



---

**ValorNatural** – Valorização de Recursos Naturais através da Extração de Ingredientes de Elevado Valor Acrescentado para Aplicações na Indústria Alimentar.

---

## **Entregável nº 6.1.2**

**Versão do Documento:** 1

**Data de Submissão:** 20/12/2019

**Responsável:** INEGI – Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial

**Nome do Documento:** Dossiê técnico do sistema laboratorial de extração SFE-CO<sub>2</sub>.

### **Histórico de Revisão**

<b>Revisão</b>	<b>Data</b>	<b>Parceiros Envolvidos</b>	<b>Descrição</b>

**Lista de Autores**

José Manuel Duarte Oliveira

José Francisco Cardoso Miranda

Ana Rosanete Lourenço Reis

## **Sumário**

Este entregável apresenta os resultados do dossiê técnico do projeto do sistema laboratorial de extração SFE-CO<sub>2</sub>.

## Índice

<b>1. Identificação</b> .....	5
<b>2. Informação</b> .....	6

## 1. Identificação

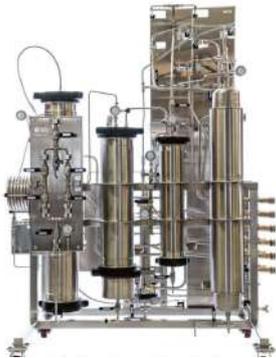
<b><i>Deliverable</i></b>	6.1.2 Dossiê técnico do sistema laboratorial de extração SFE-CO <sub>2</sub> .
<b><i>Tipo de deliverable</i></b>	Relatório, ficheiros CAD 3D e 2D, listas de materiais com identificação de fornecedores,
<b><i>Nível de disseminação</i></b>	Confidencial
<b><i>PPS</i></b>	6. Inovação em processos de extração, refinação e técnicas de conservação.

## 2. Informação

No âmbito do projeto “Valor Natural” pretende-se construir um sistema laboratorial de extração SFE-CO<sub>2</sub> que seja versátil e facilmente adaptável a diferentes matérias-primas provenientes do setor agroalimentar (nomeadamente, a beterraba, a cereja, os cogumelos, entre outros). O sistema de extração será um equipamento inovador e versátil que deverá permitir a recirculação do dióxido de carbono durante a fase extração a pressão constante.

Tendo em conta as especificações inicialmente adiantadas pela equipa da FEUP-LSRE, arrancou-se com o desenvolvimento da instalação de extração em fluido supercrítico. Inicialmente foi feita uma análise exaustiva às soluções existentes no mercado, visando identificar os diferentes sistemas necessários integrar numa instalação deste tipo, eventuais limitações das soluções existentes e atualmente comercializadas, e identificar pontos de melhoria possíveis. Na Tabela 1 são apresentados alguns dos modelos estudados durante este processo de benchmarking.

**Tabela 1** – Exemplos de instalações estudadas durante o processo de benchmarking.

EDEN LABS	APEKS	extraktLAB
		

Foram identificados os seguintes subsistemas/módulos para a instalação:

- estrutura principal;
- vaso de extração;
- vasos de separação;
- acumulador;
- circuito de fluido supercrítico;
- sistemas de arrefecimento/aquecimento;

No caso da estrutura principal resistente é prática comum na maioria dos fabricantes a adoção de uma construção soldada ligeira e rígida em perfis de aço inoxidável. Considerou-se neste caso

uma estrutura em perfis de alumínio extrudidos, devidamente reforçada, no sentido de garantir uma maior flexibilidade durante a fase de montagem, especialmente tratando-se esta de uma instalação piloto. Haverá assim espaço para proceder à inclusão de componentes que se venham a revelar necessários durante o fabrico e montagem ou proceder à redefinição ou alteração da mesma. No futuro a PARALAB poderá optar por uma construção soldada em perfis tubulares. No sentido de promover o transporte e manipulação de toda a instalação de extração supercrítica são considerados rodízios montados na sua base. Nas figuras abaixo são apresentados alguns dos aspetos construtivos da solução adotada para a estrutura principal.



**Figura 1** – Conceito adotado para estrutura principal resistente: a) Estrutura em perfis de alumínio extrudido; b) rodízios e outros funcionais montados sobre a estrutura perfilada.

Em relação aos vasos pressurizados necessários para a operação da instalação, estes foram dimensionados atendendo à seguinte especificação, compatível com os requisitos de funcionamento estabelecidos anteriormente.

