

01

versão

Proposta comercial

Usina de biometano: 20 milhões de m³ de biometano + 34.000 toneladas de CO₂ líquido de grau alimentício por ano



Data: 16/10/2026

Validade: 1 ano



SUMÁRIO

Visão geral	3
Potencial das matérias-primas	4
Especificações da usina de biogás	5
Equipe da usina	6
Processo de produção de biogás	7
Princípio de funcionamento da usina	8
Equipamentos principais	9
Unidade de preparação de palha e resíduos agrícolas	10
Linha de secagem de resíduos agrícolas	11
Alimentador de pellets	12
Alimentador de biomassa-1,2,3,4	13
Digestor-1,2,3,4	14
Agitador vertical do digestor	15
Pós-digestor	16
Agitador de pás do pós-digestor	17
Visores com refletores	18
Equipamentos de bombeamento	19
Separador	20
Tanques de recepção e de filtrado	21
Agitador submersível	22
Gasômetro	23
Sistema de resfriamento do biogás	24
Soprador de biogás	25
Sistema de dessulfurização	26
Gerador de oxigênio	27
Unidade de biometano	28
Estação de compressão de biometano	31
Cromatógrafo de gás	32
Estação de odorização	33
Unidade de liquefação de CO ₂	34
Tocha de biogás	35
Abastecimento de água e esgoto	36
Sistema de aquecimento	37
Resfriador a seco (resfriamento do substrato)	38
Automação e equipamentos elétricos	39
Sensores (conjunto)	40
Laboratório	41
Gerador a diesel	42
Especificação	43
Anexos:	48
Anexo 1. Balanço de materiais	49
Anexo 2. Diagrama de processo	50
Anexo 3. Layout da usina	51
Anexo 4. Consumo de energia elétrica	52
Anexo 5. Preços dos equipamentos e serviços	53
Anexo 6. Cronograma do projeto e pagamentos	54



Visão geral

A Zorg Biogas oferece uma solução integrada para converter palha e resíduos da cultura do milho em biogás e, posteriormente, purificá-lo até biometano. O processo combina preparação do substrato, digestão em duas etapas, coleta de biogás e purificação por membranas.

O substrato fibroso exige pré-tratamento e longo tempo de retenção. A digestão principal dura 35 dias em quatro reatores de alta carga orgânica (HLR). Em seguida, o substrato entra em um pós-digestor separado para continuar a decomposição da matéria orgânica. Um gasômetro instalado nesse tanque coleta o biogás.

A preparação da palha inclui equipamentos de trituração e secagem. A tecnologia HLR foi desenvolvida para palha, silagem e materiais vegetais semelhantes, inclusive sem adição de outros tipos de substrato. A carga orgânica de projeto é de 9.49 kg de matéria seca orgânica por m³ de reator por dia. A usina possui quatro reatores principais de 4.170 m³ cada.

A comparação desta proposta considera carga de 3-5 kg MSO/(m³·dia) e 8-10 reatores para um sistema CSTR convencional. Nessa base, os reatores HLR são aproximadamente três vezes mais compactos e menos caros, enquanto o investimento na solução proposta pode ser 2-2.5 vezes menor. Menos tanques também reduzem a necessidade de bombas e equipamentos associados.

A operação termofílica reduz os custos de resfriamento dos reatores. A unidade de purificação por membranas produz biometano com teor de metano acima de 99% e baixo consumo elétrico. Em conjunto, essas soluções favorecem o uso eficiente dos resíduos agrícolas e menores custos operacionais.

Potencial das matérias-primas

Matéria-prima	Quantidade (t/dia)	Quantidade (t/ano)	Teor de MS (%)	Teor de MSO (%)	MS (t/dia)	MSO (t/dia)	Rendimento (m³/t MSO)	Biogás (m³/dia)	Teor de metano (%)	Biometano (m³/dia)
Pellets de palha	85,24	31 112	90	90	76,71	69,04	640	44 186	53	
Resíduos agrícolas pellets	114,16	41 668	90	94	102,74	96,58	640	61 808	53	
Total	199,40	72 780						105 994	53	
Para secagem da matéria-prima								-3600		
Para a unidade de biometano								102 394	53	54 597

Especificações da usina de biogás

Especificações	Unidade	Valor
Número total de digestores	un.	5
Digestores 1,2,3,4 (HLR)	un.	4
Volume do biodigestor		
Útil	m ³	3925
Total		4170
Temperatura de digestão	°C	52
Dimensões do digestor		
Diâmetro	m	25,0
Altura		8,5
Carga orgânica	kg MSO/ m ³	9,49
Tempo de retenção (bruto/líquido)	dias	35/33
Número de gasômetros	un.	0
Digestor 5 (Pós-digestor)	un.	1
Volume do pós-digestor		
Útil	m ³	4988
Total		5300
Temperatura de digestão	°C	48
Dimensões do digestor		
Diâmetro	m	26,0
Altura		10,0
Carga orgânica	kg MSO/ m ³	3,32
Tempo de retenção (bruto/líquido)	dias	15/14
Número de gasômetros	un.	1
Volume do gasômetro	m ³	3826
Dimensões do gasômetro		
Diâmetro	m	26,0
Altura		13,0

Equipe da usina

	Turno 1	Turno 2	Turno 3
Diretor	1	-	-
Engenheiro-chefe	1	-	-
Gerente	1	-	-
Contador	1	-	-
Operador	1	1	1
Operador da linha de palha	1	1	1
Motorista (palha, resíduos agrícolas)	1	1	1
Motorista (digestato)	1	1	1
Eletricista	1	-	-
Mecânico	1	-	-
Técnico de laboratório	1	-	-
Total	19		



Processo de produção de biogás

A fração orgânica é convertida por hidrólise bioquímica de compostos de alto peso molecular em ácidos orgânicos simples, sais e álcoois.

Compostos orgânicos + H₂O -> C₅H₇N₀2 + HCO₃.

Os compostos dissolvidos são então convertidos em CH₄ e CO₂:

C₅H₇N₀2 + HCO₃ + H₂O -> CH₄ + CO₂ + NH₄.

Essa conversão biológica em etapas requer condições anaeróbias em um biorreator fechado, sem oxigênio.

Na primeira etapa, bactérias acidogênicas hidrolisam o substrato. Na segunda, bactérias heteroacetogênicas oxidam compostos orgânicos simples, produzindo acetato, dióxido de carbono e hidrogênio livre. Outros compostos orgânicos e o acetato formam compostos C1 (ácidos orgânicos simples).

Essas substâncias alimentam as bactérias metanogênicas da terceira etapa. Dois processos, A e B, envolvem diferentes grupos bacterianos. Eles convertem os produtos das duas primeiras etapas em metano CH₄, água H₂O e dióxido de carbono CO₂.

Princípio de funcionamento da usina

A palha e os resíduos agrícolas são enviados à preparação e transformados em pellets. Isso altera as propriedades do substrato, amplia o contato com os microrganismos e melhora a digestibilidade. Um transportador de correia distribui os pellets às moegas; as roscas alimentam os digestores 1,2,3,4. O transporte otimiza carga e descarga, reduz combustível e pessoal e mantém o local mais limpo. A alimentação por pá carregadeira continua possível durante manutenção ou reparo dos transportadores. Sistemas de pesagem automatizam os alimentadores e distribuem o substrato uniformemente entre os digestores.

O substrato é misturado e mantido em temperatura estável por sensores e monitoramento contínuo do sistema de aquecimento/resfriamento nas paredes do digestor. Conforme a temperatura do substrato, o sistema aquece ou resfria. Resfriadores a seco mantêm condições termofílicas estáveis. Misturadores verticais agitam periodicamente os reatores HLR; misturadores inclinados atendem o digestor 5, o pós-digestor. Os acionamentos ficam em estruturas externas aos tanques, acessíveis para inspeção e manutenção. O tempo médio de retenção é de 35 dias nos digestores 1-4 e 15 dias no digestor 5.

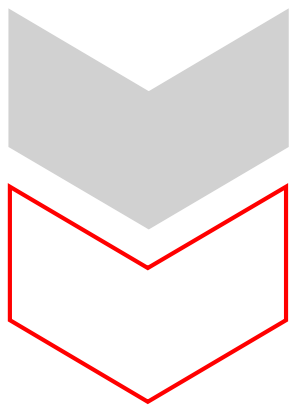
As bombas transferem o digestato para a separação, que produz fertilizantes orgânicos sólidos e líquidos. Os sólidos são descarregados em um reboque e levados ao armazenamento para uso posterior no local. O filtrado líquido entra em seu tanque e depois é bombeado para a lagoa.

O biogás sobe até as coberturas dos digestores 1-4 e segue ao gasômetro no digestor 5, onde se mistura ao gás do pós-digestor. A cúpula de dupla membrana é montada nas paredes de concreto do pós-digestor como cobertura. A membrana externa protege contra intempéries e objetos externos. Uma válvula de segurança abre a 5 mbar para liberar o excesso de gás à atmosfera e evitar pressão excessiva.

