue} [\text{'PayBack S-Arm'}; \text{anos}_{\text{em}}; \text{'Co}_{\text{el,pdel,pdel,em}}'] - C_{\text{el,pdel,pdel,em}}$$

$$C_{\text{el,gl,gl,em}} = \text{TableValue} [\text{'PayBack S-Arm'}; \text{anos}_{\text{em}}; \text{'Co}_{\text{el,gl,gl,em}}'] + E_{\text{ger,AC}}$$

$$\cdot \left[\frac{0,055 \cdot \exp(0,087 \cdot \text{anos}) + 0,003 \cdot \text{anos} + 0,055}{2} + 0,011208385 \right] \cdot \frac{1}{\eta_{\text{el}}} - E_{\text{cons,AC}}$$

File:ANEXO Payback Dundo.EES

05-02-2012 05:07:54 Page 6

EES Ver. 8.874: #0725: For use by students and faculty in the Faculdade de Engenharia, D. Moch. Universidade do Porto

$$\cdot \left[\frac{0,055 \cdot \exp(0,087 \cdot \text{anos}) + 0,003 \cdot \text{anos} + 0,055}{2} + 0,011208385 \right] \cdot \eta_{el} - Q_{ACS} \cdot C_{gasACS}$$

$$\cdot \text{Inflacao}^{n_{ano}} + C_{manutencia} \cdot \text{Inflacao}^{n_{ano}} - E \cdot C_{manutger} \cdot \text{Inflacao}^{n_{ano}}$$

$$P_{p_{el,gal,germ}} = \text{TableValue} ['\text{PayBack S-Arm}'; \text{anos}_{germ}; 'C_{el,gal,germ}'] - C_{el,gal,germ}$$

AQS Coletoras

$$C_{el,pdel,pdel,germ,col} = \text{TableValue} ['\text{PayBack S-Arm}'; \text{anos}_{germ}; 'C_{el,pdel,pdel,germ,col}'] + E_{ger,AC} \cdot C_{elc,pdel} \\ \cdot \text{Inflacao}^{n_{ano}} - E_{cons,AC} \cdot C_{elc,pdel} \cdot \text{Inflacao}^{n_{ano}} + C_{manutencia} \cdot \text{Inflacao}^{n_{ano}} - Q_{ACS,ger} \cdot C_{elc,pdel} \\ \cdot \text{Inflacao}^{n_{ano}}$$

$$P_{p_{el,pdel,pdel,germ,col}} = \text{TableValue} ['\text{PayBack S-Arm}'; \text{anos}_{germ}; 'C_{el,pdel,pdel,germ,col}'] - C_{el,pdel,pdel,germ,col}$$

$$C_{el,gal,gal,germ,col} = \text{TableValue} ['\text{PayBack S-Arm}'; \text{anos}_{germ}; 'C_{el,gal,gal,germ,col}'] + E_{ger,AC}$$

$$\cdot \left[\frac{0,055 \cdot \exp(0,087 \cdot \text{anos}) + 0,003 \cdot \text{anos} + 0,055}{2} + 0,011208385 \right] \cdot \eta_{el} - E_{cons,AC}$$

$$\cdot \left[\frac{0,055 \cdot \exp(0,087 \cdot \text{anos}) + 0,003 \cdot \text{anos} + 0,055}{2} + 0,011208385 \right] + C_{manutencia} \cdot \text{Inflacao}^{n_{ano}}$$

$$- Q_{ACS,ger} \cdot \left[\frac{0,055 \cdot \exp(0,087 \cdot \text{anos}) + 0,003 \cdot \text{anos} + 0,055}{2} + 0,011208385 \right] \cdot \eta_{el} - E \cdot C_{manutger}$$

$$\cdot \text{Inflacao}^{n_{ano}}$$

$$P_{p_{el,gal,gal,germ,col}} = \text{TableValue} ['\text{PayBack S-Arm}'; \text{anos}_{germ}; 'C_{el,gal,gal,germ,col}'] - C_{el,gal,gal,germ,col}$$

