



Orientador: Arnaldo Cesar da Silva Walter
Professor Assistente Doutor
DE/FEM/UNICAMP
Unidade de execução: Departamento de Energia – DE, da Faculdade de
Engenharia Mecânica – FEM, Universidade Estadual de Campinas –
UNICAMP.

Miguel Ballesteró Pérez

OBJETIVOS

O trabalho proposto visa a introdução de uma nova turbina no programa de simulação GTS. Para isso é necessário conhecer o funcionamento do programa e também como os diferentes parâmetros afetam o comportamento das turbinas.

ANDAMENTO DO PROJECTO

1º Abordagem do software de simulação GTS:

Nesta parte se estudou sobre as principais funções do programa assim como a biblioteca de turbinas que já estão nele. Fez-se um estudo das turbinas trabalhando nas condições de referência (ISO), 15 °C e uma atmosfera de pressão, para saber que diferentes modelos tem na biblioteca e assim poder avaliar qual modelo de turbina que o programa mais necessita.

2º Estudo do comportamento das turbinas.

Fez-se um estudo do comportamento das diferentes turbinas e como os diferentes parâmetros afetam o desempenho.

3º Validação dos modelos testados.

Aqui foi feito uma comparação dos resultados do software GTS com os resultados do software comercial GATECYCLE. Também fez-se um estudo dos erros para saber qual é um erro aceitável para a introdução de uma nova turbina.

4º Calibração dos parâmetros de uma turbina existente

Nesta parte fez-se uma ajustagem dos parâmetros de uma turbina para melhorar a resposta desta. Tentando minimizar os erros de tal modo que os gráficos obtidos com o software 'GTS sejam mais semelhantes os obtidos com o programa GateCycle.

5º Criação de uma turbina a partir do zero

Como um preludio a introdução do novas turbinas na biblioteca, fez-se uma cópia de uma das turbinas já cadastradas. O objetivo é a criação de uma turbina com distintos parâmetros mais com uma resposta bem parecida a original e também ter os parâmetros classificados de acordo com como eles afetam o comportamento da turbina.

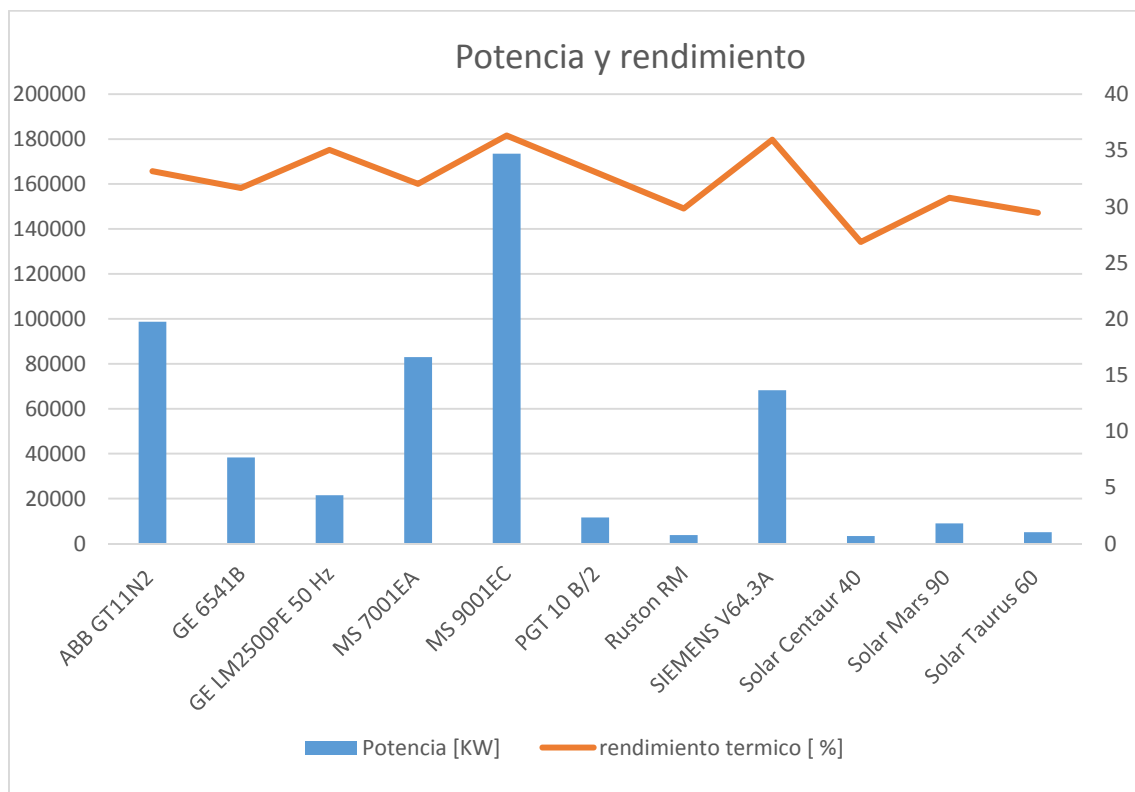
6º Introdução de uma nova turbina no programa de simulação GTS.

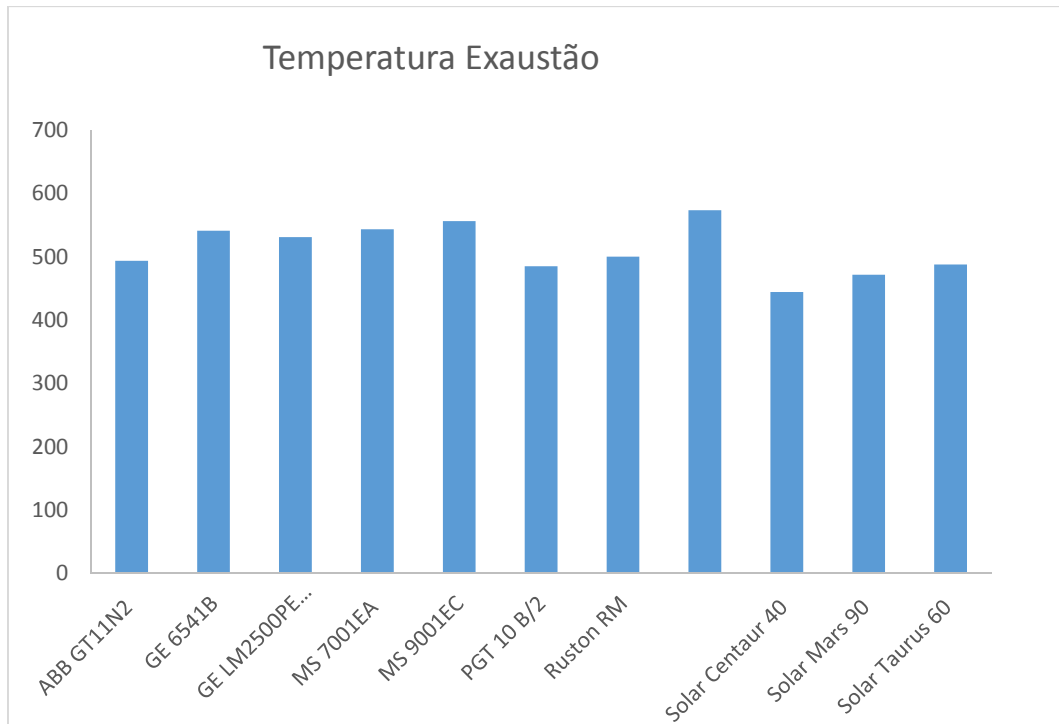
No último passo do trabalho se quer ampliar a biblioteca do software com a introdução de uma nova turbina. Este é o apartado onde se tem que aplicar todos os conhecimentos adquiridos nos apartados prévios.

ABORDAGEM DO SOFTWARE DE SIMULAÇÃO GTS

Para ter um primer contato com o software GTS fez-se um estudo das diferentes turbinas trabalhando nas condições de referência ISO (1atm, 15 °C e umidade relativa 60%). Mostra-se uns gráficos da potência e rendimento de cada uma e um gráfico do rendimento em função da temperatura da saída.

	Potencia [KW]	rendimiento termico [%]	T ex [°C]
ABB GT11N2 (1997)	98701,79	33,14	493,47
GE 6541B	38318,94	31,65	540,87
GE LM2500PE 50 Hz	21528,54	35,04	530,98
MS 7001EA (1987)	82952,31	32,02	543,21
MS 9001EC	173485,83	36,31	556,07
PGT 10 B/2	11623,92	33,07	484,76
Ruston RM	3787,06	29,82	500,02
SIEMENS V64.3A (1995)	68227,93	35,94	573,28
Solar Centaur 40 (1997)	3372,49	26,84	444,2
Solar Mars 90 (1995)	8985,98	30,77	471,42
Solar Taurus 60 (1997)	5027,65	29,43	487,77





ESTUDO DO COMPORTAMENTO DAS TURBINAS

Fez-se um estudo dos principais valores de saída como diferentes valores de distintos parâmetros.

Toda vez que uma máquina realiza um trabalho, parte de sua energia total é dissipada, seja por motivos de falha ou até mesmo devido ao atrito. Essa energia dissipada não é perdida, ela é transformada em outros tipos de energia (Lei de Lavoisier). Assim define-se o rendimento de uma máquina como a fração da energia que é aproveitada pela máquina.

Nas máquinas que trabalham de forma contínua a energia que é consumida depende do tempo de operação. Então o rendimento fez-se como a fração das potências.

Onde:

η é o rendimento da máquina
Eutil é a energia utilizada pela máquina
Etotal é a energia total recebida pela máquina
Putil é a potência utilizada pela máquina
Ptotal é a potência total recebida pela máquina.

Por se tratar de um quociente de grandezas de mesma unidade, rendimento é uma grandeza adimensional, ou seja, ele não possui unidade. Rendimento é sempre menor que um e maior que zero ($0 < \eta < 1$). Nas tabelas o rendimento é expresso em porcentagem.

Nas turbinas de gás a potência total recebida se calcula como o fluxo de combustível per segundo pôr o PCI (poder calorífico inferior) do combustível.

O Poder Calorífico é a quantidade de energia por unidade de massa liberada na oxidação de um determinado combustível. Existem duas formas de considerar o poder calorífico: Poder Calorífico Superior (PCS) e Poder Calorífico Inferior (PCI).

O PCS é dado pela soma da energia liberada na forma de calor e a energia gasta na vaporização da água que se forma numa reação de oxidação.

O PCI é dado apenas pelo primeiro termo, isto é, a energia liberada na forma de calor.

Para os cálculos das turbinas é utilizado o PCI porque a energia da vaporização da água não é aproveitável pela turbina.

Estudo em função da temperatura do aire na entrada

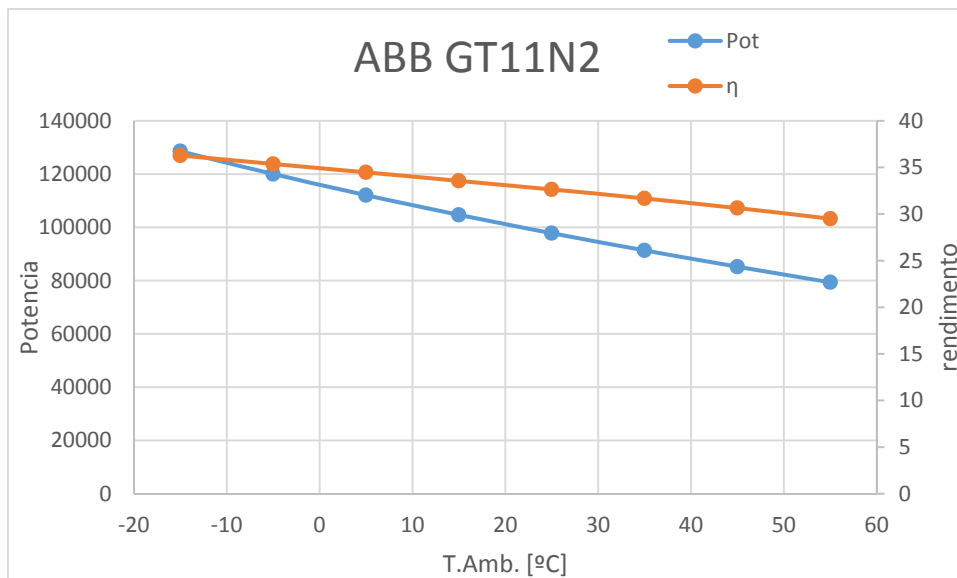
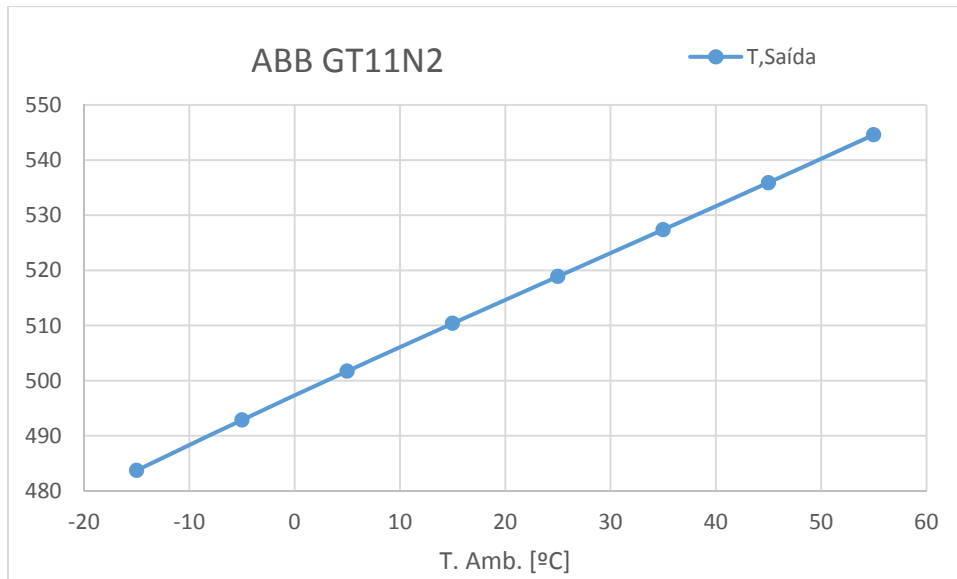
Neste estudo se tomam os seguintes valores: Pressão: 1 atm; T. Combustão: 1200°C;
Umidade: 0,6; Combustível: metano.

As temperaturas máximas das turbinas são diferentes e, em alguns casos, 1200 pode estar acima do que é possível. Mas neste ponto quer-se compreender como os diferentes parâmetros das turbinas cambiam a os dados da saída e para isso é interessante comparar como se comportam as distintas turbinas cadastradas no programa num mesmo ponto de operação, embora não seja um ponto de operação real.

Nos seguintes estudos se tem o mesmo problema e tem a mesma explicação.

	T,Amb [°C]	-15	-5	5	15	25	35	45	55
ABB GT11N2 (1997)	T,ex [°C]	483,74	492,87	501,73	510,39	518,91	527,37	535,89	544,6
	Pot [kW]	128568,86	120000,24	112065,47	104691	97804,38	91334,69	85212	79369,56
	η [%]	36,28	35,37	34,47	33,56	32,64	31,67	30,64	29,5
GE 6541B	T,ex [°C]	561,93	570,1	578,02	585,74	593,31	600,81	608,3	615,92
	Pot [kW]	53257,57	49746,12	46512,05	43521,24	40742,53	38145,89	35701,63	33382,54
	η [%]	34,72	33,94	33,17	32,4	31,62	30,81	29,94	28,99
GE LM2500PE 50 Hz	T,ex [°C]	491,32	499,35	507,14	514,76	522,26	529,72	537,23	544,95
	Pot [kW]	26124,46	24227,39	22481,19	20865,94	19363,6	17956,14	16625	15352,47
	η [%]	37,98	37,04	36,11	35,17	34,2	33,18	32,08	30,85
MS 7001EA (1987)	T,ex [°C]	553,76	561,06	568,11	574,96	581,68	588,32	594,98	601,8
	Pot [kW]	108459,27	102274,99	96499,52	91080,79	85969,32	81115	76463,25	71961,41
	η [%]	34,8	34,07	33,34	32,6	31,84	31,05	30,19	29,24
MS 9001EC	T,ex [°C]	489,67	498,53	507,14	515,56	523,87	532,12	540,43	548,95
	Pot [kW]	189335,93	176368,06	164424,13	153385,47	143138,43	133575,26	124590,43	116091,62
	η [%]	38,18	37,29	36,4	35,52	34,62	33,68	32,68	31,58
PGT 10 B/2	T,ex [°C]	482,02	491,05	499,84	508,44	516,92	525,36	533,88	542,63
	Pot [kW]	15861,92	14731,72	13689,92	12726,14	11830,62	10993,59	10205,91	9458,9
	η [%]	36,77	35,8	34,84	33,86	32,87	31,84	30,74	29,53
Ruston RM	T,ex [°C]	520,6	531,51	542,25	552,88	563,47	574,07	584,8	595,79
	Pot [kW]	6049,84	5502,83	5008,97	4561,81	4155,52	3784,83	3445,03	3131,98
	η [%]	34,28	33,26	32,26	31,26	30,25	29,22	28,14	26,98

Mostra-se uns dos gráficos feitos a partir desta tabela.

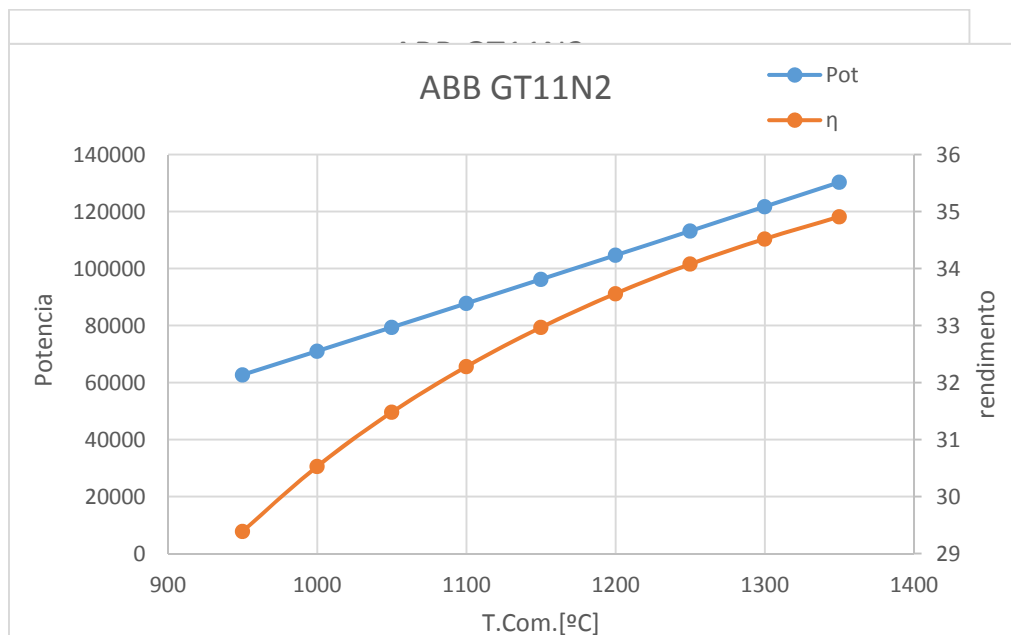


Todas as turbinas tem um comportamento parecido frente a temperatura de entrada do aire por isso no são mostrados os demais gráficos.

Estudo em função da temperatura de combustão

Neste estudo se tomam os seguintes valores: Pressão: 1 atm; T. Ambiente: 15 °C;
Umidade: 0,6; Combustível: metano.

	T,Comb [°C]	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350
ABB GT11N2 (1997)	T _{ex} [°C]	389,91	413,89	437,92	462,01	486,17	510,39	534,68	559,03	583,44
	Pot [kW]	62705,93	71027,1	79387,59	87785,83	96220,57	104691	113195,93	121734,88	130307,5
	η [%]	29,39	30,53	31,48	32,28	32,97	33,56	34,08	34,52	34,91
GE 6541B	T _{ex} [°C]	445,99	473,82	501,71	529,66	557,67	585,74	613,88	642,09	670,36
	Pot [kW]	27406,12	30602,6	33812,85	37036,3	40272,53	43521,24	46782,23	50055,3	53340,37
	η [%]	29,31	30,14	30,85	31,45	31,96	32,4	32,78	33,11	33,39
GE LM2500PE 50 Hz	T _{ex} [°C]	389,22	414,22	439,28	464,38	489,54	514,76	540,03	565,37	590,76
	Pot [kW]	11694,28	13511,14	15337,23	17171,67	19014,77	20865,94	22725,06	24591,97	26466,56
	η [%]	29,54	31,08	32,37	33,45	34,38	35,17	35,85	36,44	36,96
MS 7001EA (1987)	T _{ex} [°C]	438,94	466,03	493,17	520,37	547,64	574,96	602,36	629,81	657,34
	Pot [kW]	56530,13	63381,63	70263,48	77174,5	84113,78	91080,79	98074,72	105095,27	112142,31
	η [%]	29,2	30,11	30,9	31,55	32,12	32,6	33,02	33,38	33,7
MS 9001EC	T _{ex} [°C]	393,02	417,41	441,86	466,37	490,93	515,56	540,26	565,02	589,84
	Pot [kW]	92573,42	104624,17	116732,83	128897,33	141115,33	153385,47	165706,67	178078,07	190498,73
	η [%]	31,3	32,45	33,41	34,22	34,92	35,52	36,04	36,49	36,88
PGT 10 B/2	T _{ex} [°C]	390,45	413,93	437,47	461,07	484,72	508,44	532,22	556,06	579,97
	Pot [kW]	7303,05	8377,43	9457,12	10541,91	11631,64	12726,14	13825,34	14929,14	16037,47
	η [%]	28,5	29,95	31,17	32,21	33,1	33,86	34,53	35,12	35,63
Ruston RM	T _{ex} [°C]	424,96	450,43	475,95	501,53	527,17	552,88	578,65	604,49	630,39
	Pot [kW]	2697,98	3067,46	3438,65	3811,47	4185,87	4561,81	4939,26	5318,2	5698,61
	η [%]	26,83	28,02	29,03	29,89	30,62	31,26	31,82	32,3	32,72



Todas as turbinas tem um comportamento parecido frente a temperatura de combustão por isso no são mostrados os demais gráficos.

Estudo em função da pressão

Neste estudo se tomam os seguintes valores: T.combustão: 1200°C; T. Ambiente: 15 °C;
Umidade: 0,6; Combustível: metano.

Os valores de pressão mínimo e máximo elegidos são os da pressão no nível do mar (um pouco mais em verdade) e da pressão a 7000 m de altitude.

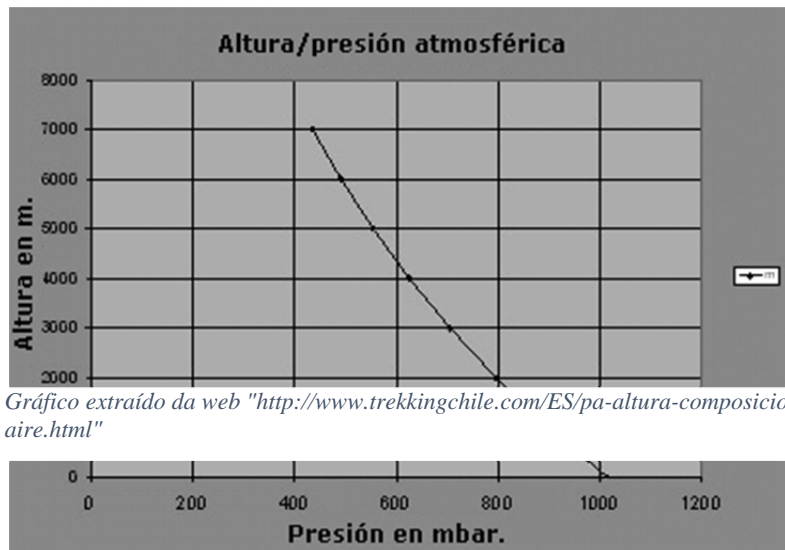
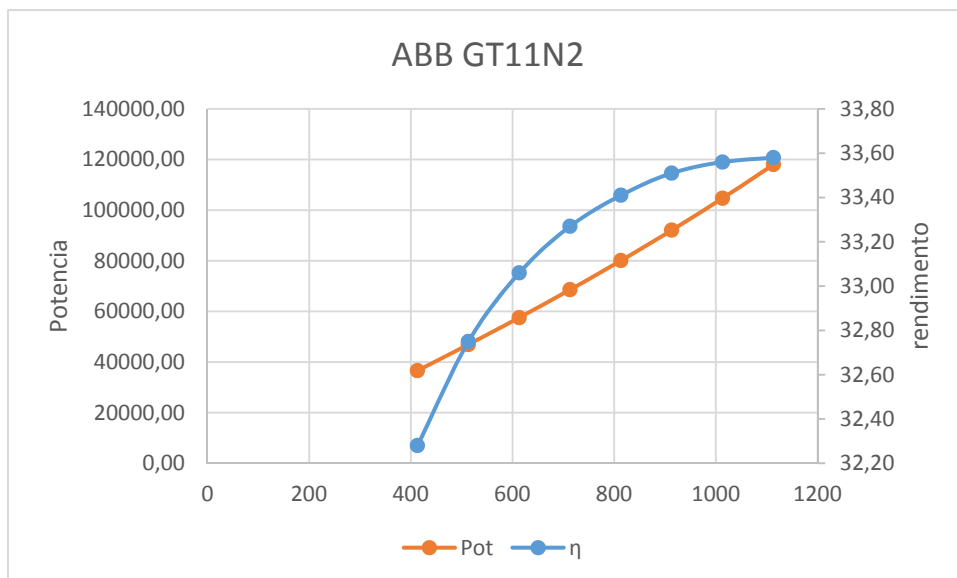
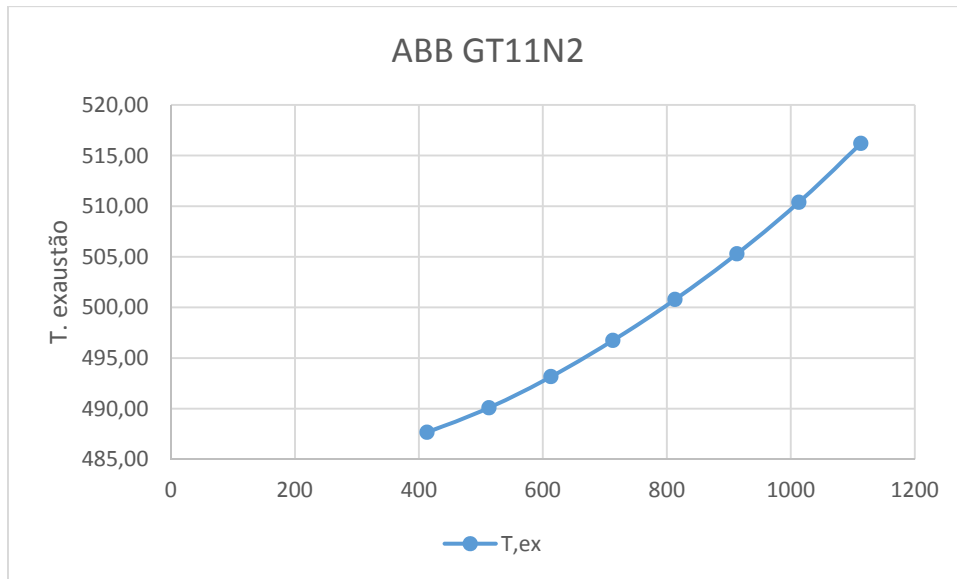


Gráfico extraído da web "<http://www.trekkingchile.com/ES/pa-altura-composicion-aire.html>"

	Presión [mB]	413,25	513,25	613,25	713,25	813,25	913,25	1013,25	1113,25
ABB GT11N2 (1997)	T _{ex} [°C]	487,66	490,08	493,16	496,74	500,78	505,30	510,39	516,20
	Pot [kW]	36608,09	46892,34	57539,12	68585,40	80077,93	92083,10	104691,00	118041,76
	η [%]	32,28	32,75	33,06	33,27	33,41	33,51	33,56	33,58
GE 6541B	T _{ex} [°C]	501,63	509,43	518,87	530,03	543,46	560,47	585,74	623,20
	Pot [kW]	12732,25	16666,09	20907,02	25518,80	30609,12	36391,49	43521,24	52733,32
	η [%]	31,36	31,91	32,26	32,48	32,58	32,58	32,40	31,91
GE LM2500PE 50 Hz	T _{ex} [°C]	422,96	432,70	443,47	455,62	469,82	487,59	514,76	543,87
	Pot [kW]	5311,21	7054,05	9008,49	11219,02	13761,29	16792,88	20865,94	25528,77
	η [%]	34,42	34,93	35,28	35,52	35,63	35,57	35,17	34,41
MS 7001EA (1987)	T _{ex} [°C]	468,12	478,79	491,05	505,21	522,00	543,19	574,96	618,57
	Pot [kW]	24711,51	32533,51	41176,31	50811,49	61731,77	74530,72	91080,79	112357,34
	η [%]	32,02	32,42	32,69	32,85	32,92	32,92	32,60	31,97
MS 9001EC	T _{ex} [°C]	399,1	411,66	425,55	441,24	459,57	482,33	515,56	564,12
	Pot [kW]	33643,03	46456,56	61101,35	77964,44	97685,66	121531,23	153385,47	197464,43
	η [%]	32,2	33,56	34,51	35,16	35,57	35,74	35,52	34,58
PGT 10 B/2	T _{ex} [°C]	321,77	340,36	361,15	384,94	413,28	449,67	508,44	566,25
	Pot [kW]	908,81	1781,02	2915,25	4371,42	6252,36	8772,87	12726,14	17105,02
	η [%]	16,07	22,15	26,47	29,61	31,88	33,38	33,86	33,09
Ruston RM	T _{ex} [°C]	441,67	453,00	466,09	481,23	499,11	521,34	552,88	610,68
	Pot [kW]	1082,76	1469,54	1907,36	2406,84	2984,57	3673,08	4561,81	5949,01
	η [%]	28,49	29,45	30,15	30,67	31,04	31,26	31,26	30,66

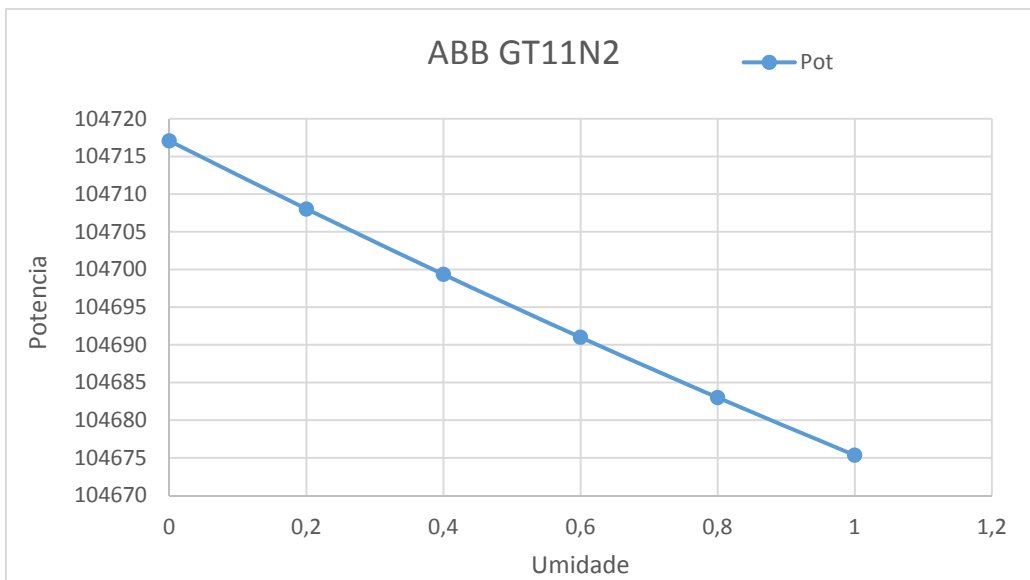
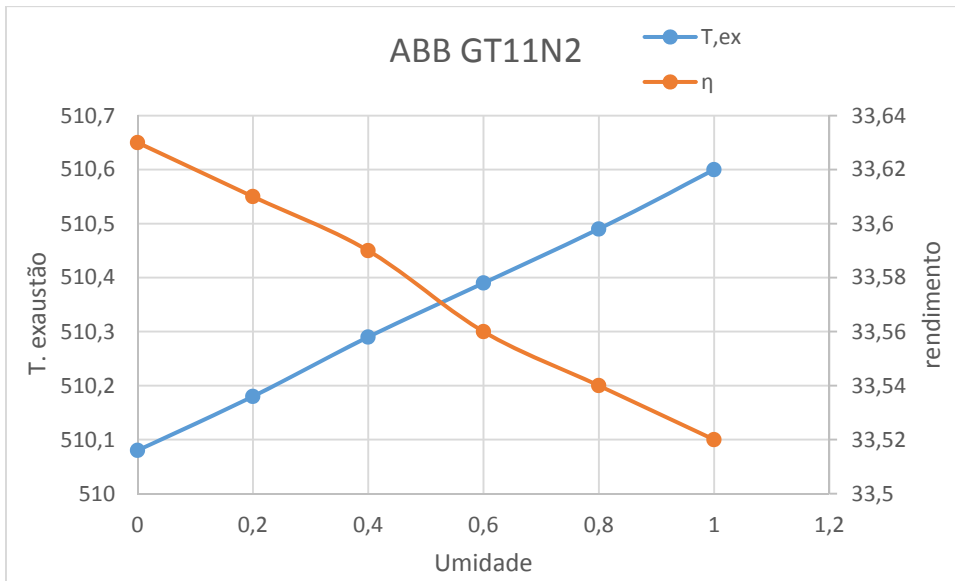


Todas as turbinas tem um comportamento parecido frente pressão por isso no são mostrados os demais gráficos.

Estudo em função da umidade

Neste estudo se tomam os seguintes valores: T.combustão: 1200°C; T. Ambiente: 15 °C;
Pressão: 1 atm; Combustível: metano.

	Umidade	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
ABB GT11N2 (1997)	T _{ex} [°C]	510,08	510,18	510,29	510,39	510,49	510,6
	Pot [kW]	104717,07	104708,02	104699,35	104691	104682,98	104675,35
	η [%]	33,63	33,61	33,59	33,56	33,54	33,52
GE 6541B	T _{ex} [°C]	585,52	585,59	585,66	585,74	585,82	585,89
	Pot [kW]	43537,13	43531,72	43526,43	43521,24	43516,19	43511,24
	η [%]	32,45	32,43	32,42	32,4	32,38	32,36
GE LM2500PE 50 Hz	T _{ex} [°C]	514,51	514,59	514,67	514,76	514,84	514,93
	Pot [kW]	20881,54	20876,29	20871,09	20865,94	20860,86	20855,83
	η [%]	35,24	35,21	35,19	35,17	35,14	35,12
MS 7001EA (1987)	T _{ex} [°C]	574,42	574,51	574,59	574,67	574,75	574,84
	Pot [kW]	90785,25	90773,65	90762,35	90751,28	90740,44	90729,87
	η [%]	32,61	32,59	32,57	32,55	32,53	32,51
MS 9001EC	T _{ex} [°C]	515,27	515,37	515,46	515,56	515,66	515,76
	Pot [kW]	153419,4	153407,59	153396,29	153385,47	153375,16	153365,38
	η [%]	35,58	35,56	35,54	35,52	35,5	35,48
PGT 10 B/2	T _{ex} [°C]	508.12	508.22	508.33	508.44	508.55	508.55
	Pot [kW]	12729.29	12728.19	12727.15	12726.14	12725.18	12725.18
	η [%]	33.93	33.91	33.89	33.86	33.84	33.84
Ruston RM	T _{ex} [°C]	552.59	552.69	552.78	552.88	552.98	553.07
	Pot [kW]	4563.71	4563.07	4562.43	4561.81	4561.20	4560.61
	η [%]	31.33	31.30	31.28	31.26	31.24	31.22



Todas as turbinas tem um comportamento parecido frente umidade por isso no são mostrados os demais gráficos

Conclusão dos estudos

A partir destes dados se tem conhecido quais parâmetros mais impactam na potência, a temperatura de exaustão e o rendimento das turbinas.

A temperatura ambiente e a temperatura da combustão tem uma grande influência sobre todos os resultados (potência, temperatura de exaustão e rendimento).

A pressão atmosférica tem uma grande influência sobre a potência mas não sobre a temperatura de exaustão ou o rendimento.

A umidade quase não tem nenhuma influência sobre o comportamento da turbina.

VALIDAÇÃO DOS MODELOS TESTADOS

Para conhecer melhor o comportamento do programa e das turbinas que são simuladas nele foi feita uma comparação dos resultados da simulação de várias turbinas e dos resultados obtidos com o software de simulação comercial *GATECYCLE*, essa comparação tem em conta os principais parâmetros de saída do programa, que são potência elétrica, eficiência e temperatura de exaustão dos gases. Também fez-se os cálculos dos erros relativos desses parâmetros. Desta forma se quer comprovar que a simulação do programa GTS está em conformidade com o software comercial, com erros menores do 3%.

