



EEL-USP



DEMAR

OPORTUNIDADES ENERGÉTICAS DOS PAÍSES TROPICAIS

DALTRO GARCIA PINATTI

ROSA ANA CONTE

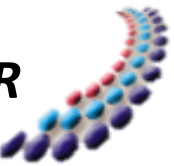
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA DE LORENA DA USP

PALESTRA PROFERIDA COMO PARTE DA DISCIPLINA

INTRODUÇÃO À ENGENHARIA FÍSICA

DEMAR EEL USP

17 DE MAIO DE 2021



ESTA PALESTRA É UM MINICURSO SOBRE

- TERMODINÂMICA,
- TERMOELÉTRICAS,
- INTEGRAÇÃO ENERGÉTICA,
- ESTABILIZAÇÃO DE REDES ELÉTRICAS, SMES- SUPERCONDUCTING MAGNETIC ENERGY STORAGE
- ECONOMIA DO HIDROGÊNIO

A COMPREENSÃO DESTES TÓPICOS PERMITE ENTENDER PORQUE O BRASIL FOI SEMPRE SUBDESENVOLVIDO, CUJA RESPOSTA ESTÁ NO FINAL DA PALESTRA.

CONVIDO OS OUVINTES A FAZER UM ESFORÇO PARA ENXERGAR AS RIQUEZAS NACIONAIS E NÃO SIMPLEMENTE IMITAR O QUE VEM DOS OUTROS PAÍSES.

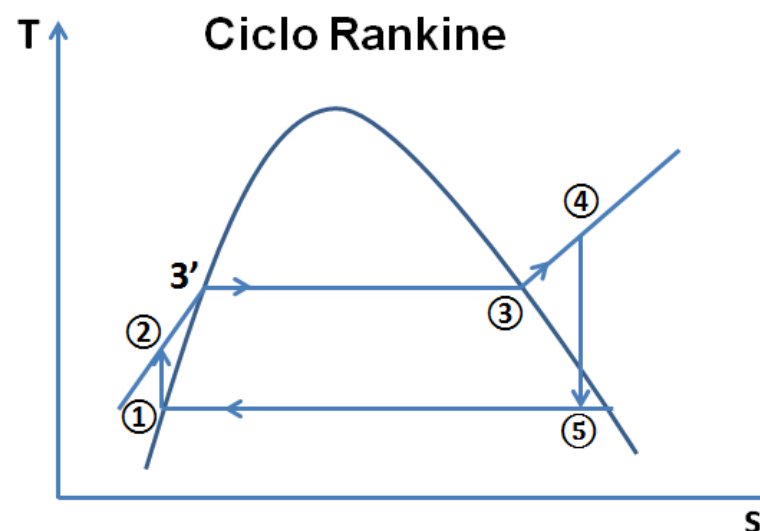
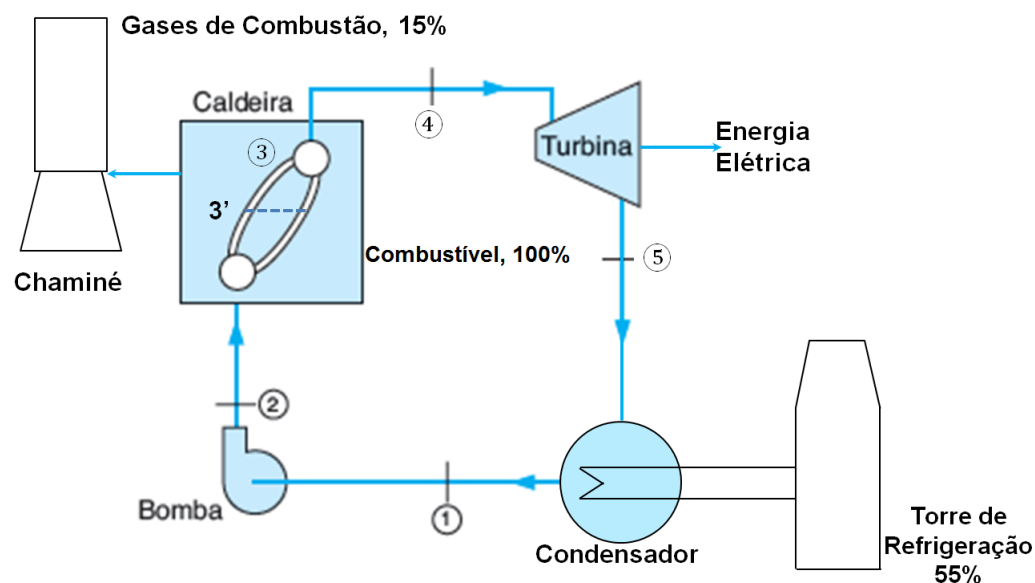