Custos da energia final

$$C_{p_{gal}} = \frac{\text{Preco}_1}{\text{PCI}_{\text{WH}_2} \cdot \eta_{el}}$$

$$C_{gal} = \frac{\text{Preco}_1}{\text{PCI}_{\text{WH}_2}}$$

$$\eta_{el} = 0,25$$

$$\eta_{germ} = 0,9 - 0,25$$

$$\text{PCI}_{p_{gal}} = 42,8 \text{ [MJ/kg]}$$

$$\rho_{p_{gal}} = \frac{900}{1000}$$

$$\text{PCI}_{\text{WH}_2} = \text{PCI}_{p_{gal}} \cdot \frac{\rho_{p_{gal}}}{3,6}$$

$$\text{Preco}_1 = \left[\frac{50 + 55}{2} \right] \cdot \text{convert}_{\text{e,eur}}$$

$$C_{\text{gas}} = \frac{\left[\frac{800 + 1000}{2} \right] \cdot \text{convert}_{\text{kg,pu}}}{\text{PCI}_{\text{gas}} \cdot 12}$$

$$\text{PCI}_{\text{gas}} = 12,7 \text{ [kWh/kg]}$$

$$C_{\text{gas,elec}} = \frac{C_{\text{gas}}}{\eta_{\text{el, gas}}}$$

$$C_{\text{gas,term}} = \frac{C_{\text{gas}}}{\eta_{\text{term, gas}}}$$

$$\eta_{\text{el, gas}} = 0,2449$$

$$\eta_{\text{term, gas}} = 0,7165$$

$$C_{\text{gas,ACG,term}} = \frac{C_{\text{gas}}}{\eta_{\text{cald}} \cdot \eta_{\text{term, gas}}}$$

$$C_{\text{gas,ACG}} = \frac{C_{\text{gas}}}{\eta_{\text{cald}}}$$

$$\eta_{\text{cald}} = 0,9$$

$$C_{\text{elec, cald}} = 3,35 \cdot \text{convert}_{\text{kg,pu}}$$

25 Anexo S: Cálculo do retorno de investimento para o Lubango

File:ANEXO Payback Lubango.EES

05-02-2012 08:00:51 Page 1

EES Ver. 8.874: #0725: For use by students and faculty in the Faculdade de Engenharia, D. Mech. Universidade do Porto

Payback - Lubango

$$C_{acq,cboc} = 17900$$

$$C_{acq,comp} = 379$$

$$C_{disum,loader} = 139$$

$$C_{stirling} = 16900 + C_{inst,cbocstirling}$$

$$C_{inst,cbocstirling} = 1530$$

$$C_{manut,cboc} = E \cdot 0,005$$

$$C_{gen,cboc} = 1934$$

$$C_{manut,ger} = 0,0105$$

$$C_{col,cboc} = 600 \cdot 30$$

$$C_{col,cboc,ACS} = 600 \cdot 6$$

$$C_{kit,cboc} = 2900$$

$$C_{gen,cboc,gs} = 16900$$

$$C_{inst,cboc,200} = 1035$$

$$C_{inst,cboc,300} = 1954$$

$$C_{sequ,cboc} = 339$$

$$convert_{cboc} = 0,00828086$$

$$inflacao = 1,03$$

Produção anual de energia

$$E = 17583 \text{ [kWh]}$$

$$E_{cboc} = 5940$$

$$E_{ger} = 4042$$

$$E_{cboc,ACS} = 10740$$

$$E_{ger,ACS} = 7261$$

$$Q = 15693 \text{ [kWh]} \text{ Frio produzido anualmente - frio necessário anualmente}$$