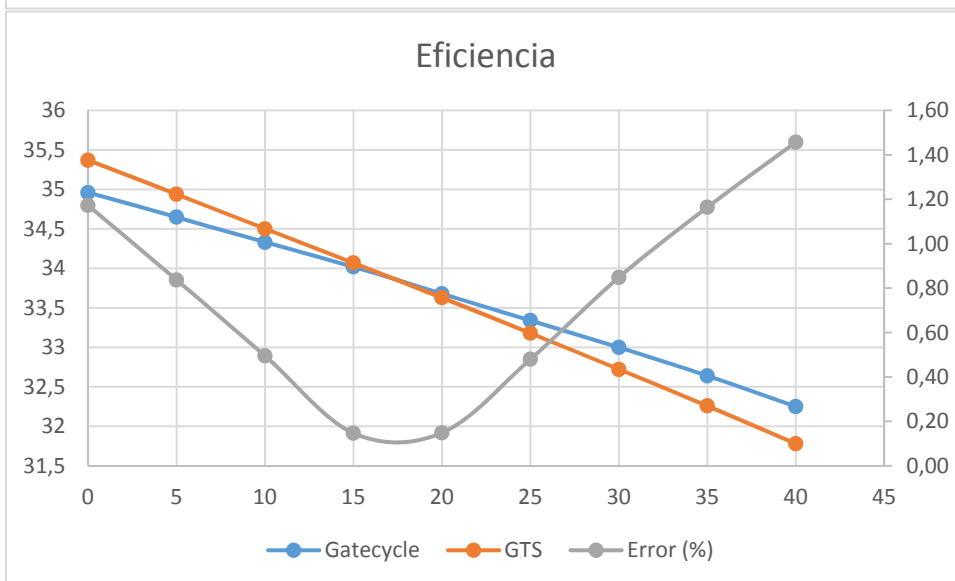
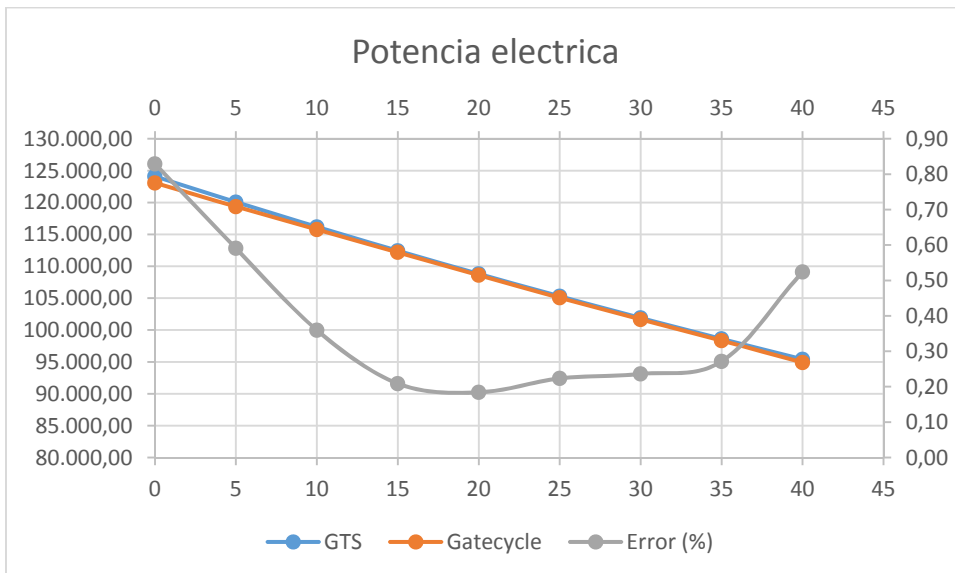
Como os ajustes dos parâmetros para a simulação foram feitos nas condições de referência ISO (1 atm, 15 °C e umidade relativa de 60%) os erros menores são os que aqueles obtidos para essa temperatura. Assim é lógico que os gráficos dos erros tenham forma de “U” em torno desse ponto, embora devido às equações de correção do programa não serão exatamente desse jeito.

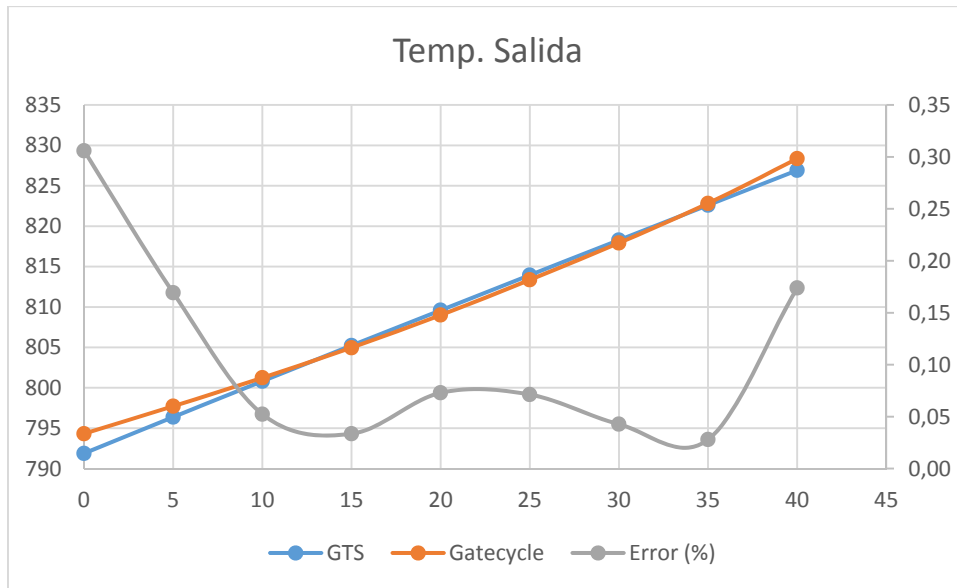
ABB GT11N2 (1997)

Parâmetros

- Fluxo mássico de ar na entrada do compressor: 366,193 kg/s
- Fator de correção para o fluxo mássico de ar: 0,1
- Máxima eficiência do compressor: 0,92
- Fator de correção da eficiência do compressor: 0,39 SEC
- Fator de correção das palhetas guia: 0,01 VFC
- Fator de correção da eficiência das palhetas guia: 0,01 VEC
- Eficiência do combustor: 0,99
- Perda de carga no combustor: 0,3 dp/p
- Eficiência isentrópica do expensor: 0,9499
- Temperatura de projeto para entrada no expensor: 1165,6 °C
- Fração do ar de resfriamento das palhetas do expensor: 0,20273
- Eficiência do gerador: 0,97
- Potência auxiliar requerida: 1110,48 kW
- Perda de carga na entrada do compressor: 6,25 mBar
- Perda de carga na saída do expensor: 13,68 mBar
- Relação de pressões no compressor: 15,02
- Temperatura de combustão: 1244,6 °C
- Eficiência mecânica: 0,97

Temp, (°C)	Potência Elétrica (kW)		Erro (%)	Eficiência (%)		Erro (%)	Temp, de saída (K)		Erro (%)
	GTS	Gatecycle		GTS	Gatecycle		GTS	Gatecycle	
0	124.100,63	123080	0,83	35,37	34,96	1,17	791,89	794,32	0,31
5	120.065,29	119360	0,59	34,94	34,65	0,84	796,38	797,73	0,17
10	116.176,32	115760	0,36	34,5	34,33	0,50	800,82	801,24	0,05
15	112.424,12	112190	0,21	34,07	34,02	0,15	805,23	804,96	0,03
20	108.799,80	108600	0,18	33,63	33,68	0,15	809,6	809,01	0,07
25	105.294,65	105060	0,22	33,18	33,34	0,48	813,94	813,36	0,07
30	101.899,98	101660	0,24	32,72	33	0,85	818,27	817,92	0,04
35	98.606,74	98340	0,27	32,26	32,64	1,16	822,59	822,82	0,03
40	95.407,26	94910	0,52	31,78	32,25	1,46	826,92	828,36	0,17





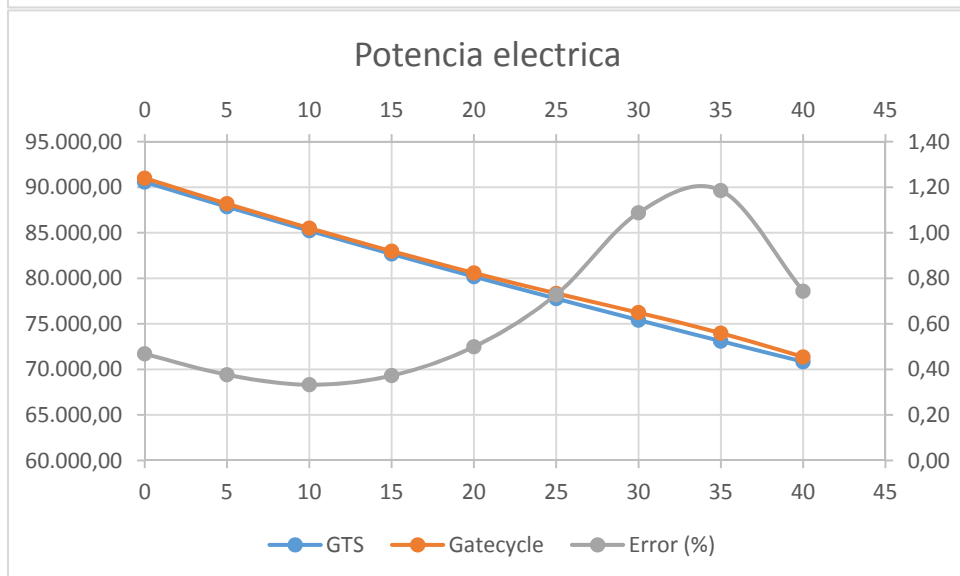
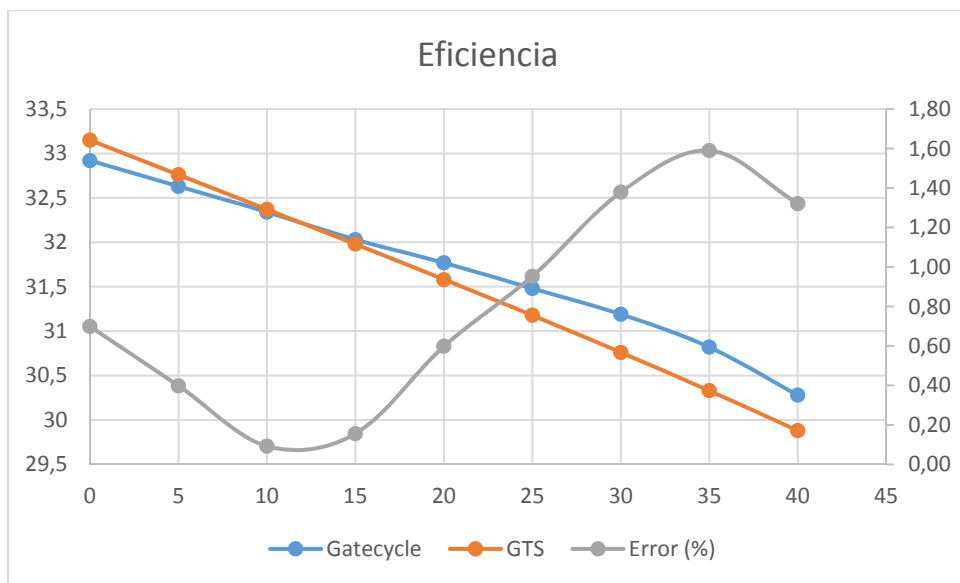
GE MS7001 (EA) (1987)

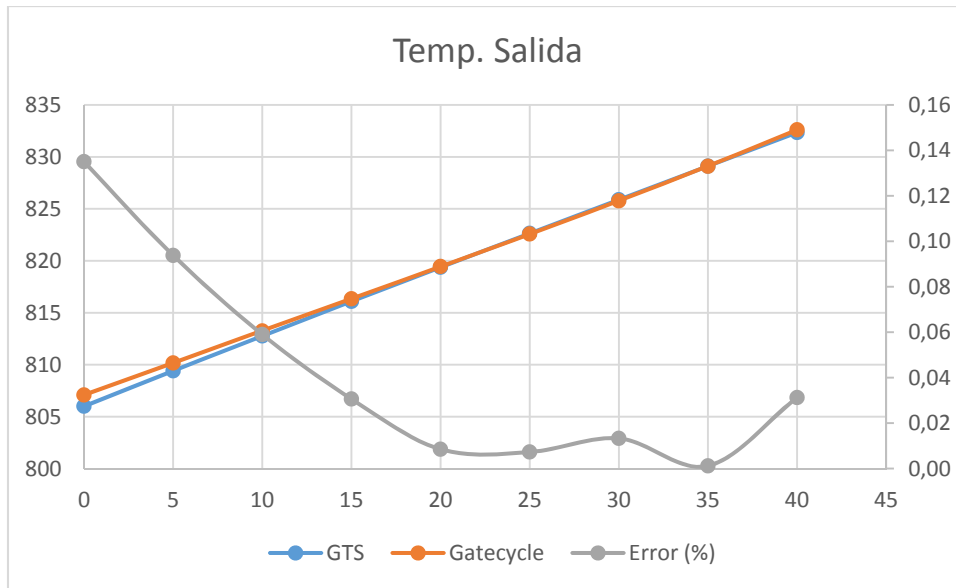
Parâmetros

- Fluxo mássico de ar na entrada do compressor: 295,47 kg/s
- Fator de correção para o fluxo mássico de ar: 0,2
- Máxima eficiência do compressor: 0,902
- Fator de correção da eficiência do compressor: 0,5 SEC
- Fator de correção das palhetas guia: 0,01 VFC
- Fator de correção da eficiência das palhetas guia: 0,01 VEC
- Eficiência do combustor: 0,99
- Perda de carga no combustor: 0,04 dp/p
- Eficiência isentrópica do expensor: 0,83573
- Temperatura de projeto para entrada no expensor: 1087,1 °C
- Fração do ar de resfriamento das palhetas do expensor: 0,13927
- Eficiência do gerador: 0,998
- Potência auxiliar requerida: 27,74 kW
- Perda de carga na entrada do compressor: 6,221 mBar
- Perda de carga na saída do expensor: 13,69 mBar
- Relação de pressões no compressor: 12,19
- Temperatura de combustão: 1141,85 °C
- Eficiência mecânica: 0,999

Temp,	Potência Elétrica	Erro (%)	Eficiência (%)	Erro (%)	Temp, de saída (K)	Erro (%)
-------	-------------------	----------	----------------	----------	--------------------	----------

°C	kW								
	GTS	Gatecycle		GTS	Gatecycle		GTS	Gatecycle	
0	90.573,96	91000	0,47	33,15	32,92	0,70	806	807,09	0,14
5	87.858,07	88190	0,38	32,76	32,63	0,40	809,41	810,17	0,09
10	85.225,54	85510	0,33	32,37	32,34	0,09	812,77	813,25	0,06
15	82.670,77	82980	0,37	31,98	32,03	0,16	816,09	816,34	0,03
20	80.187,53	80590	0,50	31,58	31,77	0,60	819,38	819,45	0,01
25	77.769,54	78340	0,73	31,18	31,48	0,95	822,64	822,58	0,01
30	75.410,47	76240	1,09	30,76	31,19	1,38	825,88	825,77	0,01
35	73.102,85	73980	1,19	30,33	30,82	1,59	829,11	829,1	0,00
40	70.839,64	71370	0,74	29,88	30,28	1,32	832,35	832,61	0,03



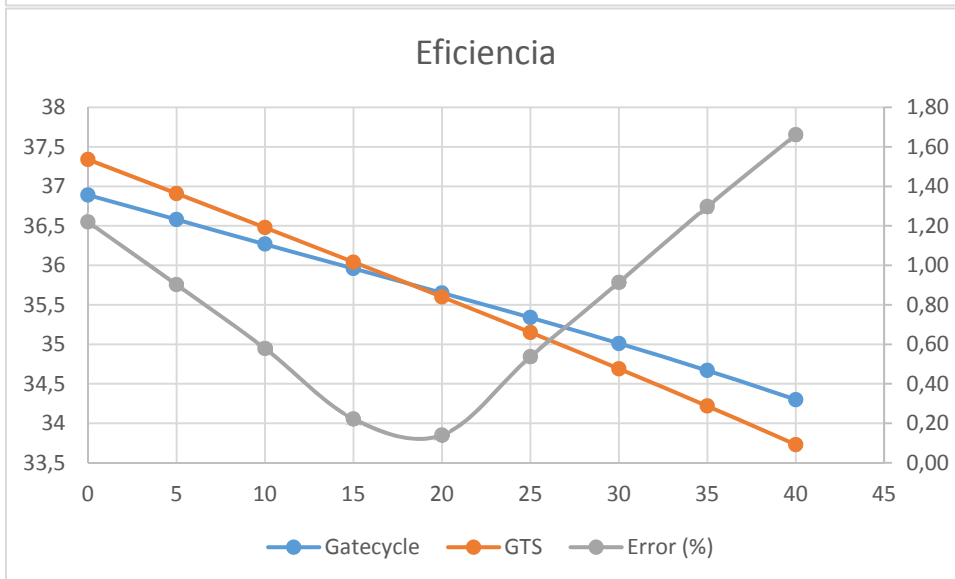
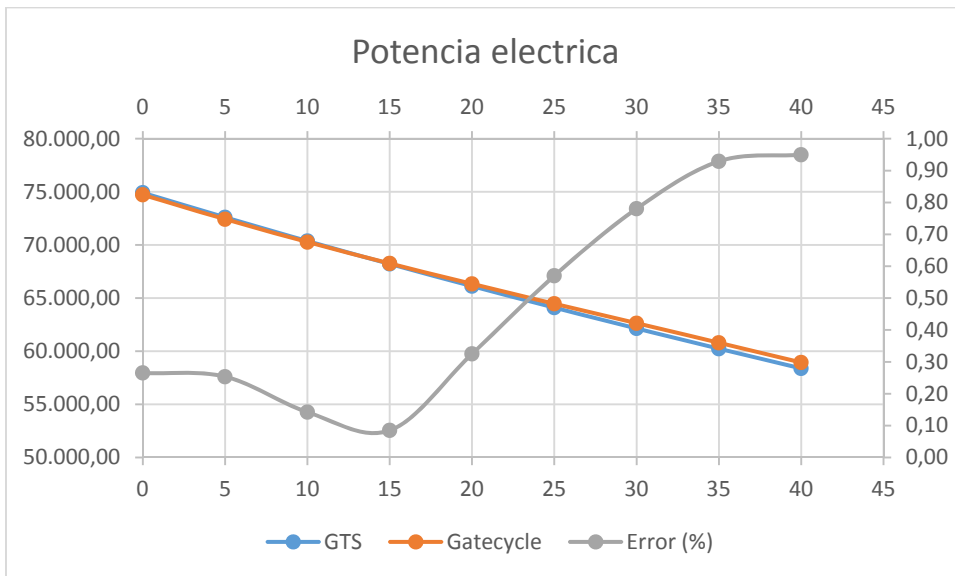


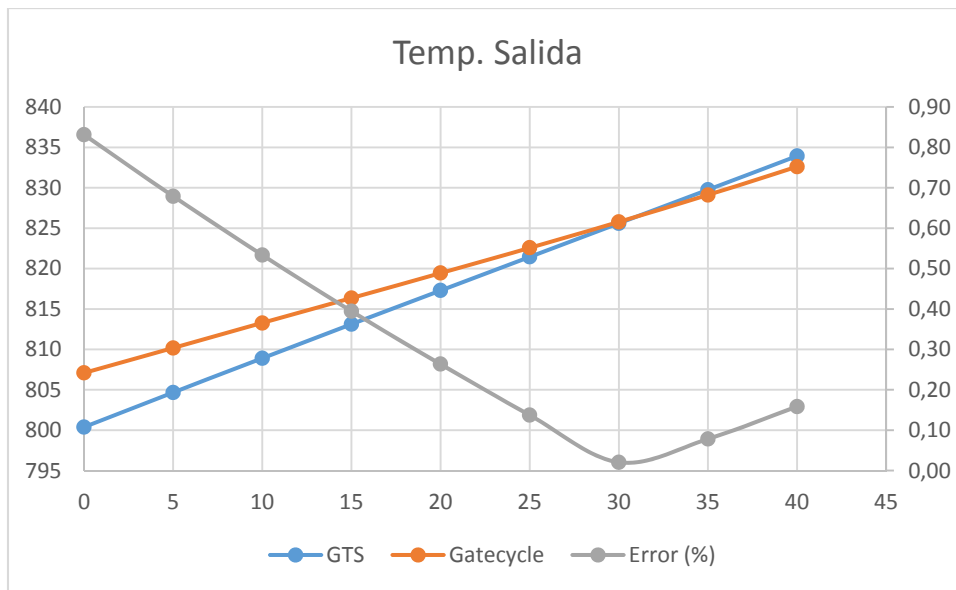
Siemens V64.3A (1995)

Parâmetros

- Fluxo mássico de ar na entrada do compressor: 188,65 kg/s
- Fator de correção para o fluxo mássico de ar: 0,1
- Máxima eficiência do compressor: 0,90
- Fator de correção da eficiência do compressor: 0,39 SEC
- Fator de correção das palhetas guia: 0,01 VFC
- Fator de correção da eficiência das palhetas guia: 0,01 VEC
- Eficiência do combustor: 0,999
- Perda de carga no combustor: 0,05 dp/p
- Eficiência isentrópica do expensor: 0,9266
- Temperatura de projeto para entrada no expensor: 1347,4 °C
- Fração do ar de resfriamento das palhetas do expensor: 0,1939
- Eficiência do gerador: 0,9585
- Potência auxiliar requerida: 110,88 kW
- Perda de carga na entrada do compressor: 6,221 mBar
- Perda de carga na saída do expensor: 13,69 mBar
- Relação de pressões no compressor: 16,63
- Temperatura de combustão: 1347,4 °C
- Eficiência mecânica: 0,9683

Temp, (°C)	Potencia Elétrica (kW)		Error (%)	Eficiencia (%)		Error (%)	Temp, de salida (K)		Error (%)
	GTS	Gatecycle		GTS	Gatecycle		GTS	Gatecycle	
0	74.918,09	74720	0,27	37,34	36,89	1,22	800,38	807,09	0,83
5	72.603,62	72420	0,25	36,91	36,58	0,90	804,67	810,17	0,68
10	70.370,09	70270	0,14	36,48	36,27	0,58	808,91	813,25	0,53
15	68.212,04	68270	0,08	36,04	35,96	0,22	813,12	816,34	0,39
20	66.124,45	66340	0,32	35,6	35,65	0,14	817,29	819,45	0,26
25	64.102,43	64470	0,57	35,15	35,34	0,54	821,45	822,58	0,14
30	62.141,05	62630	0,78	34,69	35,01	0,91	825,6	825,77	0,02
35	60.235,02	60800	0,93	34,22	34,67	1,30	829,75	829,1	0,08
40	58.380,08	58940	0,95	33,73	34,3	1,66	833,93	832,61	0,16





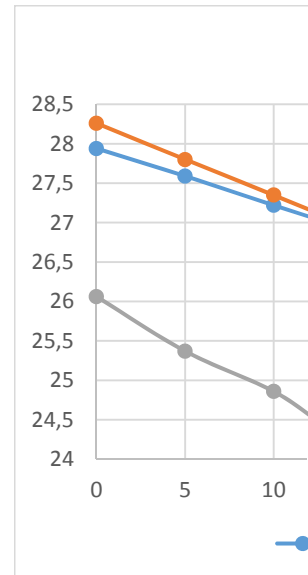
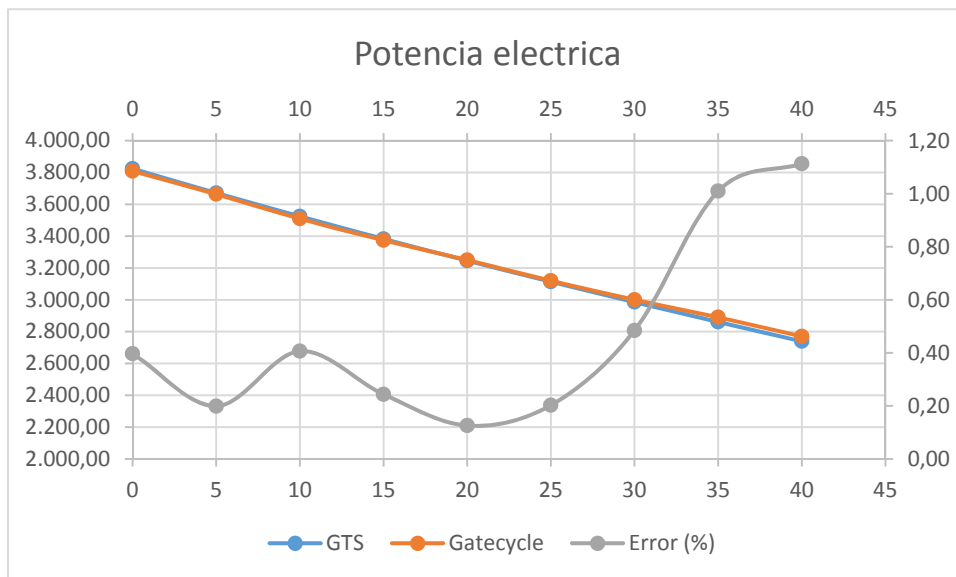
Solar Centaur 40 (1997)

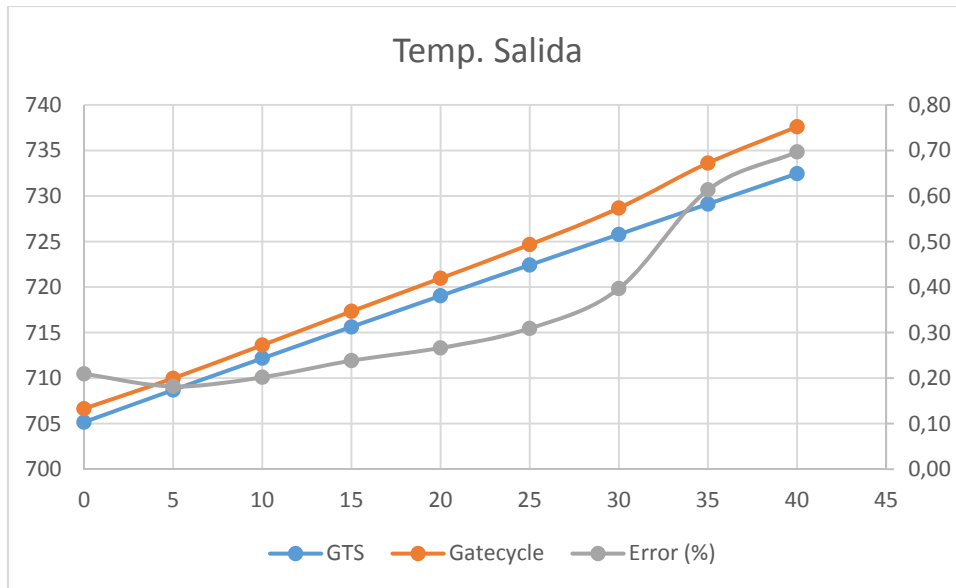
Parámetros

- Fluxo mássico de ar na entrada do compressor: 18,242 kg/s
- Fator de correção para o fluxo mássico de ar: 0,025
- Máxima eficiência do compressor: 0,9050
- Fator de correção da eficiência do compressor: 0,39 SEC
- Fator de correção das palhetas guia: 0,01 VFC
- Fator de correção da eficiência das palhetas guia: 0,01 VEC
- Eficiência do combustor: 0,99
- Perda de carga no combustor: 0,06 dp/p
- Eficiência isentrópica do expansor: 0,87705
- Temperatura de projeto para entrada no expansor: 907,34 °C
- Fração do ar de resfriamento das palhetas do expansor: 0,13
- Eficiência do gerador: 0,97
- Potência auxiliar requerida: 56,67 kW
- Perda de carga na entrada do compressor: 6,221 mBar
- Perda de carga na saída do expansor: 13,69 mBar
- Relação de pressões no compressor: 9,71
- Temperatura de combustão: 943,45 °C
- Eficiência mecânica: 0,92

Temp, (°C)	Potencia Elétrica (kW)	Error (%)	Eficiencia (%)	Error (%)	Temp, de salida (K)	Error (%)
------------	------------------------	-----------	----------------	-----------	---------------------	-----------

	GTS	Gatecycle		GTS	Gatecycle		GTS	Gatecycle	
0	3.824,11	3809	0,40	28,26	27,94	1,15	705,16	706,64	0,21
5	3.671,28	3664	0,20	27,8	27,59	0,76	708,69	709,98	0,18
10	3.524,26	3510	0,41	27,35	27,22	0,48	712,18	713,62	0,20
15	3.382,62	3374,4	0,24	26,89	26,86	0,11	715,62	717,33	0,24
20	3.245,91	3250	0,13	26,42	26,49	0,26	719,04	720,96	0,27
25	3.113,68	3120	0,20	25,95	26,13	0,69	722,42	724,66	0,31
30	2.985,47	3000	0,48	25,46	25,76	1,16	725,78	728,67	0,40
35	2.860,81	2890	1,01	24,96	25,38	1,65	729,12	733,62	0,61
40	2.739,16	2770	1,11	24,44	24,97	2,12	732,46	737,6	0,70





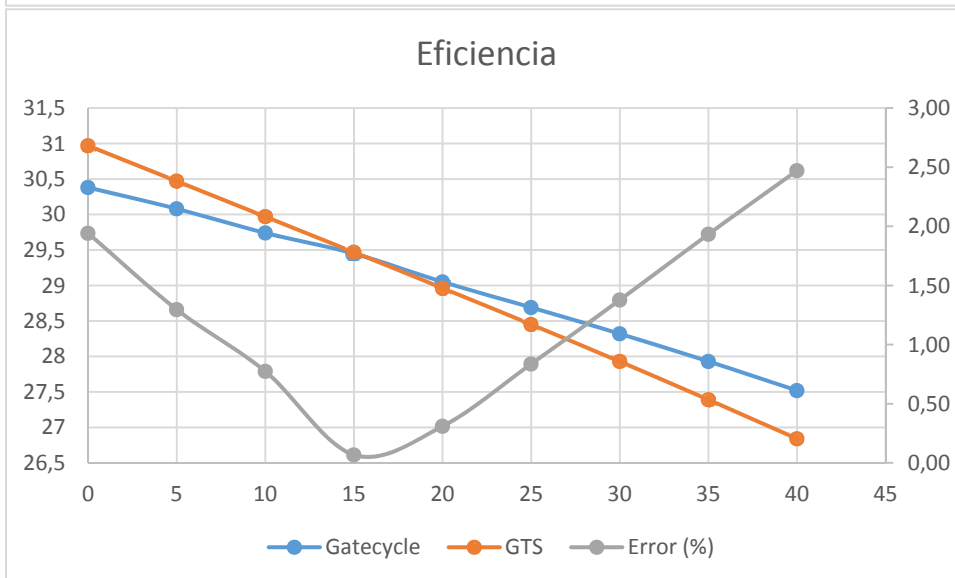
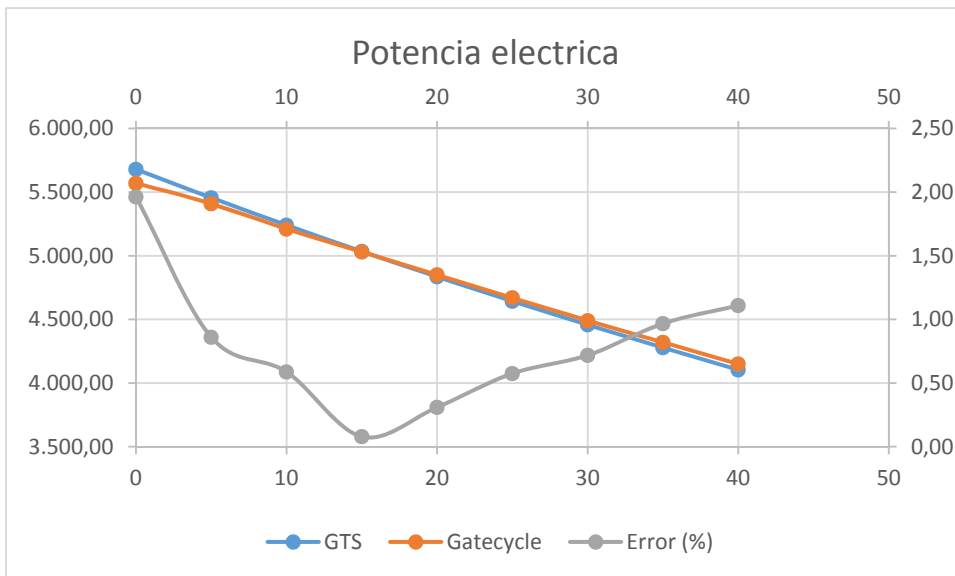
Solar Taurus 60 (1997)

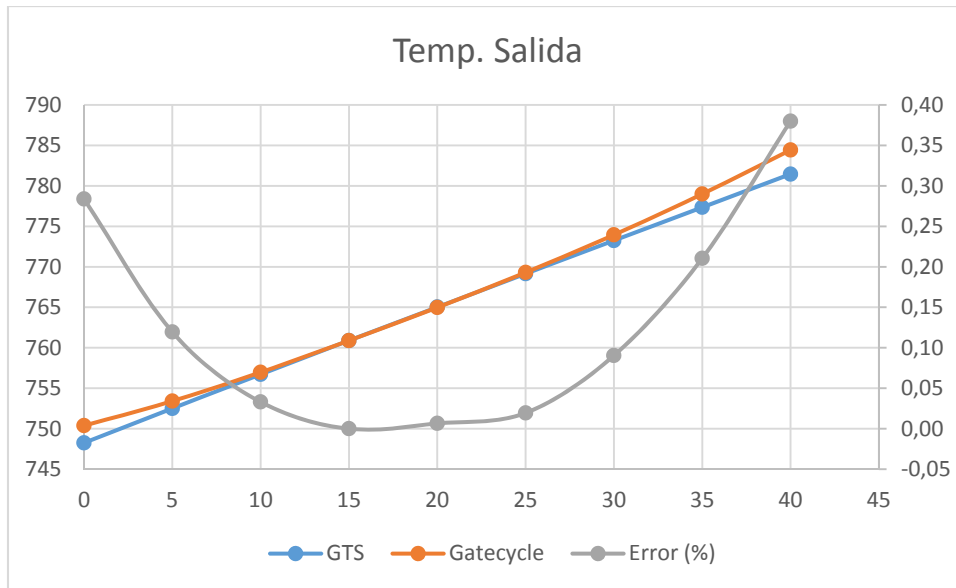
Parâmetros

- Fluxo mássico de ar na entrada do compressor: 20,885 kg/s
- Fator de correção para o fluxo mássico de ar: -0,1
- Máxima eficiência do compressor: 0,9050
- Fator de correção da eficiência do compressor: 0,39 SEC
- Fator de correção das palhetas guia: 0,01 VFC
- Fator de correção da eficiência das palhetas guia: 0,01 VEC
- Eficiência do combustor: 0,99
- Perda de carga no combustor: 0,05 dp/p
- Eficiência isentrópica do expensor: 0,9155
- Temperatura de projeto para entrada no expensor: 1037,5 °C
- Fração do ar de resfriamento das palhetas do expensor: 0,17
- Eficiência do gerador: 0,97
- Potência auxiliar requerida: 219,30 kW
- Perda de carga na entrada do compressor: 6,221 mBar
- Perda de carga na saída do expensor: 13,69 mBar
- Relação de pressões no compressor: 11,72
- Temperatura de combustão: 1090,8 °C
- Eficiência mecânica: 0,91

Temp, (°C)	Potencia Elétrica (kW)	Error (%)	Eficiencia (%)	Error (%)	Temp, de salida (K)	Error (%)
---------------	---------------------------	--------------	----------------	--------------	---------------------	--------------

	GTS	Gatecycle		GTS	Gatecycle		GTS	Gatecycle	
0	5.679,36	5.570,00	1,96	30,97	30,38	1,94	748,25	750,38	0,28
5	5.455,53	5.409,00	0,86	30,47	30,08	1,30	752,5	753,4	0,12
10	5.240,60	5.210,00	0,59	29,97	29,74	0,77	756,72	756,97	0,03
15	5.033,96	5.030,00	0,08	29,47	29,45	0,07	760,89	760,89	0,00
20	4.834,98	4.850,00	0,31	28,96	29,05	0,31	765,03	764,98	0,01
25	4.643,14	4.670,00	0,58	28,45	28,69	0,84	769,15	769,3	0,02
30	4.457,75	4.490,00	0,72	27,93	28,32	1,38	773,25	773,95	0,09
35	4.278,23	4.320,00	0,97	27,39	27,93	1,93	777,35	778,99	0,21
40	4.103,96	4.150,00	1,11	26,84	27,52	2,47	781,46	784,44	0,38