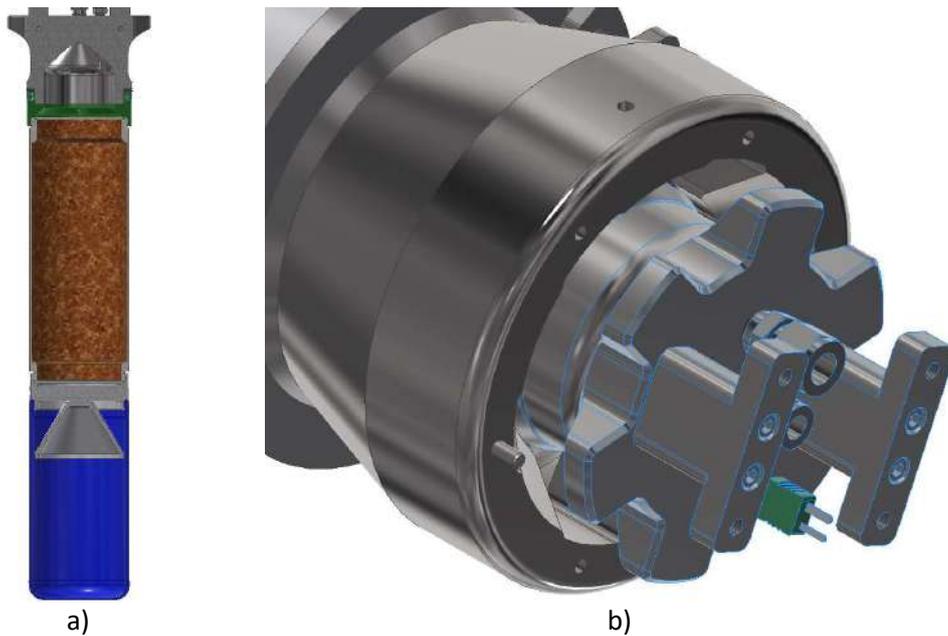
**Tabela 2** – Exemplos de instalações estudadas durante o processo de benchmarking.

	Volume (Litros)	Pressão Máxima (bar)	Gama de Temperaturas (°C)
Extrator	5	330	40 - 85
Separador 1	1,9	120	20 - 50
Separador 2	0,28	90	20 - 50

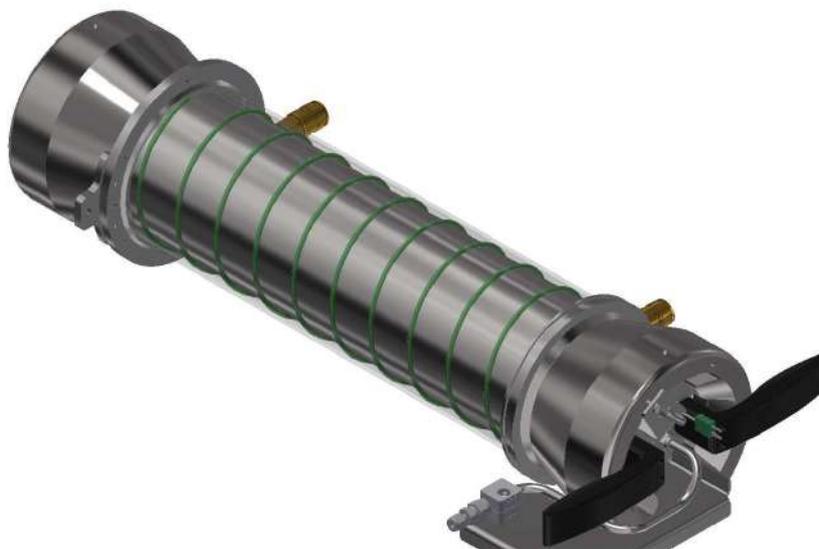
Desenvolveram-se várias soluções construtivas para o reservatório de extração e separadores, tendo por base, os requisitos para o sistema laboratorial. Depois de diversas iterações ao projeto e análises de viabilidade técnico-económica a solução definida para este vaso passa por um reservatório cilíndrico com abertura nos topos por um sistema tipo baioneta para agilizar a colocação da amostra no seu interior. Para a colocação da amostra no interior do extrator desenvolveu-se uma cápsula, que permite a troca expedita de matéria-prima do interior do extrator

numa zona superior da mesma, e que permite também o armazenamento da água gerada durante processo de extração na sua zona inferior. Esta capsula é também facilmente desmontável para agilizar o setup entre experiências.