$$Q_{ACS} = 3821 \text{ [kWh]}$$

$$Q_{kit,cboc} = 1914$$

$$Q_{ACS,cboc} = Q_{ACS} - Q_{kit,cboc}$$

$$Q_{AC} = Q$$

$$COP_{cboc} = 0,6$$

$$COP_{comp} = 3,27$$

$$E_1 = E_{\text{cons}} + \frac{Q}{\text{COP}_{\text{comp}}}$$

$$E_{\text{term cog1}} = \frac{E_1}{\eta_{\text{el gas}}} \cdot \eta_{\text{term gas}} - Q_{\text{ACS}}$$

$$E_{\text{term cog2}} = \frac{E_{\text{cons}}}{\eta_{\text{el gas}}} \cdot \eta_{\text{term gas}} - Q_{\text{ACS}}$$

$$E_{\text{ACS term1}} = \frac{E_1}{\eta_{\text{el gas}}} \cdot \eta_{\text{term gas}}$$

$$E_{\text{ACS term2}} = \frac{E_{\text{cons}}}{\eta_{\text{el gas}}} \cdot \eta_{\text{term gas}}$$

$$Q_{\text{term cog1}} = \text{If} [E_{\text{term cog1}} ; Q ; Q - E_{\text{term cog1}} ; 0 ; 0]$$

$$Q_{\text{term cog2}} = \text{If} [E_{\text{term cog2}} ; Q ; Q - E_{\text{term cog2}} ; 0 ; 0]$$

$$Q_{\text{ACS term1}} = \text{If} [E_{\text{ACS term1}} ; Q_{\text{ACS}} ; Q_{\text{ACS}} - E_{\text{ACS term1}} ; 0 ; 0]$$

$$Q_{\text{ACS term2}} = \text{If} [E_{\text{ACS term2}} ; Q_{\text{ACS}} ; Q_{\text{ACS}} - E_{\text{ACS term2}} ; 0 ; 0]$$

Evolução dos custos com AC adsorção

$$C_{\text{adpt gplg}} = \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{\text{adpt gplg}}'] - E \cdot C_{\text{gas elec}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NICK}} - Q \cdot \frac{C_{\text{gas elec}}}{\text{COP}_{\text{comp}}}$$

$$\cdot \text{Inflacao}^{\text{NICK}} - Q_{\text{ACS term1}} \cdot C_{\text{gas ACS term}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NICK}}$$

$$P_{\text{adpt gplg}} = \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{\text{adpt gplg}}'] - C_{\text{adpt gplg}}$$

$$C_{\text{adpt pdel}} = \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{\text{adpt pdel}}'] - E \cdot C_{\text{elec pdel}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NICK}} - Q \cdot \frac{C_{\text{elec pdel}}}{\text{COP}_{\text{comp}}}$$

$$\cdot \text{Inflacao}^{\text{NICK}} - Q_{\text{ACS}} \cdot C_{\text{gas ACS}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NICK}} + C_{\text{manut elc}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NICK}}$$

$$P_{\text{adpt pdel}} = \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{\text{adpt pdel}}'] - C_{\text{adpt pdel}}$$

$$C_{\text{adpt gpl}} = \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{\text{adpt gpl}}'] - E$$

$$\cdot \left[\frac{0,054 \cdot \exp(0,087 \cdot \text{anos}) + 0,003 \cdot \text{anos} + 0,053}{2} + 0,01085 \right] \cdot \frac{Q}{\eta_{\text{el}}}$$

$$\cdot \left[\frac{0,054 \cdot \exp(0,087 \cdot \text{anos}) + 0,003 \cdot \text{anos} + 0,053}{2} + 0,01085 \right] \cdot \frac{Q_{\text{ACS}} \cdot C_{\text{gas ACS}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NICK}}}{\text{COP}_{\text{comp}} \cdot \eta_{\text{el}}}$$

$$+ C_{\text{manut elc}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NICK}} - E \cdot C_{\text{manut gas}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NICK}}$$

$$P_{\text{adpt gpl}} = \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{\text{adpt gpl}}'] - C_{\text{adpt gpl}}$$

$$C_{\text{adpt gas term}} = \text{TableValue} ['\text{PayBack}'; \text{anos}; 'C_{\text{adpt gas term}}'] - E \cdot C_{\text{gas elec}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NICK}} - Q_{\text{term cog2}}$$

$$\cdot C_{\text{gas term}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NICK}} - Q_{\text{ACS term2}} \cdot C_{\text{gas ACS}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NICK}}$$

$$Pp_{\text{at,gs,germ}} = \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; \text{'C}_{\text{at,gs,germ}}] - C_{\text{at,gs,germ}}$$