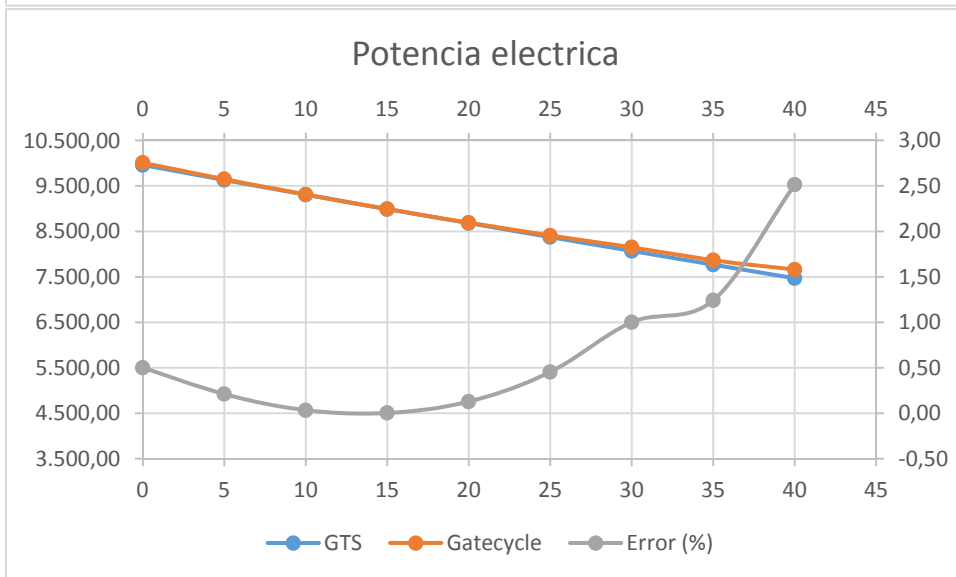
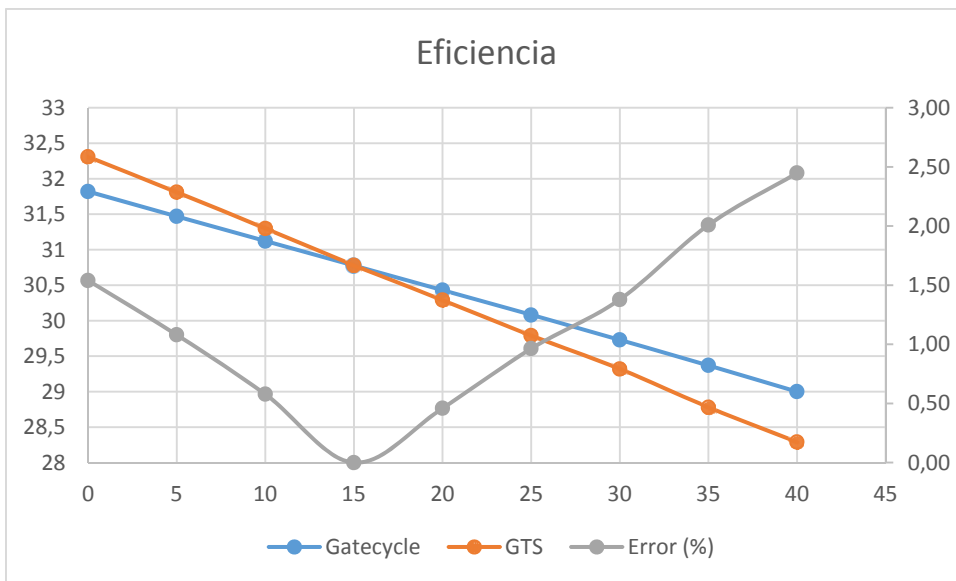
Solar Mars 90 (1995)

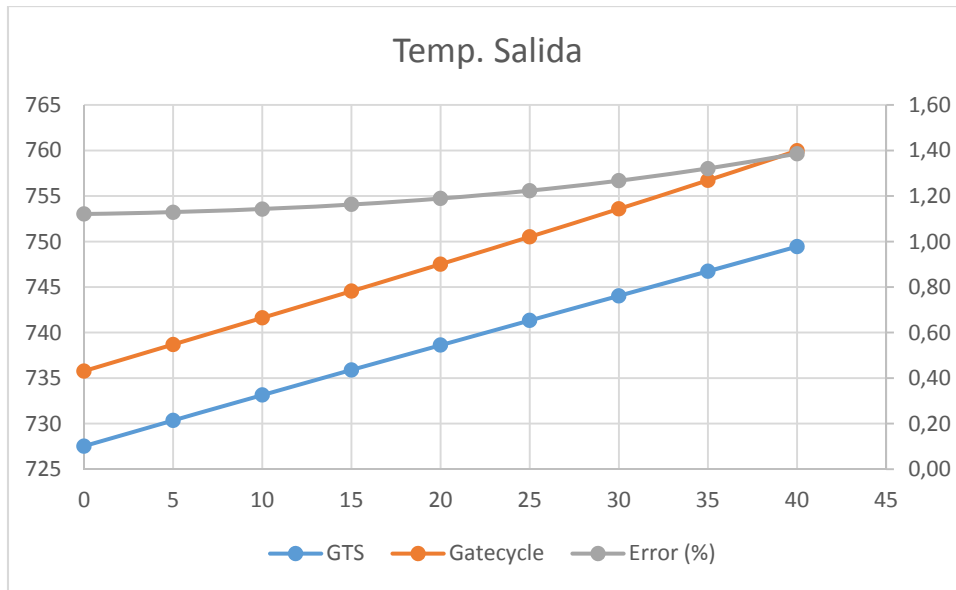
Parâmetros

- Fluxo mássico de ar na entrada do compressor: 38,355 kg/s
- Fator de correção para o fluxo mássico de ar: 0,1
- Máxima eficiência do compressor: 0,89
- Fator de correção da eficiência do compressor: 0,39 SEC
- Fator de correção das palhetas guia: 0,01 VFC
- Fator de correção da eficiência das palhetas guia: 0,01 VEC
- Eficiência do combustor: 0,98
- Perda de carga no combustor: 0,05 dp/p
- Eficiência isentrópica do expensor: 0,85489
- Temperatura de projeto para entrada no expensor: 1049,2 °C
- Fração do ar de resfriamento das palhetas do expensor: 0,14
- Eficiência do gerador: 0,96
- Potência auxiliar requerida: 37,76 kW
- Perda de carga na entrada do compressor: 6,221 mbar
- Perda de carga na saída do expensor: 13,69 mbar
- Relação de pressões no compressor: 16,22
- Temperatura de combustão: 1078,9 °C
- Eficiência mecânica: 0,98

Temp,	Potencia Elétrica	Error	Efficiencia (%)	Error	Temp, de salida (K)	Error
-------	-------------------	-------	-----------------	-------	---------------------	-------

°C	(kW)		(%)			(%)			(%)
	GTS	Gatecycle		GTS	Gatecycle		GTS	Gatecycle	
0	9.958,89	10009	0,50	32,31	31,82	1,54	727,52	735,77	1,12
5	9.629,63	9650	0,21	31,81	31,47	1,08	730,35	738,68	1,13
10	9.306,98	9310	0,03	31,3	31,12	0,58	733,14	741,61	1,14
15	8.990,33	8990	0,00	30,78	30,78	0,00	735,89	744,55	1,16
20	8678,92	8690	0,13	30,29	30,43	0,46	738,62	747,51	1,19
25	8.371,93	8410	0,45	29,79	30,08	0,96	741,33	750,51	1,22
30	8.068,45	8150	1,00	29,32	29,73	1,38	744,03	753,58	1,27
35	7.767,33	7865	1,24	28,78	29,37	2,01	746,73	756,72	1,32
40	7.467,44	7660	2,51	28,29	29	2,45	749,44	759,97	1,39

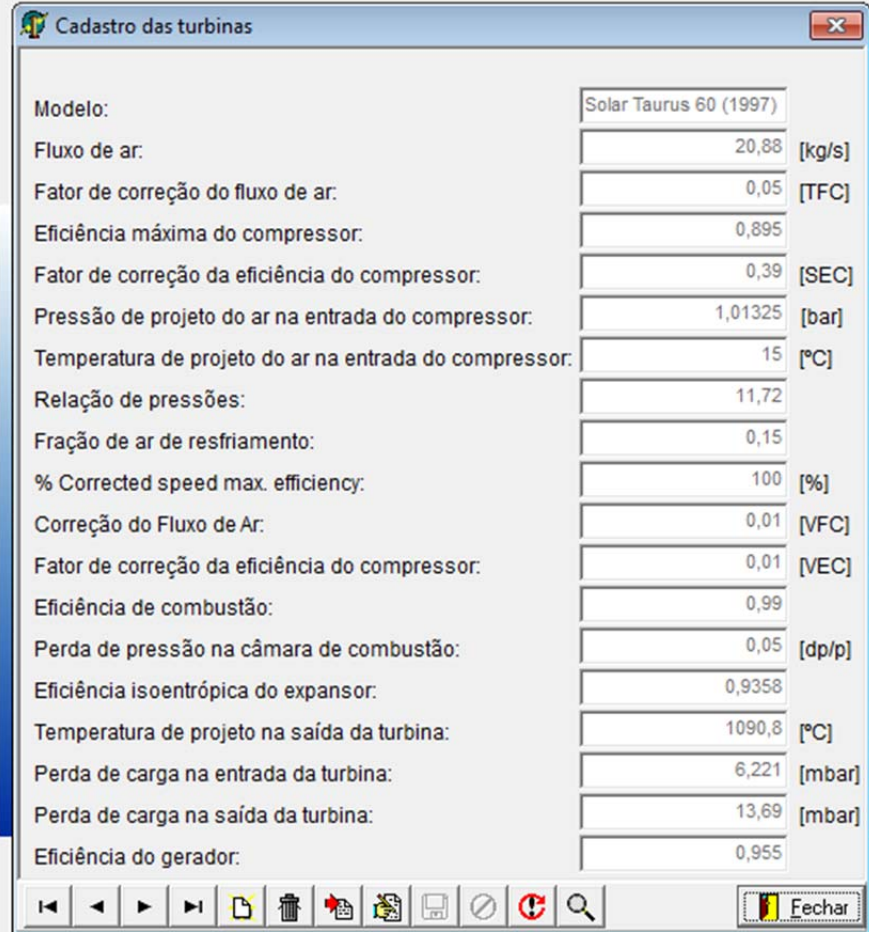




CALIBRAÇÃO DOS PARÂMETROS DE UMA TRUBINA EXISTENTE

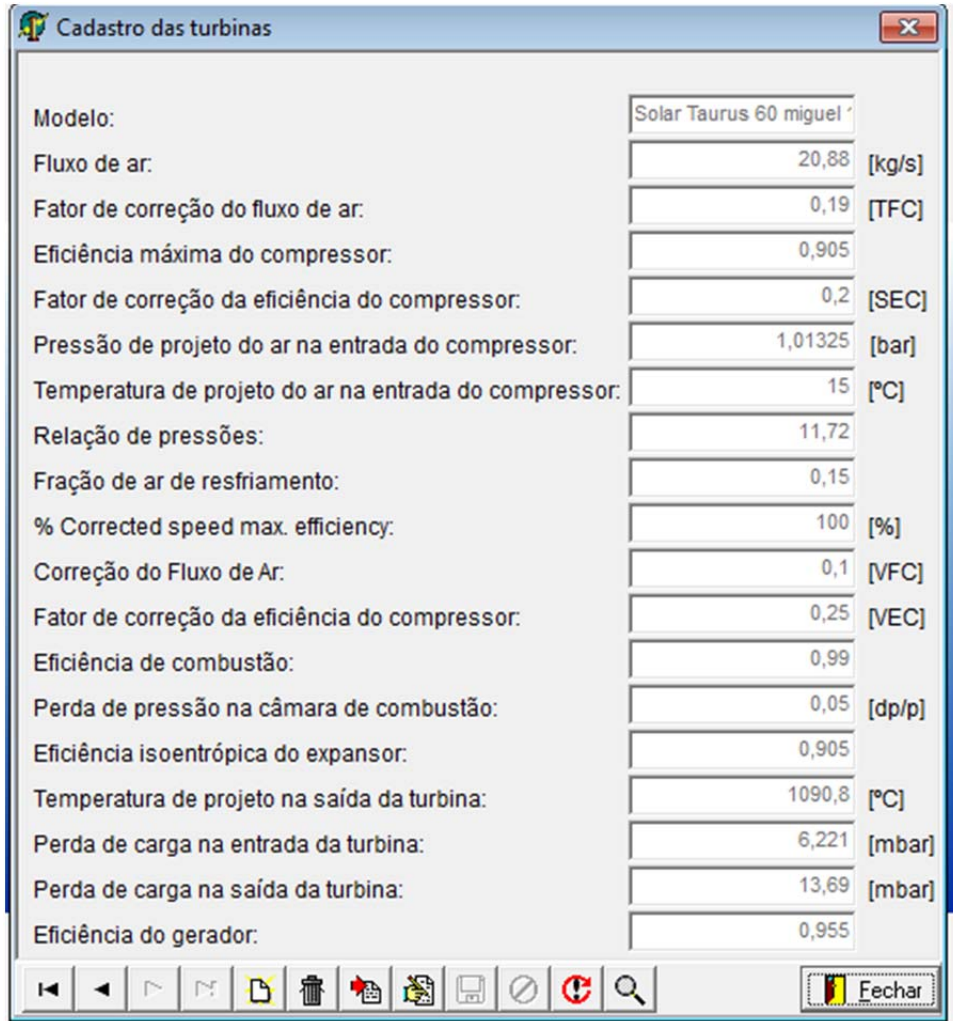
Para a calibragem da turbina foram feitas pequenas variações em um parâmetro até que a resposta fora melhor (mais similar a GATECYCLE) que a resposta dos parâmetros originais.

A turbina que foi modificada é a Solar Taurus 60. Os parâmetros originais da turbina são:



Modelo:	Solar Taurus 60 (1997)	
Fluxo de ar:	20,88	[kg/s]
Fator de correção do fluxo de ar:	0,05	[TFC]
Eficiência máxima do compressor:	0,895	
Fator de correção da eficiência do compressor:	0,39	[SEC]
Pressão de projeto do ar na entrada do compressor:	1,01325	[bar]
Temperatura de projeto do ar na entrada do compressor:	15	[°C]
Relação de pressões:	11,72	
Fração de ar de resfriamento:	0,15	
% Corrected speed max. efficiency:	100	[%]
Correção do Fluxo de Ar:	0,01	[VFC]
Fator de correção da eficiência do compressor:	0,01	[VEC]
Eficiência de combustão:	0,99	
Perda de pressão na câmara de combustão:	0,05	[dp/p]
Eficiência isoentrópica do expansor:	0,9358	
Temperatura de projeto na saída da turbina:	1090,8	[°C]
Perda de carga na entrada da turbina:	6,221	[mbar]
Perda de carga na saída da turbina:	13,69	[mbar]
Eficiência do gerador:	0,955	

Depois da modificação os parâmetros finais d turbina são:



Parâmetro	Valor	Unidade
Modelo:	Solar Taurus 60 miguel	
Fluxo de ar:	20,88	[kg/s]
Fator de correção do fluxo de ar:	0,19	[TFC]
Eficiência máxima do compressor:	0,905	
Fator de correção da eficiência do compressor:	0,2	[SEC]
Pressão de projeto do ar na entrada do compressor:	1,01325	[bar]
Temperatura de projeto do ar na entrada do compressor:	15	[°C]
Relação de pressões:	11,72	
Fração de ar de resfriamento:	0,15	
% Corrected speed max. efficiency:	100	[%]
Correção do Fluxo de Ar:	0,1	[VFC]
Fator de correção da eficiência do compressor:	0,25	[VEC]
Eficiência de combustão:	0,99	
Perda de pressão na câmara de combustão:	0,05	[dp/p]
Eficiência isoentrópica do expansor:	0,905	
Temperatura de projeto na saída da turbina:	1090,8	[°C]
Perda de carga na entrada da turbina:	6,221	[mbar]
Perda de carga na saída da turbina:	13,69	[mbar]
Eficiência do gerador:	0,955	

Mostra-se os resultado obtidos da turbina modificada (GTS*) e os resultados da turbina original (GTS):

Temp, (°C)	Potencia Elétrica (kW)		Error (%)	
	GTS*	Gatecycle		
0	5.631,17	5.570,00	1,10	melhor
5	5.423,50	5.409,00	0,27	melhor
10	5.223,40	5.210,00	0,26	melhor
15	5.030,26	5.030,00	0,01	melhor
20	4.843,61	4.850,00	0,13	melhor
25	4.662,97	4.670,00	0,15	melhor
30	4.487,72	4.490,00	0,05	melhor
35	4.317,31	4.320,00	0,06	melhor
40	4.151,16	4.150,00	0,03	melhor

Potencia Elétrica (kW)		
GTS	Gatecycle	Error (%)
5.679,36	5.570,00	1,96
5.455,53	5.409,00	0,86
5.240,60	5.210,00	0,59
5.033,96	5.030,00	0,08
4.834,98	4.850,00	0,31
4.643,14	4.670,00	0,58
4.457,75	4.490,00	0,72
4.278,23	4.320,00	0,97
4.103,96	4.150,00	1,11

Temp, (°C)	Eficiencia (%)		Error (%)	
	GTS*	Gatecycle		
0	30,92	30,38	1,78	melhor

Eficiencia (%)		
GTS	Gatecycle	Error (%)
30,97	30,38	1,94

5	30,43	30,08	1,16	melhor	30,47	30,08	1,30
10	29,94	29,74	0,67	melhor	29,97	29,74	0,77
15	29,45	29,45	0,00	melhor	29,47	29,45	0,07
20	28,96	29,05	0,31	igual	28,96	29,05	0,31
25	28,46	28,69	0,80	melhor	28,45	28,69	0,84
30	27,94	28,32	1,34	melhor	27,93	28,32	1,38
35	27,41	27,93	1,86	melhor	27,39	27,93	1,93
40	26,87	27,52	2,36	melhor	26,84	27,52	2,47

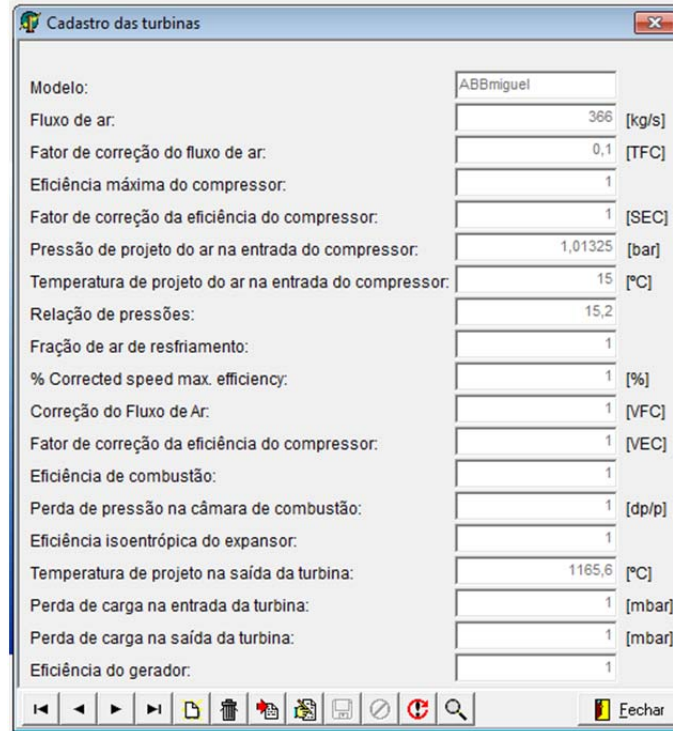
Temp, (°C)	Temp, de salida (K)		Error (%)		Temp, de salida (K)		
	GTS*	Gatecycle			GTS	Gatecycle	Error (%)
0	748,86	750,38	0,20	melhor	748,25	750,38	0,28
5	752,86	753,4	0,07	melhor	752,5	753,4	0,12
10	756,82	756,97	0,02	melhor	756,72	756,97	0,03
15	760,73	760,89	0,02	pior	760,89	760,89	0,00
20	764,61	764,98	0,05	pior	765,03	764,98	0,01
25	768,47	769,3	0,11	pior	769,15	769,3	0,02
30	772,3	773,95	0,21	pior	773,25	773,95	0,09
35	776,13	778,99	0,37	pior	777,35	778,99	0,21
40	779,97	784,44	0,57	pior	781,46	784,44	0,38

Com o troco dos parâmetros se tem conseguido melhorar a resposta em aqueles pontos onde mais erros tinham os parâmetros originais. Assim tem-se melhorada a resposta da potência eléctrica e do rendimento. A resposta da temperatura de exaustão é pior agora que com os parâmetros originais mas ainda é a parte que tem os erros menores.

CRIAÇÃO DE UMA TRUBINA A PARTIR DO CERO

Parâmetros conhecidos:

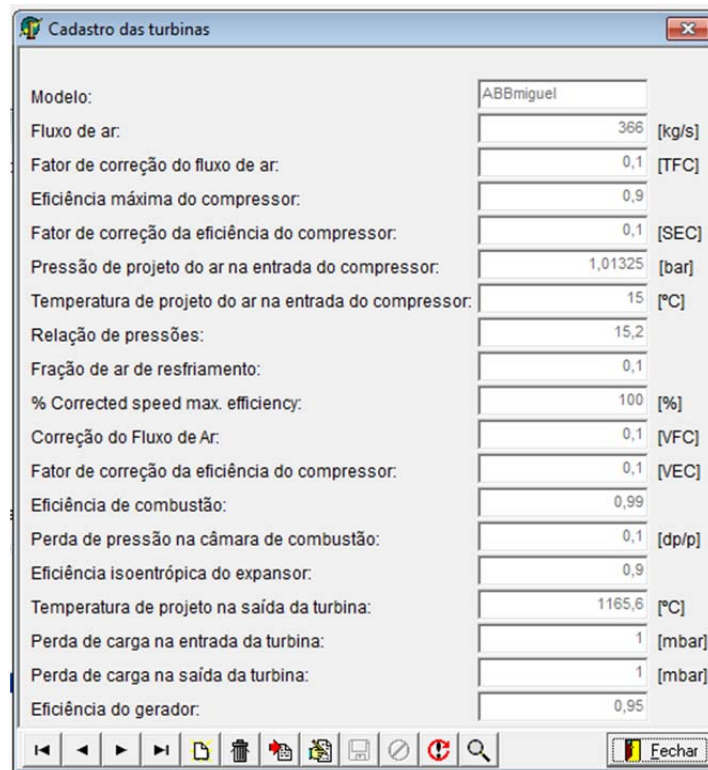
Alguns dos parâmetros da turbina podem ser conhecidos diretamente por os dados das revistas. Por exemplo o fluxo de aire ou a relação de pressões. O primer passo para a criação de um anova turbina é a colocação dos parâmetros que sejam conhecidos.



Parâmetro	Valor	Unidade
Modelo:	ABBmiguel	
Fluxo de ar:	366	[kg/s]
Fator de correção do fluxo de ar:	0,1	[TFC]
Eficiência máxima do compressor:	1	
Fator de correção da eficiência do compressor:	1	[SEC]
Pressão de projeto do ar na entrada do compressor:	1,01325	[bar]
Temperatura de projeto do ar na entrada do compressor:	15	[°C]
Relação de pressões:	15,2	
Fração de ar de resfriamento:	1	
% Corrected speed max. efficiency:	1	[%]
Correção do Fluxo de Ar:	1	[VFC]
Fator de correção da eficiência do compressor:	1	[VEC]
Eficiência de combustão:	1	
Perda de pressão na câmara de combustão:	1	[dp/p]
Eficiência isoentrópica do expensor:	1	
Temperatura de projeto na saída da turbina:	1165,6	[°C]
Perda de carga na entrada da turbina:	1	[mbar]
Perda de carga na saída da turbina:	1	[mbar]
Eficiência do gerador:	1	

Parâmetros típicos:

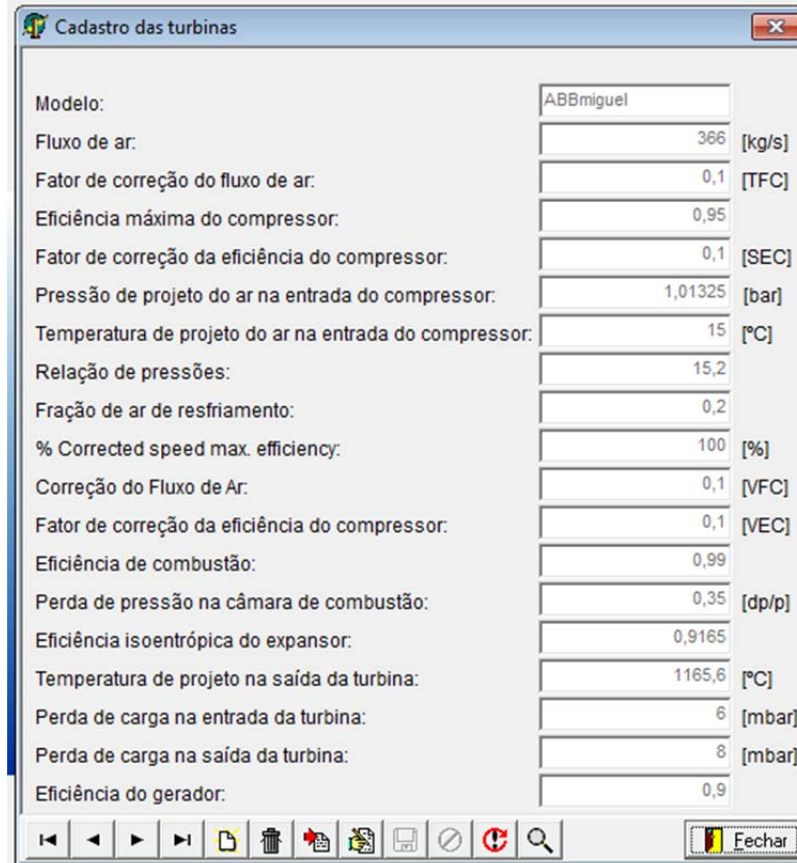
Depois de colocar aqueles parâmetros que se conhecem com certeza, procede-se para colocar parâmetros típicos para completar a tabela.



Parâmetro	Valor	Unidade
Modelo:	ABBmiguel	
Fluxo de ar:	366	[kg/s]
Fator de correção do fluxo de ar:	0,1	[TFC]
Eficiência máxima do compressor:	0,9	
Fator de correção da eficiência do compressor:	0,1	[SEC]
Pressão de projeto do ar na entrada do compressor:	1,01325	[bar]
Temperatura de projeto do ar na entrada do compressor:	15	[°C]
Relação de pressões:	15,2	
Fração de ar de resfriamento:	0,1	
% Corrected speed max. efficiency:	100	[%]
Correção do Fluxo de Ar:	0,1	[VFC]
Fator de correção da eficiência do compressor:	0,1	[VEC]
Eficiência de combustão:	0,99	
Perda de pressão na câmara de combustão:	0,1	[dp/p]
Eficiência isoentrópica do expensor:	0,9	
Temperatura de projeto na saída da turbina:	1165,6	[°C]
Perda de carga na entrada da turbina:	1	[mbar]
Perda de carga na saída da turbina:	1	[mbar]
Eficiência do gerador:	0,95	

Ajustagem a condiciones ISO:

Agora se tem que modificar os parâmetros típicos até conseguir um ajuste bom para as condiciones ISSO (15 °C, 1 Atm, umidade = 0.6). Modificam-se os parâmetros mas os fatores de correção não, por que eles não afetam a resposta nas condições ISO



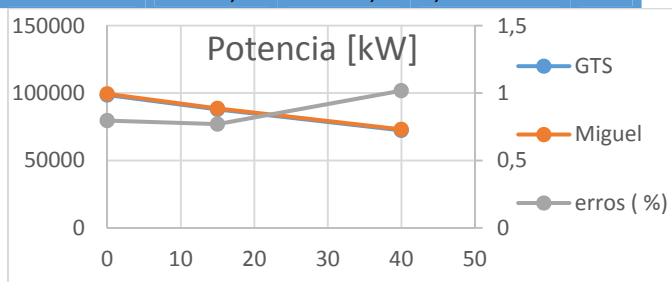
Parâmetro	Valor	Unidade
Modelo:	ABBmiguel	
Fluxo de ar:	366	[kg/s]
Fator de correção do fluxo de ar:	0,1	[TFC]
Eficiência máxima do compressor:	0,95	
Fator de correção da eficiência do compressor:	0,1	[SEC]
Pressão de projeto do ar na entrada do compressor:	1,01325	[bar]
Temperatura de projeto do ar na entrada do compressor:	15	[°C]
Relação de pressões:	15,2	
Fração de ar de resfriamento:	0,2	
% Corrected speed max. efficiency:	100	[%]
Correção do Fluxo de Ar:	0,1	[VFC]
Fator de correção da eficiência do compressor:	0,1	[VEC]
Eficiência de combustão:	0,99	
Perda de pressão na câmara de combustão:	0,35	[dp/p]
Eficiência isoentrópica do expansor:	0,9165	
Temperatura de projeto na saída da turbina:	1165,6	[°C]
Perda de carga na entrada da turbina:	6	[mbar]
Perda de carga na saída da turbina:	8	[mbar]
Eficiência do gerador:	0,9	

Comportamento fora das condições ISO

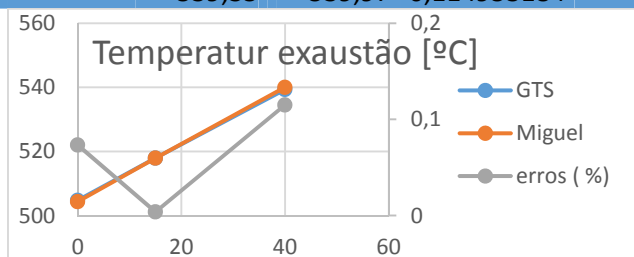
Uma vez que o ajuste está bem feito para as condições ISO, se tem que estudar o comportamento fora desse ponto de operação para ajustar os distintos fatores de correção.

Tem-se feito diferentes estudos em função da temperatura ambiente, da temperatura de combustão e da pressão. Assim quer-se testar que a turbina simula o comportamento da turbina original com um erro menor que 3%.

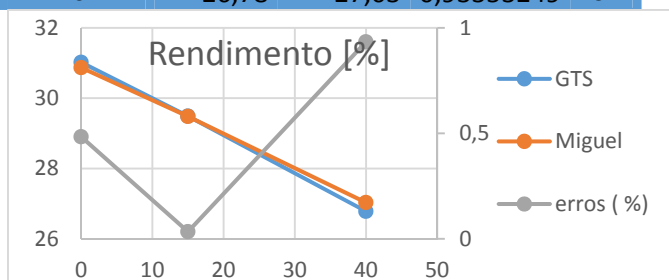
Potência [kW]				
T.Amb [°C]	GTS	Miguel	Erros [%]	
0	98557,59	99341,3	0,79517975	ok
15	87915,69	88592,64	0,76999908	ok
40	72311,76	73047,6	1,01759382	ok



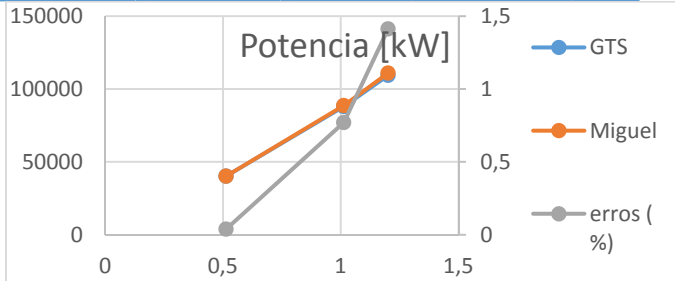
Temperatura exaustão [°C]				
T.Amb [°C]	GTS	Miguel	Erros [%]	
0	504,73	504,36	0,07330652	ok
15	517,94	517,92	0,003861451	ok
40	539,35	539,97	0,114953184	ok



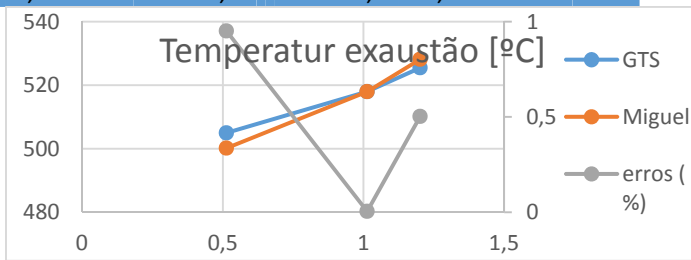
Rendimento [%]				
T.Amb [°C]	GTS	Miguel	Erros [%]	
0	31,02	30,87	0,48355899	ok
15	29,49	29,48	0,0339098	ok
40	26,78	27,03	0,93353249	ok



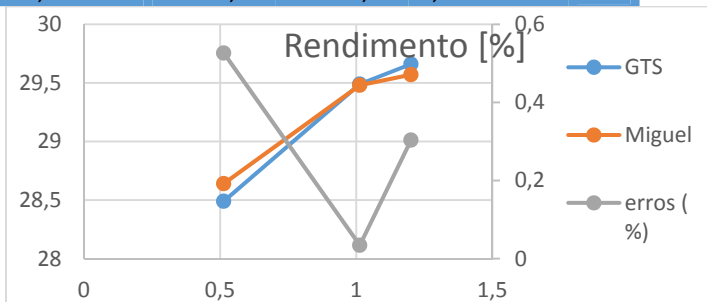
Potência [kW]				
Pressão [Bar]	GTS	Miguel	Erros [%]	
0,51325	40227,21	40211,86	0,03815825	ok
1,01325	87915,69	88592,64	0,76999908	ok
1,201325	109418,77	110963,7	1,41194239	ok



Temperatura exaustão [°C]				
Pressão [Bar]	GTS	Miguel	Erros [%]	
0,51325	504,94	500,14	0,950607993	ok
1,01325	517,94	517,92	0,003861451	ok
1,201325	525,46	528,1	0,50241693	ok

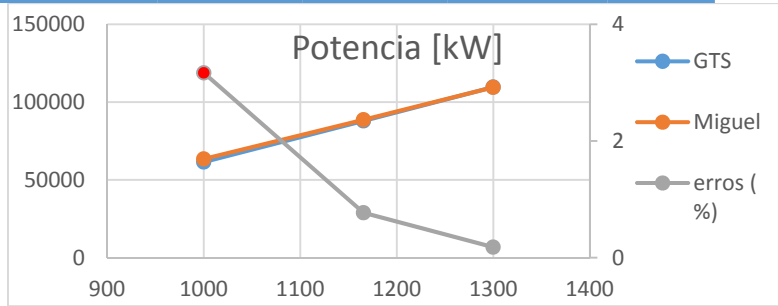


Rendimento [%]				
Pressão [Bar]	GTS	Miguel	Erros [%]	
0,51325	28,49	28,64	0,52650053	ok
1,01325	29,49	29,48	0,0339098	ok
1,201325	29,66	29,57	0,30343898	ok

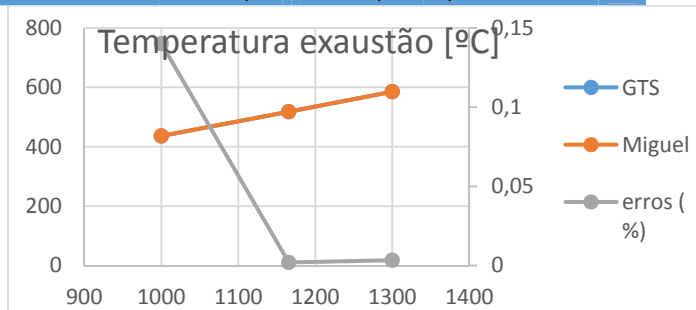


Potência [kW]				
Temperatura combustão [°C]	GTS	Miguel	Erros [%]	
1000	61482,63	63430,05	3,16743119	Demais
1165,6	87915,69	88592,64	0,76999908	ok

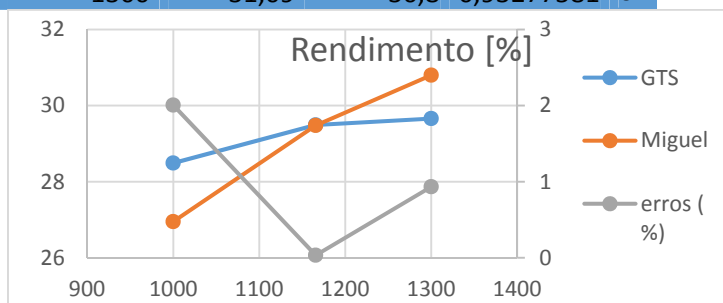
1300	109631,59	109434,67	0,17961976	ok
------	-----------	-----------	------------	----



Temperatura exaustão [°C]				
Temperatura combustão [°C]	GTS	Miguel	Erros [%]	
1000	435,72	435,83	0,025245571	ok
1165,6	517,94	517,92	0,003861451	ok
1300	585,18	585,61	0,073481664	ok



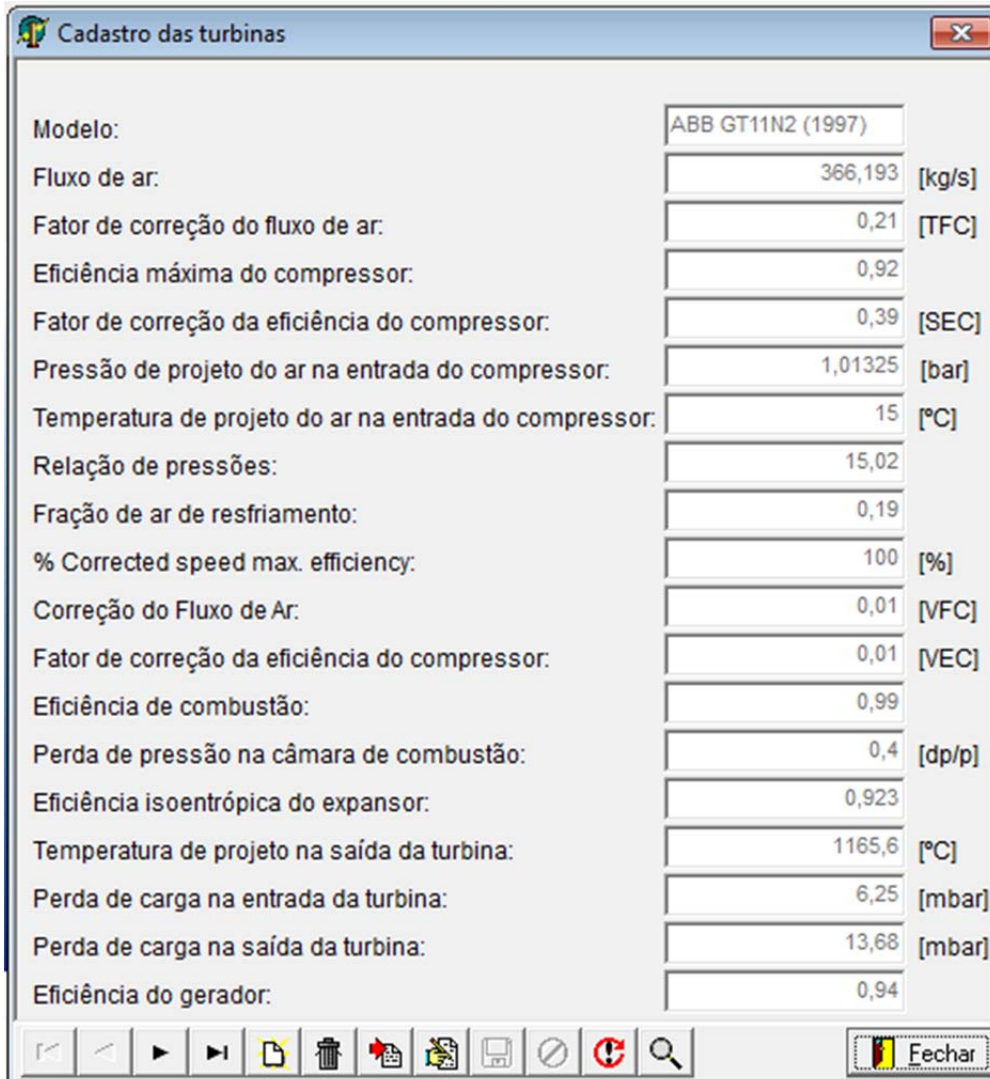
Rendimento [%]				
Temperatura combustão [°C]	GTS	Miguel	Erros [%]	
1000	26,42	26,95	2,00605602	ok
1165,6	29,49	29,48	0,0339098	ok
1300	31,09	30,8	0,93277581	ok



No gráfico da potência se tem um ponto com erro mais alto do 3 % e por isso tem-se que fazer ajustes nos parâmetros e nos fatores de correção da turbina.