O gás coletado e homogeneizado passa pelo resfriamento de biogás e por um soprador, que eleva a pressão a 300-250 mbar para o tratamento. A dessulfurização ocorre em etapas: adiciona-se concentrado de hidróxido de ferro, e colunas de carvão ativado fazem a limpeza final até 0-5 ppm de enxofre. O biogás seco e limpo alimenta a unidade de biometano.

A automação monitora e controla todos os processos. A visualização da usina fica no computador do operador. A estação oferece operação central e comuta as unidades individuais para controle local, manual ou automático.

Equipamentos principais





Linha de secagem de resíduos agrícolas

Após a trituração e antes da peletização, os resíduos entram em uma unidade de secagem modular de fácil expansão. Duas roscas distribuidoras asseguram a distribuição ideal do produto. Um misturador uniformiza a umidade final, enquanto a ventilação eficiente melhora a secagem.



A secagem indireta utiliza trocadores tubulares com água quente de até 130°C. Trocadores a placas podem ser usados com meios térmicos especiais, incluindo calor geotérmico e óleo térmico.



A secagem direta utiliza ar quente abaixo de 120°C ou gases de combustão, conforme sua composição e a aplicação.

Especificações técnicas

Potência elétrica:	110kW
Potência térmica:	210kW
Quantidade:	1 conj.

Unidade de preparação de palha



Linha de trituração e peletização

A linha de preparação tritura automaticamente a palha com qualidade constante, fator essencial para a produção de biogás. O triturador processa fardos e resíduos de forma contínua e uniforme a 3-5 t/h.

Transportadores separados fazem o carregamento automático da palha, abertura dos fardos, remoção de cintas, desagregação, dosagem por rosca, raspagem e remoção de pedras. Moínhos de martelos e uma extrusora reduzem o material de 5 mm para a fração de 0-2 mm e produzem pellets. Os moínhos possuem separador pneumático-gravitacional para remoção contínua de partículas estranhas, alimentação por duas roscas e moega de material a granel.

Cada linha atende às exigências do cliente, com baixo consumo energético e controle integrado dos alimentadores conforme a corrente do triturador e do moínho-extrusor. A unidade de controle é intuitiva e fácil de operar.

Especificações técnicas

Potência:
Quantidade:

200 kW
1 conj.



Alimentador de pellets

Um alimentador modular com moega carrega os pellets no transportador de correia. Seus principais componentes são moega pulmão, transportadores de corrente com raspadores e estrutura de suporte. Um inversor varia a velocidade do acionamento e a alimentação de pellets. Um sistema de pesagem monitora a quantidade fornecida.

Especificações técnicas

Altura:	2,75 m
Comprimento:	24,0 m
Largura:	3,0 m
Volume total:	200m ³

Quantidade:	1 unidade
-------------	-----------



Alimentador de biomassa (SF-01 ... SF-04)

Um alimentador modular com moega fornece substrato aos digestores. O piso móvel e as roscas transportadoras garantem dosagem uniforme de biomassa. Uma pá carregadeira abastece a moega. Os componentes principais incluem moega pulmão de 20 m³, transportadores de corrente com raspadores e suporte para instalação horizontal ou inclinada. Inversores regulam a velocidade dos acionamentos e a alimentação. A moega inclui pesagem e trituradores de martelos.

Especificações técnicas

Altura:	2,0m
Comprimento:	6,0m
Largura:	2,3m
Volume total:	20m ³
Quantidade:	4 un.



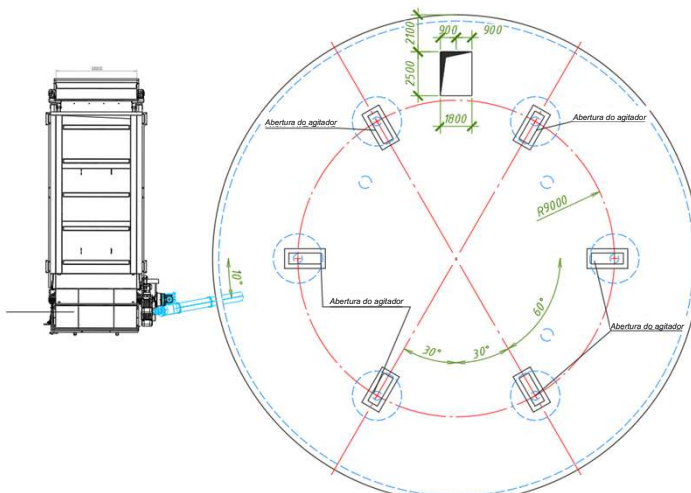
Digestor (HLR) (R-01...R-04)

O digestor é o componente central: tanque circular de concreto armado sobre base de concreto. A cobertura de concreto armado sustenta misturadores, válvulas e tubos de biogás. Um pilar central com capitel apoia a cobertura. O fundo inclinado melhora a alimentação e a mistura; saídas adicionais permitem o esvaziamento completo.

O isolamento externo de poliestireno extrudado limita perdas térmicas. Abaixo do solo, paredes e fundo recebem impermeabilização em mantas sobre o isolamento. Chapas protetoras resguardam o isolamento acima e abaixo do solo contra danos e roedores. Um tubo de drenagem perfurado ao redor da parede externa, na base de concreto, monitora a estanqueidade das paredes e do fundo. Poços de inspeção dão acesso à drenagem.

Especificações técnicas

Altura:	8,5 m
Diâmetro:	25,0 m
Volume total:	4170 m ³
Quantidade:	4 un.



Layout da cobertura do digestor com aberturas para agitadores verticais

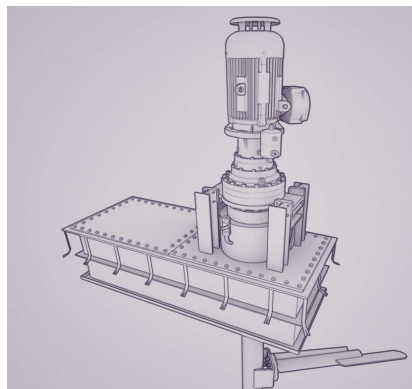
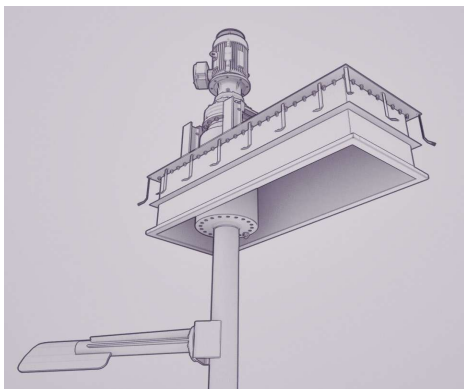


Agitador vertical do digestor - 1,2,3,4 (AG-01...AG-20)

O misturador vertical possui pás ao longo de todo o eixo e processa substratos com 16-18% de matéria seca, incluindo capim, silagem e esterco. A geometria e a posição das pás homogeneízam as camadas flutuantes e sedimentadas. O eixo é adaptado à altura do digestor. Inversores controlam os acionamentos pelo software de automação. Os principais componentes sujeitos a desgaste ficam fora do tanque para manutenção rápida e prática.

Especificações técnicas

Potência do acionamento:	15kW
Quantidade por tanque:	5 un.
Quantidade total:	20 un.



Bocas de visita e conexões dos agitadores verticais

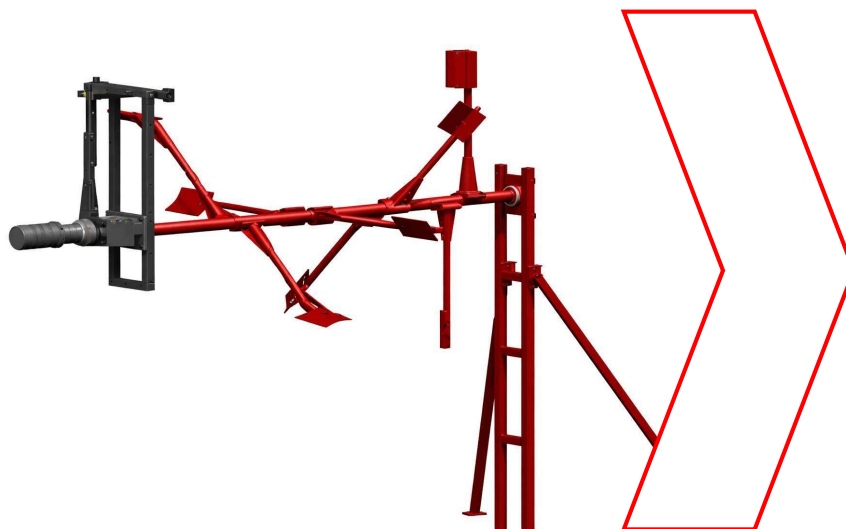


Pós-digestor (D-01)

O pós-digestor é um tanque circular de concreto armado sobre base de concreto. O fundo inclinado melhora alimentação e mistura, e saídas adicionais permitem descarga completa. Placas externas de poliestireno extrudado retêm calor e reduzem perdas. Abaixo do solo, mantas impermeáveis cobrem o isolamento das paredes e do fundo. Chapas protegem todo o isolamento contra danos e roedores. Um dreno perfurado acompanha as paredes externas na base de concreto para monitorar a estanqueidade. A drenagem é verificada por poços de inspeção.