AGS colatores

$$C_{\text{at,jdel,jdel,col}} = \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; \text{'C}_{\text{at,jdel,jdel,col}}] - E \cdot C_{\text{at,jdel,jdel,col}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NTR}} - Q$$

$$\cdot \frac{C_{\text{at,jdel,jdel,col}}}{\text{COP}_{\text{comp}}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NTR}} + C_{\text{manutencao}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NTR}} - Q_{\text{ACS,gs}} \cdot C_{\text{at,jdel,jdel,col}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NTR}}$$

$$Pp_{\text{at,jdel,jdel,col}} = \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; \text{'C}_{\text{at,jdel,jdel,col}}] - C_{\text{at,jdel,jdel,col}}$$

$$C_{\text{at,gs,gs,col}} = \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; \text{'C}_{\text{at,gs,gs,col}}] - E$$

$$\cdot \left[\frac{0,054 \cdot \exp(0,087 \cdot \text{anos}) + 0,003 \cdot \text{anos} + 0,053}{2} + 0,01085 \right] \cdot \frac{1}{\eta_{\text{el}}} - Q$$

$$\cdot \left[\frac{0,054 \cdot \exp(0,087 \cdot \text{anos}) + 0,003 \cdot \text{anos} + 0,053}{2} + 0,01085 \right] \cdot \frac{1}{\text{COP}_{\text{comp}} \cdot \eta_{\text{el}}} + C_{\text{manutencao}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NTR}}$$

$$- Q_{\text{ACS,gs}} \cdot \left[\frac{0,054 \cdot \exp(0,087 \cdot \text{anos}) + 0,003 \cdot \text{anos} + 0,053}{2} + 0,01085 \right] \cdot \frac{1}{\eta_{\text{el}}} - E \cdot C_{\text{manut,gs}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NTR}}$$

$$Pp_{\text{at,gs,gs,col}} = \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; \text{'C}_{\text{at,gs,gs,col}}] - C_{\text{at,gs,gs,col}}$$

Evolução dos custos com AC compressão

$$C_{\text{at,gs,gs}} = \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; \text{'C}_{\text{at,gs,gs}}] - \left[E - \frac{Q_{\text{AC}}}{\text{COP}_{\text{comp}}} \right] \cdot C_{\text{gs,gs}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NTR}}$$

$$- \frac{Q_{\text{AC}}}{\text{COP}_{\text{comp}}} \cdot C_{\text{gs,gs}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NTR}} - Q_{\text{ACS,germ}} \cdot C_{\text{gs,ACS,germ}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NTR}}$$

$$Pp_{\text{at,gs,gs}} = \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; \text{'C}_{\text{at,gs,gs}}] - C_{\text{at,gs,gs}}$$

$$C_{\text{at,jdel,jdel}} = \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; \text{'C}_{\text{at,jdel,jdel}}] - \left[E - \frac{Q_{\text{AC}}}{\text{COP}_{\text{comp}}} \right] \cdot C_{\text{at,jdel,jdel}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NTR}}$$

$$- \frac{Q_{\text{AC}}}{\text{COP}_{\text{comp}}} \cdot C_{\text{at,jdel,jdel}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NTR}} - Q_{\text{ACS}} \cdot C_{\text{gs,ACS}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NTR}} + C_{\text{manutencao}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NTR}}$$

$$Pp_{\text{at,jdel,jdel}} = \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; \text{'C}_{\text{at,jdel,jdel}}] - C_{\text{at,jdel,jdel}}$$