Adicionalmente- incorporou-se, neste vaso, um circuito exterior para a recirculação de fluido de aquecimento, visando a homogeneização da temperatura no interior do reservatório. Foi integrada uma chicane na parede exterior do extrator para forçar o fluido de aquecimento a percorrer toda a parede do reservatório. Nas figuras seguintes encontram-se representadas as soluções mecânicas adotadas para os sistemas descritos.

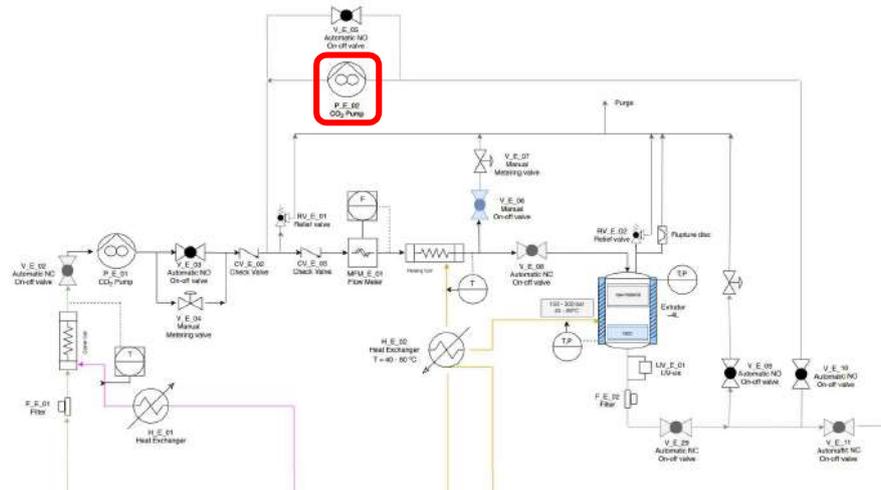


**Figura 2** – Solução construtiva adotada para o vaso de extração: a) cápsula porta amostra; b) abertura das tampas tipo baioneta.



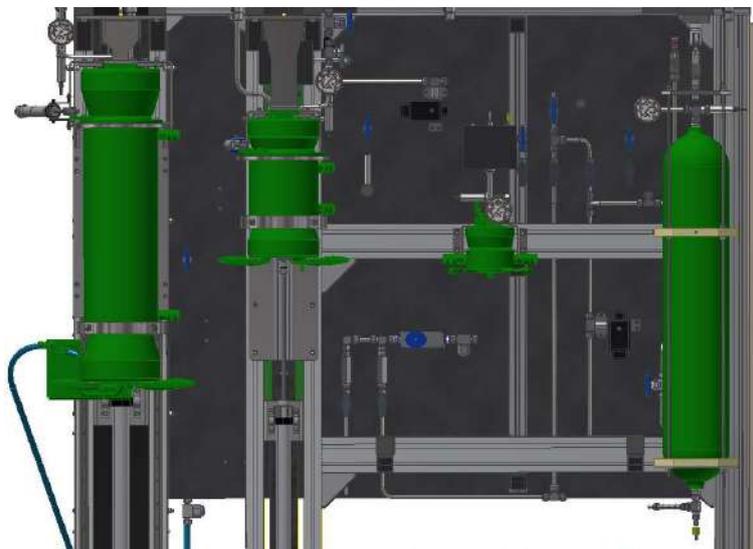
**Figura 3** – Solução construtiva adotada para o circuito de aquecimento do vaso de extração.

Para se conseguir atingir o limite de solubilidade dos compostos alvo no dióxido de carbono, ou seja, permitir extrair o máximo de extrato durante a etapa de extração a pressão constante, um dos requisitos identificados inicialmente para a instalação, previu-se um ramal de recirculação, com uma bomba dedicada à recirculação do fluido supercrítico.