- AS GRANDES FONTES ENERGÉTICAS DOS PAÍSES TROPICAIS SÃO O SOL E A BIOMASSA.
- ESTE POTENCIAL É 10 VEZES INFERIOR NOS PAÍSES TEMPERADOS E FRIOS (ACIMA DO TRÓPICO DE CÂNCER).
- DEVIDO À BAIXA DISPONIBILIDADE DE SOL E BIOMASSA, OS PAÍSES ACIMA DO TRÓPICO DE CÂNCER UTILIZAM AS FONTES FÓSSEIS (CARVÃO MINERAL, PETRÓLEO, GÁS NATURAL) E ENERGIA NUCLEAR.
- PARA RESOLVER OS PROBLEMAS DESTAS FONTES ESTÃO AGORA DESENVOLVENDO AS ENERGIAS RENOVÁVEIS DE SEUS INTERESSES (FOTOVOLTAICA E EÓLICA).
- AS FONTES EÓLICAS E FOTOVOLTAICAS SÃO INTERMITENTES E SAZONAIS E A ÚNICA MANEIRA ECONÔMICA DE RESOLVER ESSES PROBLEMAS É COM PROCESSOS TERMOELÉTRICOS E BIOLÓGICOS DAS FONTES SOLAR TÉRMICA E BIOMASSA, QUE ELES NÃO TÊM E, POR ISSO, NÃO VÃO DESENVOLVÊ-LAS.



AS UNIDADES TERMOELÉTRICAS CONVENCIONAIS (UTE) CONVERTEM, EM MÉDIA, 30% DA ENERGIA TÉRMICA EM ENERGIA ELÉTRICA.

PERDEM 70%, SENDO 15% NOS GASES DE COMBUSTÃO NA CHAMINÉ DA CALDEIRA E 55% NA TORRE DE REFRIGERAÇÃO A ÁGUA NO CONDENSADOR.



LEGENDA	
TRECHO 1 – 2:	A BOMBA ELEVA A PRESSÃO DA ÁGUA DE 0,1 MPa PARA 4,2, 6,7, 12,5 OU 25 MPa, DEPENDENDO DO TAMANHO DA UTE
TRECHO 2 – 3' - 3:	A CALDEIRA AQUECE E EVAPORA A ÁGUA ATÉ VAPOR SATURADO
TRECHO 3 – 4:	O SUPERAQUECEDOR DENTRO DA CALDEIRA AQUECE O VAPOR ATÉ A TEMPERATURA FINAL DE 430, 520, 550 OU 600 °C (MATERIAIS: AÇOS LIGA OU SUPERLIGAS)
TRECHO 4 – 5:	O VAPOR SUPERAQUECIDO É EXPANDIDO NA TURBINA ATÉ A PRESSÃO DE 10 kPa (VÁCUO)
TRECHO 5– 1:	O VAPOR EXPANDIDO (EXAUSTÃO DA TURBINA) É CONDENSADO NO CONDENSADOR REFRIGERADO COM ÁGUA DA TORRE DE REFRIGERAÇÃO (55% DAS PERDAS DA ENERGIA DO COMBUSTÍVEL)
COMBUSTÍVEL 100%:	O MUNDO INTEIRO É FÓSSIL (CARVÃO MINERAL OU ÓLEO). NO BRASIL, É BIOMASSA (BAGAÇO DE CANA, EUCALIPTO, PINUS E CAPIM ELEFANTE)
CHAMINÉ:	GASES DE COMBUSTÃO (CO ₂ , VAPOR DE ÁGUA) DA CHAMINÉ PERDEM 15% DA ENERGIA DO COMBUSTÍVEL

A GRANDE INOVAÇÃO É CONSEGUIR RECUPERAR AS ENERGIAS PERDIDAS NA TORRE DE REFRIGERAÇÃO (55%) E NA CHAMINÉ (15%)