Especificações técnicas

Altura:	10,0 m
Diâmetro:	26,0 m
Volume total:	5 300 m³
Quantidade:	1 unidade



Agitador de pás do pós-digestor (AG-21...25)

O misturador inclinado de pás de alta potência Paddle-giant foi projetado para eficiência com todos os tipos de matéria-prima, inclusive meios muito viscosos. Seu regime de operação favorece a preservação das populações bacterianas para obter produção ideal de gás. O mancal é de plástico especial, altamente resistente ao desgaste e à corrosão. Todos os componentes podem ser substituídos sem esvaziar o reator ou trocar o eixo. O princípio de operação rompe camadas flutuantes, auxilia a mistura de camadas sedimentadas e facilita a desgaseificação do substrato. É adequado para pequenas variações do nível de enchimento. Redutores e motores de fabricantes europeus reconhecidos proporcionam longa vida útil. Todos os motores e redutores estão disponíveis com certificados ATEX. Os misturadores são instalados em diferentes níveis do tanque.

Especificações técnicas

Potência do acionamento:	15kW
Quantidade por tanque:	5 un.
Quantidade total:	5 un.



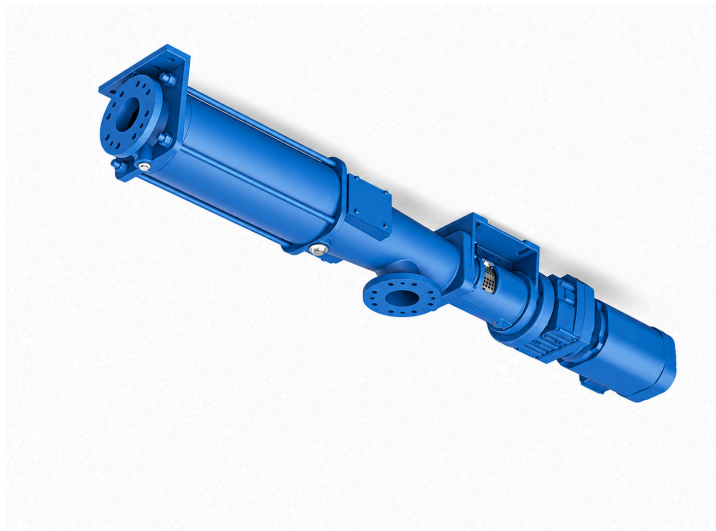
Visores com refletores (SG-01...SG-05)

Os visores permitem observar o interior dos digestores. Os refletores à prova de explosão possuem desligamento automático. Um limpador e um sistema de lavagem mantêm os vidros limpos.

Especificações técnicas

Visor: Ø300

Refletor: 230V, 50W, IP65
VISULUXUL50-G -H



Equipamentos de bombeamento (PU-01....PU-09)

As bombas transportam substrato entre as unidades. A viscosidade cinemática afeta as curvas das bombas e sua seleção. A resistência ao escoamento, a viscosidade e a consistência do fluido determinam seu comportamento na bomba. Seleciona-se o tipo adequado para cada substrato. Bombas helicoidais processam lodo fluido, lodo mecanicamente adensado e substratos com até 15% de matéria seca.

Especificações técnicas

Bomba de alimentação de substrato líquido aos digestores

Potência do acionamento:	11 kW
Vazão:	40 m ³ /h
Quantidade:	1 un.

Bomba de substrato para o pós-digestor

Potência do acionamento:	18 kW
Vazão:	60 m ³ /h
Quantidade:	4 un.

Bomba de alimentação do separador

Potência do acionamento:	18 kW
Vazão:	60 m ³ /h
Quantidade:	4 un.

Bomba de alimentação de filtrado

Potência do acionamento:	11 kW
Vazão:	40 m ³ /h
Quantidade:	1 un.



Separador (SR-01 ... SR-04)

O separador remove água dos sólidos. Opera de forma contínua e automática pelo princípio da prensa helicoidal, separando misturas fluidas e viscosas. A rosca conduz a mistura da câmara de entrada à peneira horizontal. Parte da água atravessa a peneira por gravidade. A rosca transporta a água restante e as partículas sólidas, inclusive as menores, à zona de prensagem no trecho final. Forma-se uma massa sólida compacta continuamente renovada, que é expelida pela saída e pode ser recolhida diretamente em recipientes. O líquido separado escoar pela saída sob a máquina. As pequenas tolerâncias mantêm o interior da peneira limpo.

Especificações técnicas

Potência do acionamento:

7,5 kW

Capacidade:

8-30 m³/h

Quantidade:

4 un.



Tanques de recepção e de filtrado (RT-01, FT-01)

O tanque de recepção coleta e armazena substrato líquido, pré-aquece e mistura antes da transferência aos digestores. Possui sensores de nível e temperatura e um misturador. Uma bomba fornece o substrato líquido. O tanque de filtrado coleta líquido após a separação e funciona como pulmão para reutilização no processo ou envio à lagoa.

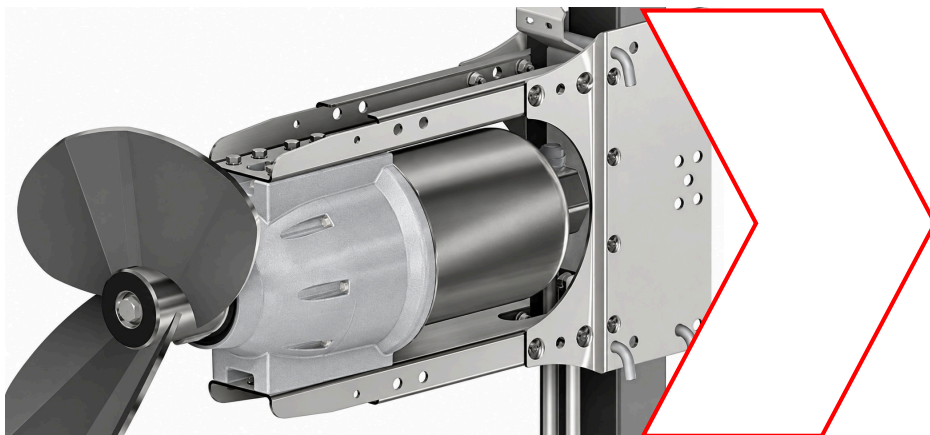
Especificações técnicas

Tanque de recepção (RT-01)

Altura:	3,0 m
Diâmetro:	8,0 m
Volume total:	150 m ³
Quantidade:	1 unidade

Tanque de filtrado (FT-01)

Altura:	3,0 m
Diâmetro:	8,0 m
Volume total:	150 m ³
Quantidade:	1 unidade



Agitador submersível (AG-21, AG-22)

O agitador submersível mistura completamente os substratos líquidos. Seu monobloco estanque aciona uma hélice de três pás. A unidade elétrica é projetada para atmosferas potencialmente explosivas de Zona 2. O suporte do motor se adapta à maioria dos mastros-guia e permite ajuste de altura. O motorreductor é de ferro fundido nodular pintado, a hélice é galvanizada e o suporte do motor é de aço inoxidável.

Especificações técnicas

Potência do acionamento:	15 kW
--------------------------	-------

Quantidade por tanque de recepção:	1 un.
------------------------------------	-------

Quantidade total:	1 un.
-------------------	-------

Potência do acionamento:	5,5 kW
--------------------------	--------

Quantidade por tanque de filtrado:	1 un.
------------------------------------	-------

Quantidade total:	1 un.
-------------------	-------



Gasômetro (GH-01)

O gasômetro coleta e armazena biogás e equaliza a pressão. Possui dupla membrana. A externa é revestida de PVC e protegida contra UV em ambos os lados, com resistência de 3.000 N/5 cm. A membrana interna de PELD, resistente ao biogás, tem permeabilidade máxima de metano de 260 $\text{cm}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{dia} \cdot 1 \text{ bar})$ e resistência de 650 N/5 cm. O material resiste ao frio até -30°C .

A pressão do biogás expande a membrana interna. O ar entre as membranas pressiona a interna; a pressão do gás é de 2-5 mbar. O corte CNC e a soldagem por alta frequência melhoram a qualidade em relação à fabricação manual e à soldagem térmica.

Um sistema pneumático de fixação cria conexão resistente e estanque à parede do tanque. Inclui perfil trapezoidal, fixadores, compressor e mangueira que prende a membrana no perfil. Uma válvula de alívio protege contra danos por pressão.

Especificações técnicas

Altura:	13,0 m
Diâmetro:	26,0 m
Volume total:	3826 m³
Quantidade:	1 unidade



Sistema de resfriamento e secagem de biogás (CHL-01..04)

Equipamentos especializados secam e resfriam o biogás. O sistema inclui trocadores de baixa pressão, chillers de água e resfriadores a seco. O resfriador de gás é um trocador casco e tubos de uma passagem: o biogás flui dentro dos tubos e o fluido de resfriamento ao redor, no casco. Todas as partes em contato com biogás são de aço inoxidável 316Ti ou 316L.

Especificações técnicas

Vazão de biogás:	2200 m ³ /h
Temperatura de entrada:	+48°C
Temperatura de saída:	+25°C
Potência elétrica:	56 kW
Quantidade:	4 un.