Parâmetros finais:

Depois de várias probas chega-se os parâmetros definitivos da turbina que aproximam o comportamento dela com suficiente precisão.



Parâmetro	Valor	Unidade
Modelo:	ABB GT11N2 (1997)	
Fluxo de ar:	366,193	[kg/s]
Fator de correção do fluxo de ar:	0,21	[TFC]
Eficiência máxima do compressor:	0,92	
Fator de correção da eficiência do compressor:	0,39	[SEC]
Pressão de projeto do ar na entrada do compressor:	1,01325	[bar]
Temperatura de projeto do ar na entrada do compressor:	15	[°C]
Relação de pressões:	15,02	
Fração de ar de resfriamento:	0,19	
% Corrected speed max. efficiency:	100	[%]
Correção do Fluxo de Ar:	0,01	[VFC]
Fator de correção da eficiência do compressor:	0,01	[VEC]
Eficiência de combustão:	0,99	
Perda de pressão na câmara de combustão:	0,4	[dp/p]
Eficiência isoentrópica do expensor:	0,923	
Temperatura de projeto na saída da turbina:	1165,6	[°C]
Perda de carga na entrada da turbina:	6,25	[mbar]
Perda de carga na saída da turbina:	13,68	[mbar]
Eficiência do gerador:	0,94	

Com estes parâmetros os resultados do teste som menores que 3% em todos os casos.

Potência [kW]				
T,Amb [°C]	GTS	Miguel	Erros [%]	
0	98557,59	98790,48	0,23629839	ok
15	87915,69	87912,41	0,00373085	ok
40	72311,76	72161,87	0,20728302	ok
T. exaustão [°C]				
T,Amb [°C]	GTS	Miguel	Erros [%]	
0	504,73	504,26	0,093119093	ok
15	517,94	517,93	0,001930726	ok
40	539,35	540,15	0,14832669	ok
Rendimento [%]				

T,Amb [°C]	GTS	Miguel	Erros [%]	
0	31,02	30,96	0,1934236	ok
15	29,49	29,49	0	ok
40	26,78	26,89	0,41075429	ok

Potência [kW]				
Pressão [Bar]	GTS	Miguel	Erros [%]	
0,51325	40227,21	39918,5	0,76741589	ok
1,01325	87915,69	87912,41	0,00373085	ok
1,21325	109418,77	110349,28	0,85041168	ok
Temperatura exaustão [°C]				
Pressão [Bar]	GTS	Miguel	Erros [%]	
0,51325	504,94	498,84	1,208064324	ok
1,01325	517,94	517,93	0,001930726	ok
1,21325	525,46	528,8	0,63563354	ok
Rendimento [%]				
Pressão [Bar]	GTS	Miguel	Erros [%]	
0,51325	28,49	28,78	1,01790102	ok
1,01325	29,49	29,49	0	ok
1,21325	29,66	29,57	0,30343898	ok

Potência [kW]				
T.combustão [°C]	GTS	Miguel	Erros [%]	
1000	61482,63	62314,96	1,35376447	ok
1165,6	87915,69	87912,41	0,00373085	ok
1300	109631,59	109115,1	0,47111421	ok
Temperatura exaustão [°C]				
T.combustão [°C]	GTS	Miguel	Erros [%]	
1000	435,72	436,33	0,139998164	ok
1165,6	517,94	517,93	0,001930726	ok
1300	585,18	585,2	0,003417752	ok
Rendimento [%]				
T.combustão [°C]	GTS	Miguel	Erros [%]	
1000	26,42	26,66	0,90840273	ok
1165,6	29,49	29,49	0	ok
1300	31,09	30,97	0,3859762	ok

Com este trabalho quer-se conhecer melhor o procedimento de ajuste dos parâmetros e também aprender como os diferentes parâmetros afetam o comportamento da turbina. Agora tem-se os parâmetros classificados de acordo com como eles afetam o comportamento da turbina.

Grupo 1: sobem a temperatura de exaustão e baixam o rendimento e a potência.

Neste grupo estão as perdas de carga na entrada e na saída do expensor e a perda de pressão na câmara de combustão.

Grupo 2: sobem a potência e o rendimento e baixam a temperatura de exaustão.

Aqui estão as eficiências máximas do compressor e do expensor.

Grupo 3: sobem a potência e o rendimento e não tem influência na temperatura de exaustão.

Aqui se tem os rendimentos mecânico e do gerador. A diminuição da potência auxiliar tem o mesmo efeito (subir ela tem o efeito contrário).

Grupo 4: sobem o rendimento e baixam a potência e a temperatura de exaustão.

Neste grupo só tem-se a fração de ar de refrigeração.

Grupo 5: sobem o rendimento e não tem influência na potência ou na temperatura de exaustão.

Aqui se tem a eficiência da combustão.

Grupo 6: sobem a potência e não tem influência no rendimento ou na temperatura de exaustão.

Aqui está o fluxo de ar na entrada do compressor.

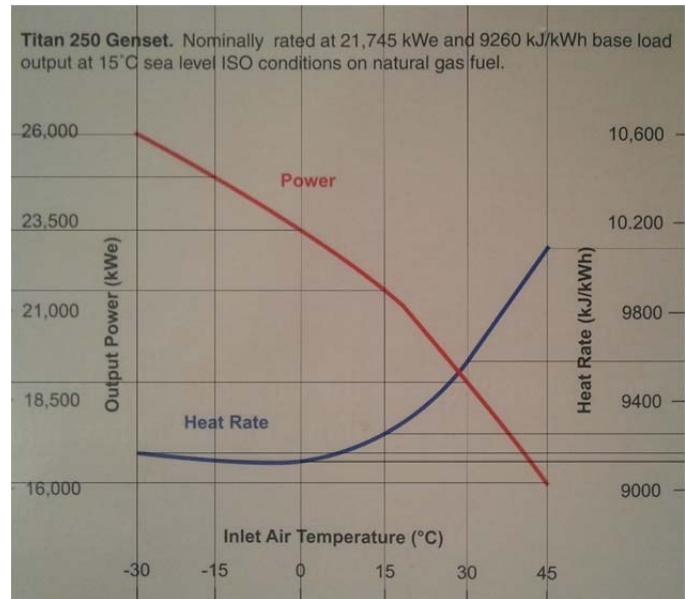
Introdução de uma nova turbina no programa de simulação GTS.

Obtenção dos dados da turbina

Tem-se escolhida a turbina Titan 250 da marca Solar turbines. Os primeiros dados do comportamento da turbina foram pegados da revista “Gas Turbine World; november-december 2008, volumen 38, nº6”. Aqui são mostrados os resultados do funcionamento em condições ISO e comportamento frente a temperatura do ar na entrada da turbina.

Design Rating	Titan 250
Base Load Output	21,745 kW
Heat Rate	8775 Btu/kWh
Efficiency	38.9%
Pressure Ratio	24 to 1
Air Flow	150.4 lb/sec
Turbine Speed	7000 rpm
Exhaust Temperature	865°F

Dados de desenho (em condições ISO)



Comportamento frente a temperatura do ar na entrada da turbina.

Do gráfico do comportamento frente a temperatura do ar na entrada da turbina obtivimos os seguintes dados:

Tª[°C]	Power[kW]	Heat Rate[kJ/kWh]	Eficiência[%]
-30	25925,93	9163,83	39,28
-15	24723,65	9130,52	39,43
0	23264,96	9125,04	39,45
15	21603,99	9253,28	38,91
30	18991,45	9586,42	37,55
45	16162,39	10094,81	35,66

Pârametros conhecidos

Alguns dos parâmetros da turbina já são conhecidos por os dados da revista GTW. Por exemplo o fluxo de ar ou a relação de pressões. Estes dados São cadastrados no registro da turbina.

Cadastro das turbinas	
Modelo:	Solar Titan 250 (2008) 1
Fluxo de ar:	67,3 [kg/s]
Fator de correção do fluxo de ar:	0,01 [TFC]
Eficiência máxima do compressor:	1
Fator de correção da eficiência do compressor:	0,01 [SEC]
Pressão de projeto do ar na entrada do compressor:	1,01325 [bar]
Temperatura de projeto do ar na entrada do compressor:	15 [°C]
Relação de pressões:	24
Fração de ar de resfriamento:	0,01
% Corrected speed max. efficiency:	100 [%]
Correção do Fluxo de Ar:	0,01 [VFC]
Fator de correção da eficiência do compressor:	0,01 [VEC]
Eficiência de combustão:	1
Perda de pressão na câmara de combustão:	0,05 [dp/p]
Eficiência isoentrópica do expensor:	1
Temperatura de projeto na saída da turbina:	1165 [°C]
Perda de carga na entrada da turbina:	0 [mbar]
Perda de carga na saída da turbina:	0 [mbar]
Eficiência do gerador:	1


Fechar

Ajustagem a condiciones ISO:

Primer se cheia a tabela com os dados típicos ou os dados de uma outra turbina já cadastrada que tenha uma resposta parecida.

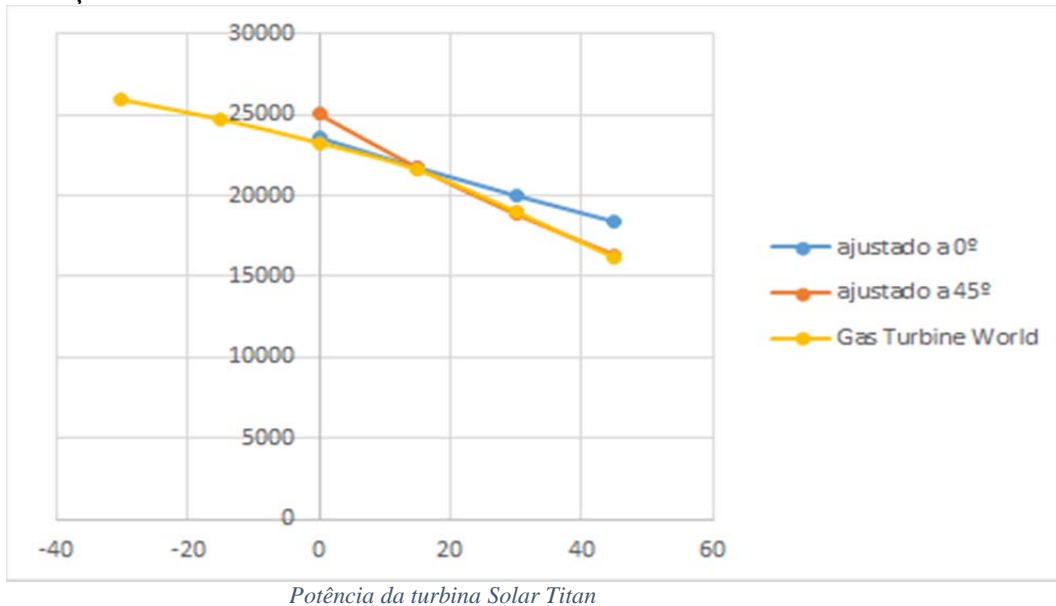
Agora se tem que modificar os parâmetros até conseguir um ajuste bom para as condiciones ISO (15 °C, 1 Atm, umidade = 0.6).

Cadastro das turbinas	
Modelo:	Solar Titan 250 (2008) 1
Fluxo de ar:	67,3 [kg/s]
Fator de correção do fluxo de ar:	0,01 [TFC]
Eficiência máxima do compressor:	0,96
Fator de correção da eficiência do compressor:	0,01 [SEC]
Pressão de projeto do ar na entrada do compressor:	1,01325 [bar]
Temperatura de projeto do ar na entrada do compressor:	15 [°C]
Relação de pressões:	24
Fração de ar de resfriamento:	0,228
% Corrected speed max. efficiency:	100 [%]
Correção do Fluxo de Ar:	0,01 [VFC]
Fator de correção da eficiência do compressor:	0,01 [VEC]
Eficiência de combustão:	0,997
Perda de pressão na câmara de combustão:	0,05 [dp/p]
Eficiência isoentrópica do expensor:	0,883
Temperatura de projeto na saída da turbina:	1165 [°C]
Perda de carga na entrada da turbina:	4 [mbar]
Perda de carga na saída da turbina:	16 [mbar]
Eficiência do gerador:	0,97


Echegar

Ajustagem fora das condições ISO

Uma vez que o ajuste está bem feito para as condições ISO, se tem que estudar o comportamento fora desse ponto de operação para ajustar os distintos fatores de correção.



Como mostra-se na figura os gráficos da potência do software são todos convexas e não podem-se ajustar a um gráfico côncavo como o da turbina Solar Titan. É neste ponto onde tem-se encontrado um problema na lógica de programação do software.

A primeira ideia foi a de que pode ser devido a equação de correção do fluxo de ar. Depois de olha-la se tem achado que o problema não estava nessa equação, mas estava na equação de correção do rendimento do compressor.

```

“//Compressor - Temperatura de entrada do ar
Td1 := SPad.Temp_amb + 273.15;
//-----
//Eficiência do Compressor
Ns := STurb.Cor_vel_efi;
Naf := STurb.Fat_cor_efcomp;
rabs3 := ABS( ( CspeedISO - Ns ) / Ns );
Nc := STurb.Efi_comp * ( 1 - SPad.Van_ang * STurb.Van_efcor ) * ( 1 - Naf * rabs3
);”

```

Embora a fórmula está correta a variável Td1 que tinha que ser a temperatura de trabalho da turbina era sempre 288.15° K pôr isso a correção, que tem dependência direta com a temperatura de trabalho, não era boa.

Trocamos a expressão pôr:

```

“Td1 := SOpe.Temp_amb + 273.15;”

```

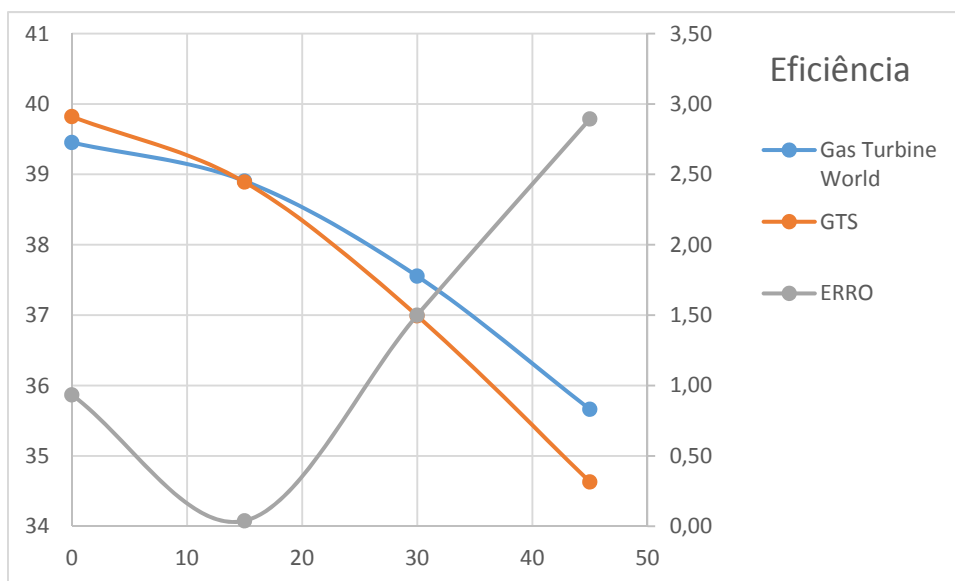
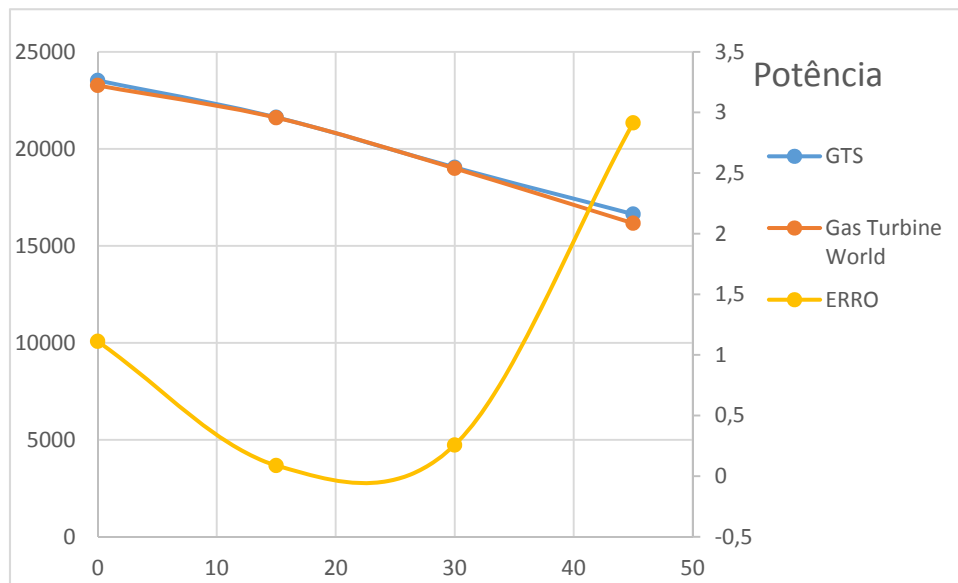
Agora a correção está bem feita e os gráficos podem ter forma côncava si quiser.

Finalmente se tem feito a ajustagem para as condições diferentes as condições

ISO.

Potência			
Tª [°C]	Gas Turbine World	GTS	Erro
0	23264,96	23523,56	1,11
15	21603,99	21623,02	0,09
30	18991,45	19040,32	0,26
45	16162,39	16633,39	2,91

Eficiência			
Gas Turbine World (Heat Rate)	Eficiência	GTS	Erro
9125,04	39,4518698	39,82	0,93
9253,28	38,905123	38,89	0,04
9586,42	37,5531092	36,99	1,50
10094,81	35,6618935	34,63	2,89





Orientador: Arnaldo Cesar da Silva Walter
Professor Assistente Doutor
DE/FEM/UNICAMP

Unidade de execução: Departamento de Energia – DE, da Faculdade de
Engenharia Mecânica – FEM, Universidade Estadual de Campinas –
UNICAMP.

Miguel Ballesteró Pérez

INTRODUÇÃO

O programa de simulação GTS, em sua versão atual, é um software para a simulação do funcionamento de turbinas de gás e centrais de ciclo combinado. Ele foi criado na Unicamp através dos trabalhos finais de graduação de vários estudantes. A finalidade desse programa é didática e, assim, o objetivo é que os futuros estudantes de engenharia utilizem o software para estudar e entender o funcionamento das turbinas de gás e centrais de ciclo combinado. Por isso mesmo o programa precisa ter um manejo fácil e intuitivo, além de ser fiel à realidade.

Todo o software está criado em linguagem Delphi 7. Delphi é uma IDE (um ambiente integrado para desenvolvimento de software) orientada à programação visual. A versão padrão do Delphi tem módulos para diferentes aplicações e ainda podem ser baixados outros através de internet. O uso do Delphi torna muito mais fácil o trabalho de programar aplicações complexas.

OBJETIVOS

O trabalho proposto visa a introdução de uma nova seção no programa de simulação GTS. A nova seção chama-se “Gráficos”, e com ela o usuário terá a possibilidade de criar gráficos em função de vários parâmetros de operação, escolhendo o intervalo de valores e o número de pontos. A seção de gráficos utiliza as funções e procedimentos já incluídos na versão inicialmente disponível do software e, por isso, foi necessário conhecer o funcionamento do programa e como os dados de entrada e saída são introduzidos e armazenados.

ANDAMENTO DO PROJECTO

1º Criação da interface gráfica:

A etapa visou a criação dos campos para a introdução dos dados da turbina e das condições de operação.

2º Associação dos elementos:

Para que o software opere com os parâmetros selecionados, os registros precisam ser conectados com as tabelas que serão utilizadas no cálculo. Também é preciso relacionar os parâmetros que serão mostrados nas saídas gráficas.

3º Procedimento de cálculo e armazenamento dos dados:

Foi desenvolvido o procedimento de cálculo iterativo utilizando as mesmas funções já empregadas para a simulação da operação das turbinas em uma única condição.

4º Criação dos gráficos:

A escolha dos gráficos é feita em uma nova janela; são escolhidos os parâmetros que devem ser explicitados.

5º Exportação dos dados ao Excel:

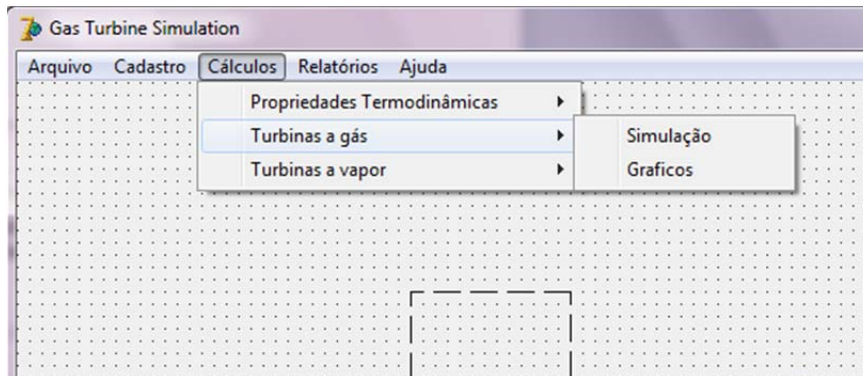
Para que os usuários possam trabalhar com os dados obtidos, e não só visualizar os gráficos, foi criada uma opção de exportação de resultados via armazenagem dos dados em uma planilha Excel.

6º Reajuste dos parâmetros das turbinas:

Na primeira etapa deste projeto, foi feita verificação dos procedimentos de cálculo e dos resultados. Foram constatados erros, e foram feitos ajustes. Mais especificamente, foi ajustado o procedimento de cálculo do rendimento do compressor. Assim, houve alteração dos resultados e foi necessário refazer o ajuste de parâmetros de calibração para que os resultados obtidos sejam adequados. A validação do procedimento e dos novos ajustes foi feito na comparação com resultados do software GateCycle.

CRIAÇÃO DA INTERFACE GRÁFICA

Para a criação da interface gráfica foi desenvolvido um novo formulário (uma janela) chamado “Grafi”. Para que o usuário possa acessá-lo foi criado um novo sub menu (TMenuItem) “Gráficos” no formulário principal do programa.

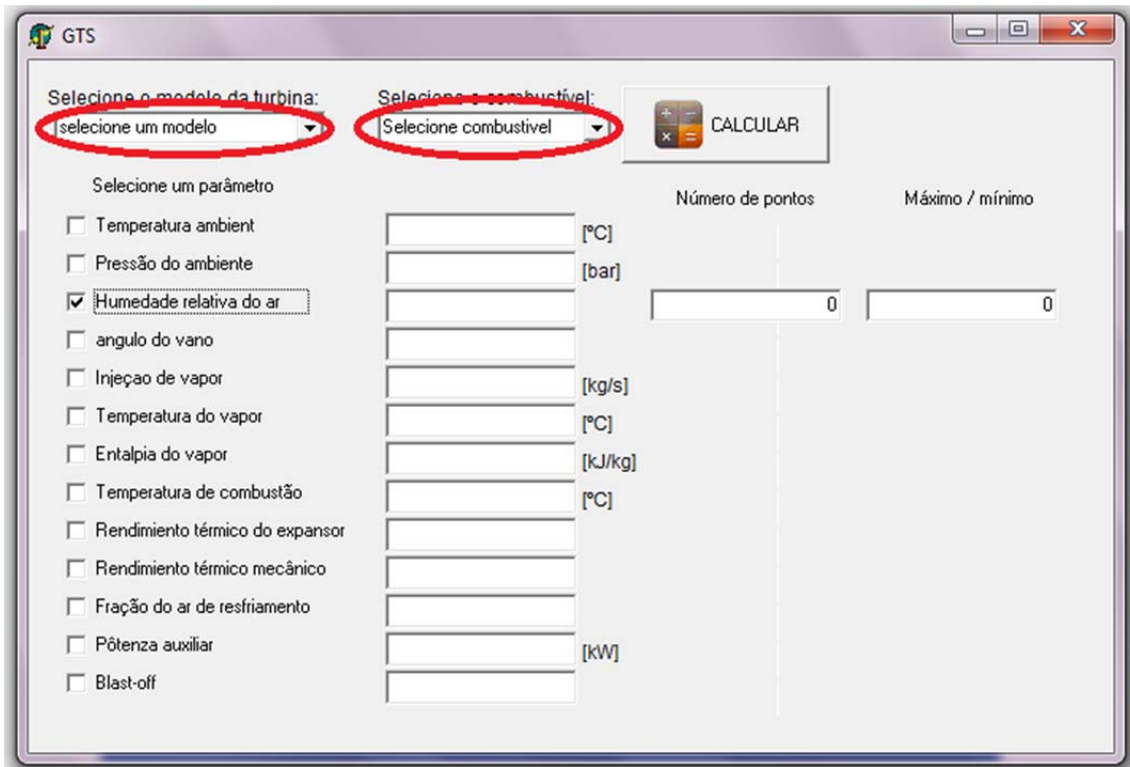


No formulário

“Grafi” foram utilizados diferentes elementos do programa Delphi:

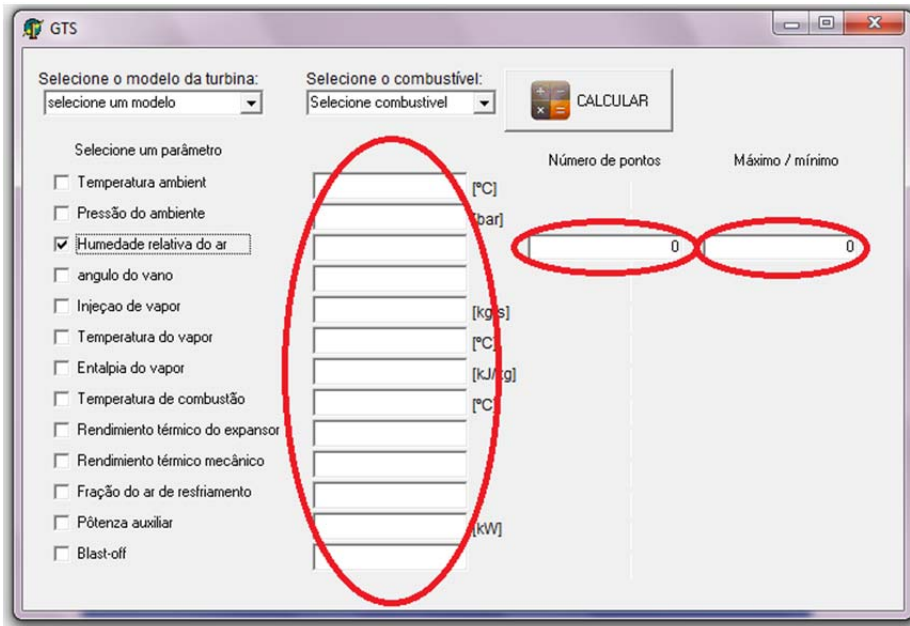
TComboBox

Os elementos são utilizados para a seleção do modelo da turbina a gás e do tipo de combustível.



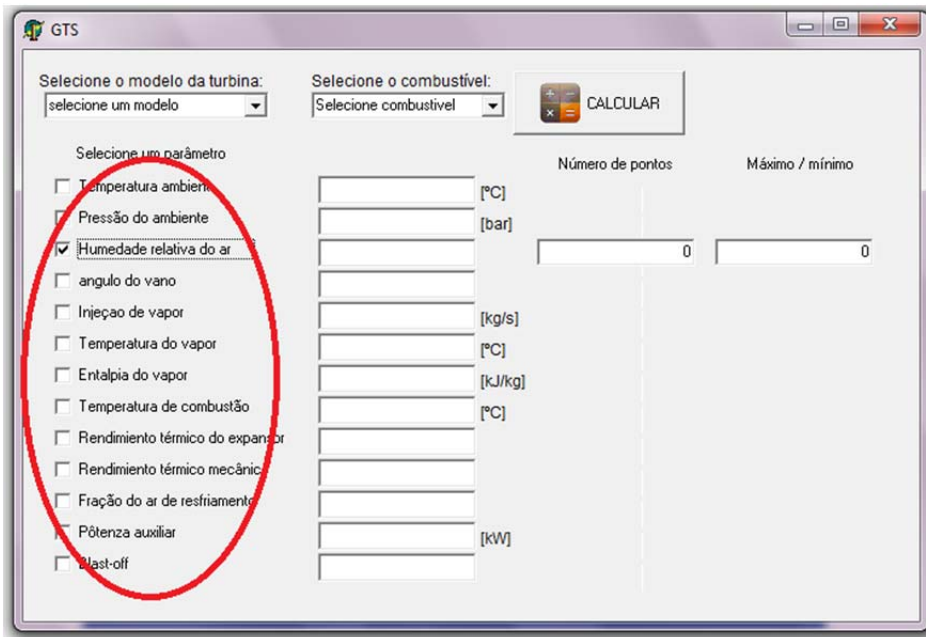
TDBEdit

São os elementos que permitem a visualização e a coleta dos valores iniciais dos parâmetros da turbina. Também são utilizados para a definição do número de pontos do gráfico, do valor máximo e do parâmetro que varia na simulação.



TCheckBox

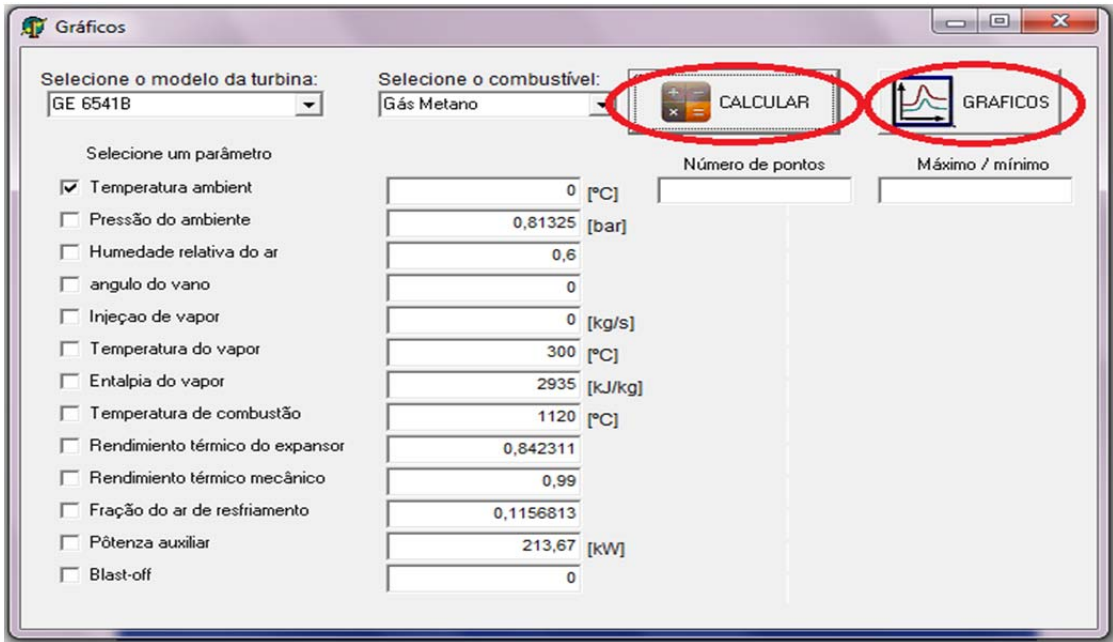
Os elementos têm duas funções: Primeiro, mostram os parâmetros ligados às caixas TDBedit e, segundo, servem para selecionar o parâmetro que vai ser explicitado como variável na simulação.



TBitBtn

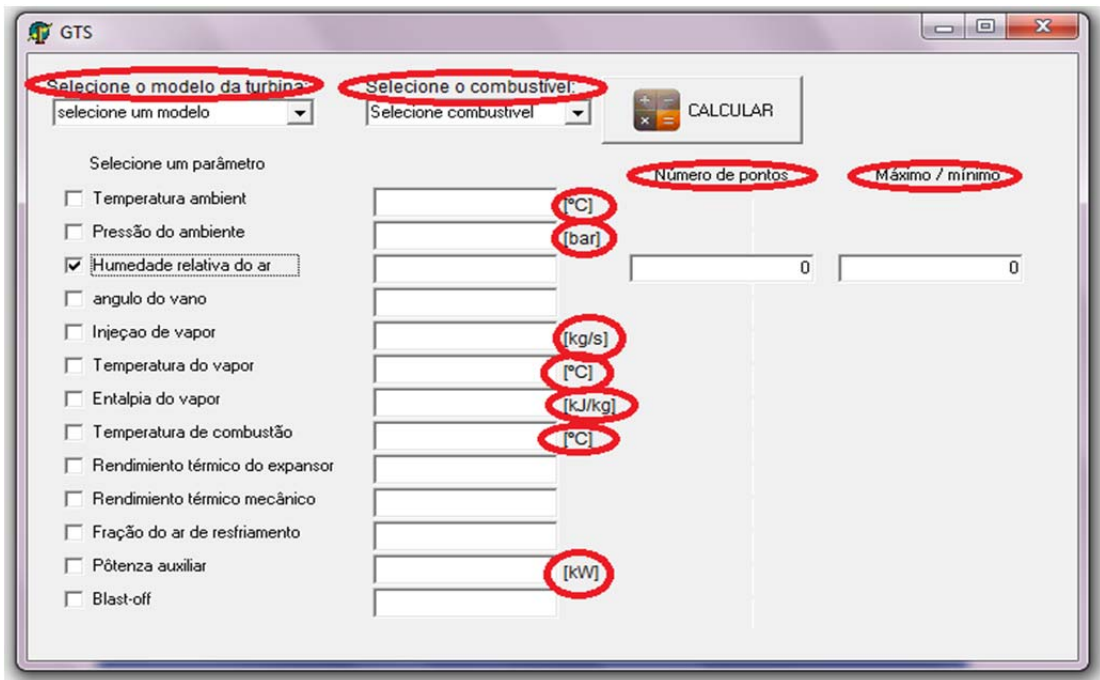
São os “botões” que os usuários utilizaram para ordenar os cálculos e para abrir uma nova janela para visualização dos gráficos. Cada vez que o usuário pressiona um dos botões o software executa o código

CRIAÇÃO DA SEÇÃO DE GRÁFICOS NO SOFTWARE DE SIMULAÇÃO “GTS”.