EEL-USP



DEMAR

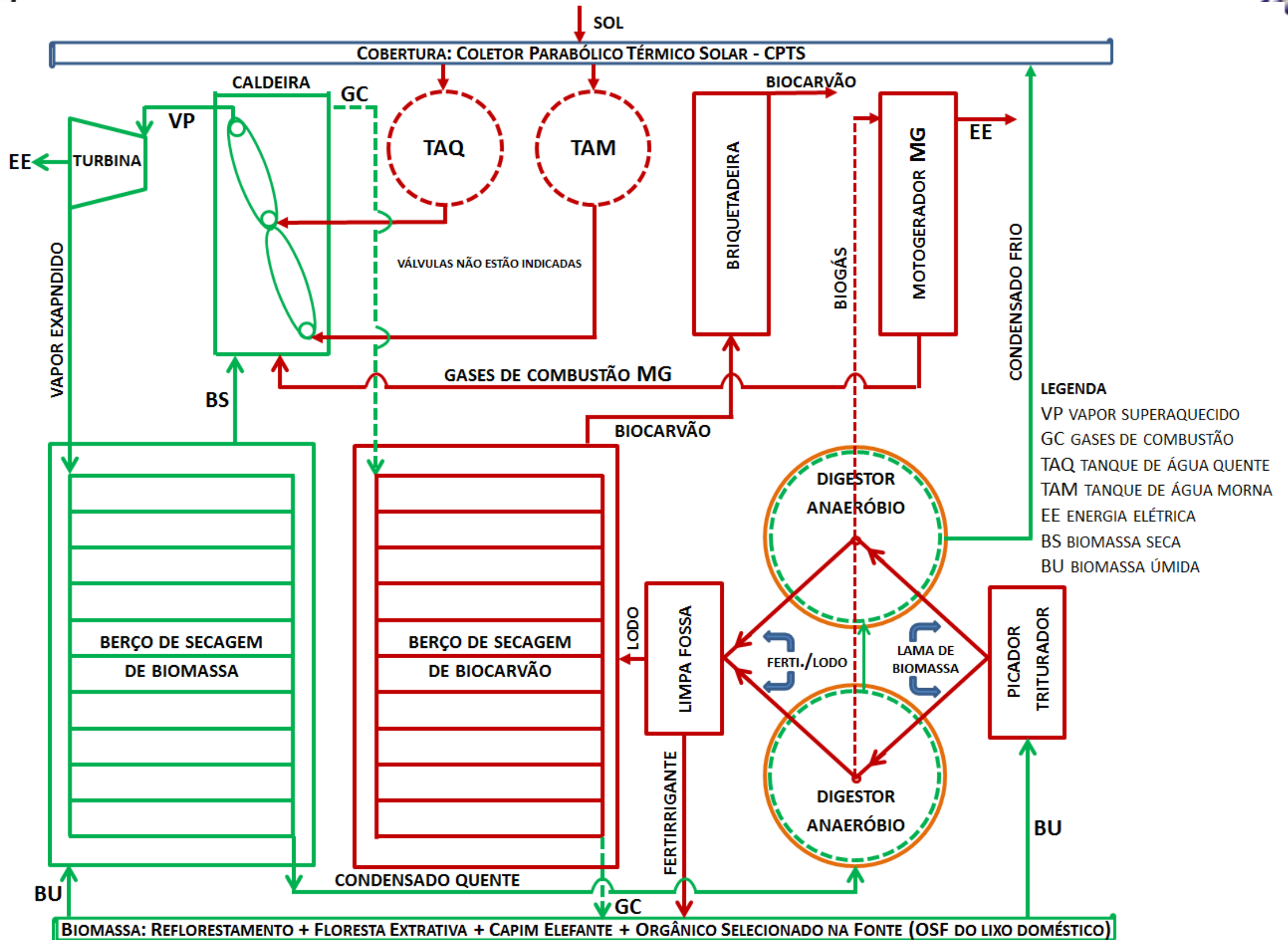
ITER – INTEGRAÇÃO TOTAL DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS

A LINHA DE PESQUISA ITER – INTEGRAÇÃO TOTAL DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS – DO DEMAR EEL USP INOVA NA RECUPERAÇÃO DA MAIOR PARTE DAS ENERGIAS TÉRMICAS PERDIDAS (UTER – UNIDADE TERMOELÉTRICA RECUPERATIVA), SIMULTANEAMENTE COM A COLETA DA ENERGIA SOLAR TÉRMICA POR MEIO DOS COLETORES PARABÓLICOS TÉRMICOS SOLARES (CPTS), ESTOCANDO ESSA ENERGIA DURANTE O DIA PARA SER CONSUMIDA DURANTE A NOITE.