Soprador de biogás (BC-01..04)

O soprador de biogás transfere o gás e aumenta sua pressão por meio de um rotor giratório. Um inversor de frequência permite operar entre 30 e 100% da capacidade.

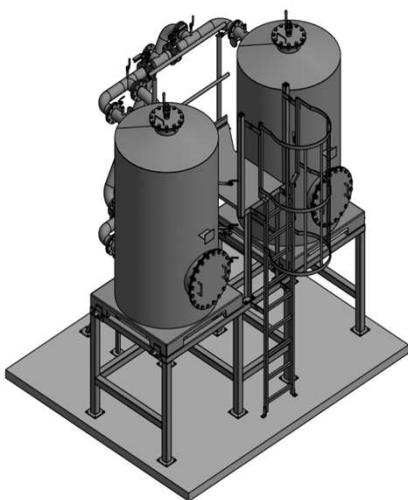
Especificações técnicas

Vazão de biogás:	4500 m ³ /h
Pressão:	300 mbar
Potência elétrica:	55 kW
Quantidade:	2 un.



Filtro de carvão ativado

A purificação fina utiliza carvão ativado impregnado com iodeto de potássio, desenvolvido para biogás. O sulfeto de hidrogênio é adsorvido nos poros. Carcaça, base, grades e tubulações são de aço inoxidável, resistente à corrosão mesmo com alto H₂S. O filtro pode ser instalado em ambientes internos ou externos, sobre fundação ou estrutura. O método reduz o enxofre a 0-10 ppm e remove compostos halogenados e siloxanos.

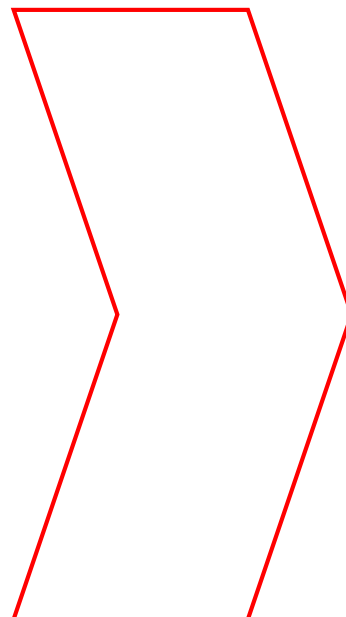


Para facilitar a troca do adsorvente, as colunas devem ficar em uma estrutura elevada. Um veículo pode entrar por baixo para descarregar rapidamente o carvão usado em um reboque.

Especificações técnicas

Carga de carvão:
Quantidade:

500 kg
2 un.



Gerador de oxigênio

O gerador de oxigênio atende à primeira etapa da purificação do biogás. O ar contém aproximadamente 21% de oxigênio, gás inodoro, incolor e insípido em condições atmosféricas. O oxigênio pode ser produzido por adsorção com alternância de pressão (PSA) ou destilação fracionada criogênica do ar liquefeito.

No PSA, o ar comprimido passa primeiro por filtros e uma coluna de carvão ativado para remover poeira, óleo e água. Depois entra em um de dois vasos com peneira molecular (MS). CO₂ e umidade residual são adsorvidos na entrada do leito. Em alta pressão, a peneira adsorve seletivamente o nitrogênio, enquanto o oxigênio passa com a pureza necessária.

Enquanto um vaso produz oxigênio sob pressão, o outro é despressurizado para liberar o nitrogênio adsorvido à atmosfera. A alternância automática entre adsorção e dessorção garante produção contínua. O dimensionamento do compressor e dos vasos permite diversas combinações de vazão e pureza. O PSA produz economicamente de menos de 1 m³/h a várias centenas de m³/h de oxigênio com pureza de 90-95%.

Especificações técnicas

Capacidade:	80 l/min
Potência:	5,5kW
Quantidade:	1 conj.

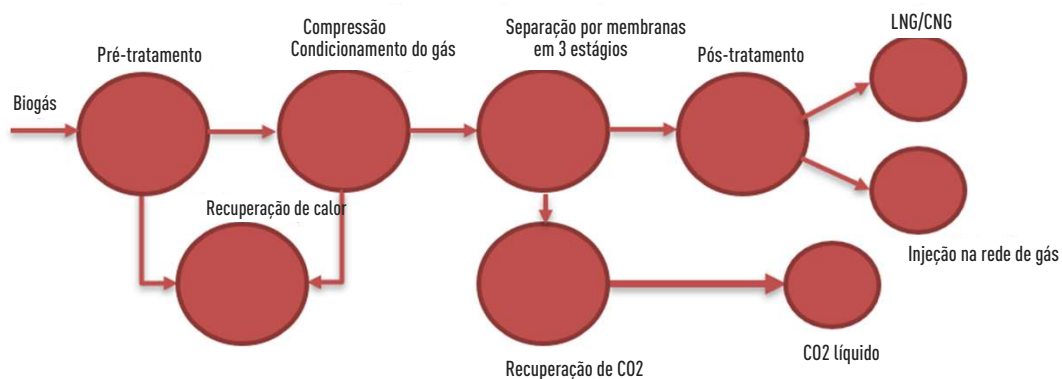


Unidade de purificação de biogás

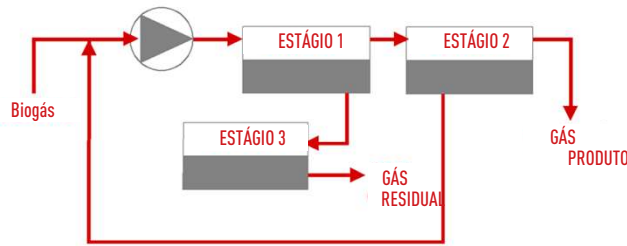
O biogás é purificado a biometano por separação em membranas, impulsionada pela diferença de pressão. CO₂ e outras impurezas são separados do metano, produzindo biometano rico em CH₄ para injeção na rede ou combustível veicular. Antes das membranas, o biogás bruto é pré-tratado para remover água, H₂S e outros contaminantes nos sistemas de resfriamento e filtração.

O gás limpo é comprimido à pressão necessária para a separação, geralmente 12–16 bar, conforme as especificações exigidas do produto.

As membranas altamente seletivas deixam o CO₂ permear muito mais rápido que o metano. O permeado dos diferentes estágios retorna ao processo. São produzidas duas correntes: biometano com o teor especificado de metano e gás rico em CO₂. O biometano que sai das membranas está praticamente pronto para a rede. O monitoramento padrão inclui analisador de biometano, sensor de ponto de orvalho e sensor de temperatura.



As membranas de três estágios altamente seletivas são uma tecnologia alemã avançada desenvolvida especificamente para purificar biogás em biometano com eficiência.



O cartucho contém vários milhares de fibras ocas de polímeros de alto desempenho em uma carcaça de aço inoxidável. As extremidades são fixadas em resina. O cartucho entra em uma carcaça de pressão de aço, formando o módulo de membranas. Vários módulos podem ser interligados para processar misturas gasosas pressurizadas, criando um sistema compacto e simples de operar. As carcaças inoxidáveis seguem regulamentos nacionais, permitindo atender às exigências locais. Há carcaças para até 20 bar e 25 bar.



As membranas separam gases por milhares de fibras poliméricas ocas. A permeabilidade depende da solubilidade no material e da velocidade de difusão. Gases mais solúveis e com moléculas menores permeiam mais rápido que gases maiores e menos solúveis. A razão entre as velocidades de transporte de dois gases é chamada seletividade; maior seletividade melhora a eficiência energética da separação.

Na separação CO_2/CH_4 , o CO_2 permeia a membrana muito mais rápido, enquanto o metano é retido. O gradiente de pressão parcial é a força motriz. Isso eleva o biogás à qualidade do gás natural, com pureza de metano acima de 99%.

Vantagens • Menor consumo de energia com recirculação de 30-40%. • Resistência a H_2S de até 3%. • Sem água auxiliar ou sorventes. • Sem emissões ao ambiente. • Separação à temperatura ambiente. • Área compacta. • Separação contínua. • Configuração modular simples. • Flexível e de fácil expansão. • Alta seletividade e pureza do produto. • Recuperação de metano acima de 99%.



Especificações da unidade de biometano

	Biogás	Biometano	CO2 gás enriquecido
Vazão máxima de gás (Nm³/h)	4500	2400	1995
Vazão real (Nm³/h)	4266	2275	1891
CH4 (%)	53	99	2,74
CO2 (%)	42,17	1,8	94,6
H2O (%)	0,8	ponto de orvalho < -65°C	2
N2 (%)	0,8	1,16	0,3
O2 (%)	0,2	0,1	0,35
H2S (ppm)	<3	-	-
Temperatura (°C)	20	25	40
Pressão (bar)	0,09	3,1	0,05

Consumo de energia

Unidade de produção de biometano

0,26 kW/Nm³ Biogás



Estação de compressão de biometano 50 bar (CS-01)

A estação compacta de compressão é fácil de instalar. Projetada para biometano com pressão de entrada de 0 a 50 bar, oferece operação confiável a 3.000-54.600 Nm³/dia.