$$C_{\text{at,gs,gs}} = \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; \text{'C}_{\text{at,gs,gs}}] - \left[\left(E - \frac{Q_{\text{AC}}}{\text{COP}_{\text{comp}}} \right) \cdot \left(\frac{0,054 \cdot \exp[0,087 \cdot \text{anos}] + 0,003 \cdot \text{anos} + 0,053}{2} + 0,01085 \right) \right] \cdot \frac{1}{\eta_{\text{el}}} - \frac{Q_{\text{AC}}}{\text{COP}_{\text{comp}}}$$

$$\cdot \left[\frac{0,054 \cdot \exp(0,087 \cdot \text{anos}) + 0,003 \cdot \text{anos} + 0,053}{2} + 0,01085 \right] \cdot \frac{1}{\eta_{\text{el}}} - Q_{\text{ACS}} \cdot C_{\text{gs,ACS}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NTR}}$$

$$+ C_{\text{manutencao}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NTR}} - E \cdot C_{\text{manut,gs}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NTR}}$$

$$Pp_{\text{at,gs,gs}} = \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; \text{'C}_{\text{at,gs,gs}}] - C_{\text{at,gs,gs}}$$

AQS Coletoras

$$C_{a,el,ydel,zol} = \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; 'C_{a,el,ydel,zol}'] - \left[E - \frac{Q_{AC}}{COP_{comp}} \right] \cdot C_{ele,ydel} \cdot \text{Inflacao}^{N^{AC}} - \frac{Q_{AC}}{COP_{comp}} \cdot C_{ele,ydel} \cdot \text{Inflacao}^{N^{AC}} + C_{manenciao} \cdot \text{Inflacao}^{N^{AC}} - Q_{ACS,uz} \cdot C_{ele,ydel} \cdot \text{Inflacao}^{N^{AC}}$$

$$Pp_{a,el,ydel,zol} = \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; 'C_{a,el,ydel,zol}'] - C_{a,el,ydel,zol}$$

$$C_{a,el,gel,zol} = \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; 'C_{a,el,gel,zol}'] - \left[\left(E - \frac{Q_{AC}}{COP_{comp}} \right) \cdot \left(\frac{0,054 \cdot \exp [0,087 \cdot \text{anos}] + 0,003 \cdot \text{anos} + 0,053}{2} + 0,01085 \right) \right] \cdot \frac{Q_{AC}}{COP_{comp}} - \left[\frac{0,054 \cdot \exp (0,087 \cdot \text{anos}) + 0,003 \cdot \text{anos} + 0,053}{2} + 0,01085 \right] \cdot C_{manenciao} \cdot \text{Inflacao}^{N^{AC}} - Q_{ACS,uz} \cdot \left[\frac{0,054 \cdot \exp (0,087 \cdot \text{anos}) + 0,003 \cdot \text{anos} + 0,053}{2} + 0,01085 \right] - E \cdot C_{manut,ger} \cdot \text{Inflacao}^{N^{AC}}$$

$$Pp_{a,el,gel,zol} = \text{TableValue} [\text{'PayBack'}; \text{anos}; 'C_{a,el,gel,zol}'] - C_{a,el,gel,zol}$$

Evolução dos custos com AC adsorção - sem venda/armazenamento de energia elétrica

$$C_{a,el,gel,ger} = \text{TableValue} [\text{'PayBack S-Arm'}; \text{anos}_{ger}; 'C_{a,el,gel,ger}'] + E_{ger} \cdot C_{gas,ele} \cdot \text{Inflacao}^{N^{AC,ger}} - E_{cons,AC} \cdot C_{gas,ele} \cdot \text{Inflacao}^{N^{AC,ger}} - Q_{ACS,ger} \cdot C_{gas,ACS,ger} \cdot \text{Inflacao}^{N^{AC,ger}}$$

$$Pp_{a,el,gel,ger} = \text{TableValue} [\text{'PayBack S-Arm'}; \text{anos}_{ger}; 'C_{a,el,gel,ger}'] - C_{a,el,gel,ger}$$