TLabel

São etiquetas para que o usuário conheça as funções das caixas e para a identificação das unidades.



ASSOCIAÇÃO DOS ELEMENTOS

É necessária a associação entre os elementos gráficos e as tabelas do programa. Para isso, são utilizados novos elementos.

TTable

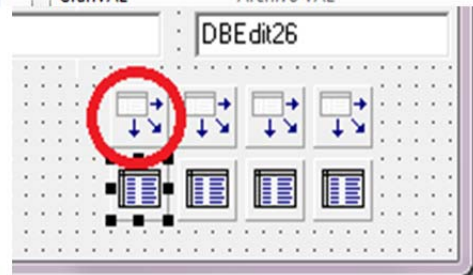
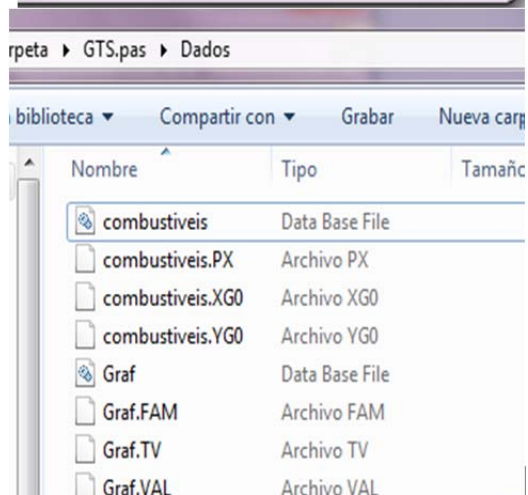
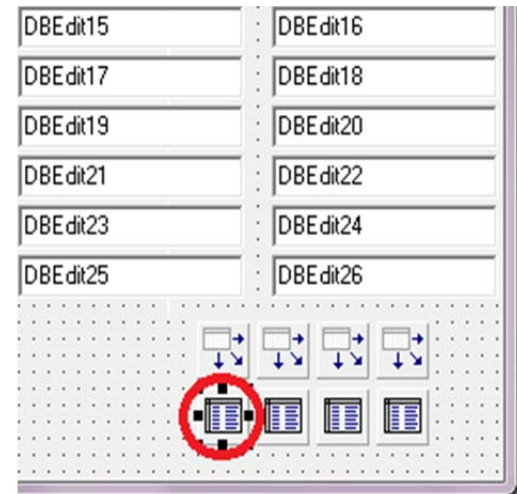
É elemento invisível para o usuário e permite criar uma tabela que está ligada com uma tabela DBF (Data Base File), anteriormente gerada.

Para a criação da tabela é usado software “DataBase Desktop”. Essas tabelas estão na pasta “Dados”. A pasta “Dados” está salva no programa como um diretório chamado “GTS”, para evitar que o software confunda o endereço das tabelas quando o endereço do programa muda.

Cada uma das TTable está ligada a apenas uma tabela e, por isso, foram criadas

quatro delas. Três são para as tabelas que já utilizavam o software de simulação (Combustíveis, Turbinas e Operação), que contêm os dados dos combustíveis, os parâmetros das turbinas e as condições de operação.

A outra tabela (Graf), aquela criada no procedimento, é a tabela que armazena os dados de saída para confecção dos gráficos.



TDataSource

Esses elementos, também invisíveis, ligam as TTables com o resto do programa. Assim, cada tabela é associada a uma TTable que vai ligada a uma TDataSource. Os TDBEdit, já mencionados, vão ligados a um dos campos de uma TDataSource. A modificação do valor do TDBEdit modifica o campo da TData Source e, assim, modifica a tabela DBF.

TComboBox

As TComboBox criadas têm que mostrar o campo da tabela no qual são indicados os nomes, para que o usuário escolha o tipo de combustível ou o modelo da turbina. Para isso foi criado procedimento como o listado abaixo:

```
“ procedure TFormGraf1.ComboBoxTurbEnter(Sender: TObject);
Begin
    TableTurb.First;
```

```

ComboBoxTurb.Items.Clear;
while not TableTurb.Eof do
  begin

  ComboboxTurb.Items.Add(TableTurb.FieldValues['Mod']);
    TableTurb.Next;
  end;
  auxediturb := 0 ;
end; ”

```

Também, para que os dados do modelo da turbina (ou do combustível) sejam alimentados nos TDBEdits, e para que sejam feitos os cálculos, foi criado um procedimento como o abaixo indicado:

```

“procedure TFormGraf1.ComboBoxTurbChange(Sender: TObject);
begin
TableOp.Active := True;
//Posiciona o registro da turbina na turbina selecionada
TableTurb.Locate('Mod', ComboBoxTurb.Text,
[loCaseInsensitive]);
//Coloca os dados da turbina na variável de calculo
DTurb.Flu_ar := TableTurb.FieldValues['Flu_ar'];
DTurb.Fat_cor_ar := TableTurb.FieldValues['Fat_cor_ar'];
DTurb.Efi_comp := TableTurb.FieldValues['Efi_comp'];
DTurb.Fat_cor_efcomp :=
TableTurb.FieldValues['Fat_cor_efcomp'];
[...]
DTurb.Efi_ger := TableTurb.FieldValues['Efi_ger'];
//Verifica se não tem nenhum registro relacionando as tabelas Turb e Op.
if not TableOp.Locate('Cod_Turb',
TableTurb.FieldValues['Cod'],[loCaseInsensitive]) then
  begin
    //Não havendo, cria-se um registro com os valores abaixo.
    TableOp.Append;
    TableOp.FieldValues['Cod_Turb'] :=
TableTurb.FieldValues['Cod'] ;
    //Valores de operação padrão
    DBEditTemp_amb.Field.AsFloat := 15 ;
    DBEditPress_amb.Field.AsFloat := 1.01325 ;
    DBEditUmid_rel_ar.Field.AsFloat := 0.6 ;
    DBEditVan_ang.Field.AsFloat := 0 ;
    DBEditInj_vap.Field.AsFloat := 0 ;
    DBEditTemp_vap.Field.AsFloat := 300 ;
    DBEditEnt_vap.Field.AsFloat := 2935 ;
    DBEditTemp_comb.Field.AsFloat := DTurb.Des_tur_in_temp
;

    DBEditEfi_exp.Field.AsFloat := DTurb.Efi_exp ;
    DBEditEfi_mec.Field.AsFloat := 0 ;
    DBEditCool_air.Field.AsFloat := DTurb.Cool_air ;
    DBEditPot_aux.Field.AsFloat := 0 ;
    DBEditBlastoff.Field.AsFloat := 0 ;

```

```
//Salva os novos dados do novo registro
Tableop.Post;
end;
//Variável Auxiliar indicando que a turbina foi selecionada
auxT := 1;
end;”
```

Há pequena diferença entre os procedimentos para as turbinas e para os combustíveis, já que os campos das tabelas são diferentes; entretanto, o conceito do código é o mesmo.

TCheckBox

Os elementos TCheckBox têm que anular os Tcheckbox anteriores, já que o programa só pode fazer gráficos com a variação de um parâmetro por vez. Também, os elementos TDBEdit do número de pontos e do máximo valor (o valor também pode ser o mínimo) devem ser visíveis. O procedimento feito é listado abaixo.

```
”procedure TFormGraf1.InjVapClick(Sender: TObject);
begin
if InjVap.Checked = True then
begin
Humidade.Checked:= False;
TempAr.Checked := False;
[...]
BlastOff.Checked := False;
DBEdit9.Visible := True;
DBEdit10.Visible := True;
TableGraf.Active:= True;
Para:= 5;
end;
if InjVap.Checked = False then
begin
DBEdit9.Visible := False;
DBEdit10.Visible := False;
Para:= 0;
end;
end; ”
```

PROCEDIMENTO DE CÁLCULO E ARMAZENAMENTO DOS DADOS

O procedimento de cálculo é basicamente o mesmo que já era utilizado para a função Simulação do software GTS. A principal diferença é que agora o procedimento faz o procedimento com repetições, trocando um dos parâmetros e, ao mesmo tempo, salvando os dados de saída numa tabela. O procedimento computacional feito é listado abaixo.

```
“ Case Para of
1: Begin
```

```
Int:=(Maximo -
TableOp.FieldValues['Temp_Amb'])/(Pontos-1); // calcula o
intervalo entre os pontos do gráfico
for i:= 1 to Pontos do
  Begin
    Simul( DTurb, DComb, Oana, Opad, Sana, True,
False, DDet ); // faz a simulação
//Salva os dados de saída
TableGraf.Append;
TableGraf.FieldValues['TemExa']:= Sana.Temp_exa;
TableGraf.FieldValues['Eficien']:= Sana.Efi ;
TableGraf.FieldValues['FluxComb']:= Sana.Vaz_comb
;
[... ]
TableGraf.FieldValues['Exp_Pot']:=
DDet.Exp_Pot/1000;
TableGraf.FieldValues['Param']:= Oana.Temp_amb;
Oana.Temp_amb := Oana.Temp_amb + Int; // troca o
parâmetro pelo seguinte
end;
end; ”
```

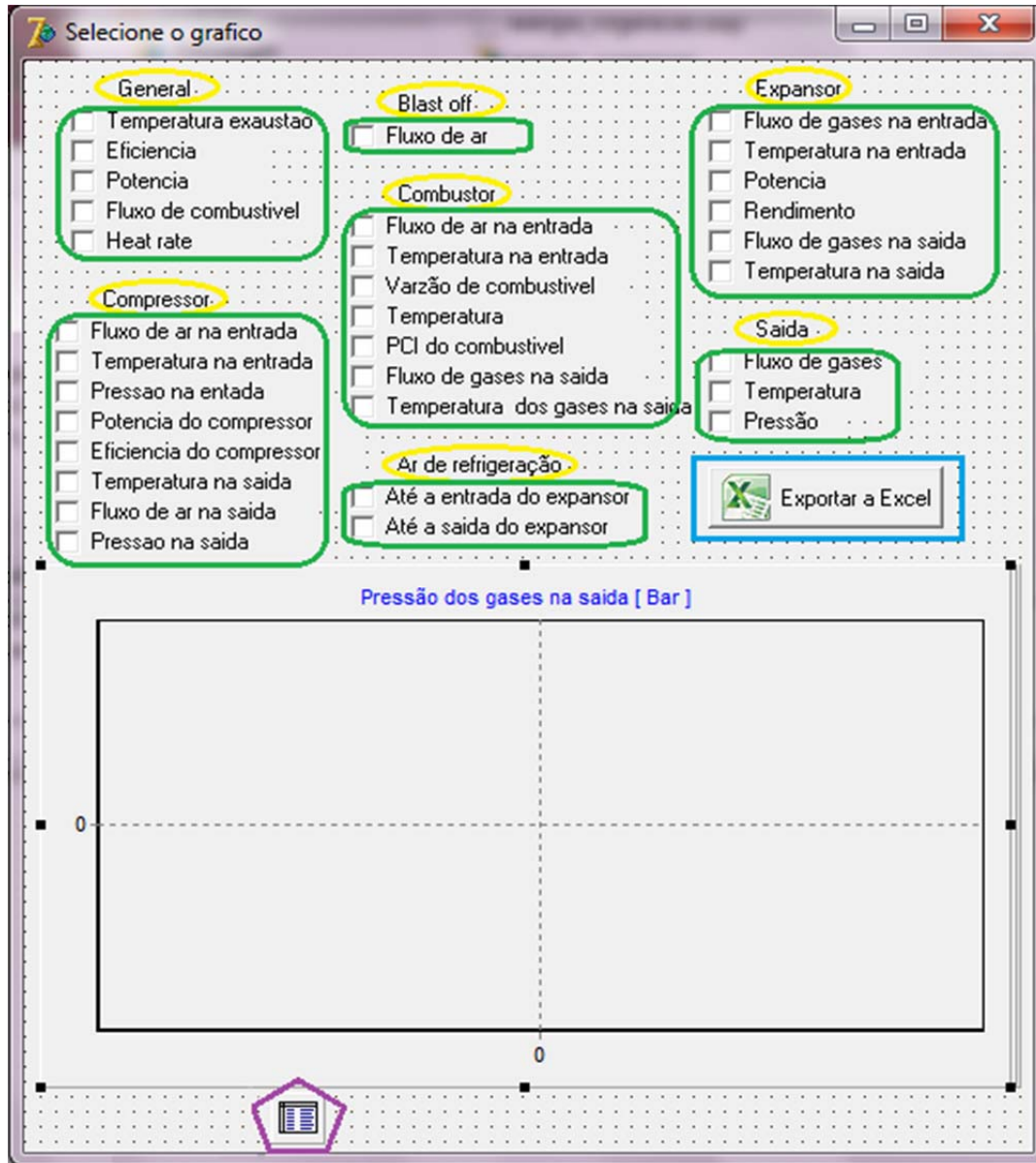
O código é repetido para os diferentes parâmetros na faixa de simulação. No final do processo é gerada a tabela de resultados.

O código de cálculo é acionado pelo “botão” “CÁLCULAR”, que também aciona os códigos para comprovar que todos os parâmetros foram selecionados corretamente e as mensagens de erro serão indicadas. Para as mensagens de erro foram criadas variáveis que trocam de valor a cada vez que se seleciona um parâmetro (por exemplo, modelo de turbina, tipo de combustível, parâmetro a trocar, número de pontos, valor máximo...).

No final do código, a propriedade “Visible” do botão Gráficos é alterada para “True” e, assim, o “botão” permite o acesso à janela de seleção dos gráficos.

CRIAÇÃO DOS GRÁFICOS

Para a criação dos gráficos foi criado um novo formulário chamado “DetGaf”. Nesse formulário foram colocados alguns elementos iguais os da janela “Graf”, além de um elemento novo.

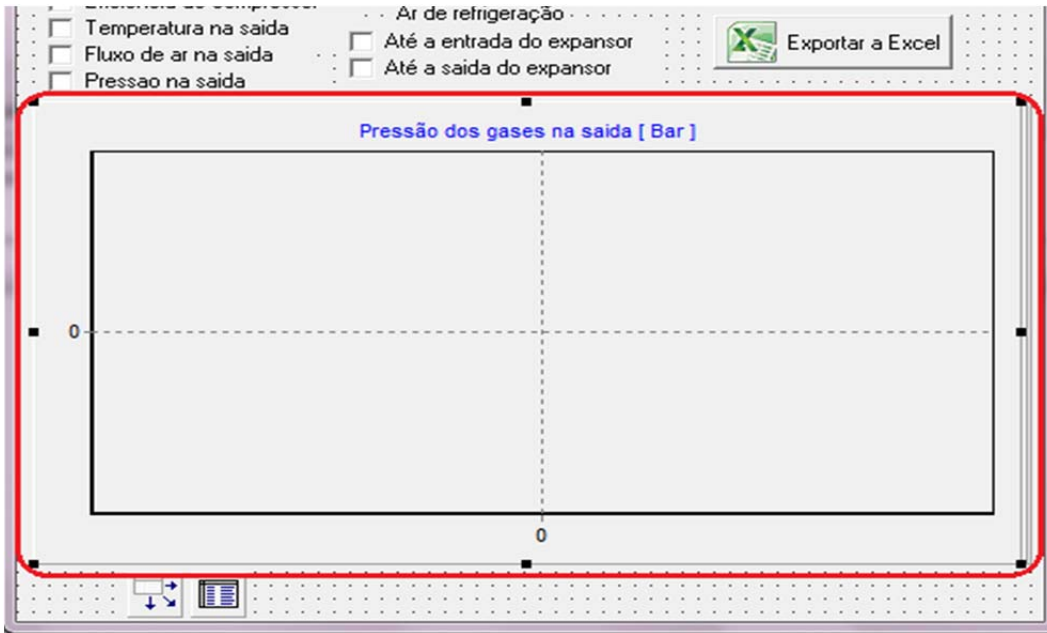


Os elementos já conhecidos são sete TLabels (amarelo), 32 TCheckBox (verde), um TBitBotom (azul) e um TTable (rouxo). As associações entre eles são similares às associações da primeira janela:

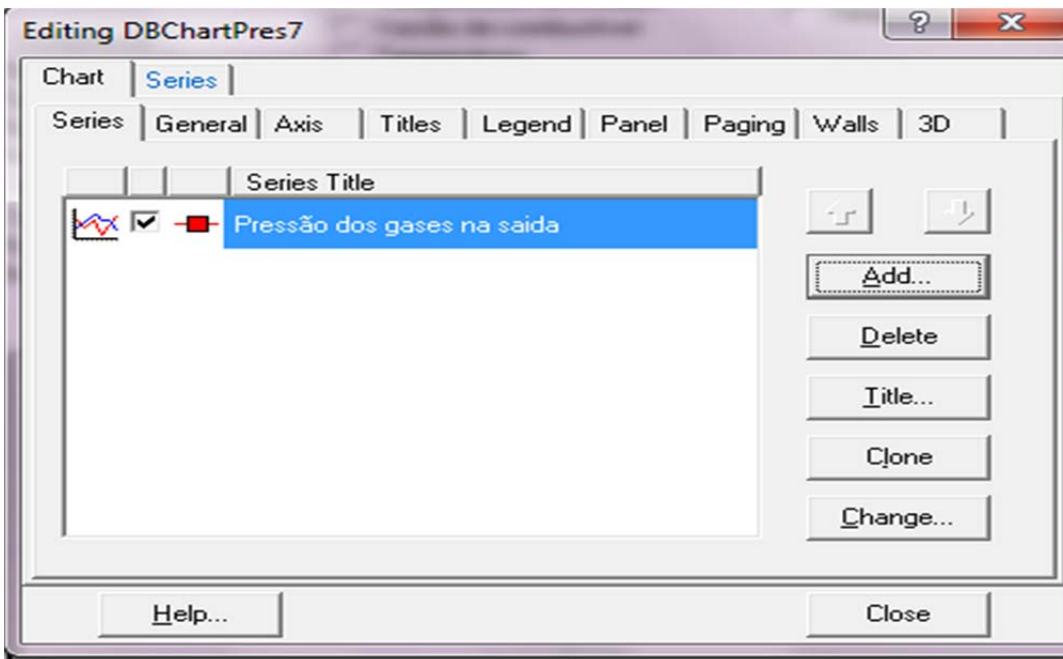
O TTable vai ligado à tabela “Graf” e os TCheckBox vão ligados entre eles da mesma maneira que na janela anterior (quando um deles é ativado, desativa-se os demais), só que agora eles ativam a propriedade “Visible” dos novos elementos (TDBChart). Do funcionamento do botão (TBitBtn) se falará mais adiante.

TDBChart

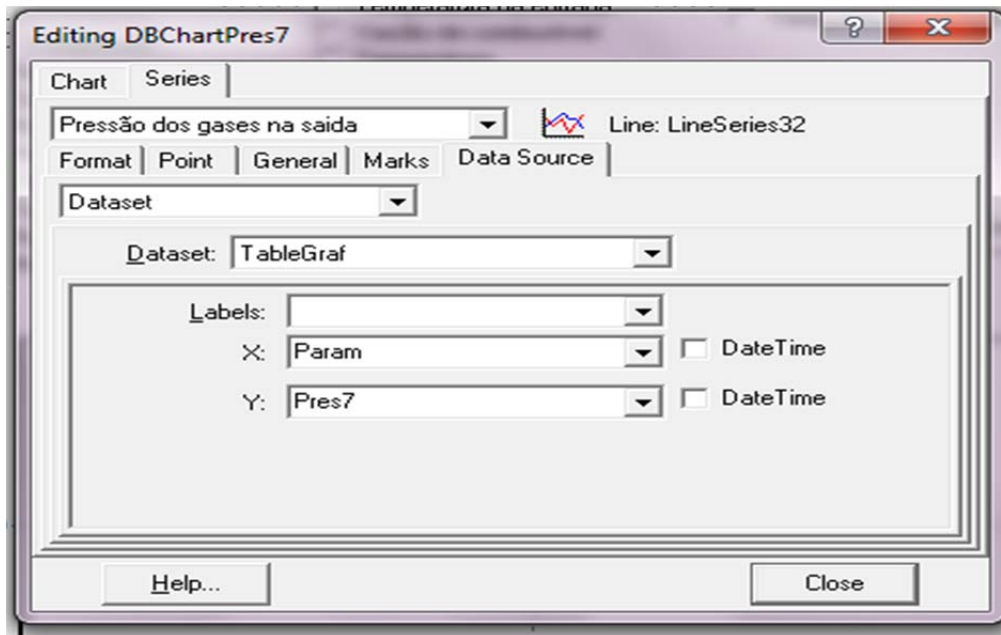
Esses elementos são os que vão mostrar os gráficos para o usuário. São 32 TDBChart colocados um acima do outro (um para cada TCheckBox).



Os TDBChart têm muitas opções de configuração, os usuários podem agregar várias series diferentes, trocar a escala e o formato dos eixos, definir legenda, etc.

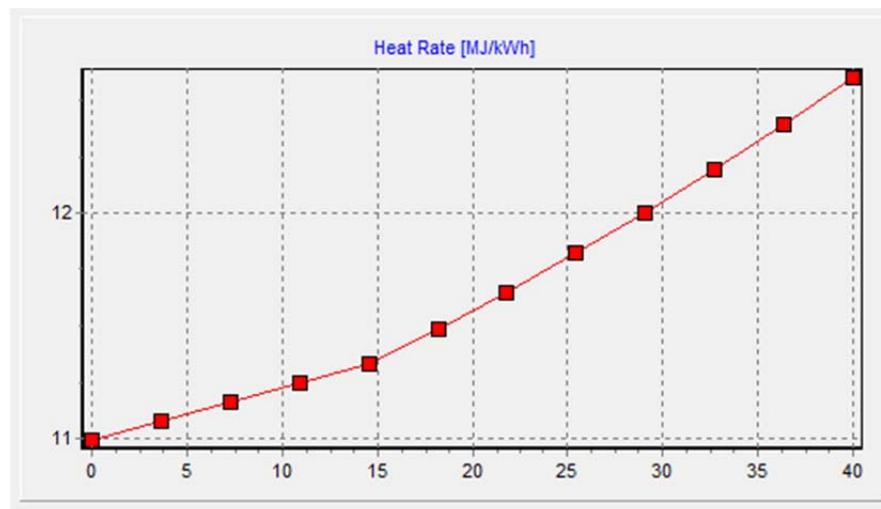


Para que os TDBChart mostrem os gráficos é preciso associar parâmetros com um campo do elemento TTable (Dataset). Assim eles ficam associados a um campo da Tabela.



Existe um problema com a configuração do “Dataset”. A TTable vai associada ao directorio “GTS” que é criado na execução do programa e, por isso o diretório não existe até que o programa é executado e não pode-se configurar o Dataset (o Delphi mostra uma mensagem de erro, “Erro: unknown Database Alias: GTS”). Para solucionar o problema foi trocado o diretório (GTS) da TTable pela direção da pasta “Dados”. Quando todos os TDBChart estão configurados, então troca-se de novo a direção da tabela pelo diretório “GTS”.

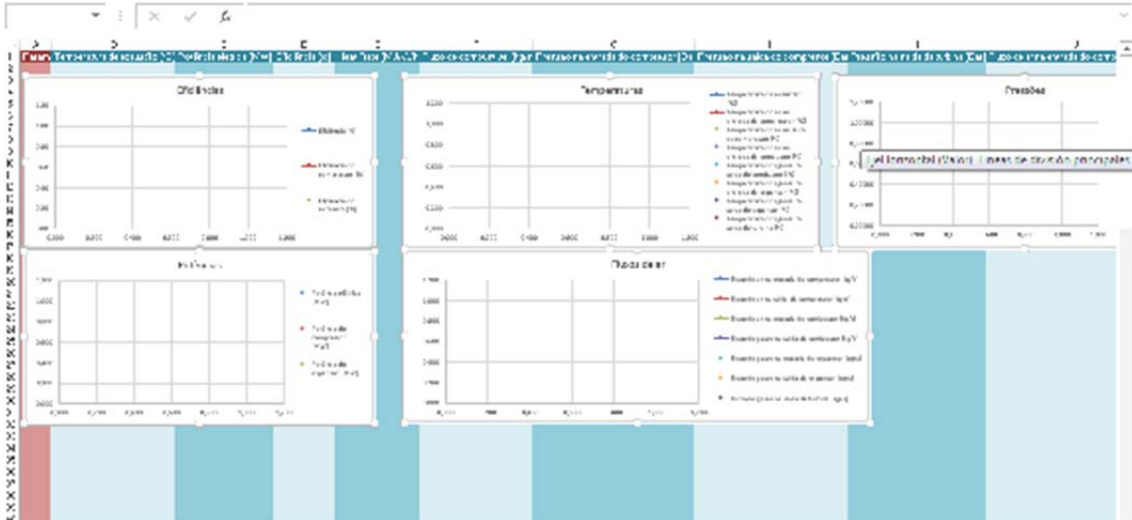
No início todos os TDBChart têm a propriedade “Visible” igual a “False”. Só quando o TCheckBox ligado a eles está ativo a propriedade torna-se “True” e mostra-se o gráfico.



EXPORTAÇÃO DOS DADOS AO EXCEL

A exportação dos dados ao Excel se faz através do botão “TBitBtn”. Nele está escrito o código para a criação da planilha Excel e para a exportação dos dados.

Para criar a planilha utiliza-se uma planilha padrão salva na pasta “Dados” do programa. Nela se têm formatadas as caixas, postados os nomes dos resultados e criados alguns gráficos para mostrar facilmente os resultados.



O botão “Exportar para Excel” aciona o código para transferir os dados da tabela ao Excel.

```

"TableGraf.Active := True;
TableGraf.First;
ruta:= ExtractFilePath(ParamStr(0));
// aqui se cria a nova planilha copiando a planilha padrão
Planilha:= CreateOleObject('excel.application') ;
Planilha.Workbooks.add(ruta+'Dados\Graficos.xls');
Case Grafi.A of
  1: Para := 'Temperatura ambiente';
  2: Para := 'Pressão do ambiente';
  3: Para := 'Humidade relativa do ar';
  4: Para := 'Angulo do vano';
  5: Para := 'Injeção do vapor';
  6: Para := 'Temperatura do vapor';
  7: Para := 'Entalpia do vapor';
  8: Para := 'Temperatura de Combustão';
  9: Para := 'Rendimento do expansor';
  10: Para := 'rendimiento mecânico';
  11: Para := 'Fração do ar de resfriamento';
  12: Para := 'Pôtenza auxiliar';
  13: Para := 'Blast off';
end;
Planilha.Caption := Grafi.NomeTurb; // escrevi o nome da turbina no
título da folha
Planilha.Cells[1,1] := Para; // escrevi o nome do parâmetro que varia na
caixa correta
Planilha.Visible:=True;
TableGraf.First;
// Os laços “for” recorrem a tabela para pegar os dados
for Linha:=0 to TableGraf.RecordCount-1 do
  begin

```

```
for Coluna := 0 to TableGraf.FieldCount-1 do
  begin
  //Coloca o valor do campo “Coluna” na caixa “linha+2, Coluna+1” no Excel

  Planilha.Cells[Linha+2,Coluna+1]:=TableGraf.Fields[Coluna].
  AsFloat;
    end;
  TableGraf.Next;
  Planilha.columns.AutoFit;
  end;
end;
```

REAJUSTE DOS PARÂMETROS DAS TURBINAS

Na primeira etapa deste projeto foi feita verificação dos procedimentos de cálculo e dos resultados. Foram constatados erros, e foram feitos ajustes. Mais especificamente, foi ajustado o procedimento de cálculo do rendimento do compressor. Assim, houve alteração dos resultados e foi necessário refazer o ajuste de parâmetros para que os resultados obtidos sejam adequados. A validação do procedimento e dos novos ajustes foi feito na comparação com resultados do software GateCycle.

Mostram-se os resultados das turbinas depois do ajuste e a comparação com o software GateCycle.

ABBGT11N2

Temp., (°C)	Potência Elétrica (kW)		Erro (%)	Eficiência (%)		Erro (%)	Temp., de saída (K)		Erro (%)
	GTS	Gatecycle		GTS	Gatecycle		GTS	Gatecycle	
0	123.744,06	123.080	0,54	35,36	34,96	1,14	790,42	794,32	0,49
15	112.190,53	112.190	0,00	34,02	34,02	0,00	804,96	804,96	0,00
40	94.378,18	94.910	0,56	31,42	32,25	2,57	829,26	828,36	0,11

GE MS7001 (EA)

Temp., (°C)	Potencia Elétrica (kW)		Erro (%)	Eficiência (%)		Erro (%)	Temp., de saída (K)		Erro (%)
	GTS	Gatecycle		GTS	Gatecycle		GTS	Gatecycle	
0	91.159,47	91.000	0,18	33,31	32,92	1,18	803,97	807,09	0,39
15	82.980,78	82.980	0,00	32,03	32,03	0,00	816,34	816,34	0,00
40	70.534,49	71.370	1,17	29,67	30,28	2,01	836,62	832,61	0,48

SIEMENS V64.3^a

Temp., (°C)	Potencia Elétrica (kW)		Erro (%)	Eficiência (%)		Erro (%)	Temp., de saída (K)		Erro (%)
	GTS	Gatecycle		GTS	Gatecycle		GTS	Gatecycle	
0	74.119,65	74.720	0,80	37,04	36,89	0,41	832,65	835,23	0,31
15	68.270,95	68.270	0,00	35,96	35,96	0,00	846,38	846,38	0,00
40	58.252,05	58.940	1,17	33,44	34,3	2,51	870,3	868,66	0,19

GE 6541B

Temp., (°C)	Potencia Elétrica (kW)		Erro (%)	Eficiência (%)		Erro (%)	Temp., de saída (K)		Erro (%)
	GTS	Gatecycle		GTS	Gatecycle		GTS	Gatecycle	
0	42.024,37	42.212	0,44	32,61	32,47	0,43	802,46	803	0,07

15	38.329,27	38.329	0	31,66	31,66	0	814	811	0,37
25	35.331,08	35.628	0,83	30,53	31	1,52	822,7	822	0,08

MS 9001EC

Temp., (°C)	Potencia Elétrica (kW)		Erro (%)	Eficiência (%)		Erro (%)	Temp., de saída (K)		Erro (%)
	GTS	Gatecycle		GTS	Gatecycle		GTS	Gatecycle	
-6,6	197.650,35	191.991	2,94	36,42	35,92	1,39	821,68	-	-
15,5	171.552,01	171.992	0,25	34,75	34,82	0,2	841,06	-	-
37,78	145.315,11	143.989	0,92	32,36	33,13	2,32	861,28	-	-

PGT 10 B/2

Temp., (°C)	Potencia Elétrica (kW)		Erro (%)	Eficiência (%)		Erro (%)	Temp., de saída (K)		Erro (%)
	GTS	Gatecycle		GTS	Gatecycle		GTS	Gatecycle	
0	12.637,90	12.709	0,56	34,84	34,12	2,11	713,78	-	-
15	11.584,27	11.660	0,65	33,64	33,10	1,63	727,22	-	-
40	9.987,65	9.794	1,97	30,79	31,52	2,32	749,16	-	-

Ruston RM

Temp., (°C)	Potencia Elétrica (kW)		Erro (%)	Eficiência (%)		Erro (%)	Temp., de saída (K)		Erro (%)
	GTS	Gatecycle		GTS	Gatecycle		GTS	Gatecycle	
0	4.340,48	4.370	0,69	31,02	30,97	0,16	760,98	-	-
15	3.787,06	3.789	0,05	29,82	29,84	0,07	723,21	-	-
40	2.844,25	2.930	2,93	26,49	27,21	2,65	794,96	-	-

Solar Centaur 40

Temp., (°C)	Potencia Elétrica (kW)		Erro (%)	Eficiência (%)		Erro (%)	Temp., de saída (K)		Erro (%)
	GTS	Gatecycle		GTS	Gatecycle		GTS	Gatecycle	
0	3753,37	3.809	1,47	28,73	27,94	2,83	689,28	706,64	2,46
15	3368,46	3.374,4	0,17	27,22	26,86	1,34	702,45	717,33	2,07
40	2762,93	2.770	0,25	24,32	24,97	2,6	724,64	737,6	1,76

Solar Mars 90

Temp., (°C)	Potencia Elétrica (kW)		Erro (%)	Eficiência (%)		Erro (%)	Temp., de saída (K)		Erro (%)
	GTS	Gatecycle		GTS	Gatecycle		GTS	Gatecycle	
0	9889,94	10009	1,19	32,67	31,82	2,67	731,5	735,77	0,57
15	9155,68	8990	1,84	31,33	30,78	1,79	742,93	744,55	0,21
40	7751,25	7660	1,19	28,26	29	2,55	762,35	759,97	0,31

Solar Taurus 60

Temp., (°C)	Potencia Elétrica (kW)		Erro (%)	Eficiência (%)		Erro (%)	Temp., de saída (K)		Erro (%)
	GTS	Gatecycle		GTS	Gatecycle		GTS	Gatecycle	
0	5.596,42	5.570	0,47	30,94	30,38	1,84	747,97	750,38	0,32
15	5.027,65	5.030	0,05	29,43	29,45	0,07	760,92	760,89	0,00
40	4.172,49	4.150	0,54	26,71	27,52	2,94	782,13	784,44	0,29

Solar Titan 250

Temp., (°C)	Potencia Elétrica (kW)		Erro (%)	Eficiência (%)		Erro (%)	Temp., de saída (K)		Erro (%)
	GTS	Gatecycle		GTS	Gatecycle		GTS	Gatecycle	
0	23264,96	23523,56	1,11	39,45	39,82	0,93		-	-
15	21603,99	21623,02	0,088	38,90	38,89	0,04		-	-
40	18991,45	19040,32	0,26	37,55	36,99	1,50		-	-

GE LM2500PE 50Hz

Temp., (°C)	Potencia Elétrica (kW)		Erro (%)	Eficiência (%)		Erro (%)	Temp., de saída (°C)		Erro (%)
	GTS	Gatecycle		GTS	Gatecycle		GTS	Gatecycle	
0	24.222,73	23.909,87	1,31	37,09	36,21	2,43	516,09	518,84	0,53
15	22.082,70	22.024,0	0,27	35,84	35,50	0,96	528,18	529,44	0,24
40	18.487,04	18.942,32	2,4	33,05	33,99	2,77	548,83	545,08	0,69

ANEXO: Entendimento do software de simulação GTS e ampliação da biblioteca de turbinas.

OBJETIVOS

O trabalho proposto visa a introdução de uma nova turbina no programa de simulação GTS. Para isso é necessário conhecer o funcionamento do programa e, também, como os diferentes parâmetros afetam o comportamento das turbinas.

ANDAMENTO DO PROJETO

1º Entendimento do software de simulação GTS:

Nessa parte foram estudadas as principais funções do programa, assim como a biblioteca de turbinas já existente. Fez-se um estudo das turbinas trabalhando nas condições de referência (ISO), 15 °C e uma atmosfera de pressão, para conhecimento dos diferentes modelos na biblioteca e, assim, avaliar qual modelo de turbina que o programa mais necessita.

2º Estudo do comportamento das turbinas.

Fez-se um estudo do comportamento das diferentes turbinas e como os diferentes parâmetros afetam o desempenho.

3º Validação dos modelos testados.

Na etapa foi feita uma comparação dos resultados do software GTS com os resultados do software comercial GATECYCLE. Também fez-se um estudo dos erros para saber qual é um erro aceitável para a introdução de uma nova turbina.

4º Calibração dos parâmetros de uma turbina existente

Na etapa fez-se um ajuste dos parâmetros de uma turbina para melhorar os resultados. Isso feito para minimizar os erros de tal modo que os gráficos obtidos com o software GTS sejam mais semelhantes os obtidos com o programa GateCycle.

5º Criação de uma turbina a partir do zero

Como um prelúdio para a introdução das novas turbinas na biblioteca, fez-se uma cópia de uma das turbinas já cadastradas. O objetivo era a criação de uma turbina com parâmetros distintos, mais com uma resposta bem parecida a original e, também, ter sensibilidade sobre como parâmetros afetam o comportamento da turbina.