Componentes principais:

- Compressor alternativo com cilindros isentos de óleo.
- Um ou dois estágios, pressão de saída de 4-50 bar.
- Êmbolos e vedações avançados que superam padrões do setor.
- Acoplamento direto entre motor e compressor.
- PLC com tela.
- Controle remoto integrado.
- Separador na entrada com drenagem automática.

Especificações técnicas

Vazão de biometano:	2275 m³/h
Potência elétrica:	400 kW
Quantidade:	2 un.

Quantidade recomendada: 2 unidades, para manter a operação da usina de biometano durante reparos e manutenção dos compressores.



Cromatógrafo de gás

O cromatógrafo mede com precisão a composição do biogás e do biometano. Monitora a qualidade continuamente ou periodicamente antes da injeção na rede ou entrega ao consumidor. Coleta e analisa dados, realiza calibração e calcula propriedades pela ISO 6976, incluindo poderes caloríficos inferior e superior, densidade e índice de Wobbe a partir da composição. O cromatograma identifica a concentração de cada componente e fornece a composição em tempo real ou em relatório.

Especificações técnicas

Proteção contra explosão para Zonas 1 e 2. Carcaça de aço inoxidável com porta protegida, IP66. PC industrial no painel frontal. Controle remoto via LAN do cromatógrafo e do seletor de correntes. Interface industrial com software de banco de dados. Comunicação Modbus e Profibus por Ethernet/RS232/RS485.

Quantidade:

1 un.



Estação de odorização

A estação de odorização adiciona um odorante, geralmente à base de mercaptanos ou compostos de enxofre, dando ao biometano um cheiro característico para detectar vazamentos. A odorização é necessária para injeção em redes de distribuição. A estação inclui tanque de odorante, bomba dosadora de precisão, controle de dosagem, sensores de pressão e vazão, unidade de controle, carcaça e gabinete protetores e proteção contra vazamentos.

Especificações técnicas

Pressão máxima de operação:	100 bar
Temperatura de operação: (versões aquecidas para clima frio)	17°C-60°C
Sinal de entrada da vazão de gás:	pulso
Quantidade:	1 un.



Unidade de liquefação de CO2

A purificação produz duas correntes: biometano com o teor especificado de metano e gás rico em CO2. A recuperação de CO2 permite liquefazer o CO2 gasoso da purificação. Um compressor eleva a pressão em dois estágios. O carvão ativado remove odores residuais e outras impurezas, seguido de um secador automático com peneira molecular que retira a umidade.

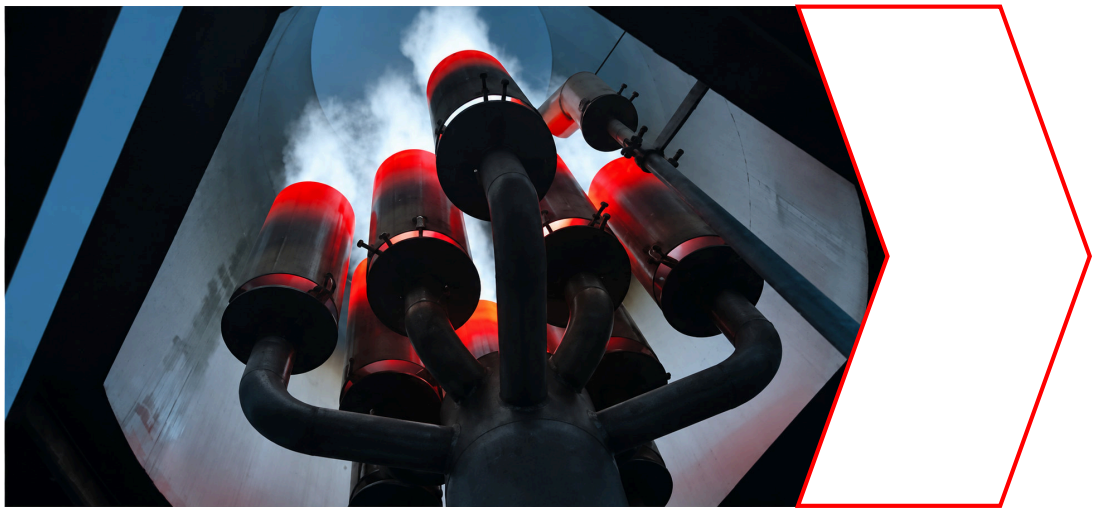
O gás purificado entra no liquefator: o CO2 condensa, enquanto os gases não condensáveis permanecem gasosos. Oxigênio, metano e nitrogênio são removidos em uma coluna de stripping. O CO2 líquido puro vai para um tanque isolado. O CO2 líquido de grau alimentício pode ser usado em alimentos, bebidas gaseificadas, refrigeração e estufas. A recuperação de CO2 pode gerar receita adicional aos projetos de biometano.

Enchimento de CO2

O CO2 líquido entra em uma bomba booster que estabelece a pressão para cilindros, carretas-tanque ou vasos industriais. Durante o enchimento, o cilindro esfria rapidamente e ganha massa. O sistema monitora a massa com precisão de 0.01 kg, pressão, vazão e temperatura do líquido. Na massa nominal, por exemplo 6, 10, 20 ou 30 kg, a bomba passa ao complemento lento para manter o CO2 líquido. O excesso de gás sai pela linha de evaporação, a massa se estabiliza e a temperatura do cilindro se equaliza. Os cilindros devem ser preenchidos até 67-75% para permitir expansão térmica.

Especificações técnicas

Vazão de CO2:	1940 m ³ /h
Capacidade de liquefação:	3880 kg CO2/h
Pureza do CO2:	99%
Quantidade:	1 un.



Flare de biogás (BF-01, BF-02)

A tocha realiza a combustão completa, temporária ou periódica, do biogás que não pode ser aproveitado como fonte de energia. O sistema inclui queimador e equipamentos auxiliares. O queimador por injeção reúne bocal com injetor, controle de admissão de ar, tubo de proteção da chama, conexões e comando. O conjunto de combustão é de aço inoxidável. A estrutura sustenta o queimador e a conexão montada verticalmente. O painel fixado à estrutura contém os elementos de monitoramento e controle da ignição e da chama.

Especificações técnicas

Vazão de biogás:

2500 m³/h

Pressão:

min. 10 mbar-
máx. 60 mbar

Quantidade:

2 un.

Abastecimento de água e drenagem



Os sistemas de água abastecem a usina para necessidades sanitárias, de processo e combate a incêndio. São utilizadas bombas centrífugas autoescorvantes de um estágio. Bombas de efluentes removem águas residuais de processo e sanitárias e, quando necessário, águas pluviais. Sistemas de pressurização elevam a pressão da rede com duas ou três bombas em paralelo.

Especificações técnicas

Estação de bombeamento de água

Potência do acionamento:	7,5 kW
Vazão:	40 m ³ /h
Pressão:	20 m

Estação de bombeamento de água de incêndio

Potência do acionamento:	7,5 kW
Vazão:	38 m ³ /h
Pressão:	25 m

Bomba de drenagem

Potência do acionamento:	1,5 kW
Vazão:	10 m ³ /h
Pressão:	15 m

Sistema de suprimento de ar

O sistema de suprimento de ar fixa a cúpula protetora do gasômetro por meio de uma fixação pneumática mantida à pressão necessária.

Especificações técnicas

Consumo de ar:	200 l/min
Pressão máxima:	8 bar
Capacidade do reservatório:	9,5 l



Sistema de aquecimento

O aquecimento compensa perdas térmicas e mantém a temperatura constante no digestor. Inclui bombas de circulação, tubulações e tubos de aquecimento. O calor vem de unidades de cogeração ou outra fonte externa. O fluido térmico é uma solução aquosa de propilenoglicol. Uma caldeira elétrica é utilizada para aquecimento.

Especificações técnicas

Bomba de circulação

Potência do acionamento:	3,5 kW
Vazão:	28 m ³ /h
Pressão:	1 bar

Bomba de circulação

Potência do acionamento:	2,0 kW
Vazão:	12 m ³ /h
Pressão:	1 bar

Estação de bombeamento de propilenoglicol

Potência do acionamento:	0,77 kW
Vazão:	1,0 m ³ /h
Pressão:	4 bar

Caldeira elétrica

Potência instalada, kW:	Conforme cálculo
Quantidade:	1 conj.



Resfriador a seco (resfriamento do substrato) (DC-01 ... DC-04)

A digestão ativa e a operação termofílica podem causar autoaquecimento em torno de +48 a +50°C. O resfriamento evita aumento descontrolado acima da faixa operacional. O mesmo trocador espiral usado para aquecer também resfria: o circuito térmico é comutado do aquecimento para o resfriador a seco.

Especificações técnicas

Potência térmica:	100 kW
Potência elétrica:	4 kW
Quantidade:	5 un.



Automação

A automação monitora e regula a operação e limita danos. Em emergência, como falta de energia, a usina entra automaticamente em modo seguro. O monitoramento em tempo real detecta e corrige desvios rapidamente, otimiza a operação e reduz custos. Os parâmetros são registrados continuamente em um diário eletrônico.

O sistema possui painel de controle, sensores de processo e atuadores. O painel modular contém fonte de alimentação e processadores central e de buffer na parte superior, E/S distribuídas Simatic ET200S abaixo e relés de interface e terminais dos atuadores na parte inferior. Um operador controla toda a usina.