EEL-USP ITER – INTEGRAÇÃO TOTAL DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS

DEMAR

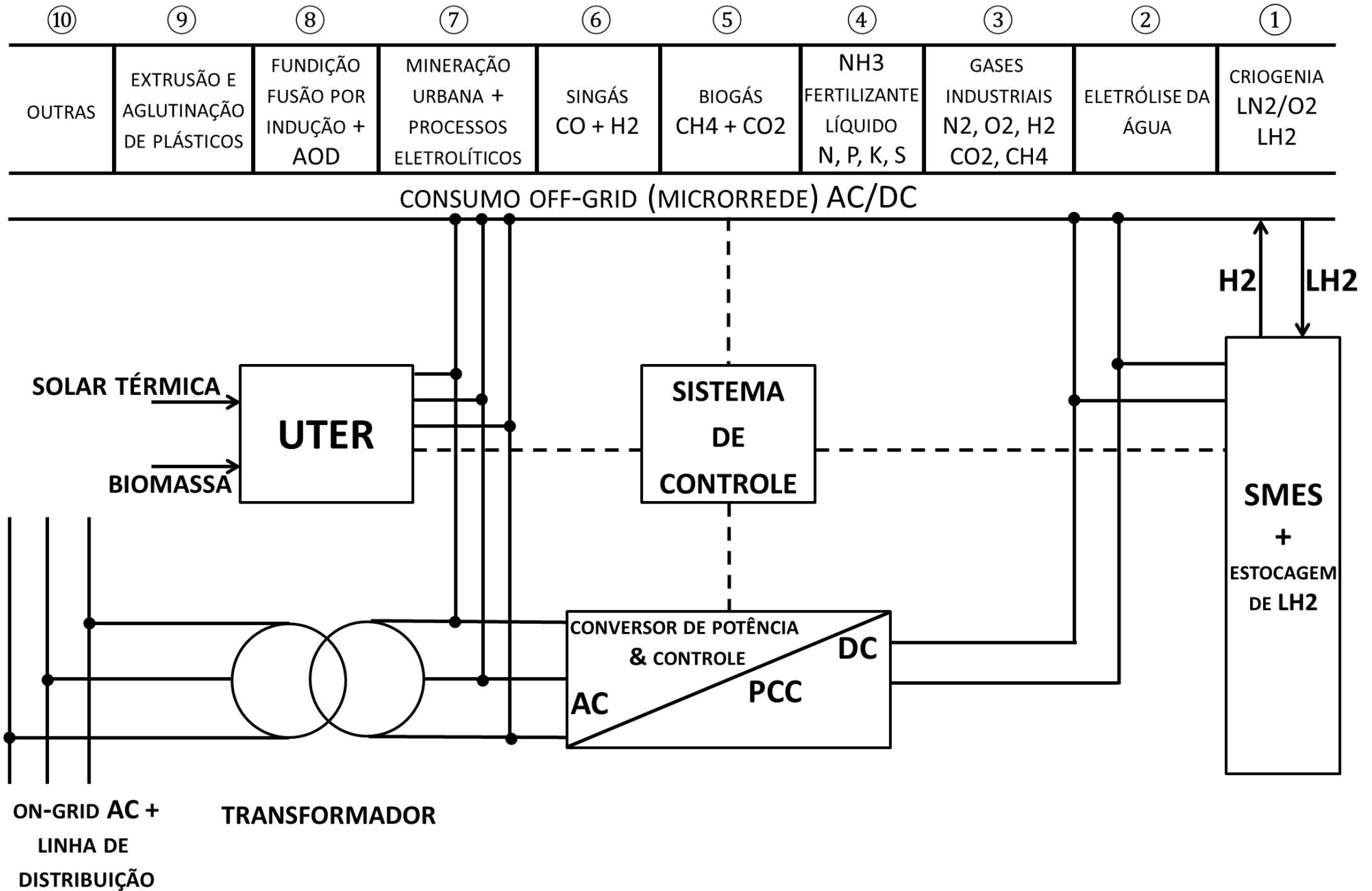




- A PRIMEIRA TECNOLOGIA EM COR VERDE É A UTER TENDO COMO FONTES TÉRMICAS A BIOMASSA SECA, O GÁS DE COMBUSTÃO (GC) DO MOTOGERADOR E A ÁGUA MORN A E QUENTE AQUECIDA PELOS CPTS. A BIOMASSA É SECADA NO LEITO DE SECAGEM AQUECIDO COM O VAPOR QUE VEM DA EXAUSTÃO DA EXPANSÃO DA TURBINA. ESSE VAPOR, APÓS A CONDENSAÇÃO, AQUECE OS DIGESTORES ANAERÓBIOS (35 °C A 55 °C) E, FINALMENTE, VAI PARA OS CPTS.
- A SEGUNDA TECNOLOGIA, EM COR LARANJA, SÃO OS DIGESTORES ANAERÓBIOS QUE DIGEREM BIOMASSA JOVEM (CAPIM ELEFANTE COM 3 CORTES POR ANO, AGUAPÉ, PARTE ORGÂNICA DO LIXO DOMÉSTICO). OS DIGESTORES GERAM 3 PRODUTOS:
 - BIOGÁS, QUE VAI PARA OS MOTOGERADORES DE ENERGIA ELÉTRICA; O GÁS DE EXAUSTÃO DO MOTOGERADOR VAI PARA A CALDEIRA;
 - FERTIRRIGANTE, QUE VAI PARA A PRODUÇÃO DE BIOMASSA;
 - LODO, QUE É SECADO NUM SEGUNDO LEITO DE SECAGEM, AQUECIDO PELOS GASES DE COMBUSTÃO DA CALDEIRA; ESTES SEGUEM PARA A BRIQUETADEIRA DE BIOCÁRVÃO, QUE É VENDIDO PARA AS SIDERÚRGICAS.