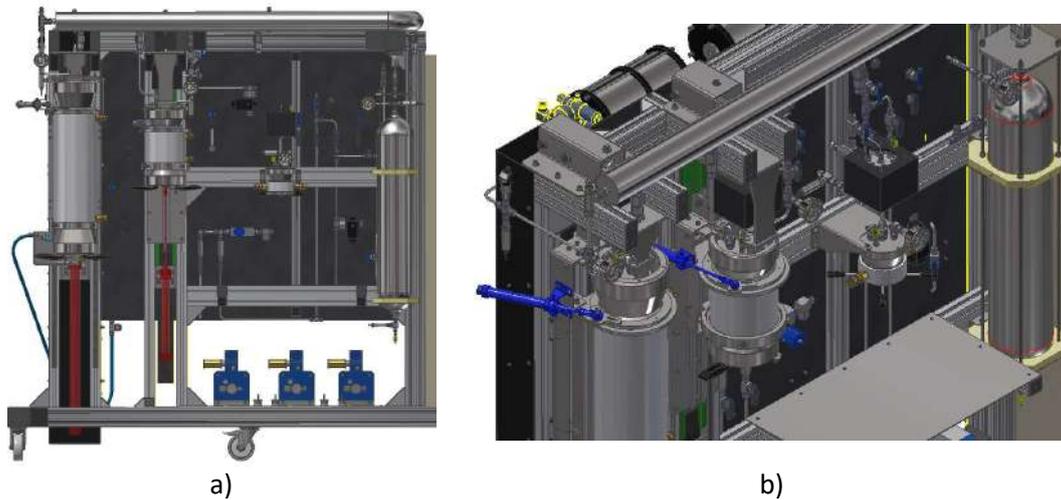
**Figura 4** – Pormenor do circuito de dióxido de carbono, identificando a bomba de recirculação de dióxido de carbono pela amostra.

À semelhança do extrator, os conceitos adotados para os vasos de separação privilegiam também a funcionalidade, a acessibilidade e as tarefas de manutenção necessárias. Em relação ao acumulador foi considerado uma solução de compra e foi ainda prevista um sistema de pesagem automático para controlar a quantidade de dióxido de carbono existente no acumulador em tempo real. A integração destes vasos na estrutura é apresentada abaixo.



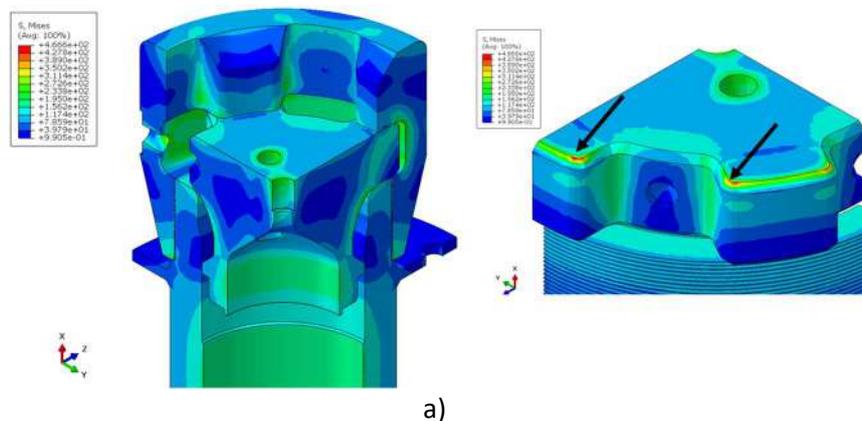
**Figura 5** – Integração dos diferentes vasos nas estrutura móvel da instalação.

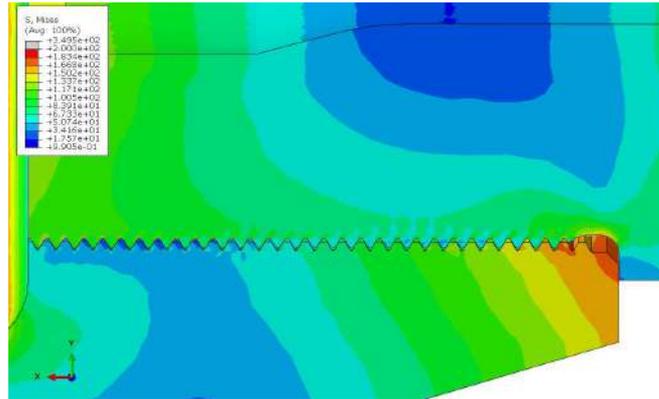
Desenvolveu-se também um sistema automático elevação e fecho o vaso de extração e para o primeiro vaso de separação, por forma a evitar a manipulação de cargas elevadas por parte do operador. Os cilindros pneumáticos de elevação e rotação são apresentados nas imagens abaixo, respetivamente a vermelho e a azul.