Especificações técnicas

Quadros de distribuição VRU-1, 2, 3

Controlador: Siemens CPU315-DP2

Periféricos: Simatic ET200S

Painel sensível ao toque OP277

Comunicação: PROFIBUS e MPI

Interface: RS-485

Sistema de controle: Simatic Step7



Sensores, conjunto

Os sensores medem grandezas físicas, incluindo temperatura, pressão, nível e umidade, e transmitem leituras e sinais à tela do operador.

Tipos de sensores

Sensor de condutividade
Sensor de pressão / nível
Sensor ultrassônico
Sensor de pressão do gás



Gerador a diesel

O gerador a diesel fornece energia de reserva ou principal. Seu motor potente atende a padrões internacionais de qualidade e ambientais e possui reguladores mecânico e eletrônico de rotação. O alternador robusto suporta corrente de curto-circuito de 300% por 20 segundos sem interromper a operação, melhorando a resposta a emergências. A carenagem acústica para intempéries e o controle de temperatura favorecem a partida em qualquer clima.

As vantagens incluem confiabilidade, baixo ruído, maior segurança e limpeza de combustível em três estágios. As opções incluem monitoramento remoto LiveLink, maior atenuação acústica, mobilidade adicional e diferentes capacidades de tanque. O pré-aquecimento permite partida rápida no frio. A regulação automática de tensão (AVR) protege contra sobrecarga e surtos de tensão.

Especificações técnicas

Potência nominal:	1000 kW
Tensão nominal:	230/400kW
Cilindrada do motor:	35,8 l
Consumo de combustível (carga de 75%):	172l/h
Dimensões (A x C x L)	2600x 6060x 2440mm
Quantidade:	1 un.



Laboratório

O monitoramento e o controle dos parâmetros das matérias-primas e da fermentação são importantes para a operação eficiente. O laboratório permite avaliar o teor de matéria seca na alimentação e na massa fermentada, a relação entre ácidos orgânicos voláteis e carbono inorgânico total (FOS/TAC), o grau de digestão do substrato, a produção de biogás e a eficiência do separador.

Equipamentos

Balança analítica
Analisador de umidade
Titulador automático
Medidor de pH de laboratório
Centrífuga
Conjunto de frascos

Especificação dos equipamentos



Nº	Nome do equipamento	Dados técnicos	Qtd.
1	Alimentador de biomassa -1,2,3,4	V=20 m³	4
1.1	Moega do alimentador		4
1.2	Conjunto de roscas	conj.	4
2	Alimentador de pellets para transportador	V=200 m³	1
1.1	Moega do alimentador		1
1.2	Conjunto de roscas	conj.	1
3	Agitador submersível para tanques de recepção e de filtrado	N=15 kW	1
3.1	Motoredutor estanque		1
3.2	Hélice (aço resistente ao desgaste)		1
3.3	Mecanismo de ajuste do agitador		1
3.4	Suporte do motor elétrico		1
3.5	Fixações		1
4	Agitador vertical do digestor-1,2,3,4	N=15 kW	20
4.1	Motorredutor estanque		20
4.2	Hélice (aço resistente ao desgaste)		20
4.3	Eixo (adaptado à altura do digestor)		20
4.4	Pás		20
4.5	Inversor de frequência		20
4.6	Fixação do suporte inferior do agitador		20
5	Agitador de pás do pós-digestor	N=15 kW	5
6	Válvula de segurança de sobrepressão/vácuo		5
7	Visores com refletores	conj.	5
7.1	Visor RD300 (fixações e selante)	Ø300	10
7.2	Refletor VISULUX (montagem incluída) UL50-G-H	230V, 50W, IP65	5
8	Bomba de substrato líquido	30-40 m³/h N=11,0 kW	1

Nº	Equipamentos	Especificações	Qtd.
9	Bomba de substrato para o pós-digestor	60 m³/h N=18.0 kW	4
10	Bomba de alimentação do separador	60 m³/h N=18.0 kW	4
11	Separador	N=7,5 kW	4
11.1	Corpo		4
11.2	Conexão de substrato de 4 polegadas		4
11.3	Motor e redutor	N=7,5 kW	4
11.4	Estrutura		4
11.5	Rosca		4
11.6	Peneira filtrante		4
12	Bomba de alimentação de filtrado	40 m³/h N=11 kW	1
13	Gasômetro de PVC H/D = 1/2	3826 m³	1
13.1	Cúpula protetora	Ø26 m	1
13.2	Membrana interna de PELD		1
13.3	Soprador de ar	16A, 0,5kW	1
13.4	Fixações		1
13.5	Válvula de segurança de sobrepressão/vácuo		1
13.6	Indicador de enchimento		1
13.7	Acessórios		1
13.8	Válvula de segurança		1
14	Sistema de resfriamento do biogás	2200 m³/dia	4
14.1	Chiller		4
14.2	Trocador de calor		4
14.3	Tanque de propilenoglicol		4

Nº	Equipamentos	Especificações	Qtd.
15	Sistema de dessulfurização		1
15.1	Gerador de oxigênio, conj.	80 l/min	1
15.2	Filtro de carvão	500kg	2
16	Soprador de biogás	Q=4500m³/h, H=250mbar, N=55kW	2
17	Medidor eletromagnético de biogás		2
18	Tocha de biogás	2500 m³/h	2
19	Equipamentos de gás	conj.	1
19.1	Bomba de drenagem com boia	DN=50, Q=1m³/h, H=13 m	2
20	Sistema de aquecimento	conj.	1
20.1	Vaso de expansão	V=1000 l,P=6Bar T=120°C	1
20.2	Bomba de circulação do fluido térmico	Q=30 m³/h, H=1 bar	1
20.3	Unidade de suprimento de propilenoglicol	Q=1,0 m³/h, H=4 bar	1
20.4	Bomba de circulação de aquecimento do digestor	Q=18 m³/h, H=1.1 bar	5
20.5	Caldeira elétrica	conj.	1
21	Abastecimento de água e drenagem	conj.	1
22	Automação e equipamentos elétricos	conj.	1
22.1	Quadro de distribuição de entrada VRU-1		1
22.2	Quadro de distribuição de entrada VRU-2		1
23	Sensores (conjunto)		1
23.1	Sensor de pressão (pressão do gás) 0,025 bar		5
23.2	Sensor de pressão (pressão do gás)0,4 bar		5

Nº	Equipamentos	Especificações	Qtd.
23.3	Sensor de pressão (pressão do substrato) 1,0 bar		5
23.4	Sensor de pressão (pressão do substrato) 2,5 bar		5
23.5	Transmissor de temperatura		5
23.6	Poços termométricos		5
23.7	Sensor de temperatura do circuito de aquecimento		5
23.8	Sensor de pressão (pressão do substrato)		6
23.9	Sensor de pressão (pressão do substrato)		6
23.10	Sensor de pressão (pressão do fluido de resfriamento)		6
23.11	Sensor de pressão submersível		1
23.12	Sensor de umidade e temperatura do gás	SEN 3276 B065 G1/2 6Bar	5
23.13	Transmissor de temperatura	ESFTF-I	5
24	Resfriador a seco 100kW de potência térmica		5
25	Unidade de biometano	conj.	1
26	Estação de compressão de biometano	conj.	2
27	Laboratório	conj.	1
28	Gerador a diesel 1 MW	conj.	1