$$C_{a,el,ydel,ger} = \text{TableValue} [\text{'PayBack S-Arm'}; \text{anos}_{ger}; 'C_{a,el,ydel,ger}'] + E_{ger} \cdot C_{ele,ydel} \cdot \text{Inflacao}^{N^{AC,ger}} - E_{cons,AC} \cdot C_{ele,ydel} \cdot \text{Inflacao}^{N^{AC,ger}} - Q_{ACS} \cdot C_{gas,ACS} \cdot \text{Inflacao}^{N^{AC,ger}} + C_{manenciao} \cdot \text{Inflacao}^{N^{AC,ger}}$$

$$Pp_{a,el,ydel,ger} = \text{TableValue} [\text{'PayBack S-Arm'}; \text{anos}_{ger}; 'C_{a,el,ydel,ger}'] - C_{a,el,ydel,ger}$$

$$C_{a,el,gel,ger} = \text{TableValue} [\text{'PayBack S-Arm'}; \text{anos}_{ger}; 'C_{a,el,gel,ger}'] + E_{ger}$$

$$\cdot \left[\frac{0,054 \cdot \exp (0,087 \cdot \text{anos}) + 0,003 \cdot \text{anos} + 0,053}{2} + 0,01085 \right] - E_{cons,AC} \cdot \left[\frac{0,054 \cdot \exp (0,087 \cdot \text{anos}) + 0,003 \cdot \text{anos} + 0,053}{2} + 0,01085 \right] - Q_{ACS} \cdot C_{gas,ACS} \cdot \text{Inflacao}^{N^{AC,ger}}$$

$$+ C_{manenciao} \cdot \text{Inflacao}^{N^{AC,ger}} - E \cdot C_{manut,ger} \cdot \text{Inflacao}^{N^{AC,ger}}$$

$$Pp_{a,el,gel,ger} = \text{TableValue} [\text{'PayBack S-Arm'}; \text{anos}_{ger}; 'C_{a,el,gel,ger}'] - C_{a,el,gel,ger}$$

$$C_{a,el,gel,ger} = \text{TableValue} [\text{'PayBack S-Arm'}; \text{anos}_{ger}; 'C_{a,el,gel,ger}'] + E_{ger} \cdot C_{gas,ele} \cdot \text{Inflacao}^{N^{AC,ger}} - Q_{ACS,ger} \cdot C_{gas,ACS,ger} \cdot \text{Inflacao}^{N^{AC,ger}}$$

$$Pp_{ad,ger,tem} = \text{TableValue} ['\text{PayBack S-Arm}'; \text{anos}_{tem}; 'C_{ad,ger,tem}'] - C_{ad,ger,tem}$$

AQS Coletoras

$$C_{ad,del,del,tem,col} = \text{TableValue} ['\text{PayBack S-Arm}'; \text{anos}_{tem}; 'C_{ad,del,del,tem,col}'] + E_{ger} \cdot C_{elec,del} \\ - \text{Inflacao}^{NCR_{em}} - E_{cons,AC} \cdot C_{elec,del} \cdot \text{Inflacao}^{NCR_{em}} + C_{manut,del} \cdot \text{Inflacao}^{NCR_{em}} - Q_{ACS,del} \cdot C_{elec,del} \\ - \text{Inflacao}^{NCR_{em}}$$

$$Pp_{ad,del,del,tem,col} = \text{TableValue} ['\text{PayBack S-Arm}'; \text{anos}_{tem}; 'C_{ad,del,del,tem,col}'] - C_{ad,del,del,tem,col}$$

$$C_{ad,del,ger,tem,col} = \text{TableValue} ['\text{PayBack S-Arm}'; \text{anos}_{tem}; 'C_{ad,del,ger,tem,col}'] + E_{ger}$$