- A TERCEIRA TECNOLOGIA, EM COR VERMELHA, É O CPTS, DIVIDIDO EM DUAS PARTES EM DOIS FLUXOS, SENDO UM QUE AQUECE O CONDENSADO FRIO ATÉ 100 °C/10 BAR E O OUTRO AQUECE ATÉ 180 °C/10 BAR. OS CONDENSADOS AQUECIDOS DURANTE O DIA SÃO ESTOCADOS EM DOIS TANQUES: TAM – TANQUE DE ÁGUA MORN A E TAQ - | TANQUE DE ÁGUA QUENTE. ESTES ALIMENTAM A CALDEIRA DURANTE 24 HORAS (DIA E NOITE), RESOLVENDO O PROBLEMA DA INTERMITÊNCIA DO SOL.



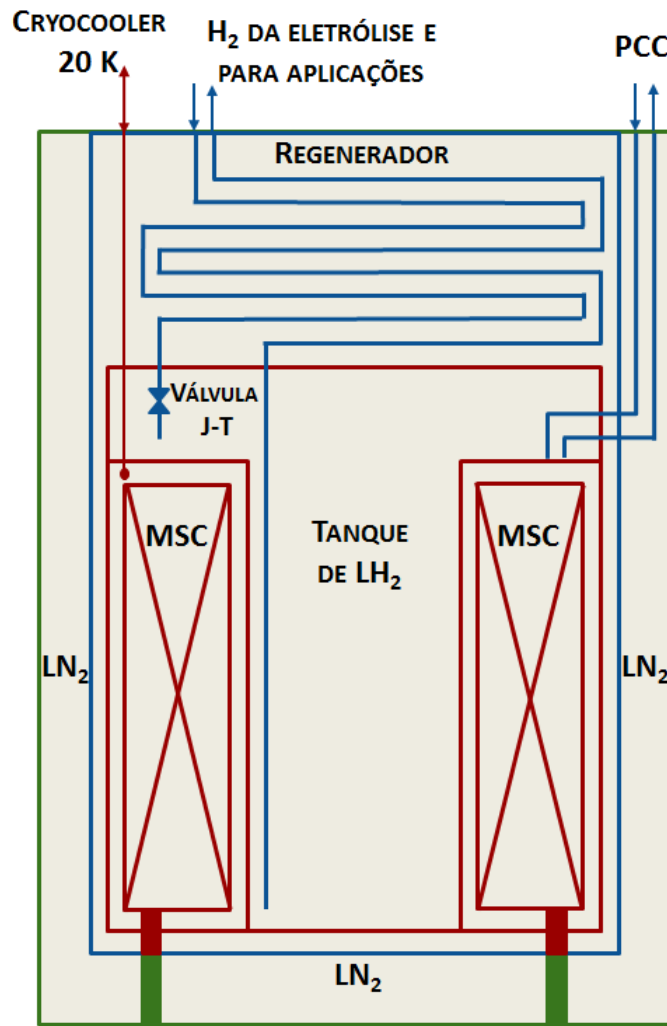
- HAVENDO COBERTURA COM CPTS SUFICIENTE A CONTRIBUIÇÃO DA ENERGIA SOLAR TÉRMICA PODE CHEGAR A 75%, E BIOMASSA A 25%, DA FONTE TÉRMICA TOTAL DA CALDEIRA. BIOMASSA DEIXA DE SER O LIMITANTE DA GERAÇÃO DE ENERGIA RENOVÁVEL.
- A PRODUÇÃO DE BIOMASSA E O SOL É DISTRIBUÍDA EM TODA A ÁREA E, PORTANTO, AS PLANTAS DA ITER SERÃO TAMBÉM DISTRIBUÍDAS (10 A 20 PLANTAS POR MUNICÍPIO) AO LONGO DAS REDES ELÉTRICAS RURAIS REFORÇADAS.
- A GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATUAL CENTRALIZADA DEMANDA LINHAS DE TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO (OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA – ONS). ESTAS, ALÉM DOS ‘BLACKOUTS’, PROVOCAM DISTÚRBIOS DE POTÊNCIA DE CURTA DURAÇÃO (DPCD OU SDPD EM INGLÊS) DEVIDOS A FALHAS TÉCNICAS, LIGA-DESLIGA DOS CONSUMIDORES, DENTRE OUTRAS RAZÕES.
- A ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL É CARA E DE PÉSSIMA QUALIDADE.