ANEXOS



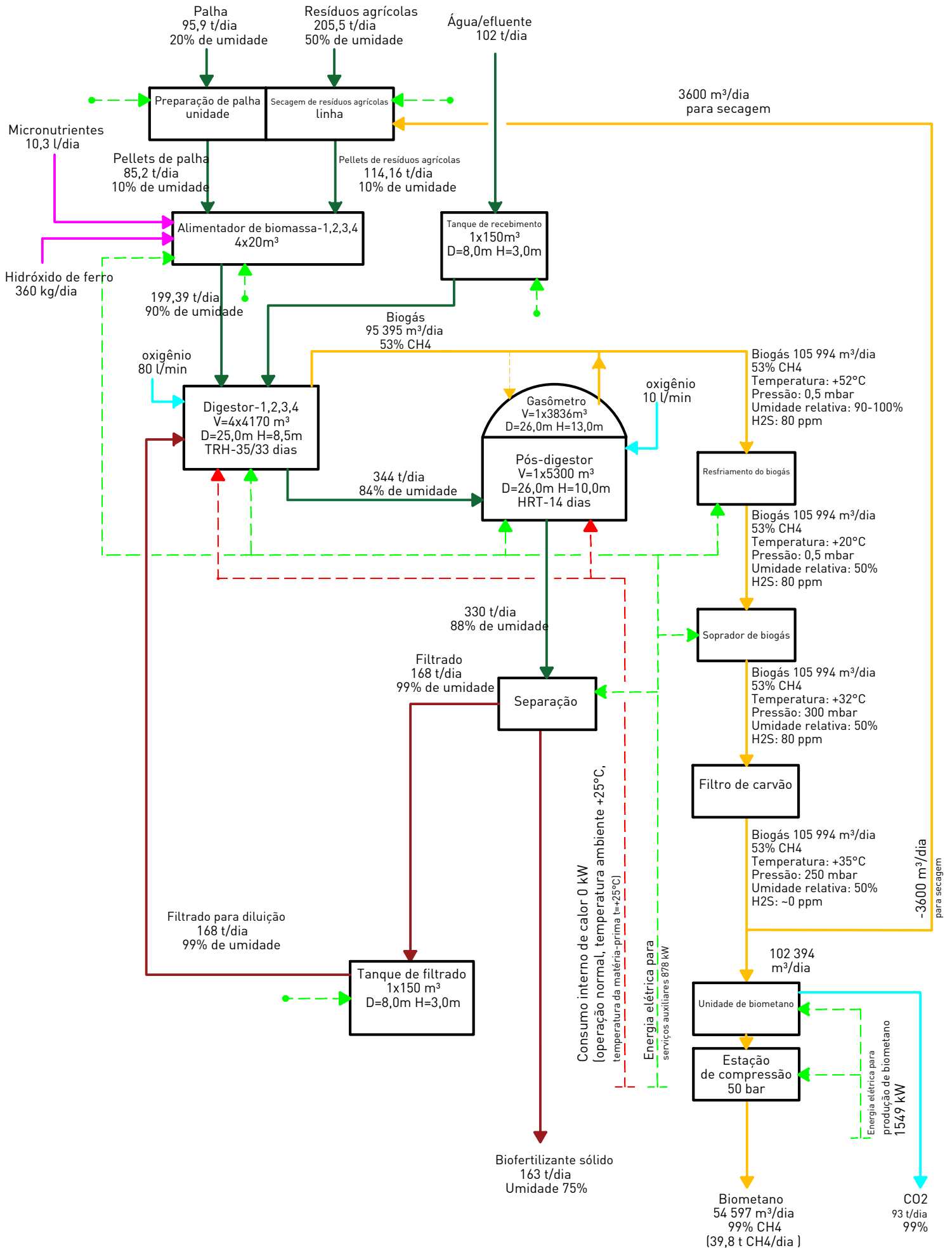
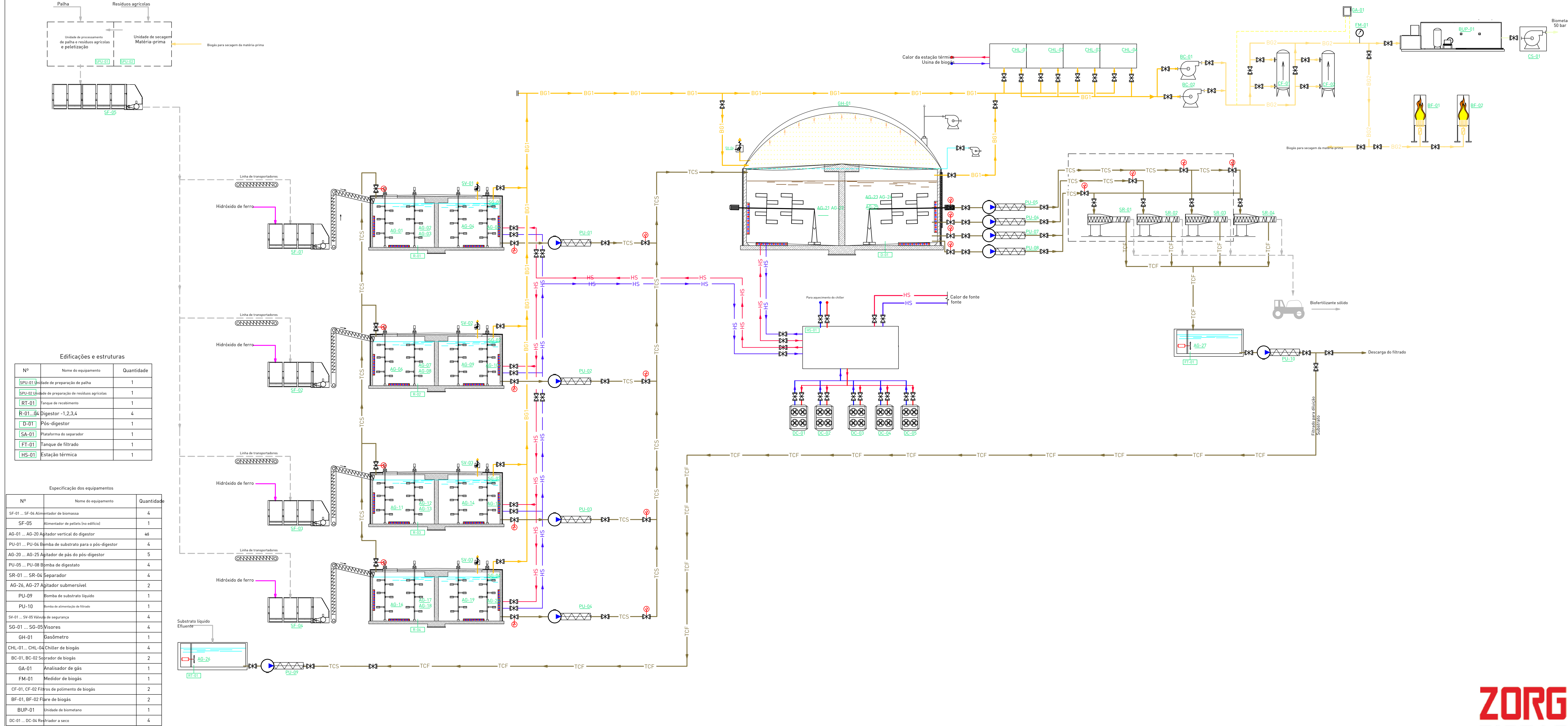
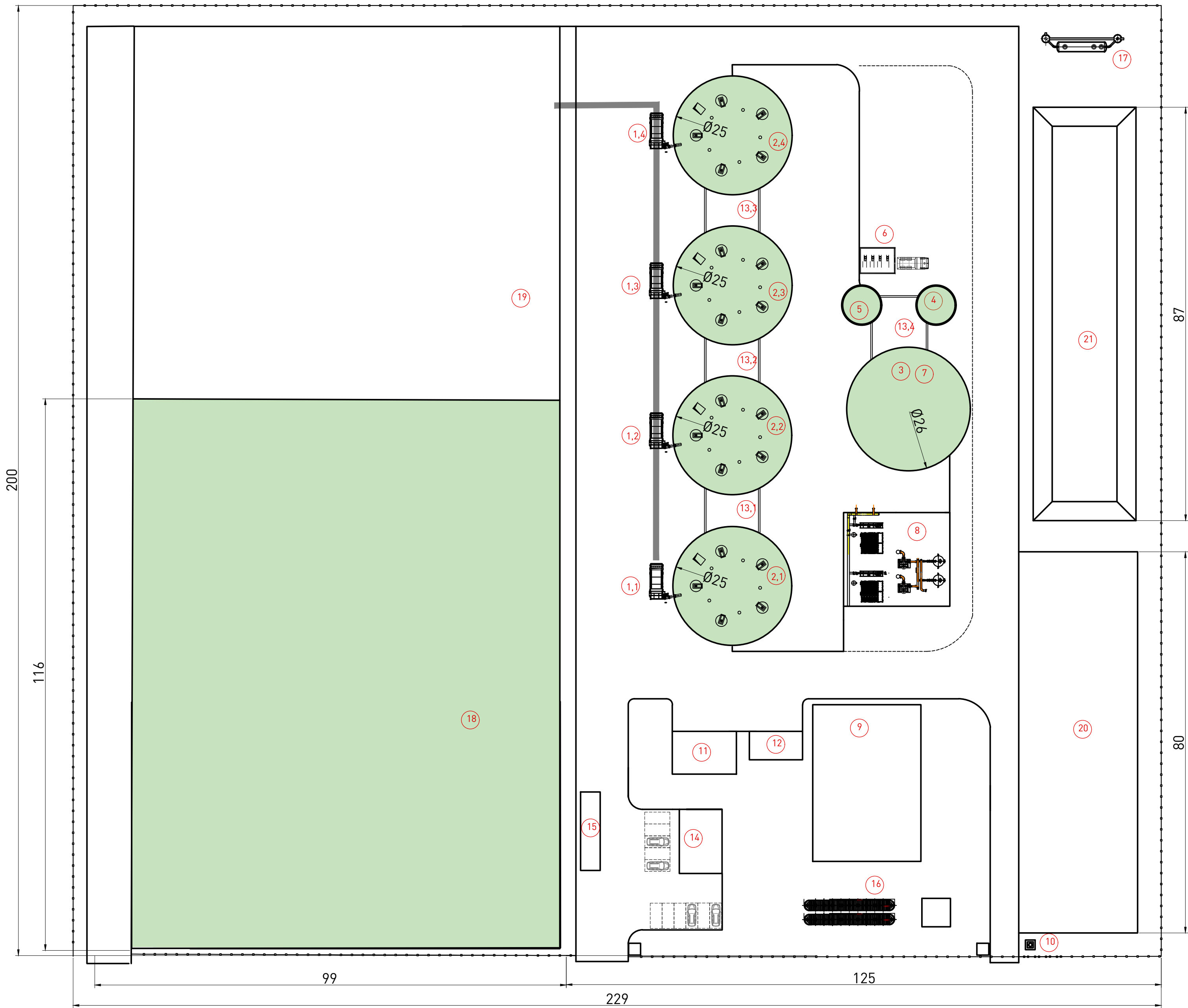