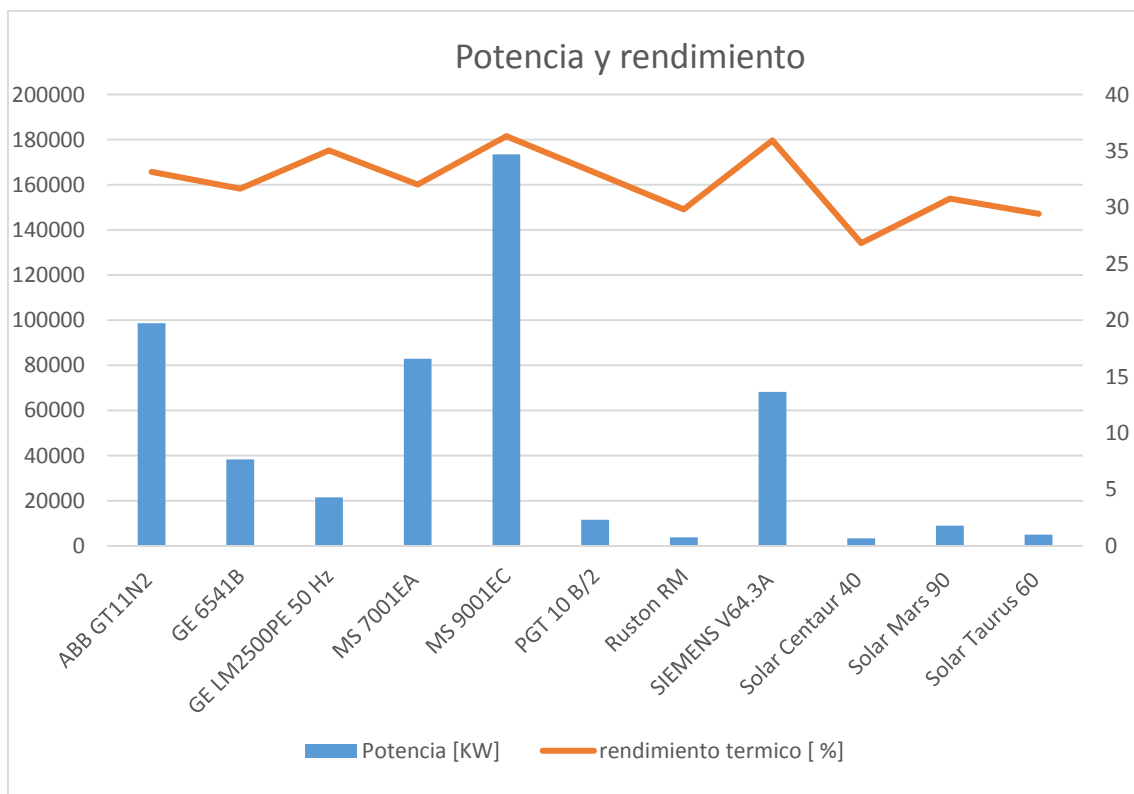
6º Introdução de uma nova turbina no programa de simulação GTS.

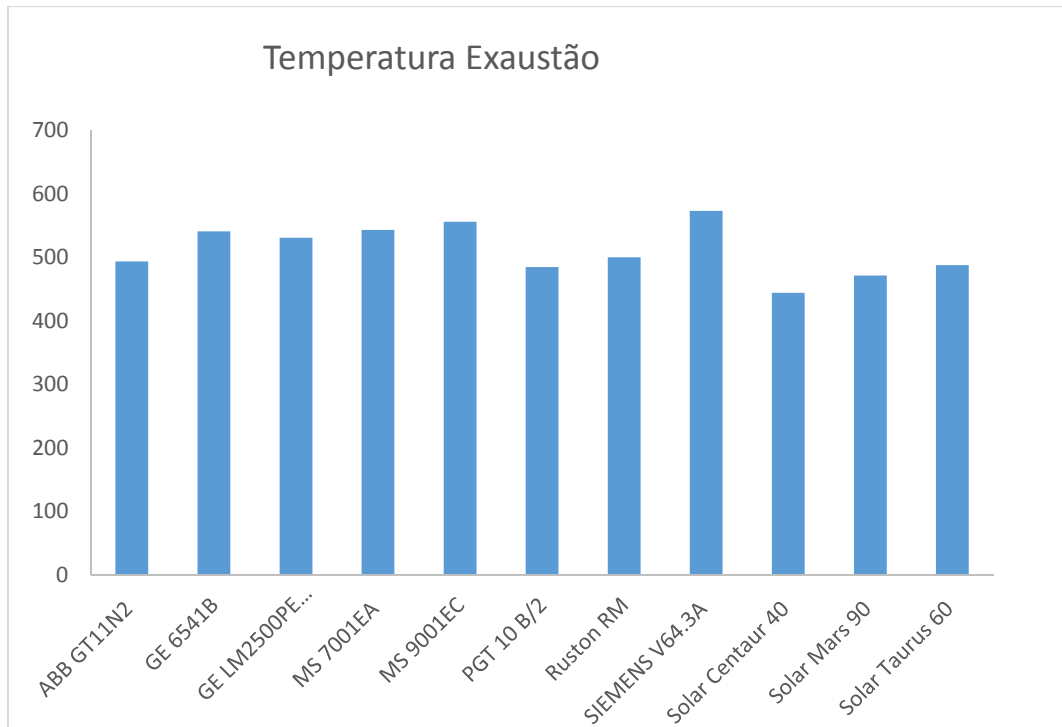
No último passo do trabalho foi feita a introdução de uma nova turbina à biblioteca. Essa é a etapa na qual é preciso aplicar todos os conhecimentos adquiridos nas etapas prévias.

ETENDIMENTO DO SOFTWARE DE SIMULAÇÃO GTS

Para ter um primeiro contato com o software GTS fez-se um estudo das diferentes turbinas, sempre trabalhando nas condições de referência ISO (1atm, 15 °C e umidade relativa 60%). A seguir são apresentados gráficos da potência e do rendimento de cada turbina, e um gráfico do rendimento em função da temperatura da saída.

	Potência [kW]	Rendimento térmico [%]	T ex [°C]
ABB GT11N2 (1997)	98701,79	33,14	493,47
GE 6541B	38318,94	31,65	540,87
GE LM2500PE 50 Hz	21528,54	35,04	530,98
MS 7001EA (1987)	82952,31	32,02	543,21
MS 9001EC	173485,83	36,31	556,07
PGT 10 B/2	11623,92	33,07	484,76
Ruston RM	3787,06	29,82	500,02
SIEMENS V64.3A (1995)	68227,93	35,94	573,28
Solar Centaur 40 (1997)	3372,49	26,84	444,2
Solar Mars 90 (1995)	8985,98	30,77	471,42
Solar Taurus 60 (1997)	5027,65	29,43	487,77





ESTUDO DO COMPORTAMENTO DAS TURBINAS

Foi feito um estudo da variação dos principais parâmetros e de suas funções de variação.

Toda vez que uma máquina produz potência, parte de sua energia total (à entrada) é dissipada, seja por motivos de falha ou até mesmo devido ao atrito. Essa energia dissipada é transformada basicamente em energia térmica. Assim, define-se o rendimento de uma máquina como a fração da energia que é aproveitada pela turbina na produção de potência.

Nas máquinas que trabalham de forma contínua a energia que é consumida depende do tempo de operação. Então, o rendimento fez-se como a fração das potências.

Onde:

η é o rendimento da máquina
Eútil é a energia útil da máquina
Etotal é a energia total recebida pela máquina
Pútil é a potência utilizada pela máquina
Ptotal é a potência total recebida pela máquina.

Por se tratar de um quociente de grandezas de mesma unidade, rendimento é uma grandeza adimensional, ou seja, ele não possui unidade. O rendimento é sempre menor que um e maior que zero ($0 < \eta < 1$). Nas tabelas o rendimento é expresso em porcentagem.

Nas turbinas a gás a potência total recebida é calculada como o fluxo de combustível per segundo multiplicado pelo PCI (poder calorífico inferior) do combustível.

O Poder Calorífico é a quantidade de energia por unidade de massa liberada na oxidação completa de um determinado combustível. Existem duas formas de considerar o poder calorífico: Poder Calorífico Superior (PCS) e Poder Calorífico Inferior (PCI).

Para os cálculos das turbinas é utilizado o PCI porque a energia da vaporização da água não é passível de aproveitamento pela turbina.

Estudo do impacto da temperatura do ar na entrada

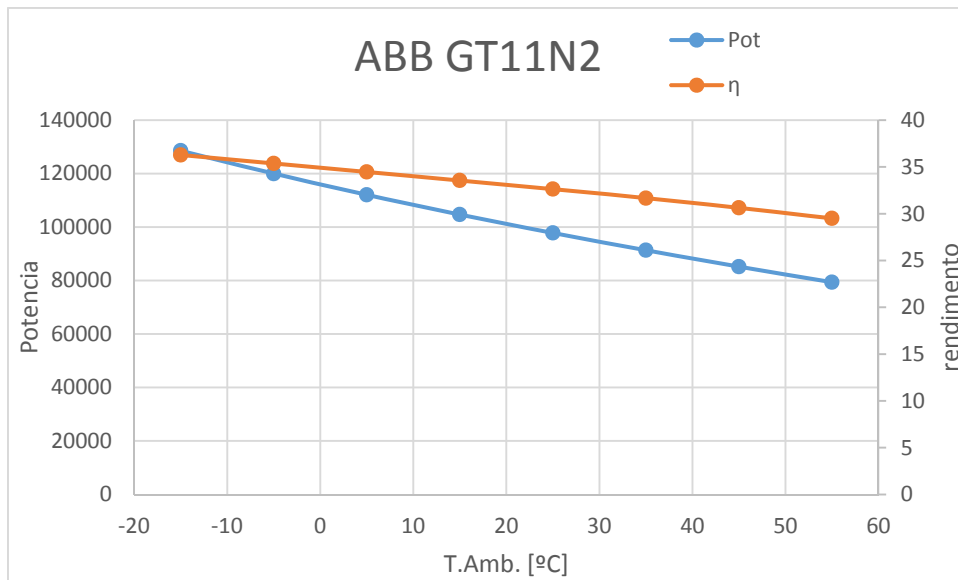
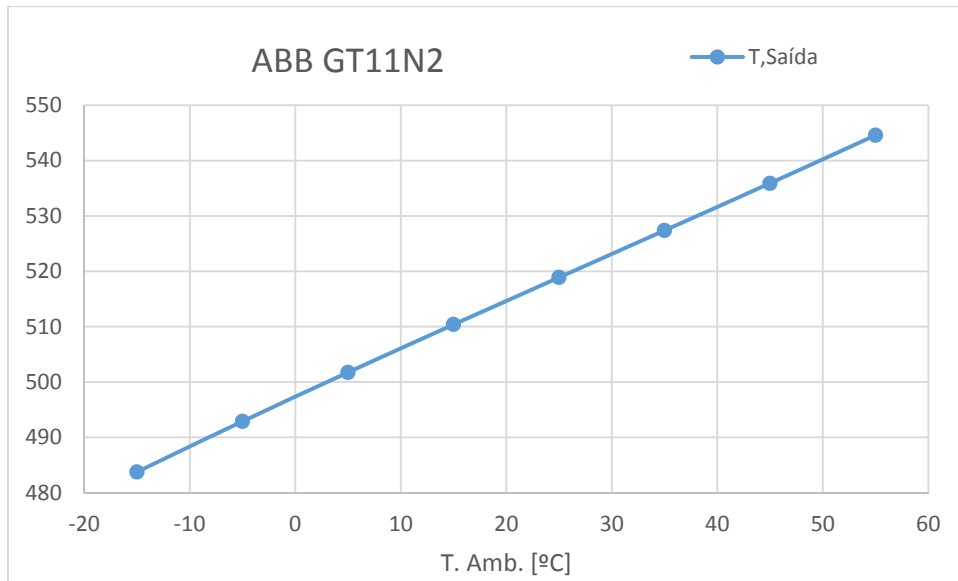
Na análise foram considerados os seguintes valores: Pressão: 1 atm; T. Combustão: 1200°C; Umidade: 0,6; Combustível: metano.

As temperaturas máximas das turbinas são diferentes e, em alguns casos, 1200 °C pode estar distante do valor real. Mas, o objetivo era compreender como os diferentes parâmetros das turbinas alteram os parâmetros de saída e, para isso, é interessante comparar como se comportam as distintas turbinas cadastradas no programa num mesmo ponto de operação, embora não seja um ponto de operação real.

Nos seguintes estudos se tem o mesmo problema e tem a mesma explicação.

	T,Amb [°C]	-15	-5	5	15	25	35	45	55
ABB GT11N2 (1997)	T,ex [°C]	483,74	492,87	501,73	510,39	518,91	527,37	535,89	544,6
	Pot [kW]	128568,86	120000,24	112065,47	104691	97804,38	91334,69	85212	79369,56
	η [%]	36,28	35,37	34,47	33,56	32,64	31,67	30,64	29,5
GE 6541B	T,ex [°C]	561,93	570,1	578,02	585,74	593,31	600,81	608,3	615,92
	Pot [kW]	53257,57	49746,12	46512,05	43521,24	40742,53	38145,89	35701,63	33382,54
	η [%]	34,72	33,94	33,17	32,4	31,62	30,81	29,94	28,99
GE LM2500PE 50 Hz	T,ex [°C]	491,32	499,35	507,14	514,76	522,26	529,72	537,23	544,95
	Pot [kW]	26124,46	24227,39	22481,19	20865,94	19363,6	17956,14	16625	15352,47
	η [%]	37,98	37,04	36,11	35,17	34,2	33,18	32,08	30,85
MS 7001EA (1987)	T,ex [°C]	553,76	561,06	568,11	574,96	581,68	588,32	594,98	601,8
	Pot [kW]	108459,27	102274,99	96499,52	91080,79	85969,32	81115	76463,25	71961,41
	η [%]	34,8	34,07	33,34	32,6	31,84	31,05	30,19	29,24
MS 9001EC	T,ex [°C]	489,67	498,53	507,14	515,56	523,87	532,12	540,43	548,95
	Pot [kW]	189335,93	176368,06	164424,13	153385,47	143138,43	133575,26	124590,43	116091,62
	η [%]	38,18	37,29	36,4	35,52	34,62	33,68	32,68	31,58
PGT 10 B/2	T,ex [°C]	482,02	491,05	499,84	508,44	516,92	525,36	533,88	542,63
	Pot [kW]	15861,92	14731,72	13689,92	12726,14	11830,62	10993,59	10205,91	9458,9
	η [%]	36,77	35,8	34,84	33,86	32,87	31,84	30,74	29,53
Ruston RM	T,ex [°C]	520,6	531,51	542,25	552,88	563,47	574,07	584,8	595,79
	Pot [kW]	6049,84	5502,83	5008,97	4561,81	4155,52	3784,83	3445,03	3131,98
	η [%]	34,28	33,26	32,26	31,26	30,25	29,22	28,14	26,98

Alguns gráficos com resultados são apresentados a seguir.

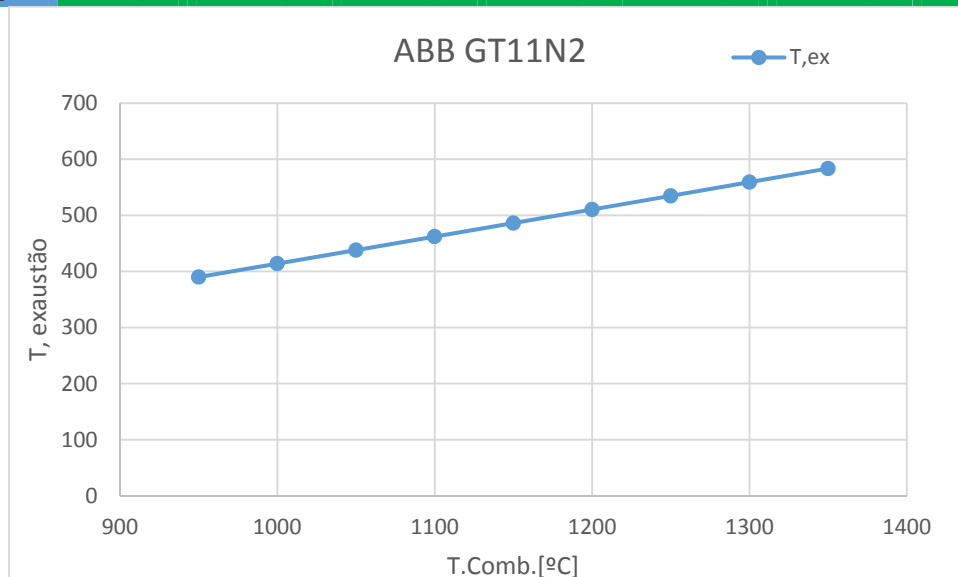


Todas as turbinas têm um comportamento parecido em função da variação da temperatura de entrada do ar; por isso não são apresentados os demais gráficos.

Análise em função da temperatura de combustão

No caso, foram considerados os seguintes valores: Pressão: 1 atm; T. Ambiente: 15 °C; Umidade: 0,6; Combustível: metano.

	T,Comb [°C]	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350
ABB GT11N2 (1997)	T,ex [°C]	389,91	413,89	437,92	462,01	486,17	510,39	534,68	559,03	583,44
	Pot [kW]	62705,93	71027,1	79387,59	87785,83	96220,57	104691	113195,93	121734,88	130307,5
	η [%]	29,39	30,53	31,48	32,28	32,97	33,56	34,08	34,52	34,91
GE 6541B	T,ex [°C]	445,99	473,82	501,71	529,66	557,67	585,74	613,88	642,09	670,36
	Pot [kW]	27406,12	30602,6	33812,85	37036,3	40272,53	43521,24	46782,23	50055,3	53340,37
	η [%]	29,31	30,14	30,85	31,45	31,96	32,4	32,78	33,11	33,39
GE LM2500PE 50 Hz	T,ex [°C]	389,22	414,22	439,28	464,38	489,54	514,76	540,03	565,37	590,76
	Pot [kW]	11694,28	13511,14	15337,23	17171,67	19014,77	20865,94	22725,06	24591,97	26466,56
	η [%]	29,54	31,08	32,37	33,45	34,38	35,17	35,85	36,44	36,96
MS 7001EA (1987)	T,ex [°C]	438,94	466,03	493,17	520,37	547,64	574,96	602,36	629,81	657,34
	Pot [kW]	56530,13	63381,63	70263,48	77174,5	84113,78	91080,79	98074,72	105095,27	112142,31
	η [%]	29,2	30,11	30,9	31,55	32,12	32,6	33,02	33,38	33,7
MS 9001EC	T,ex [°C]	393,02	417,41	441,86	466,37	490,93	515,56	540,26	565,02	589,84
	Pot [kW]	92573,42	104624,17	116732,83	128897,33	141115,33	153385,47	165706,67	178078,07	190498,73
	η [%]	31,3	32,45	33,41	34,22	34,92	35,52	36,04	36,49	36,88
PGT 10 B/2	T,ex [°C]	390,45	413,93	437,47	461,07	484,72	508,44	532,22	556,06	579,97
	Pot [kW]	7303,05	8377,43	9457,12	10541,91	11631,64	12726,14	13825,34	14929,14	16037,47
	η [%]	28,5	29,95	31,17	32,21	33,1	33,86	34,53	35,12	35,63
Ruston RM	T,ex [°C]	424,96	450,43	475,95	501,53	527,17	552,88	578,65	604,49	630,39
	Pot [kW]	2697,98	3067,46	3438,65	3811,47	4185,87	4561,81	4939,26	5318,2	5698,61
	η [%]	26,83	28,02	29,03	29,89	30,62	31,26	31,82	32,3	32,72



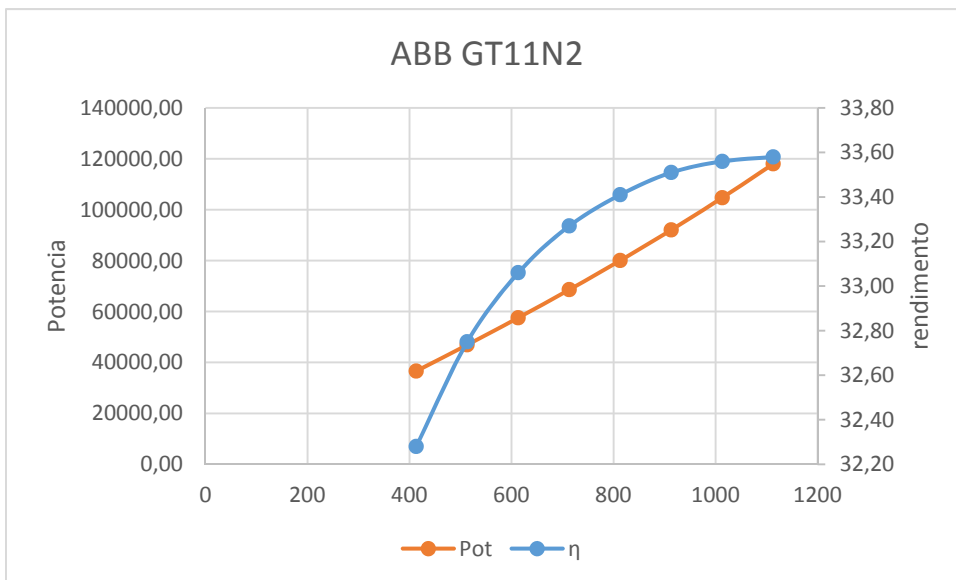
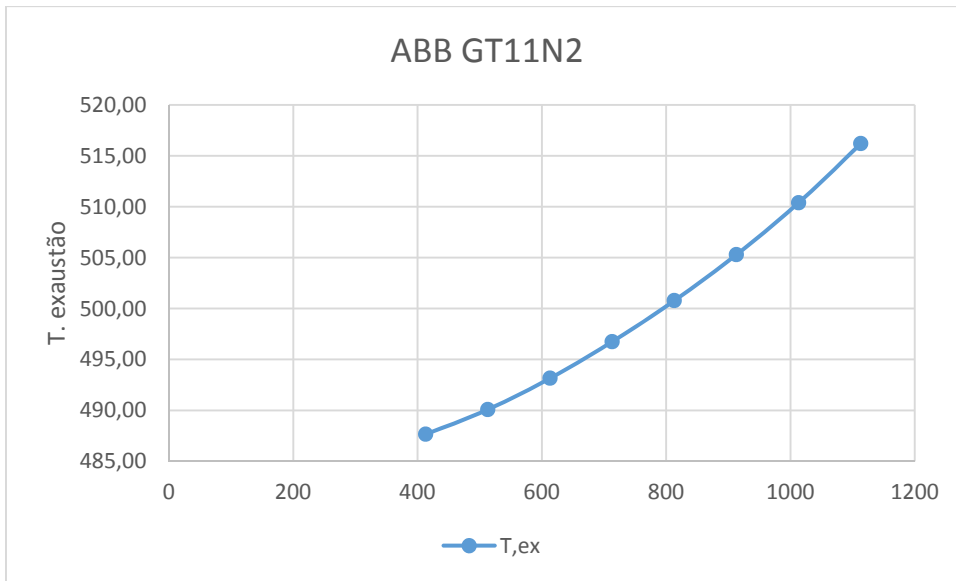
Todas as turbinas apresentam comportamento parecido em função da variação da temperatura de combustão; por isso não são apresentados os demais gráficos.

Estudo em função da pressão ambiente

Na análise foram considerados os seguintes parâmetros: T.combustão: 1200°C; T. Ambiente: 15 °C; Umidade: 0,6; Combustível: metano.

Os valores de pressão mínima e máxima escolhidos são os da pressão no nível do mar (um pouco mais, na verdade) e da pressão a 7000 m de altitude.

	Presión [mB]	413,25	513,25	613,25	713,25	813,25	913,25	1013,25	1113,25
ABB GT11N2 (1997)	T _{ex} [°C]	487,66	490,08	493,16	496,74	500,78	505,30	510,39	516,20
	Pot [kW]	36608,09	46892,34	57539,12	68585,40	80077,93	92083,10	104691,00	118041,76
	η [%]	32,28	32,75	33,06	33,27	33,41	33,51	33,56	33,58
GE 6541B	T _{ex} [°C]	501,63	509,43	518,87	530,03	543,46	560,47	585,74	623,20
	Pot [kW]	12732,25	16666,09	20907,02	25518,80	30609,12	36391,49	43521,24	52733,32
	η [%]	31,36	31,91	32,26	32,48	32,58	32,58	32,40	31,91
GE LM2500PE 50 Hz	T _{ex} [°C]	422,96	432,70	443,47	455,62	469,82	487,59	514,76	543,87
	Pot [kW]	5311,21	7054,05	9008,49	11219,02	13761,29	16792,88	20865,94	25528,77
	η [%]	34,42	34,93	35,28	35,52	35,63	35,57	35,17	34,41
MS 7001EA (1987)	T _{ex} [°C]	468,12	478,79	491,05	505,21	522,00	543,19	574,96	618,57
	Pot [kW]	24711,51	32533,51	41176,31	50811,49	61731,77	74530,72	91080,79	112357,34
	η [%]	32,02	32,42	32,69	32,85	32,92	32,92	32,60	31,97
MS 9001EC	T _{ex} [°C]	399,1	411,66	425,55	441,24	459,57	482,33	515,56	564,12
	Pot [kW]	33643,03	46456,56	61101,35	77964,44	97685,66	121531,23	153385,47	197464,43
	η [%]	32,2	33,56	34,51	35,16	35,57	35,74	35,52	34,58
PGT 10 B/2	T _{ex} [°C]	321,77	340,36	361,15	384,94	413,28	449,67	508,44	566,25
	Pot [kW]	908,81	1781,02	2915,25	4371,42	6252,36	8772,87	12726,14	17105,02
	η [%]	16,07	22,15	26,47	29,61	31,88	33,38	33,86	33,09
Ruston RM	T _{ex} [°C]	441,67	453,00	466,09	481,23	499,11	521,34	552,88	610,68
	Pot [kW]	1082,76	1469,54	1907,36	2406,84	2984,57	3673,08	4561,81	5949,01
	η [%]	28,49	29,45	30,15	30,67	31,04	31,26	31,26	30,66

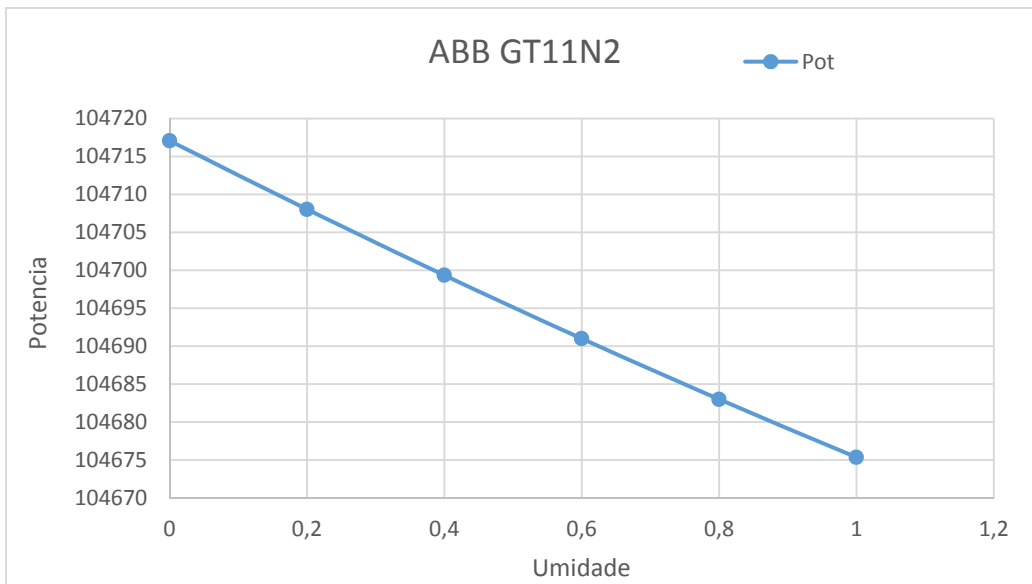
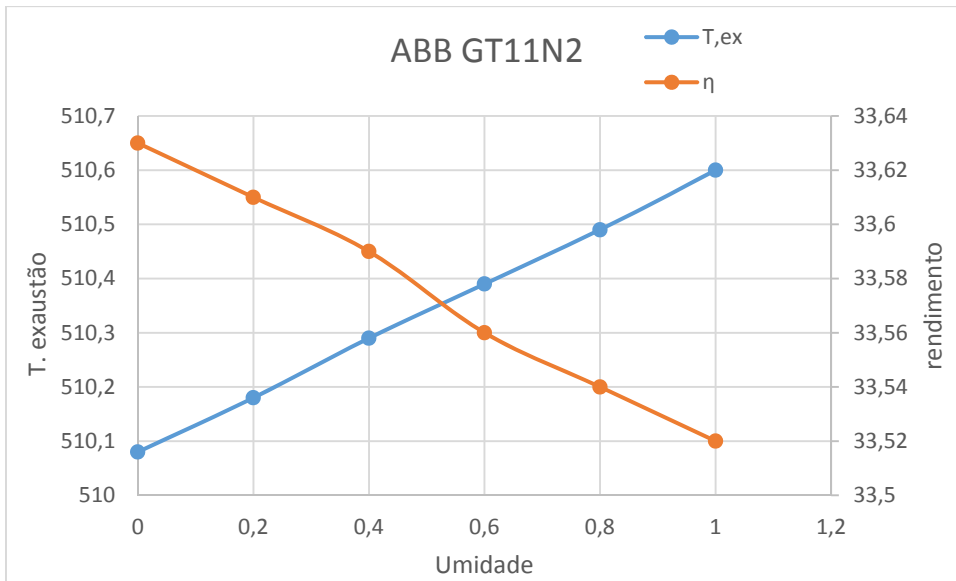


Todas as turbinas têm um comportamento parecido em função da variação da pressão do ar ambiente; por isso não são apresentados os demais gráficos.

Estudo em função da umidade

Na análise foram considerados os seguintes valores: T.combustão: 1200°C; T. Ambiente: 15 °C; Pressão: 1 atm; Combustível: metano.

Umidade		0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
ABB GT11N2 (1997)	T _{ex} [°C]	510,08	510,18	510,29	510,39	510,49	510,6
	Pot [kW]	104717,07	104708,02	104699,35	104691	104682,98	104675,35
	η [%]	33,63	33,61	33,59	33,56	33,54	33,52
GE 6541B	T _{ex} [°C]	585,52	585,59	585,66	585,74	585,82	585,89
	Pot [kW]	43537,13	43531,72	43526,43	43521,24	43516,19	43511,24
	η [%]	32,45	32,43	32,42	32,4	32,38	32,36
GE LM2500PE 50 Hz	T _{ex} [°C]	514,51	514,59	514,67	514,76	514,84	514,93
	Pot [kW]	20881,54	20876,29	20871,09	20865,94	20860,86	20855,83
	η [%]	35,24	35,21	35,19	35,17	35,14	35,12
MS 7001EA (1987)	T _{ex} [°C]	574,42	574,51	574,59	574,67	574,75	574,84
	Pot [kW]	90785,25	90773,65	90762,35	90751,28	90740,44	90729,87
	η [%]	32,61	32,59	32,57	32,55	32,53	32,51
MS 9001EC	T _{ex} [°C]	515,27	515,37	515,46	515,56	515,66	515,76
	Pot [kW]	153419,4	153407,59	153396,29	153385,47	153375,16	153365,38
	η [%]	35,58	35,56	35,54	35,52	35,5	35,48
PGT 10 B/2	T _{ex} [°C]	508.12	508.22	508.33	508.44	508.55	508.55
	Pot [kW]	12729.29	12728.19	12727.15	12726.14	12725.18	12725.18
	η [%]	33.93	33.91	33.89	33.86	33.84	33.84
Ruston RM	T _{ex} [°C]	552.59	552.69	552.78	552.88	552.98	553.07
	Pot [kW]	4563.71	4563.07	4562.43	4561.81	4561.20	4560.61
	η [%]	31.33	31.30	31.28	31.26	31.24	31.22



Todas as turbinas têm um comportamento parecido em função da variação da umidade do ar ambiente; por isso não são apresentados os demais gráficos.

Conclusão dos estudos

A partir do procedimento o aluno adquiriu conhecimento e sensibilidade sobre os parâmetros que mais impactam o desempenho de um turbina a gás.

A temperatura ambiente e a temperatura da combustão tem uma grande influência sobre todos os resultados (potência, temperatura de exaustão e rendimento).

A pressão atmosférica tem uma grande influência sobre a potência, mas não sobre a temperatura de exaustão ou o rendimento.

Na prática, a umidade quase não tem influência sobre o comportamento da turbina.

VALIDAÇÃO DOS MODELOS TESTADOS

Para conhecer melhor o comportamento do programa e das turbinas que são simuladas foi feita uma comparação dos resultados da simulação de várias turbinas e dos resultados obtidos com o software de simulação comercial *GATECYCLE*. Essa comparação tem em conta os principais parâmetros de saída do programa, que são potência elétrica, eficiência e temperatura de exaustão dos gases. Também fez-se os cálculos dos erros relativos desses parâmetros. Desta forma, comprova-se que os resultados da simulação do programa GTS estão em conformidade com o software comercial, com erros menores do que 3%.

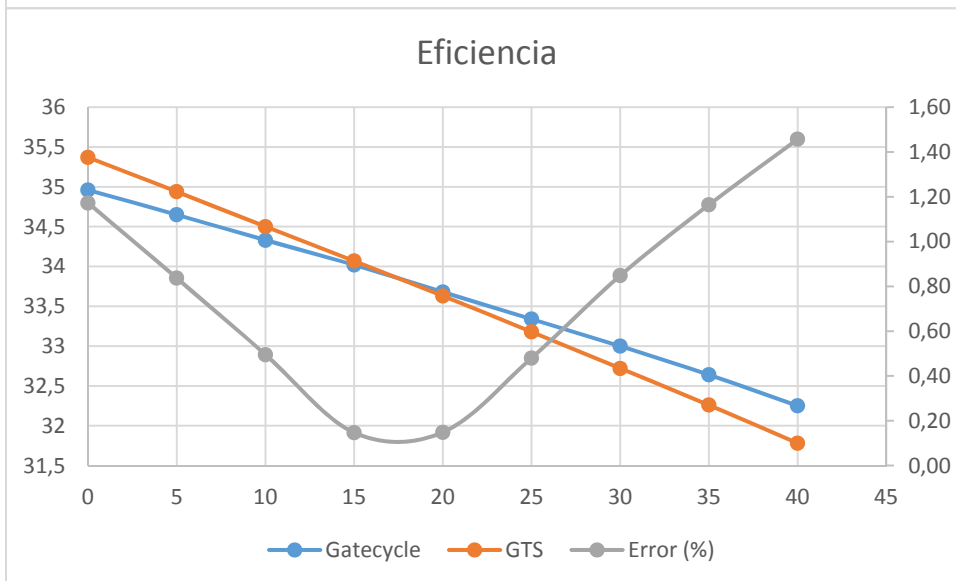
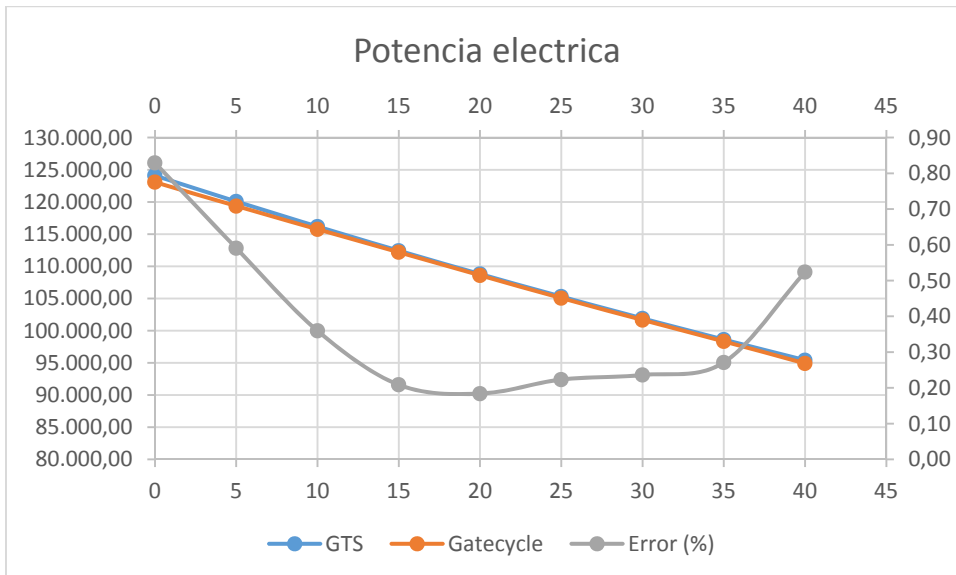
Como os ajustes dos parâmetros para a simulação foram feitos nas condições de referência ISO (1 atm, 15 °C e umidade relativa de 60%) os erros menores são os que aqueles obtidos para essa temperatura. Assim, é lógico que os gráficos dos erros tenham forma de “U” em torno desse ponto, embora as equações de correção empregadas no programa não serem exatamente convexas.