A ITER É CAPAZ DE RESOLVER, SIMULTANEAMENTE, TODOS OS PROBLEMAS DO SISTEMA ELÉTRICO (SDPD, INTERMITÊNCIA E CUSTO)



- O GERADOR DA UTER (380 V) É LIGADO À REDE ELÉTRICA ON-GRID TRIFÁSICA (13,8 kV) POR MEIO DE UM TRANSFORMADOR, E À REDE OFF-GRID DAS EMPRESAS CONSUMIDORAS INSTALADAS DEBAIXO DA COBERTURA DE CPTS. ESSE ARRANJO É CHAMADO DE TRANSFERÊNCIA DE INDÚSTRIAS URBANAS PARA A ÁREA RURAL (TIUAR OU TUIRA, EM INGLÊS).
- AMBAS AS REDES, ON-GRID E OFF-GRID, SÃO CONECTADAS A UM CONVERSOR DE POTÊNCIA E CONTROLE (CPC OU PCC, EM INGLÊS), GERANDO ENERGIA DC CONECTADA À TUIRA E A UM SMES – SUPERCONDUCTING MAGNETIC ENERGY STORAGE. UMA CENTRAL CONTROLA TODO O SISTEMA.
- A SOLUÇÃO DA INSTABILIDADE DO SISTEMA ELÉTRICO ON-GRID FUNCIONA DO SEGUINTE MODO:
 - FALTA DE ENERGIA (ENERGIA NEGATIVA): A UTER DIMINUI O CONSUMO NA TUIRA E FORNECE ENERGIA À REDE ON-GRID.
 - EXCESSO DE ENERGIA (ENERGIA POSITIVA): PCC FORNECE ENERGIA PARA A ELETRÓLISE DA ÁGUA NA TUIRA, GERANDO H₂ E O₂ (ECONOMIA DO HIDROGÊNIO).
 - SDPD GERADOS SÃO DE TRÊS TIPOS: INSTANTÂNEO DE 0,5 A 30 CICLOS (0,08 A 0,5 s); MOMENTÂNEO (0,5 A 3 s) E TEMPORÁRIO (3 s A 1 MIN). APENAS O SMES TEM CAPACIDADE PARA RECEBER E DESPACHAR ENERGIA NOS TEMPOS CURTOS DOS SDPD. ESTA CAPACIDADE LIMPA A REDE DAS SEGUINTE INSTABILIDADES:
 - DESCARGAS ATMOSFÉRICAS, HARMÔNICOS (VARIAÇÃO DE FREQUÊNCIA) GERADOS POR TODOS OS DISPOSITIVOS LIGA/DESLIGA DA REDE, DESLIGAMENTO E RELIGAMENTO DE GRANDES CARGAS DA REDE, DENTRE OUTRAS.
- ALÉM DE 30 s A UTER E A ELETRÓLISE SÃO ACIONADAS, DANDO À ITER A CAPACIDADE DE ESTABILIZAÇÃO TOTAL DA REDE ON-GRID.
- AS INTERMITÊNCIAS (FOTOVOLTAICA, EÓLICA, GERAÇÃO ELÉTRICA NAS SAFRAS DO SETOR SUCROALCOOLEIRO, REGIME HÍDRICO DAS HIDROELÉTRICAS) GERAM GRANDES INSTABILIDADES NA REDE ON-GRID. A CAPACIDADE DE ESTABILIZAÇÃO DA ITER POSSIBILITA A AMPLIAÇÃO DAS GERAÇÕES INTERMITENTES. O CUSTO DA ENERGIA NA OFF-GRID É METADE DO CUSTO DA ENERGIA NA ON-GRID DEVIDO À AUSÊNCIA DAS LINHAS DE TRANSMISSÃO, DE DISTRIBUIÇÃO, DO CUSTO DA INTERMITÊNCIA, IMPOSTOS E ENCARGOS.