Diagrama de processo



Layout da usina



Legenda

Nº	Nome do equipamento	Obs.
1.X	Alimentador de biomassa-1,2,3,4	
2.X	Digestor-1,2,3,4	
3	Pós-digestor	
4	Tanque de recebimento	
5	Tanque de filtrado	
6	Plataforma do separador	
7	Gasômetro	
8	Área de equipamentos de biogás	
9	Unidade de biometano	
10	Tocha de biogás	
11	Edifício administrativo	
12	Subestação transformadora	
13.X	Edifício de equipamentos	
14	Deposito de peças de reposição	
15	Balança rodoviária	
16	Reservatório de água de combate a incêndio	
17	Tratamento local de águas pluviais	
18	Área de armazenamento de palha	
19	Unidade de processamento de palha e resíduos	
20	Área de armazenamento de fertilizante sólido	
21	Lagoa	

Anexo 4

Usina de biogás					
Equipamentos	instalada (kW)	Qtd. un.	Potência total (kW)	Horas de operação por dia	Energia elétrica consumida (kWh/dia)
Unidade de preparação da matéria-prima	200,0	1	200,0	16,0	3200,0
Linha de secagem de resíduos agrícolas	110,0	1	110,0	16,0	1760,0
Alimentador de pellets 200 m³	47,0	1	47,0	6,0	282,0
Linha de transporte da matéria-prima	44,0	1	44,0	6,0	264,0
Alimentador de biomassa-1,2,3,4 V=20 m³	18,0	4	72,0	6,0	432,0
Conjunto de roscas	23,0	4	92,0	6,0	552,0
Agitador vertical do digestor - 1,2,3,4	15,0	20	300,0	16,0	4800,0
Agitador de pás do pós-digestor	15,0	5	75,0	16,0	1200,0
Agitador submersível do tanque de recepção	15,0	1	15,0	8,0	120,0
Agitador submersível do tanque de filtrado	5,5	1	5,5	8,0	44,0
Sistema de resfriamento do biogás	56,0	4	224,0	24,0	5376,0
Soprador de biogás	55,0	2	110,0	12,0	1320,0
Gerador de oxigênio	5,5	1	5,5	8,0	44,0
Bomba de substrato líquido	11,0	1	11,0	0,5	5,5
Bomba de substrato para o pós-digestor	18,0	4	72,0	4,0	288,0
Bomba de digestato	18,0	4	72,0	6,0	432,0
Separador 1,2, 3,4	7,5	4	30,0	6,0	180,0
Bomba de alimentação de filtrado	18,0	1	18,0	3,0	54,0
Compressor da fixação pneumática do gasômetro	1,5	2	3,0	1,0	3,0
Soprador de ar da membrana do gasômetro	1,0	2	2,0	24,0	48,0
Resfriador a seco	4,0	4	16,0	24,0	384,0
Bomba de circulação do fluido de resfriamento	0,8	4	3,0	24,0	72,0
Bomba de circulação do fluido de resfriamento	2,0	4	8,0	24,0	192,0
Bomba de circulação do fluido de resfriamento	0,1	1	0,1	24,0	1,9
Estação de bombeamento de propilenoglicol	0,8	1	0,8	0,5	0,4
Bomba de drenagem	1,0	2	2,0	0,5	1,0
Iluminação da área da usina de biogás	1,2	1	1,2	8,0	9,6
Iluminação de inspeção do digestor	0,1	4	0,3	0,5	0,2
Iluminação do quadro de distribuição	0,1	1	0,1	0,5	0,1
Potência total instalada, kW			1138		
Consumo total de energia elétrica, kWh/dia					21066
Potência total consumida, kW					878

Complexo de biometano					
Equipamentos	instalada (kW)	Qtd. un.	Potência total (kW)	Horas de operação por dia	Energia elétrica consumida (kWh/dia)
Unidade de biometano	1148,3	1	1148,3	24,0	27558,6
Estação de compressão de biometano 50 bar	400,3	1	400,3	24,0	9608,0
Potência total instalada, kW			1548,6		
Consumo total de energia elétrica, kWh/dia					37167
Potência total consumida, kW					1549

Potência total consumida, kW					2426
------------------------------	--	--	--	--	------

Preços: usina de biometano de palha, 20 milhões de m³/ano

Item	Nome do equipamento	Qtd.	Preço unitário, EUR	Subtotal, EUR	
1	Documentação de projeto	1	118.300	118.300	
2	Supervisão da construção	1	60.000	60.000	
3	Partida e treinamento	1	60.000	60.000	
4	Despesas de hospedagem e viagem	1	40.000	40.000	
5	Entrega dos equipamentos (caminhões)	25	8.000	200.000	
6	Transportador de correia	1	245.000	245.000	
7	Alimentador de biomassa-1,2,3,4 (V=20m³)	4	95.000	380.000	
8	Conjunto de roscas.	4	115.000	460.000	
9	Alimentador de biomassa-4 (V=200m³)	1	235.000	235.000	
10	Conjunto de roscas.	1	125.000	125.000	
11	Agitador vertical do digestor-1,2,3,4 15 kW	20	44.800	896.000	
12	Estrutura do agitador vertical do digestor, item 12	20	4.900	98.000	
13	Agitador de pás do pós-digestor 15 kW	5	44.800	224.000	
14	Estrutura do agitador do digestor, item 14	5	4.900	24.500	
15	Bomba de substrato líquido 11kW	1	20.300	20.300	
16	Bomba de substrato para o pós-digestor 18 kW	4	25.200	100.800	
17	Bomba de digestato 18 kW	4	25.200	100.800	
18	Separador 7,5 kW	4	40.600	162.400	
19	Bomba de alimentação de filtrado 11kW	1	20.300	20.300	
20	Válvula de segurança de sobrepressão/vácuo	4	5.600	22.400	
21	Visores com refletores	4	4.900	19.600	
22	Abastecimento de água e drenagem	1	63.910	63.910	
23	Sistema de aquecimento	1	67.900	67.900	
24	Resfriador a seco (resfriamento do substrato)	5	25.900	129.500	
25	Automação e quadro elétrico	1	590.000	590.000	
26	Válvulas motorizadas	22	6.300	138.600	
27	Sensores (conjunto)	7	25.000	175.000	
28	Gasômetro D26m 1/2D	2	81.000	162.000	
29	Conjunto de tubulações de gás (válvulas, registros e conexões)	1	101.500	101.500	
30	Chiller (sistema de resfriamento de biogás) 2200 m³/h	4	87.500	350.000	
31	Soprador de biogás 4500m³/h	2	38.500	77.000	
32	Filtro de carvão ativado 500 kg	2	27.300	54.600	
33	Flare de biogás 2500 m³/h	2	127.400	254.800	
34	Analizador de gás	2	18.900	37.800	
35	Unidade de biometano	1	3.710.000	3.710.000	
36	Estação de compressão de biometano 50 bar	2	350.000	700.000	
37	Laboratório	1	19.600	19.600	
38	Obras civis e montagem de equipamentos e utilidades	1	3.700.000	3.700.000	cliente
	Total do escopo ZORG, EUR			10.244.610	
TOTAL Zorg + Cliente, EUR				13.944.610	

Cronograma do projeto e pagamentos

Ano														
Mês	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12		
Dados iniciais coleta														
Projeto		50%			50%									
Aprovações e licenças														
Equipamentos						30%	20%	20%		30%				
Entrega Equipamentos														
Unidade de biometano			30%							70%				
Entrega dos módulos														
Construção														
Construção Supervisão					50%					50%				
Partida e comissionamento												50%		50%

Contratos

O projeto é executado sob vários contratos paralelos.

- Documentação de projeto
- Fornecimento de equipamentos
- Supervisão da construção
- Partida e comissionamento

Itens excluídos do escopo da usina de biogás

- 1) Levantamentos topográficos e geológicos: EUR 3.000-7.000.
- 2) Transformador e linha elétrica externa para partida e construção, e 2.500 kW para operação normal.
- 3) Vias externas.
- 4) Abastecimento temporário de água para construção e testes hidráulicos: 5.300 m³. Pode ser utilizada água de processo não salina de rio, lago ou poço.
- 5) Inóculo de partida: substrato de outra usina de biogás, dejetos líquidos ou lodo de estação de tratamento. O cliente fornece uma única carga ao longo de 1-2 semanas para preencher 15-20% do volume do digestor (800 m³). O volume restante é preenchido com a água indicada acima.
- 6) Máquinas para transportar esterco e palha entre armazenamento, preparação e alimentador: pá carregadeira e trator.
- 7) Carvão ativado: 1,0 tonelada a cada dois anos x EUR 4.800/t = EUR 4.800.
- 8) Concentrado de FeO(OH): 132 t/ano x EUR 800/t = EUR 105.600.
- 9) Micronutrientes: 3.760 l/ano x EUR 25/l = EUR 94.000.
- 10) Água desmineralizada para aquecimento: 5 toneladas.
- 11) Peças de reposição para dois anos: EUR 280.000.