$$\cdot \left[\frac{0,054 \cdot \exp(0,087 \cdot \text{anos}) + 0,003 \cdot \text{anos} + 0,053}{2} + 0,01085 \right] - E_{cons,AC} \\ \cdot \left[\frac{0,054 \cdot \exp(0,087 \cdot \text{anos}) + 0,003 \cdot \text{anos} + 0,053}{2} + 0,01085 \right] + C_{manut,del} \cdot \text{Inflacao}^{NCR_{em}} \\ - Q_{ACS,del} \cdot \left[\frac{0,054 \cdot \exp(0,087 \cdot \text{anos}) + 0,003 \cdot \text{anos} + 0,053}{2} + 0,01085 \right] - E \cdot C_{manut,ger} \cdot \text{Inflacao}^{NCR_{em}}$$

$$Pp_{ad,del,ger,tem,col} = \text{TableValue} ['\text{PayBack S-Arm}'; \text{anos}_{tem}; 'C_{ad,del,ger,tem,col}'] - C_{ad,del,ger,tem,col}$$

Evolução dos custos com AC compressão - sem venda/armazenamento de energia elétrica

$$C_{at,del,ger,tem} = \text{TableValue} ['\text{PayBack S-Arm}'; \text{anos}_{tem}; 'C_{at,del,ger,tem}'] + E_{ger,AC} \cdot C_{gas,atc} \cdot \text{Inflacao}^{NCR_{em}} \\ - E_{cons,AC} \cdot C_{gas,atc} \cdot \text{Inflacao}^{NCR_{em}} - Q_{ACS,tem} \cdot C_{gas,ACS,tem} \cdot \text{Inflacao}^{NCR_{em}}$$

$$Pp_{at,del,ger,tem} = \text{TableValue} ['\text{PayBack S-Arm}'; \text{anos}_{tem}; 'C_{at,del,ger,tem}'] - C_{at,del,ger,tem}$$

$$C_{at,del,del,tem} = \text{TableValue} ['\text{PayBack S-Arm}'; \text{anos}_{tem}; 'C_{at,del,del,tem}'] + E_{ger,AC} \cdot C_{elec,del} \\ - \text{Inflacao}^{NCR_{em}} - E_{cons,AC} \cdot C_{elec,del} \cdot \text{Inflacao}^{NCR_{em}} - Q_{ACS} \cdot C_{gas,ACS} \cdot \text{Inflacao}^{NCR_{em}} + C_{manut,del} \\ - \text{Inflacao}^{NCR_{em}}$$

$$Pp_{at,del,del,tem} = \text{TableValue} ['\text{PayBack S-Arm}'; \text{anos}_{tem}; 'C_{at,del,del,tem}'] - C_{at,del,del,tem}$$

$$C_{at,del,ger,tem} = \text{TableValue} ['\text{PayBack S-Arm}'; \text{anos}_{tem}; 'C_{at,del,ger,tem}'] + E_{ger,AC}$$

$$\cdot \left[\frac{0,054 \cdot \exp(0,087 \cdot \text{anos}) + 0,003 \cdot \text{anos} + 0,053}{2} + 0,01085 \right] - E_{cons,AC} \\ \cdot \left[\frac{0,054 \cdot \exp(0,087 \cdot \text{anos}) + 0,003 \cdot \text{anos} + 0,053}{2} + 0,01085 \right] - Q_{ACS} \cdot C_{gas,ACS} \cdot \text{Inflacao}^{NCR_{em}} \\ + C_{manut,del} \cdot \text{Inflacao}^{NCR_{em}} - E \cdot C_{manut,ger} \cdot \text{Inflacao}^{NCR_{em}}$$

$$Pp_{at,del,ger,tem} = \text{TableValue} ['\text{PayBack S-Arm}'; \text{anos}_{tem}; 'C_{at,del,ger,tem}'] - C_{at,del,ger,tem}$$