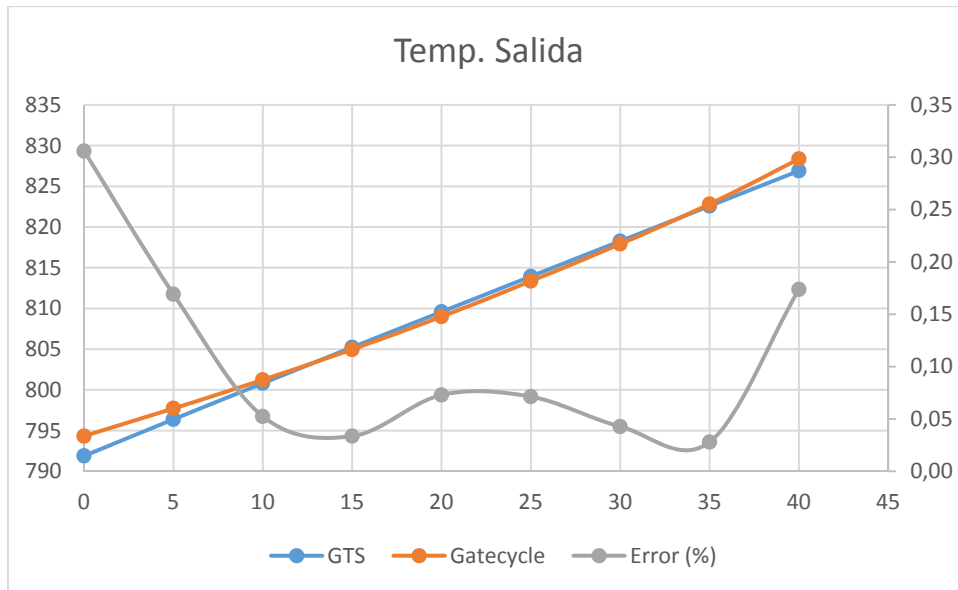
ABB GT11N2 (1997)

Parâmetros de calibração e referência

- Fluxo mássico de ar na entrada do compressor: 366,193 kg/s
- Fator de correção para o fluxo mássico de ar: 0,1
- Máxima eficiência do compressor: 0,92
- Fator de correção da eficiência do compressor: 0,39 SEC
- Fator de correção das palhetas guia: 0,01 VFC
- Fator de correção da eficiência das palhetas guia: 0,01 VEC
- Eficiência do combustor: 0,99
- Perda de carga no combustor: 0,3 dp/p
- Eficiência isentrópica do expensor: 0,9499
- Temperatura de projeto para entrada no expensor: 1165,6 °C
- Fração do ar de resfriamento das palhetas do expensor: 0,20273
- Eficiência do gerador: 0,97
- Potência auxiliar requerida: 1110,48 kW
- Perda de carga na entrada do compressor: 6,25 mBar
- Perda de carga na saída do expensor: 13,68 mBar
- Relação de pressões no compressor: 15,02
- Temperatura de combustão: 1244,6 °C
- Eficiência mecânica: 0,97

Temp, (°C)	PotênciaElétrica (kW)		Erro (%)	Eficiência (%)		Erro (%)	Temp, de saída (K)		Erro (%)
	GTS	Gatecycle		GTS	Gatecycle		GTS	Gatecycle	
0	124.100,63	123080	0,83	35,37	34,96	1,17	791,89	794,32	0,31
5	120.065,29	119360	0,59	34,94	34,65	0,84	796,38	797,73	0,17
10	116.176,32	115760	0,36	34,5	34,33	0,50	800,82	801,24	0,05
15	112.424,12	112190	0,21	34,07	34,02	0,15	805,23	804,96	0,03
20	108.799,80	108600	0,18	33,63	33,68	0,15	809,6	809,01	0,07
25	105.294,65	105060	0,22	33,18	33,34	0,48	813,94	813,36	0,07
30	101.899,98	101660	0,24	32,72	33	0,85	818,27	817,92	0,04
35	98.606,74	98340	0,27	32,26	32,64	1,16	822,59	822,82	0,03
40	95.407,26	94910	0,52	31,78	32,25	1,46	826,92	828,36	0,17





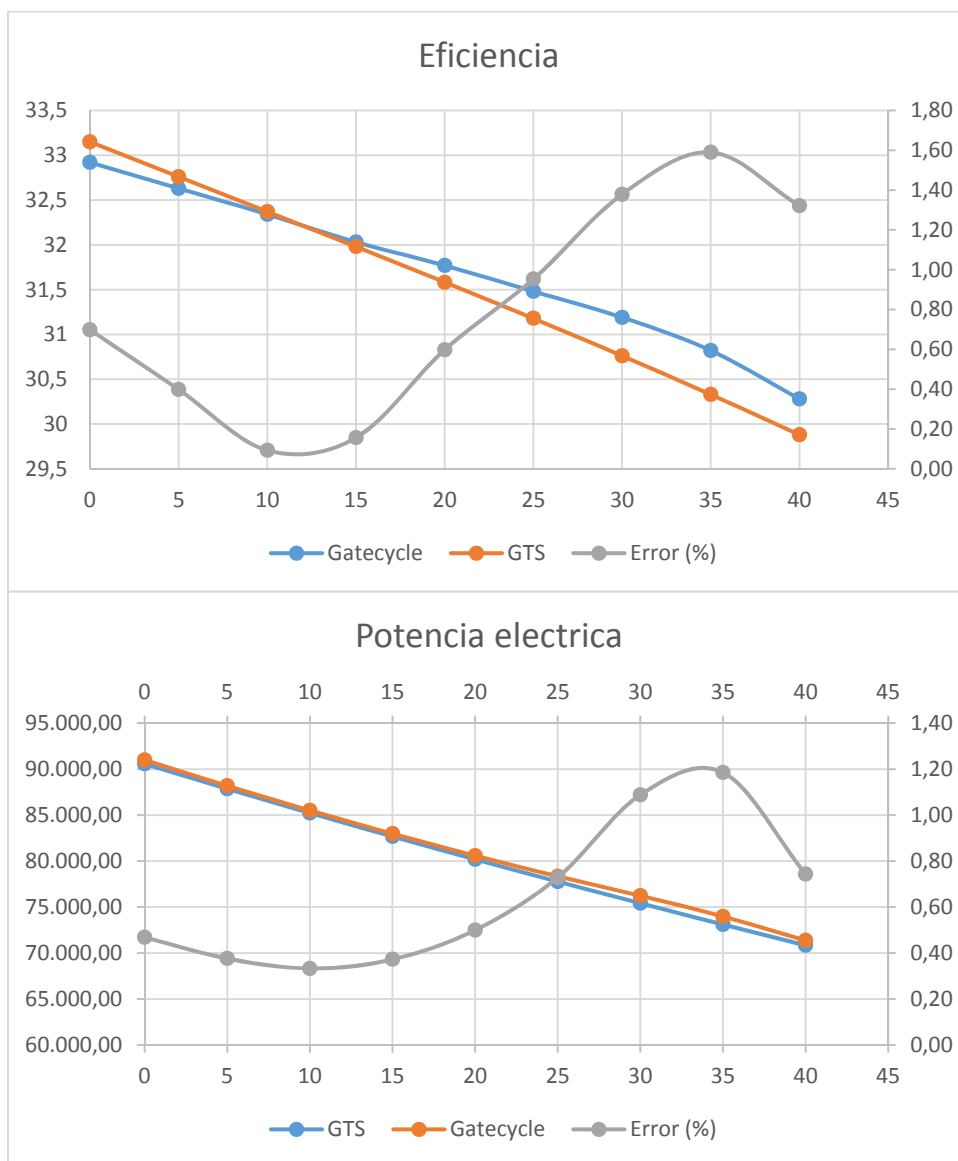
GE MS7001 (EA) (1987)

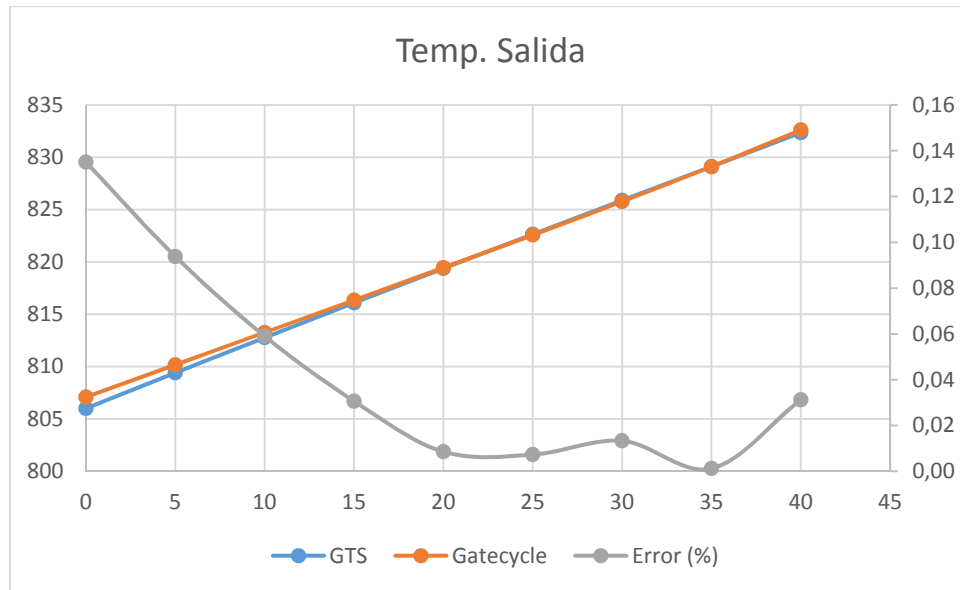
Parâmetros de calibração e referência

- Fluxo mássico de ar na entrada do compressor: 295,47 kg/s
- Fator de correção para o fluxo mássico de ar: 0,2
- Máxima eficiência do compressor: 0,902
- Fator de correção da eficiência do compressor: 0,5 SEC
- Fator de correção das palhetas guia: 0,01 VFC
- Fator de correção da eficiência das palhetas guia: 0,01 VEC
- Eficiência do combustor: 0,99
- Perda de carga no combustor: 0,04 dp/p
- Eficiência isentrópica do expensor: 0,83573
- Temperatura de projeto para entrada no expensor: 1087,1 °C
- Fração do ar de resfriamento das palhetas do expensor: 0,13927
- Eficiência do gerador: 0,998
- Potência auxiliar requerida: 27,74 kW
- Perda de carga na entrada do compressor: 6,221 mBar
- Perda de carga na saída do expensor: 13,69 mBar
- Relação de pressões no compressor: 12,19
- Temperatura de combustão: 1141,85 °C
- Eficiência mecânica: 0,999

Temp,	PotênciaElétrica	Erro (%)	Eficiência (%)	Erro (%)	Temp, de saída (K)	Erro (%)
-------	------------------	----------	----------------	----------	--------------------	----------

(°C)	(kW)								
	GTS	Gatecycle		GTS	Gatecycle		GTS	Gatecycle	
0	90.573,96	91000	0,47	33,15	32,92	0,70	806	807,09	0,14
5	87.858,07	88190	0,38	32,76	32,63	0,40	809,41	810,17	0,09
10	85.225,54	85510	0,33	32,37	32,34	0,09	812,77	813,25	0,06
15	82.670,77	82980	0,37	31,98	32,03	0,16	816,09	816,34	0,03
20	80.187,53	80590	0,50	31,58	31,77	0,60	819,38	819,45	0,01
25	77.769,54	78340	0,73	31,18	31,48	0,95	822,64	822,58	0,01
30	75.410,47	76240	1,09	30,76	31,19	1,38	825,88	825,77	0,01
35	73.102,85	73980	1,19	30,33	30,82	1,59	829,11	829,1	0,00
40	70.839,64	71370	0,74	29,88	30,28	1,32	832,35	832,61	0,03



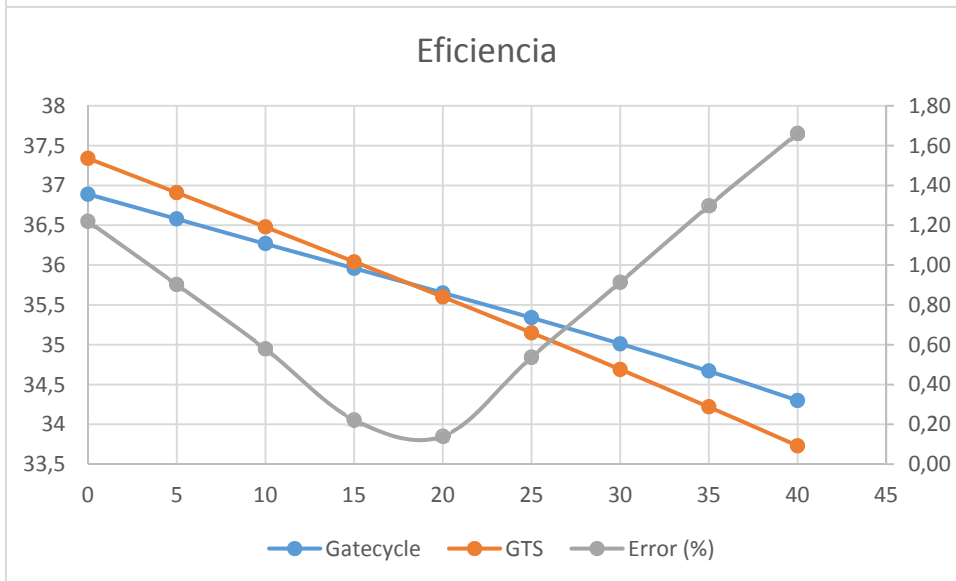
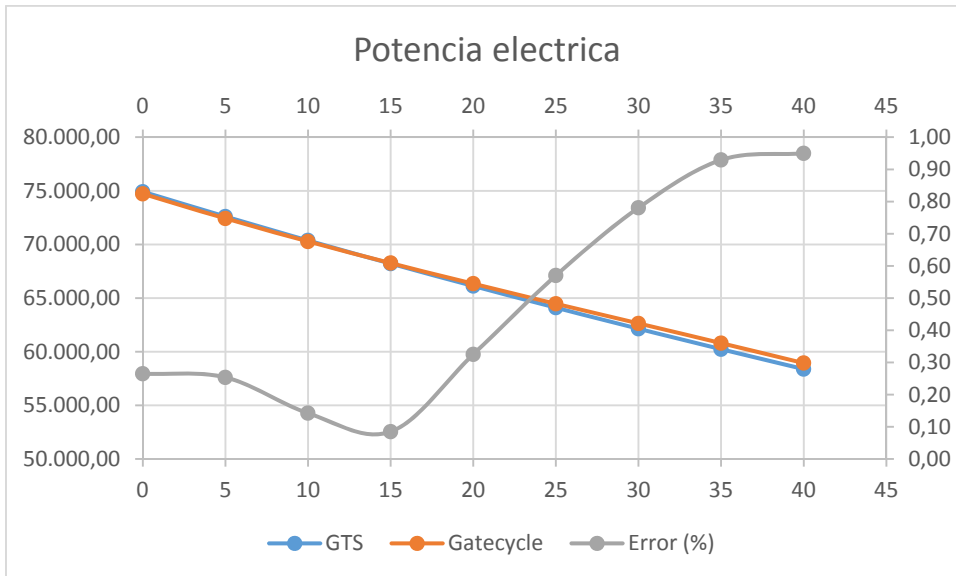


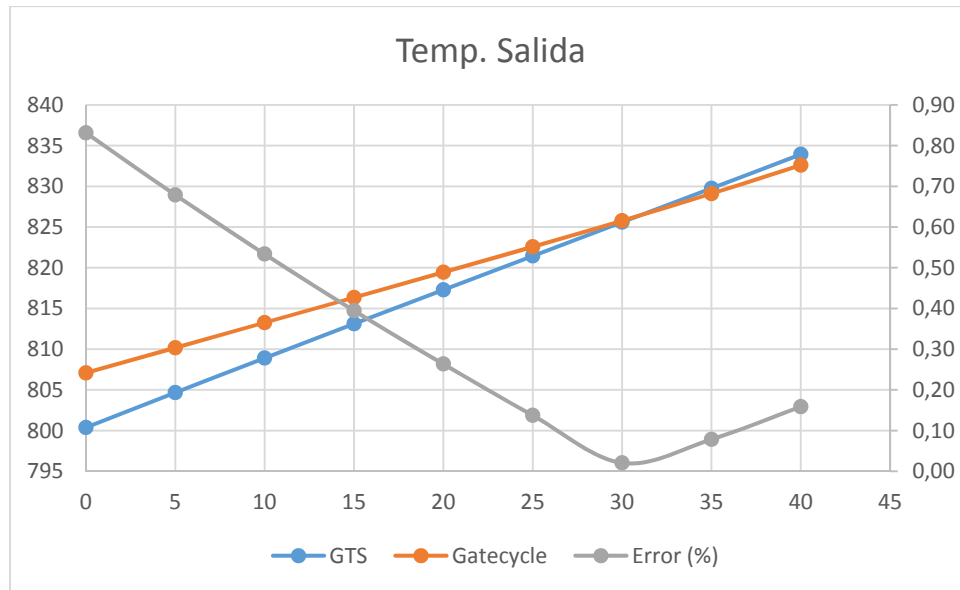
Siemens V64.3A (1995)

Parâmetros de calibração e referência

- Fluxo mássico de ar na entrada do compressor: 188,65 kg/s
- Fator de correção para o fluxo mássico de ar: 0,1
- Máxima eficiência do compressor: 0,90
- Fator de correção da eficiência do compressor: 0,39 SEC
- Fator de correção das palhetas guia: 0,01 VFC
- Fator de correção da eficiência das palhetas guia: 0,01 VEC
- Eficiência do combustor: 0,999
- Perda de carga no combustor: 0,05 dp/p
- Eficiência isentrópica do expensor: 0,9266
- Temperatura de projeto para entrada no expensor: 1347,4 °C
- Fração do ar de resfriamento das palhetas do expensor: 0,1939
- Eficiência do gerador: 0,9585
- Potência auxiliar requerida: 110,88 kW
- Perda de carga na entrada do compressor: 6,221 mBar
- Perda de carga na saída do expensor: 13,69 mBar
- Relação de pressões no compressor: 16,63
- Temperatura de combustão: 1347,4 °C
- Eficiência mecânica: 0,9683

Temp, (°C)	Potência Elétrica (kW)		Erro (%)	Eficiência (%)		Erro (%)	Temp, de saída (K)		Erro (%)
	GTS	Gatecycle		GTS	Gatecycle		GTS	Gatecycle	
0	74.918,09	74720	0,27	37,34	36,89	1,22	800,38	807,09	0,83
5	72.603,62	72420	0,25	36,91	36,58	0,90	804,67	810,17	0,68
10	70.370,09	70270	0,14	36,48	36,27	0,58	808,91	813,25	0,53
15	68.212,04	68270	0,08	36,04	35,96	0,22	813,12	816,34	0,39
20	66.124,45	66340	0,32	35,6	35,65	0,14	817,29	819,45	0,26
25	64.102,43	64470	0,57	35,15	35,34	0,54	821,45	822,58	0,14
30	62.141,05	62630	0,78	34,69	35,01	0,91	825,6	825,77	0,02
35	60.235,02	60800	0,93	34,22	34,67	1,30	829,75	829,1	0,08
40	58.380,08	58940	0,95	33,73	34,3	1,66	833,93	832,61	0,16





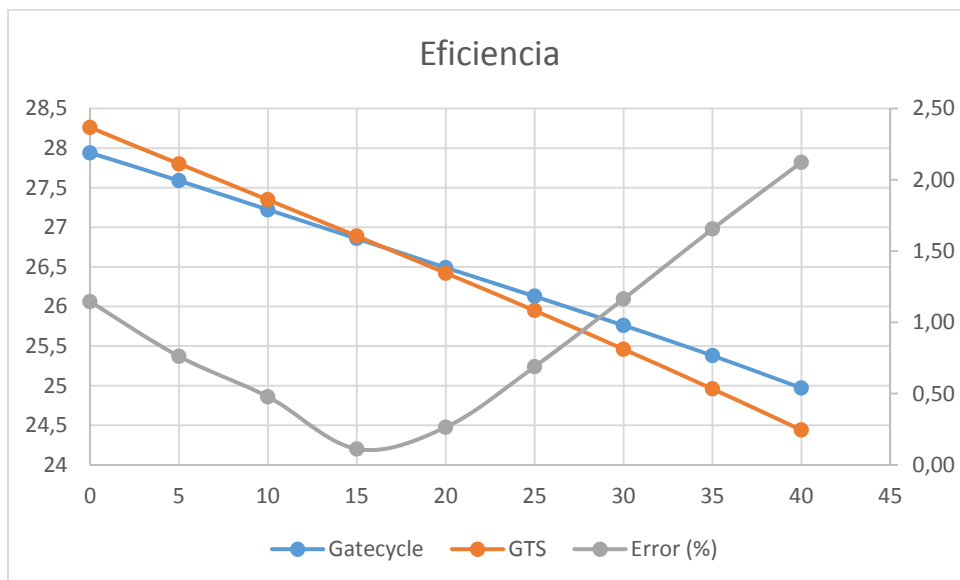
Solar Centaur 40 (1997)

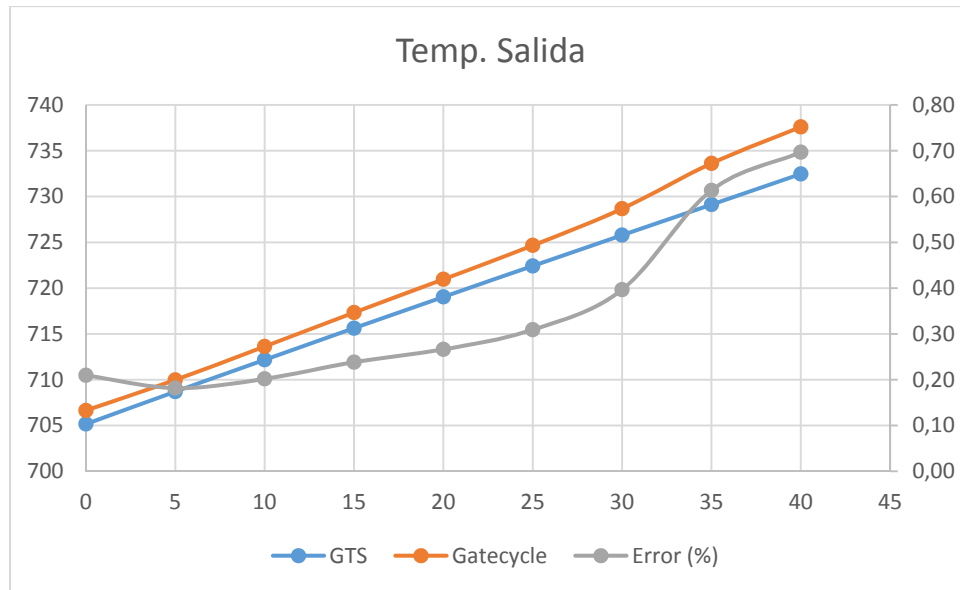
Parâmetros de calibração e referência

- Fluxo mássico de ar na entrada do compressor: 18,242 kg/s
- Fator de correção para o fluxo mássico de ar: 0,025
- Máxima eficiência do compressor: 0,9050
- Fator de correção da eficiência do compressor: 0,39 SEC
- Fator de correção das palhetas guia: 0,01 VFC
- Fator de correção da eficiência das palhetas guia: 0,01 VEC
- Eficiência do combustor: 0,99
- Perda de carga no combustor: 0,06 dp/p
- Eficiência isentrópica do expansor: 0,87705
- Temperatura de projeto para entrada no expansor: 907,34 °C
- Fração do ar de resfriamento das palhetas do expansor: 0,13
- Eficiência do gerador: 0,97
- Potência auxiliar requerida: 56,67 kW
- Perda de carga na entrada do compressor: 6,221 mBar
- Perda de carga na saída do expansor: 13,69 mBar
- Relação de pressões no compressor: 9,71
- Temperatura de combustão: 943,45 °C
- Eficiência mecânica: 0,92

Temp, (°C)	Potência Elétrica (kW)	Erro (%)	Efficiencia (%)	Erro (%)	Temp, de saída (K)	Erro (%)
------------	------------------------	----------	-----------------	----------	--------------------	----------

	GTS	Gatecycle		GTS	Gatecycle		GTS	Gatecycle	
0	3.824,11	3809	0,40	28,26	27,94	1,15	705,16	706,64	0,21
5	3.671,28	3664	0,20	27,8	27,59	0,76	708,69	709,98	0,18
10	3.524,26	3510	0,41	27,35	27,22	0,48	712,18	713,62	0,20
15	3.382,62	3374,4	0,24	26,89	26,86	0,11	715,62	717,33	0,24
20	3.245,91	3250	0,13	26,42	26,49	0,26	719,04	720,96	0,27
25	3.113,68	3120	0,20	25,95	26,13	0,69	722,42	724,66	0,31
30	2.985,47	3000	0,48	25,46	25,76	1,16	725,78	728,67	0,40
35	2.860,81	2890	1,01	24,96	25,38	1,65	729,12	733,62	0,61
40	2.739,16	2770	1,11	24,44	24,97	2,12	732,46	737,6	0,70





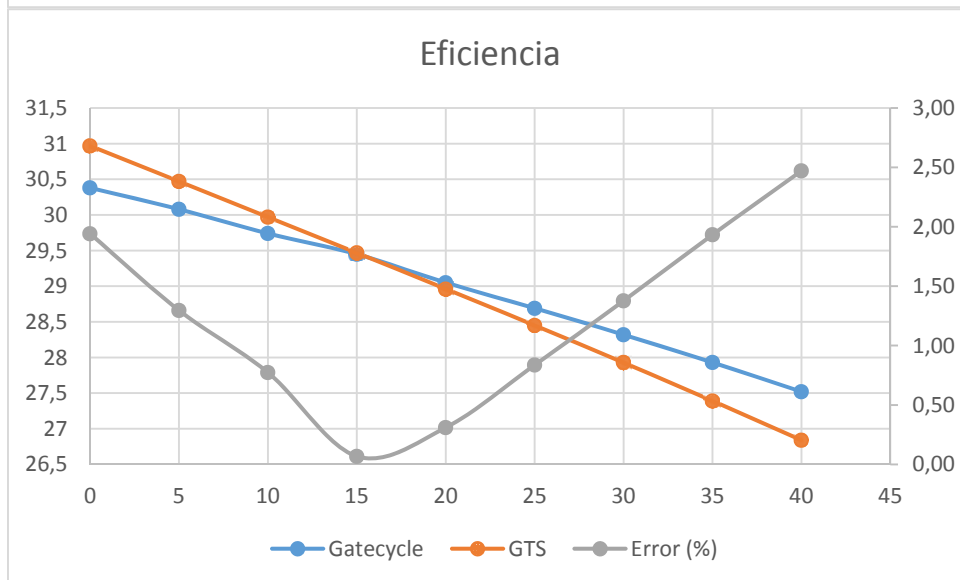
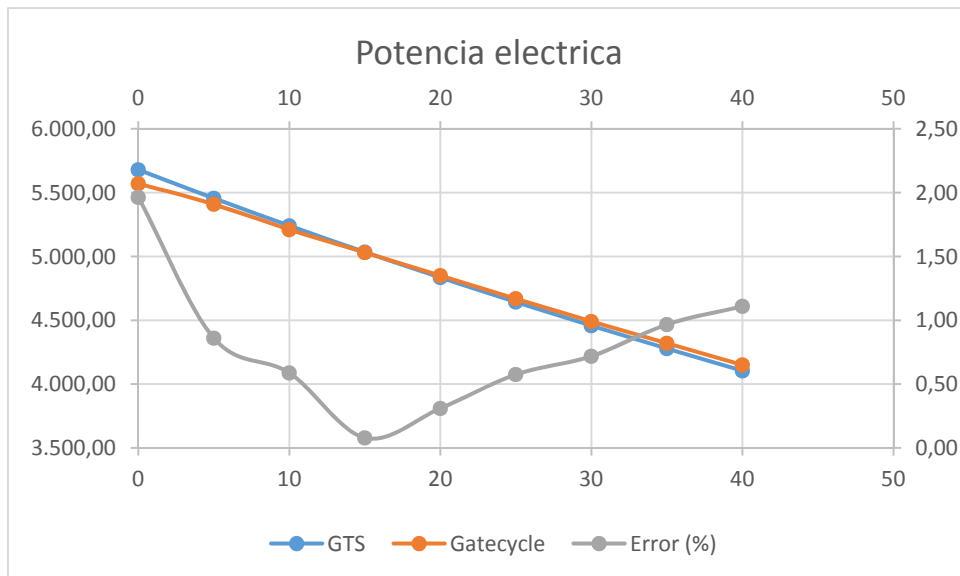
Solar Taurus 60 (1997)

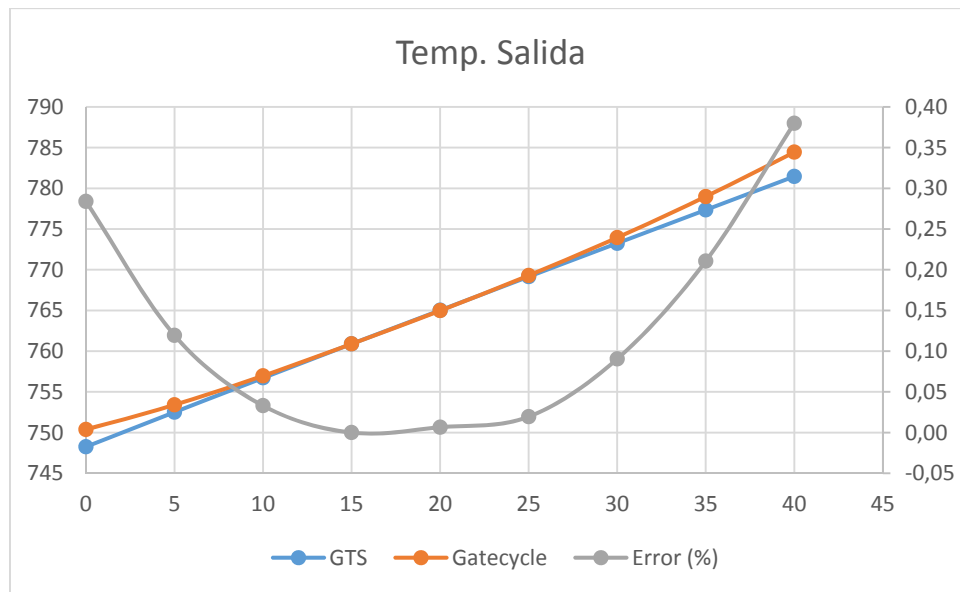
Parâmetros de calibração e referência

- Fluxo mássico de ar na entrada do compressor: 20,885 kg/s
- Fator de correção para o fluxo mássico de ar: -0,1
- Máxima eficiência do compressor: 0,9050
- Fator de correção da eficiência do compressor: 0,39 SEC
- Fator de correção das palhetas guia: 0,01 VFC
- Fator de correção da eficiência das palhetas guia: 0,01 VEC
- Eficiência do combustor: 0,99
- Perda de carga no combustor: 0,05 dp/p
- Eficiência isentrópica do expensor: 0,9155
- Temperatura de projeto para entrada no expensor: 1037,5 °C
- Fração do ar de resfriamento das palhetas do expensor: 0,17
- Eficiência do gerador: 0,97
- Potência auxiliar requerida: 219,30 kW
- Perda de carga na entrada do compressor: 6,221 mBar
- Perda de carga na saída do expensor: 13,69 mBar
- Relação de pressões no compressor: 11,72
- Temperatura de combustão: 1090,8 °C
- Eficiência mecânica: 0,91

Temp, (°C)	Potência Elétrica (kW)	Erro (%)	Eficiencia (%)	Erro (%)	Temp, de saída (K)	Erro (%)
------------	------------------------	----------	----------------	----------	--------------------	----------

	GTS	Gatecycle		GTS	Gatecycle		GTS	Gatecycle	
0	5.679,36	5.570,00	1,96	30,97	30,38	1,94	748,25	750,38	0,28
5	5.455,53	5.409,00	0,86	30,47	30,08	1,30	752,5	753,4	0,12
10	5.240,60	5.210,00	0,59	29,97	29,74	0,77	756,72	756,97	0,03
15	5.033,96	5.030,00	0,08	29,47	29,45	0,07	760,89	760,89	0,00
20	4.834,98	4.850,00	0,31	28,96	29,05	0,31	765,03	764,98	0,01
25	4.643,14	4.670,00	0,58	28,45	28,69	0,84	769,15	769,3	0,02
30	4.457,75	4.490,00	0,72	27,93	28,32	1,38	773,25	773,95	0,09
35	4.278,23	4.320,00	0,97	27,39	27,93	1,93	777,35	778,99	0,21
40	4.103,96	4.150,00	1,11	26,84	27,52	2,47	781,46	784,44	0,38





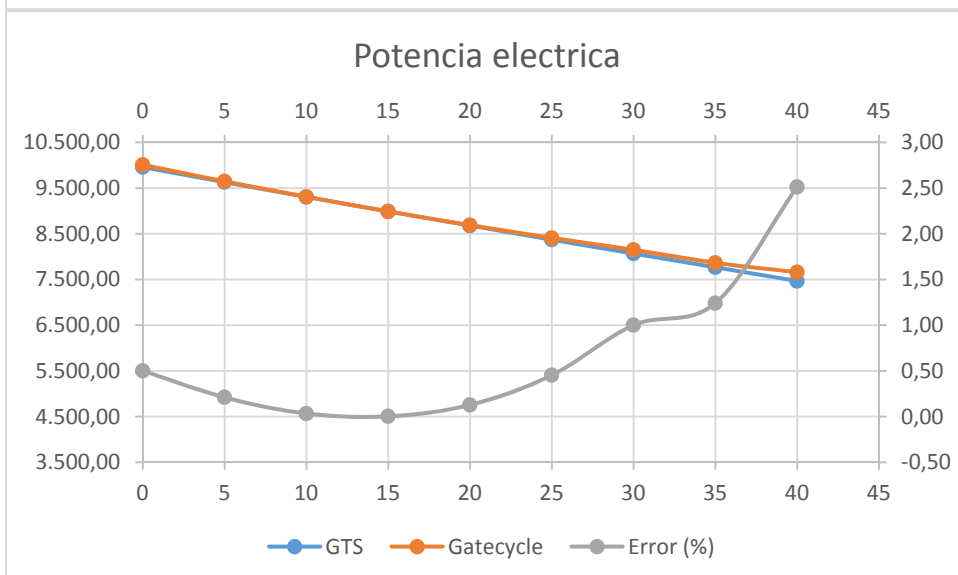
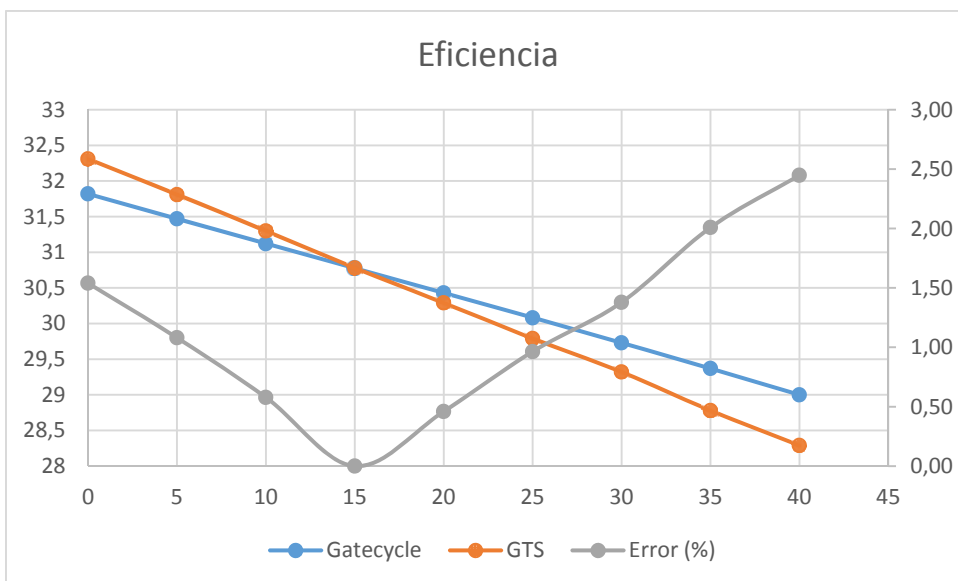
Solar Mars 90 (1995)