SMES – Superconducting Magnetic Energy Storage

LEGENDA

- CRYOCOOLER 20 K E/OU LIQUEFATOR DE H₂
- REGENERADOR: TROCADOR DE CALOR ENTRE H₂ À TEMPERATURA AMBIENTE (ENTRADA) E 20 K (SAÍDA)
- LN₂ CRIOSTATO DE N₂ LÍQUIDO
- LH₂ CRIOSTATO DE H₂ LÍQUIDO + TANQUE
- MSC MAGNETO SUPERCONDUTOR (QUADRUPOLO)
- PCC CONVERSOR DE POTÊNCIA E CONTROLE
- VÁLVULA J-T VÁLVULA DE EXPANSÃO JOULE-THOMSON PARA LIQUEFAÇÃO DO H₂

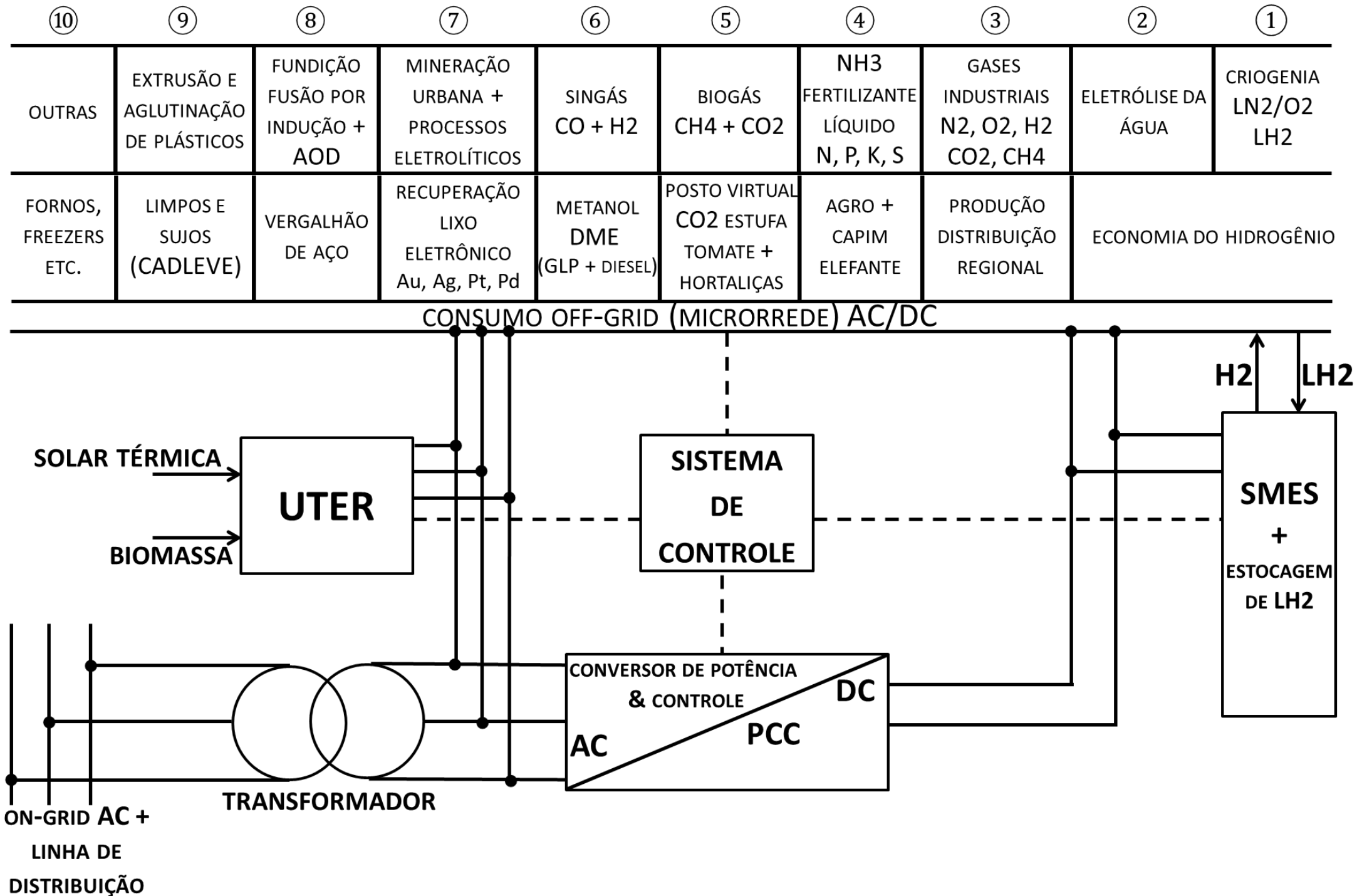
O MAGNETO SUPERCONDUTOR QUE COMPÕE O SMES É DE MgB₂ OPERANDO A 20 K COM LIQUEFATOR DE H₂. ESTA LIQUEFAÇÃO ATENDE A QUATRO OBJETIVOS:

- REFRIGERA O MAGNETO;
- LIQUEFAZ O H₂ GERADO NA ELETRÓLISE DA ÁGUA;
- ESTOCA O H₂ LÍQUIDO NO CRIOSTATO DO MAGNETO;
- POSSIBILITA O TRANSPORTE ECONÔMICO EM CAMINHÕES CRIOGÊNICOS PARA MÉDIAS E GRANDES DISTÂNCIAS PARA A COMERCIALIZAÇÃO DO H₂.

OS PRINCIPAIS USOS DO H₂ SÃO EM REFINARIAS DE PETRÓLEO, PRODUÇÃO DE AMÔNIA, PRODUÇÃO DE METANOL E COMO GÁS INDUSTRIAL. UM GRANDE MERCADO FUTURO DO H₂ É EM VEÍCULOS MOVIDOS A CÉLULA DE ENERGIA ('FUEL CELL'), CUJOS CUSTOS SÃO INFERIORES AOS DOS COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS, ETANOL E ELÉTRICO COM BATERIA DE ÍON-LÍTIO.



DIAGRAMA DE BLOCOS DA INTEGRAÇÃO UTE/SMES COM ON-GRID (AC) AND OFF-GRID (DC)



AS INDÚSTRIAS DA TUIRA SÃO CONSUMIDORAS INTENSIVAS DE ENERGIA INTERRUPTIVA. SÃO PROCESSOS ELETROLÍTICOS, DOTADOS DE MOTORES COM POTÊNCIA CONTROLADA (INVERSORES DE FREQUÊNCIA), FORNOS DE INDUÇÃO, EXTRUSORAS DE PLÁSTICOS, PELETIZADORAS DE BIOMASSA, PIRÓLISE E SÍNTESE DE PRODUTOS, DENTRE OUTROS.



- AS TECNOLOGIAS BOAS PARA OS PAÍSES TEMPERADOS E FRIOS SÃO RUINS PARA OS PAÍSES TROPICAIS
- AS ÓTIMAS PARA OS PAÍSES TROPICAIS SÃO PÉSSIMAS PARA OS PAÍSES DE CLIMA TEMPERADO E FRIO.
- O BRASIL FOI SEMPRE SUBDESENVOLVIDO PORQUE NUNCA DESENVOLVEU TECNOLOGIAS TROPICAIS.
- PRODUZIR 'COMMODITIES' (GRÃOS, CARNE, AÇÚCAR, MINÉRIO) É ACEITAR A ESCRAVIZAÇÃO FEITA PELOS PAÍSES DESENVOLVIDOS.