**Figura 6** – Sistemas de manipulação automático: a) cilindros de elevação; b) cilindros de fecho/abertura em rotação.

Procedeu-se também à validação mecânica estrutural de cada uma das soluções construtivas desenvolvidas. A validação estrutural dos reservatórios e garantia de segurança dos utilizadores são parte fundamental deste desenvolvimento. Com esse intuito, o projeto mecânico dos reservatórios procurou cumprir a Diretiva Europeia de Equipamentos sob Pressão 2014/68/EU seguindo a norma EN13445, harmonizada com essa mesma Diretiva, garantindo assim, que os materiais de construção são permitidos pela mesma, e seguindo as metodologias de cálculo adequadas e com as margens de segurança adequadas.



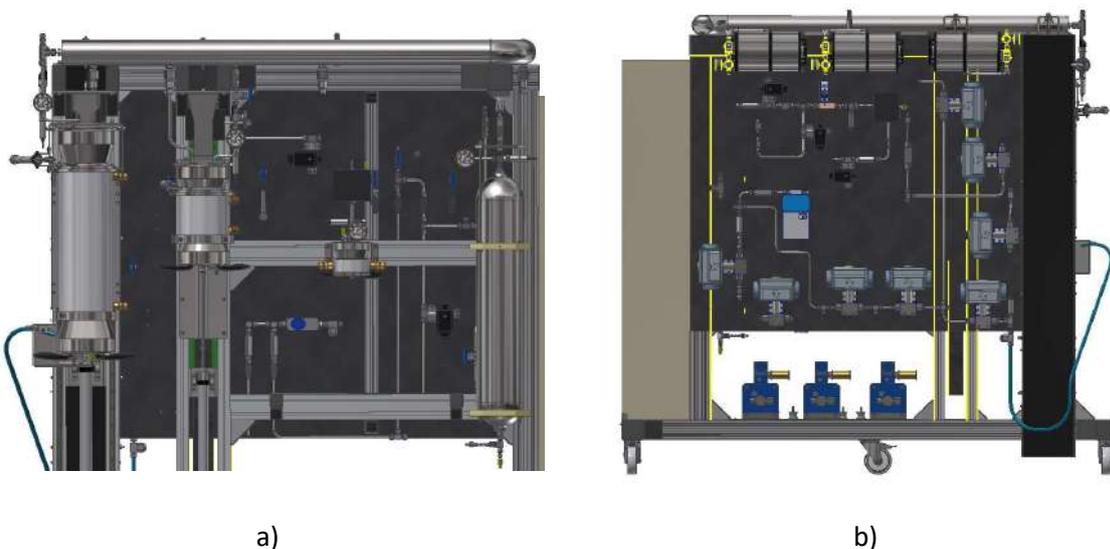


b)

**Figura 7** – Exemplos de validação mecânica estrutural de diversos componentes: a) tensões equivalentes do modelo global e na zona de contacto entre a tampa e baioneta; b) tensões equivalentes na ligação roscada entre a tampa e o corpo do reservatório.

Devido à exigência da especificação criada, nesta fase considera-se fundamental prever a certificação da instalação e dos vasos que se apresentem um produto de PS\*V superior a 50 bar\*litro, como é o caso do extrator e do primeiro separador.

Procedeu-se também à integração dos elementos standard (válvulas, vedantes, acessórios de instrumentação) e não standard, que foram sendo especificados e orçamentados no decorrer do projeto. A integração destes elementos é apresentada nos layouts da estrutura abaixo. Desenvolveram-se ainda diversos contactos com fornecedores e prestadores de serviços, com intuito de obter as soluções mais adequadas e orçamentação das mesmas.



a)

b)

**Figura 8** – Integração dos diferentes componentes na estrutura principal da instalação de extração supercrítica.

Numa fase final do projeto, foram produzidos todos os desenhos técnicos para o fabrico e montagem dos diferentes componentes e sistemas, com a respetiva listagem de componentes standard e não standard de peças a produzir.

Toda esta documentação de projeto (desenhos 3D e 2D do modelo global e das diferentes peças de fabrico, listagem de peças standard e não standard, notas de cálculo) é atualmente partilhada pelos diversos parceiros do projeto (FEUP, INEGI e PARALAB) e pode ser a qualquer momento consultada.