AQS Coletoras

$$C_{at,del,del,tem,col} = \text{TableValue} ['\text{PayBack S-Arm}'; \text{anos}_{tem}; 'C_{at,del,del,tem,col}'] + E_{ger,AC} \cdot C_{elec,del}$$

$$- \text{Inflacao}^{\text{NCR}} \cdot E_{\text{cons,AC}} \cdot C_{\text{elecc,del}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NCR}} + C_{\text{manut,del}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NCR}} - Q_{\text{ACS,del}} \cdot C_{\text{elecc,del}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NCR}}$$

$$P_{p_{\text{el,pdel,pdel,pemzol}}} = \text{TableValue} [\text{'PayBack S-Arm'}; \text{anos}_{\text{em}}; 'C_{\text{el,pdel,pdel,pemzol}}'] - C_{\text{el,pdel,pdel,pemzol}}$$

$$C_{\text{el,pel,pel,pemzol}} = \text{TableValue} [\text{'PayBack S-Arm'}; \text{anos}_{\text{em}}; 'C_{\text{el,pel,pel,pemzol}}'] + E_{\text{gr,AC}}$$

$$\begin{aligned} & \cdot \left[\frac{0,054 \cdot \exp(0,087 \cdot \text{anos}) + 0,003 \cdot \text{anos} + 0,053}{2} + 0,01085 \right] - E_{\text{cons,AC}} \\ & \cdot \left[\frac{0,054 \cdot \exp(0,087 \cdot \text{anos}) + 0,003 \cdot \text{anos} + 0,053}{2} + 0,01085 \right] + C_{\text{manut,del}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NCR}} \\ & - Q_{\text{ACS,del}} \cdot \left[\frac{0,054 \cdot \exp(0,087 \cdot \text{anos}) + 0,003 \cdot \text{anos} + 0,053}{2} + 0,01085 \right] - E \cdot C_{\text{manut,gr}} \cdot \text{Inflacao}^{\text{NCR}} \end{aligned}$$

$$P_{p_{\text{el,pel,pel,pemzol}}} = \text{TableValue} [\text{'PayBack S-Arm'}; \text{anos}_{\text{em}}; 'C_{\text{el,pel,pel,pemzol}}'] - C_{\text{el,pel,pel,pemzol}}$$

Custos da energia final

$$C_{\text{pdel}} = \frac{\text{Praco}_1}{\text{PCI}_{\text{wh,t}} \cdot \eta_{\text{el}}}$$

$$C_{\text{pel}} = \frac{\text{Praco}_1}{\text{PCI}_{\text{wh,t}}}$$

$$\text{PCI}_{\text{pdel}} = \frac{42,3 + 43,3}{2} \text{ [MJ/kg]}$$

$$P_{\text{pdel}} = \frac{820 + 845}{2 \cdot 1000}$$

$$\text{PCI}_{\text{wh,t}} = \text{PCI}_{\text{pdel}} \cdot \frac{P_{\text{pdel}}}{3,6}$$

$$\text{Praco}_1 = \left[\frac{50 + 55}{2} + \frac{10 + 15}{2} \right] \cdot \text{convert}_{\text{gr,pel}}$$

$$C_{\text{pel}} = \frac{\left[\frac{800 + 1000}{2} \right] \cdot \text{convert}_{\text{gr,pel}}}{\text{PCI}_{\text{gas}}}$$

$$\text{PCI}_{\text{gas}} = 12,7 \text{ [kWh/kg]}$$

$$C_{\text{pdel,del}} = \frac{C_{\text{pdel}}}{\eta_{\text{el,pel}}}$$

$$C_{\text{pel,del}} = \frac{C_{\text{pel}}}{\eta_{\text{em,pel}}}$$

$$\eta_{\text{el,pel}} = 0,2449$$

$$\eta_{\text{em,pel}} = 0,7165$$

$$C_{\text{gas,ACG}} = \frac{C_{\text{gas}}}{\eta_{\text{cald}} \cdot \eta_{\text{term,gs}}}$$

$$C_{\text{gas,ACG}} = \frac{C_{\text{gas}}}{\eta_{\text{cald}}}$$

$$\eta_{\text{cald}} = 0,9$$

$$C_{\text{elec,pel}} = 3,35 \cdot \text{convert}_{\text{g,el}}$$