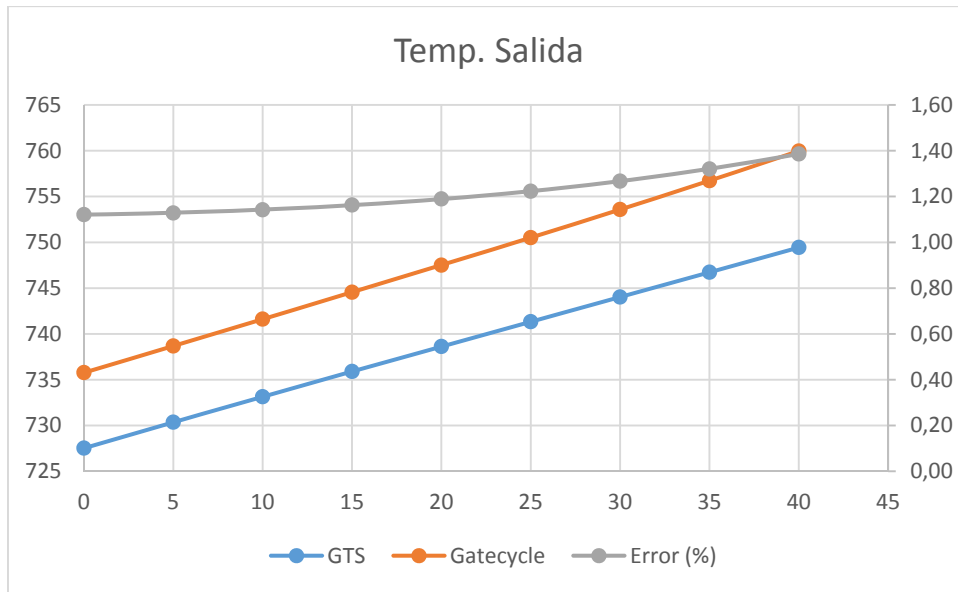
Parâmetros de calibração e referência

- Fluxo mássico de ar na entrada do compressor: 38,355 kg/s
- Fator de correção para o fluxo mássico de ar: 0,1
- Máxima eficiência do compressor: 0,89
- Fator de correção da eficiência do compressor: 0,39 SEC
- Fator de correção das palhetas guia: 0,01 VFC
- Fator de correção da eficiência das palhetas guia: 0,01 VEC
- Eficiência do combustor: 0,98
- Perda de carga no combustor: 0,05 dp/p
- Eficiência isentrópica do expensor: 0,85489
- Temperatura de projeto para entrada no expensor: 1049,2 °C
- Fração do ar de resfriamento das palhetas do expensor: 0,14
- Eficiência do gerador: 0,96
- Potência auxiliar requerida: 37,76 kW
- Perda de carga na entrada do compressor: 6,221 mbar
- Perda de carga na saída do expensor: 13,69 mbar
- Relação de pressões no compressor: 16,22
- Temperatura de combustão: 1078,9 °C
- Eficiência mecânica: 0,98

Temp,	Potência Elétrica	Erro (%)	Efficiencia (%)	Erro (%)	Temp, de saída (K)	Erro (%)
-------	-------------------	----------	-----------------	----------	--------------------	----------

(°C)	(kW)								
	GTS	Gatecycle		GTS	Gatecycle		GTS	Gatecycle	
0	9.958,89	10009	0,50	32,31	31,82	1,54	727,52	735,77	1,12
5	9.629,63	9650	0,21	31,81	31,47	1,08	730,35	738,68	1,13
10	9.306,98	9310	0,03	31,3	31,12	0,58	733,14	741,61	1,14
15	8.990,33	8990	0,00	30,78	30,78	0,00	735,89	744,55	1,16
20	8.678,92	8690	0,13	30,29	30,43	0,46	738,62	747,51	1,19
25	8.371,93	8410	0,45	29,79	30,08	0,96	741,33	750,51	1,22
30	8.068,45	8150	1,00	29,32	29,73	1,38	744,03	753,58	1,27
35	7.767,33	7865	1,24	28,78	29,37	2,01	746,73	756,72	1,32
40	7.467,44	7660	2,51	28,29	29	2,45	749,44	759,97	1,39

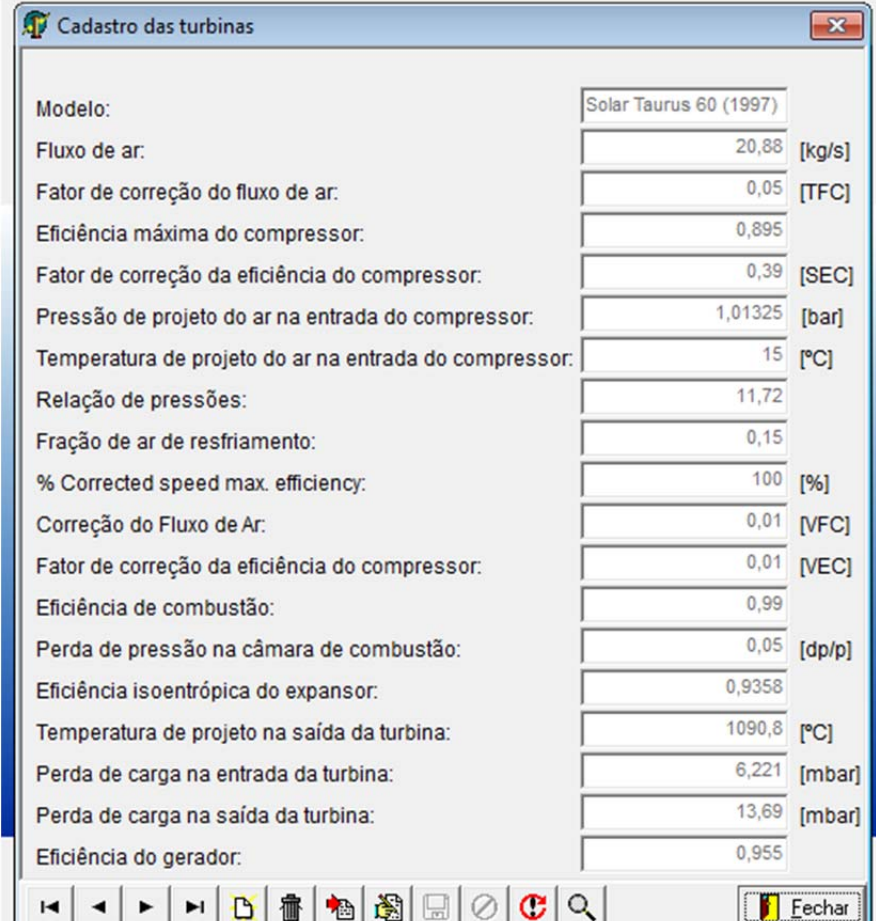




RECALIBRAÇÃO DOS PARÂMETROS DE UMA TURBINA EXISTENTE

Para a recalibração dos parâmetros da turbina foram feitas pequenas variações em um parâmetro até que a resposta fosse melhor (mais similar àquela do GATECYCLE) que a resposta dos parâmetros originais.

A turbina que foi estudada é a Solar Taurus 60. Os parâmetros originais da turbina são:



Parâmetro	Valor	Unidade
Modelo:	Solar Taurus 60 (1997)	
Fluxo de ar:	20,88	[kg/s]
Fator de correção do fluxo de ar:	0,05	[TFC]
Eficiência máxima do compressor:	0,895	
Fator de correção da eficiência do compressor:	0,39	[SEC]
Pressão de projeto do ar na entrada do compressor:	1,01325	[bar]
Temperatura de projeto do ar na entrada do compressor:	15	[°C]
Relação de pressões:	11,72	
Fração de ar de resfriamento:	0,15	
% Corrected speed max. efficiency:	100	[%]
Correção do Fluxo de Ar:	0,01	[VFC]
Fator de correção da eficiência do compressor:	0,01	[VEC]
Eficiência de combustão:	0,99	
Perda de pressão na câmara de combustão:	0,05	[dp/p]
Eficiência isoentrópica do expensor:	0,9358	
Temperatura de projeto na saída da turbina:	1090,8	[°C]
Perda de carga na entrada da turbina:	6,221	[mbar]
Perda de carga na saída da turbina:	13,69	[mbar]
Eficiência do gerador:	0,955	

Depois da modificação os parâmetros finais d turbina são:

Cadastro das turbinas X

Modelo: Solar Taurus 60 miguel

Fluxo de ar: 20,88 [kg/s]

Fator de correção do fluxo de ar: 0,19 [TFC]

Eficiência máxima do compressor: 0,905

Fator de correção da eficiência do compressor: 0,2 [SEC]

Pressão de projeto do ar na entrada do compressor: 1,01325 [bar]

Temperatura de projeto do ar na entrada do compressor: 15 [°C]

Relação de pressões: 11,72

Fração de ar de resfriamento: 0,15

% Corrected speed max. efficiency: 100 [%]

Correção do Fluxo de Ar: 0,1 [VFC]

Fator de correção da eficiência do compressor: 0,25 [VEC]

Eficiência de combustão: 0,99

Perda de pressão na câmara de combustão: 0,05 [dp/p]

Eficiência isoentrópica do expansor: 0,905

Temperatura de projeto na saída da turbina: 1090,8 [°C]

Perda de carga na entrada da turbina: 6,221 [mbar]

Perda de carga na saída da turbina: 13,69 [mbar]

Eficiência do gerador: 0,955

Fechar

E os resultados obtidos da turbina modificada (GTS*) e os resultados da turbina original (GTS) são mostrados a seguir:

Temp, (°C)	Potência Elétrica (kW)		Erro (%)	
	GTS*	Gatecycle		
0	5.631,17	5.570,00	1,10	melhor
5	5.423,50	5.409,00	0,27	melhor
10	5.223,40	5.210,00	0,26	melhor
15	5.030,26	5.030,00	0,01	melhor
20	4.843,61	4.850,00	0,13	melhor
25	4.662,97	4.670,00	0,15	melhor
30	4.487,72	4.490,00	0,05	melhor
35	4.317,31	4.320,00	0,06	melhor
40	4.151,16	4.150,00	0,03	melhor

Potência Elétrica (kW)		
GTS	Gatecycle	Erro (%)
5.679,36	5.570,00	1,96
5.455,53	5.409,00	0,86
5.240,60	5.210,00	0,59
5.033,96	5.030,00	0,08
4.834,98	4.850,00	0,31
4.643,14	4.670,00	0,58
4.457,75	4.490,00	0,72
4.278,23	4.320,00	0,97
4.103,96	4.150,00	1,11

Temp, (°C)	Eficiência (%)		Erro (%)	
	GTS*	Gatecycle		
0	30,92	30,38	1,78	melhor

Eficiência (%)		
GTS	Gatecycle	Erro (%)
30,97	30,38	1,94

5	30,43	30,08	1,16	melhor	30,47	30,08	1,30
10	29,94	29,74	0,67	melhor	29,97	29,74	0,77
15	29,45	29,45	0,00	melhor	29,47	29,45	0,07
20	28,96	29,05	0,31	igual	28,96	29,05	0,31
25	28,46	28,69	0,80	melhor	28,45	28,69	0,84
30	27,94	28,32	1,34	melhor	27,93	28,32	1,38
35	27,41	27,93	1,86	melhor	27,39	27,93	1,93
40	26,87	27,52	2,36	melhor	26,84	27,52	2,47

Temp, (°C)	Temp, de saída (K)		Erro (%)		Temp, de saída (K)		
	GTS*	Gatecycle			GTS	Gatecycle	Erro (%)
0	748,86	750,38	0,20	melhor	748,25	750,38	0,28
5	752,86	753,4	0,07	melhor	752,5	753,4	0,12
10	756,82	756,97	0,02	melhor	756,72	756,97	0,03
15	760,73	760,89	0,02	pior	760,89	760,89	0,00
20	764,61	764,98	0,05	pior	765,03	764,98	0,01
25	768,47	769,3	0,11	pior	769,15	769,3	0,02
30	772,3	773,95	0,21	pior	773,25	773,95	0,09
35	776,13	778,99	0,37	pior	777,35	778,99	0,21
40	779,97	784,44	0,57	pior	781,46	784,44	0,38

Com a alteração dos parâmetros foi possível melhorar os resultados em pontos nos quais erros da solução original eram maiores.. Assim, melhoraram os os resultados da potência elétrica e do rendimento. A precisão os resultados para a temperatura de exaustão foi piorada, ligeiramente, para temperaturas ambiente acima da condição de referência.

CRIAÇÃO DE UMA TRUBINA A PARTIR DO ZERO

Parâmetros conhecidos:

Alguns dos parâmetros da turbina podem ser obtidos diretamente de publicações. Por exemplo, o fluxo de ar ou a relação de pressões, na condição de referência. O primeiro passo para a criação de um nova turbina é a introdução dos parâmetros conhecidos.

Parâmetros típicos:

Depois da introdução dos parâmetros conhecidos, devem ser atribuídos valores aos demais parâmetros de ajuste, completando a tabela abaixo.

Ajuste às condições ISO:

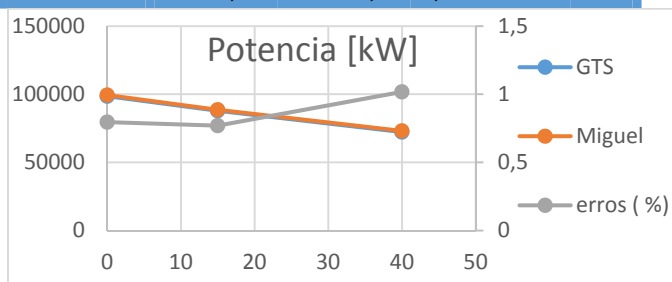
Em seguida os parâmetros são ajustados para que se tenha o melhor ajuste possível às condições ISO (15 °C, 1 Atm, umidade = 0.6). Modificam-se os parâmetros, mas não os fatores de correção, por que eles não afetam a resposta nas condições ISO.

Comportamento fora das condições ISO

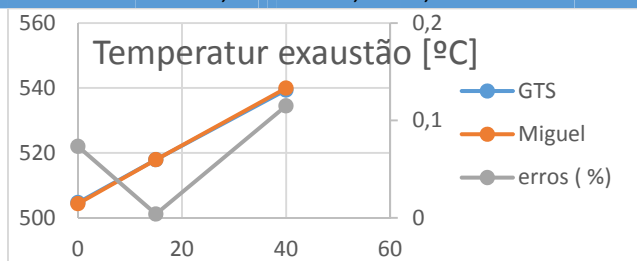
Uma vez que o ajuste está bem feito para as condições ISO, deve-se estudar o comportamento fora desse ponto de operação, para ajustar os distintos fatores de correção.

Foram feitos estudos em função da temperatura ambiente, da temperatura de combustão e da pressão. Um bom ajuste corresponde a erros menores do que 3% em relação aos parâmetros de comparação.

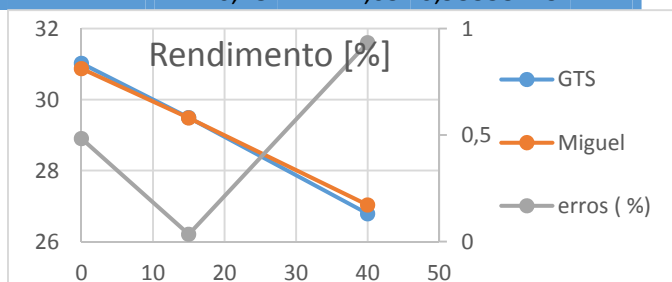
Potência [kW]				
T.Amb [°C]	GTS	Miguel	Erros [%]	
0	98557,59	99341,3	0,79517975	ok
15	87915,69	88592,64	0,76999908	ok
40	72311,76	73047,6	1,01759382	ok



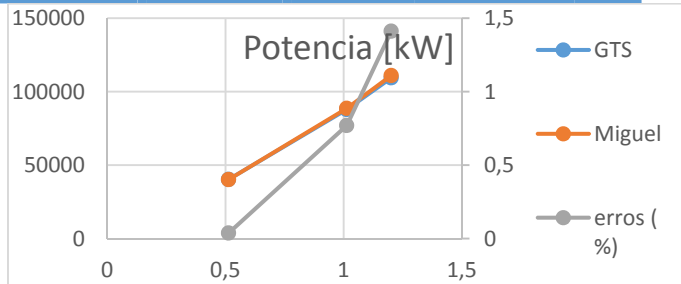
Temperatura exaustão [°C]				
T.Amb [°C]	GTS	Miguel	Erros [%]	
0	504,73	504,36	0,07330652	ok
15	517,94	517,92	0,003861451	ok
40	539,35	539,97	0,114953184	ok



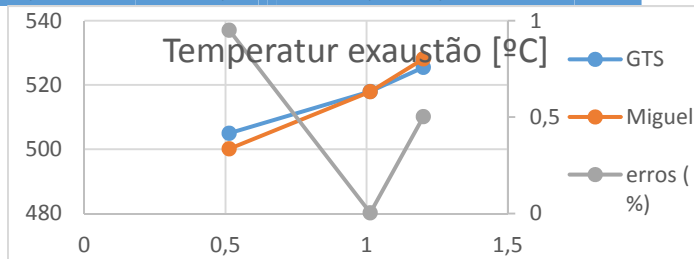
Rendimento [%]				
T.Amb [°C]	GTS	Miguel	Erros [%]	
0	31,02	30,87	0,48355899	ok
15	29,49	29,48	0,0339098	ok
40	26,78	27,03	0,93353249	ok



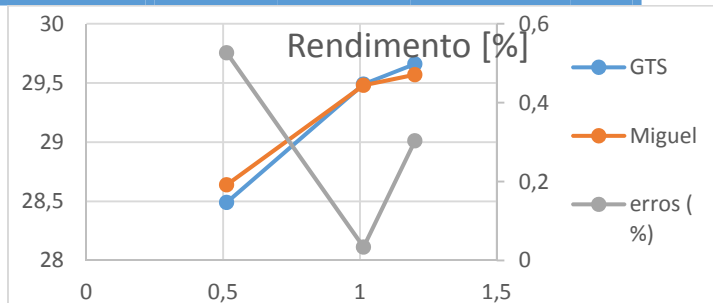
Potência [kW]				
Pressão [Bar]	GTS	Miguel	Erros [%]	
0,51325	40227,21	40211,86	0,03815825	ok
1,01325	87915,69	88592,64	0,76999908	ok
1,201325	109418,77	110963,7	1,41194239	ok



Temperatura exaustão [°C]				
Pressão [Bar]	GTS	Miguel	Erros [%]	
0,51325	504,94	500,14	0,950607993	ok
1,01325	517,94	517,92	0,003861451	ok
1,201325	525,46	528,1	0,50241693	ok

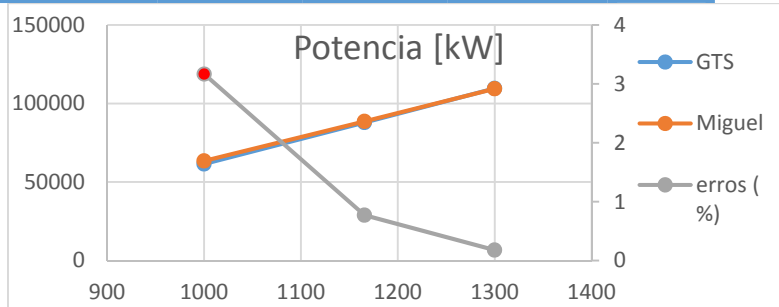


Rendimento [%]				
Pressão [Bar]	GTS	Miguel	Erros [%]	
0,51325	28,49	28,64	0,52650053	ok
1,01325	29,49	29,48	0,0339098	ok
1,201325	29,66	29,57	0,30343898	ok

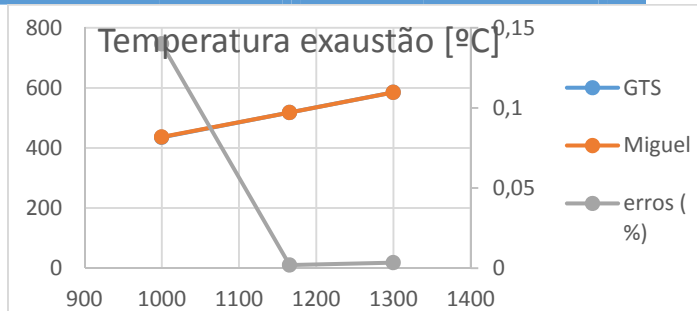


Potência [kW]				
Temperatura combustão [°C]	GTS	Miguel	Erros [%]	

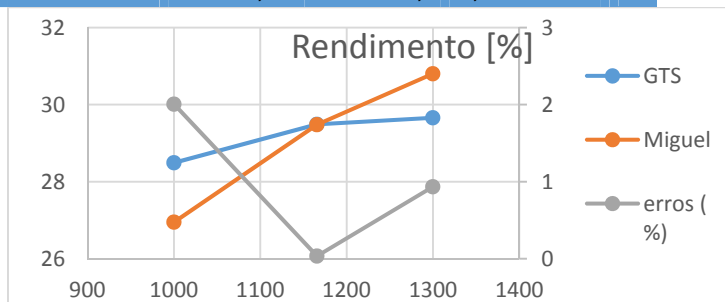
1000	61482,63	63430,05	3,16743119	Demais
1165,6	87915,69	88592,64	0,76999908	ok
1300	109631,59	109434,67	0,17961976	ok



Temperatura exaustão [°C]				
Temperatura combustão [°C]	GTS	Miguel	Erros [%]	
1000	435,72	435,83	0,025245571	ok
1165,6	517,94	517,92	0,003861451	ok
1300	585,18	585,61	0,073481664	ok



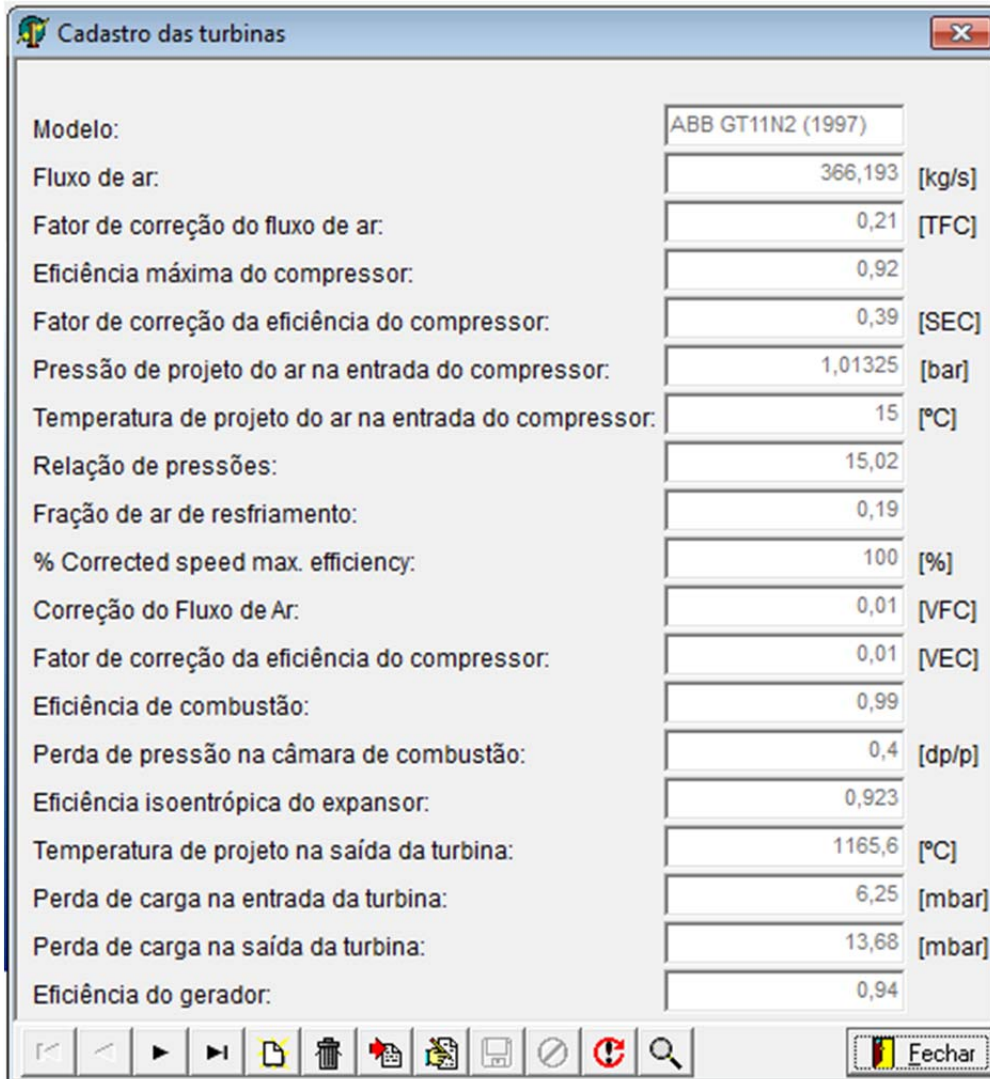
Rendimento [%]				
Temperatura combustão [°C]	GTS	Miguel	Erros [%]	
1000	26,42	26,95	2,00605602	ok
1165,6	29,49	29,48	0,0339098	ok
1300	31,09	30,8	0,93277581	ok



Como para a potência há um resultado com erro maior que 3%, novo ajuste é necessário.

Parâmetros finais:

Depois de vários testes foram obtidos os parâmetros definitivos da turbina, que implicam resultados com suficiente precisão.



Parâmetro	Valor	Unidade
Modelo:	ABB GT11N2 (1997)	
Fluxo de ar:	366,193	[kg/s]
Fator de correção do fluxo de ar:	0,21	[TFC]
Eficiência máxima do compressor:	0,92	
Fator de correção da eficiência do compressor:	0,39	[SEC]
Pressão de projeto do ar na entrada do compressor:	1,01325	[bar]
Temperatura de projeto do ar na entrada do compressor:	15	[°C]
Relação de pressões:	15,02	
Fração de ar de resfriamento:	0,19	
% Corrected speed max. efficiency:	100	[%]
Correção do Fluxo de Ar:	0,01	[VFC]
Fator de correção da eficiência do compressor:	0,01	[VEC]
Eficiência de combustão:	0,99	
Perda de pressão na câmara de combustão:	0,4	[dp/p]
Eficiência isoentrópica do expansor:	0,923	
Temperatura de projeto na saída da turbina:	1165,6	[°C]
Perda de carga na entrada da turbina:	6,25	[mbar]
Perda de carga na saída da turbina:	13,68	[mbar]
Eficiência do gerador:	0,94	

Com esses parâmetros os resultados do teste são menores que 3% em todos os casos.

Potência [kW]				
T,Amb [°C]	GTS	Miguel	Erros [%]	
0	98557,59	98790,48	0,23629839	ok
15	87915,69	87912,41	0,00373085	ok
40	72311,76	72161,87	0,20728302	ok
T. exaustão [°C]				
T,Amb [°C]	GTS	Miguel	Erros [%]	
0	504,73	504,26	0,093119093	ok
15	517,94	517,93	0,001930726	ok
40	539,35	540,15	0,14832669	ok
Rendimento [%]				

T,Amb [°C]	GTS	Miguel	Erros [%]	
0	31,02	30,96	0,1934236	ok
15	29,49	29,49	0	ok
40	26,78	26,89	0,41075429	ok

Potência [kW]				
Pressão [Bar]	GTS	Miguel	Erros [%]	
0,51325	40227,21	39918,5	0,76741589	ok
1,01325	87915,69	87912,41	0,00373085	ok
1,21325	109418,77	110349,28	0,85041168	ok
Temperatura exaustão [°C]				
Pressão [Bar]	GTS	Miguel	Erros [%]	
0,51325	504,94	498,84	1,208064324	ok
1,01325	517,94	517,93	0,001930726	ok
1,21325	525,46	528,8	0,63563354	ok
Rendimento [%]				
Pressão [Bar]	GTS	Miguel	Erros [%]	
0,51325	28,49	28,78	1,01790102	ok
1,01325	29,49	29,49	0	ok
1,21325	29,66	29,57	0,30343898	ok

Potência [kW]				
T.combustão [°C]	GTS	Miguel	Erros [%]	
1000	61482,63	62314,96	1,35376447	ok
1165,6	87915,69	87912,41	0,00373085	ok
1300	109631,59	109115,1	0,47111421	ok
Temperatura exaustão [°C]				
T.combustão [°C]	GTS	Miguel	Erros [%]	
1000	435,72	436,33	0,139998164	ok
1165,6	517,94	517,93	0,001930726	ok
1300	585,18	585,2	0,003417752	ok
Rendimento [%]				
T.combustão [°C]	GTS	Miguel	Erros [%]	
1000	26,42	26,66	0,90840273	ok
1165,6	29,49	29,49	0	ok
1300	31,09	30,97	0,3859762	ok

O procedimento permitiu melhor conhecer o procedimento de ajuste dos parâmetros e, também, aprender como os diferentes parâmetros afetam o comportamento da turbina. Então foi feita uma classificação dos parâmetros em função do impactos deles sobre os resultados.

Grupo 1: aumenta a temperatura de exaustão e reduz o rendimento e a potência.

Nesse grupo estão as perdas de carga na entrada e na saída do expensor, e a perda de pressão na câmara de combustão.

Grupo 2: aumenta a potência e o rendimento e reduz a temperatura de exaustão.

Exemplos são as eficiências máximas do compressor e do expensor.

Grupo 3: aumentam a potência e o rendimento, e não tem influência na temperatura de exaustão.

É o caso dos rendimentos mecânico e do gerador. A diminuição da potência auxiliar tem o mesmo efeito.

Grupo 4: aumentam o rendimento e reduzem a potência e a temperatura de exaustão.

Nesse caso só foi identificada a fração de ar de refrigeração.

Grupo 5: aumenta o rendimento e não tem influência na potência ou na temperatura de exaustão.

Aqui se tem a eficiência da combustão.

Grupo 6: aumentam a potência e não tem influência no rendimento ou na temperatura de exaustão.

Aqui está o fluxo de ar na entrada do compressor.

Introdução de uma nova turbina no programa de simulação GTS.

Obtenção dos dados da turbina

Na análise foi escolhida a turbina Titan 250 da marca Solar turbines. Os primeiros dados do comportamento da turbina foram tomados da revista “Gas Turbine World; november-december 2008, volume 38, nº6”. Abaixo são mostrados os resultados do funcionamento em condições ISO e o comportamento frente a temperatura do ar na entrada da turbina.

Do gráfico do comportamento frente a temperatura do ar na entrada da turbina obtivemos os seguintes resultados:

Tª[°C]	Power[kW]	Heat Rate[kJ/kWh]	Eficiência[%]
-30	25925,93	9163,83	39,28
-15	24723,65	9130,52	39,43
0	23264,96	9125,04	39,45
15	21603,99	9253,28	38,91
30	18991,45	9586,42	37,55
45	16162,39	10094,81	35,66

Pârametros conhecidos

Alguns dos parâmetros da turbina já são conhecidos, por causa dos dados da revista GTW. Por exemplo, o fluxo de ar ou a relação de pressões.


Cadastro das turbinas	
Modelo:	Solar Titan 250 (2008) 1
Fluxo de ar:	67,3 [kg/s]
Fator de correção do fluxo de ar:	0,01 [TFC]
Eficiência máxima do compressor:	1
Fator de correção da eficiência do compressor:	0,01 [SEC]
Pressão de projeto do ar na entrada do compressor:	1,01325 [bar]
Temperatura de projeto do ar na entrada do compressor:	15 [°C]
Relação de pressões:	24
Fração de ar de resfriamento:	0,01
% Corrected speed max. efficiency:	100 [%]
Correção do Fluxo de Ar:	0,01 [VFC]
Fator de correção da eficiência do compressor:	0,01 [VEC]
Eficiência de combustão:	1
Perda de pressão na câmara de combustão:	0,05 [dp/p]
Eficiência isoentrópica do expensor:	1
Temperatura de projeto na saída da turbina:	1165 [°C]
Perda de carga na entrada da turbina:	0 [mbar]
Perda de carga na saída da turbina:	0 [mbar]
Eficiência do gerador:	1

Fechar

Ajuste à condiciones ISO:

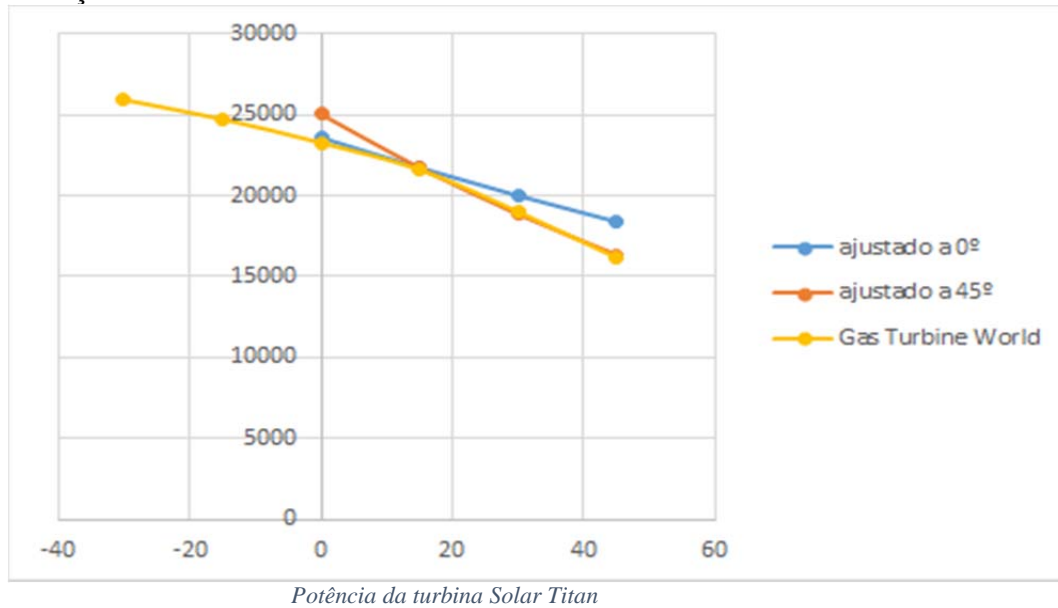
Primeiro a tabela é preenchida com valores típicos ou com os dados de uma outra turbina já cadastrada, que tenha uma resposta parecida. Em seguida é feita a modificação dos parâmetros até conseguir um ajuste bom para as condiciones ISO (15 °C, 1 Atm, umidade = 0.6).

Cadastro das turbinas	
Modelo:	Solar Titan 250 (2008) 1
Fluxo de ar:	67,3 [kg/s]
Fator de correção do fluxo de ar:	0,01 [TFC]
Eficiência máxima do compressor:	0,96
Fator de correção da eficiência do compressor:	0,01 [SEC]
Pressão de projeto do ar na entrada do compressor:	1,01325 [bar]
Temperatura de projeto do ar na entrada do compressor:	15 [°C]
Relação de pressões:	24
Fração de ar de resfriamento:	0,228
% Corrected speed max. efficiency:	100 [%]
Correção do Fluxo de Ar:	0,01 [VFC]
Fator de correção da eficiência do compressor:	0,01 [VEC]
Eficiência de combustão:	0,997
Perda de pressão na câmara de combustão:	0,05 [dp/p]
Eficiência isoentrópica do expensor:	0,883
Temperatura de projeto na saída da turbina:	1165 [°C]
Perda de carga na entrada da turbina:	4 [mbar]
Perda de carga na saída da turbina:	16 [mbar]
Eficiência do gerador:	0,97


Echegar

Ajuste fora das condições ISO

Uma vez que o ajuste está bem feito para as condições ISO, é feito o estudo do comportamento fora desse ponto de operação, com a correção dos distintos fatores de correção.



Como é mostrado nos gráficos de potência o comportamento côncavo da turbina real não pode ser reproduzido pelo software. Então, havia um problema de lógica nas funções de correção.

Primeiro tentou-se uma nova equação de correção do fluxo de ar. Como o erro não estava nessa equação, foi identificado erro na equação de correção do rendimento do compressor.

```
//Compressor - Temperatura de entrada do ar
Td1 := SPad.Temp_amb + 273.15;
//-----
//Eficiência do Compressor
Ns := STurb.Cor_vel_efi;
Naf := STurb.Fat_cor_efcomp;
rabs3 := ABS( ( CspeedISO - Ns ) / Ns );
Nc := STurb.Efi_comp * ( 1 - SPad.Van_ang * STurb.Van_efcor ) * ( 1 - Naf * rabs3 );
```

A fórmula estava correta, mas havia erro com a variável Td1, que tinha que ser a temperatura de trabalho da turbina e estava constante e igual a 288.15 K.

Trocamos a expressão pela equação abaixo:

```
“Td1 := SOpe.Temp_amb + 273.15;”
```

Agora a correção está bem feita e os gráficos de resultados podem ter forma côncava.

Finalmente, foram feitos os ajustes as condições diferentes das condições ISO.

Potência

Eficiência

Tª [°C]	Gas Turbine World	GTS	Erro
0	23264,96	23523,56	1,11
15	21603,99	21623,02	0,09
30	18991,45	19040,32	0,26
45	16162,39	16633,39	2,91

Gas Turbine World (Heat Rate)	Eficiência	GTS	Erro
9125,04	39,4518698	39,82	0,93
9253,28	38,905123	38,89	0,04
9586,42	37,5531092	36,99	1,50
10094,81	35,6618935	34,63	2,89