Folder Técnico-Científico Orientador

CADEIA PRODUTIVA DA CANNABIS:

TRANSFORMAÇÕES QUÍMICAS, OPERAÇÕES UNITÁRIAS E CONTROLE ANALÍTICO



CONSELHO FEDERAL DE QUÍMICA
LEI Nº 2.800 DE 18 DE JUNHO DE 1956

1. O PAPEL ESTRATÉGICO DA QUÍMICA E CONJUNTO DE LAUDOS ANALÍTICOS

A centralidade da ciência química na garantia de qualidade, reprodutibilidade e conformidade regulatória

A industrialização de derivados de Cannabis exige absoluto rigor técnico-científico. O profissional da química atua como o pilar central em todas as etapas da cadeia produtiva, sendo o responsável técnico por supervisionar a estabilidade fitoquímica, validar as transformações físico-químicas, otimizar as operações unitárias e assegurar a liberação dos lotes por meio de um rigoroso conjunto de laudos analíticos.

2. ETAPAS DE RECEBIMENTO, CULTIVO, COLHEITA E COMINUIÇÃO (*ETAPAS 1 A 4*)

Garantia de integridade da matéria-prima vegetal e controle das propriedades físicas das partículas

ETAPA 1: Recebimento e Qualificação do Material Vegetal

Objetivo do Processo: Verificar identidade, composição, integridade e qualidade sanitária da matéria-prima antes de sua liberação.

Operações Unitárias: Amostragem representativa do lote, pesagem comercial de precisão, classificação e segregação por atributos física/identidade, inspeção de embalagens/documentação e acondicionamento protetivo.

Atuação Química e Laudo: Qualificação de lote de entrada, triagem de umidade e inspeção física contra degradação microbiológica e química.

ETAPA 2: Controles Químicos Associados ao Cultivo

Objetivo do Processo: Caracterizar a água, os insumos e as soluções nutricionais, monitorando sua composição química e estabilidade.

O que a Química Avalia?: Água: pH, condutividade elétrica, turbidez, alcalinidade, dureza e composição iônica. Insumos/Solos/Substratos: identidade, pureza e espécies nutricionais. Soluções preparadas: concentração, pH, condutividade e compatibilidade química.

Diagnóstico de Processo: Investigação de incrustações, precipitações indesejadas, alterações de composição e eficiência do sistema de tratamento de água.

ETAPA 3: Colheita e Pós-Colheita

Objetivo do Processo: Preservar a integridade física, a composição fitoquímica e a qualidade sanitária do material vegetal.

Operações Unitárias: Colheita e separação de frações vegetais, remoção de estranhos, pesagem antes/depois, secagem e ventilação (transferência de calor e massa), fragmentação e acondicionamento contra luz e umidade.

Parâmetros Críticos de Controle: Temperatura, umidade relativa (UR%), tempo de exposição, circulação de ar, exposição à luz, distribuição de carga e teor final de água.

ETAPA 4: Cominuição, Moagem, Fragmentação e Classificação

Objetivo do Processo: Modificar e controlar as dimensões das partículas vegetais para atender às especificações da etapa extrativa.

Operações Unitárias: Corte, fragmentação, trituração, moagem mecânica, peneiramento granulométrico, classificação por tamanho e homogeneização.

Fenômenos Físico-Químicos Críticos: Aumento substancial da área superficial específica; aquecimento por dissipação de energia mecânica; maior exposição dos constituintes ao oxigênio (risco de oxidação); volatilização de terpenos sensíveis; danos ou desprendimento mecânico de tricomas glandulares; segregação granulométrica e eletrização por atrito.

3. EXTRAÇÃO, FILTRAÇÃO E CONCENTRAÇÃO DE SOLVENTES *(ETAPAS 5 A 7)*

Transferência de massa, purificação física e recuperação de correntes voláteis

ETAPA 5: Extração Primária

Objetivo do Processo: Promover a transferência seletiva de constituintes químicos da matriz vegetal para uma fase extratora fluida.

Operações Unitárias: Contato íntimo entre fases sólida e líquida, agitação mecânica ou percolação, controle rigoroso de condições operacionais e separação sólido-líquido.

Controles Químicos e Segurança: Verificação da pureza e conformidade do agente extrator; perfil e concentração de canabinoides e terpenos no extrato; controle de solventes residuais, contaminantes elementares (ICP-MS), agrotóxicos, micotoxinas e qualidade microbiológica.

ETAPA 6: Filtração, Clarificação e Separação

Objetivo do Processo: Remover partículas e separar frações não desejadas da mistura extrativa.

Operações Unitárias: Filtração: passagem da fase fluida por meio filtrante com retenção seletiva de sólidos. Clarificação: remoção de partículas dispersas causadoras de turbidez. Separação: operações baseadas em diferenças de propriedades físicas e físico-químicas (densidade, solubilidade).

ETAPA 7: Concentração e Recuperação de Solventes

Objetivo do Processo: Modificar a composição do extrato por remoção controlada de componentes voláteis e recuperar o solvente para reuso.

Operações Unitárias: Concentração por evaporação/destilação, transferência de voláteis entre fases, condensação e fracionamento de correntes.

Controles Químicos e Laudos: Análise de canabinoides e perfil de terpenos por HPLC e GC-MS; controle de produtos de degradação térmica; teor de solventes residuais no extrato concentrado; grau de pureza e teor de água no solvente recuperado por Karl Fischer; balanço material rigoroso do processo.

4. DESCARBOXILAÇÃO TÉRMICA, PURIFICAÇÃO E CRISTALIZAÇÃO *(ETAPAS 8 A 10)*

Transformações moleculares definitivas e isolamento no estado sólido

ETAPA 8: Transformações Térmicas e Descarboxilação (Reação Química Fundamental)

Conceito Químico: Reação química induzida por tratamento térmico onde ocorre a eliminação de dióxido de carbono (CO2) a partir de compostos carboxilados (formas ácidas), convertendo-os em suas formas neutras farmacologicamente ativas.

Equações Químicas da Reação:

- THCA (Ácido Tetraidrocanabinólico) –> THC + CO2(g)
- CBDA (Ácido Canabidiólico) –> CBD + CO2(g)
- CBGA (Ácido Canabigerólico) –> CBG + CO2(g)

Rigor Analítico Exigido: As formas ácidas e neutras possuem estruturas moleculares e atividades biológicas distintas. É obrigatório o controle por HPLC/UHPLC para quantificar individualmente o percentual de conversão e evitar a degradação térmica excessiva dos canabinoides.

ETAPA 9: Purificação e Fracionamento

Objetivo do Processo: Separar seletivamente os constituintes do extrato para obter frações purificadas conforme a especificação do produto.

Operações Unitárias: Definição de Atributos Críticos de Qualidade (CQA), separação cromatográfica/fracionada, identificação e rastreabilidade de correntes e cálculo de balanço de massa.

Técnicas Analíticas: HPLC/UHPLC, LC-MS/MS, GC-MS/GC-FID e ICP-MS para caracterização rigorosa das frações obtidas.

ETAPA 10: Isolamento e Cristalização de Canabinoides

Objetivo do Processo: Isolar o composto-alvo e induzir sua cristalização, controlando as propriedades físico-químicas e a pureza do sólido.

Operações Unitárias: Caracterização do material de partida, supersaturação, nucleação e cristalização controlada, separação sólido-líquido, lavagem de cristais e secagem.

Caracterização Avançada do Estado Sólido: Aplicação de DRXP (Difração de Raios X de Pó) para verificação de fase cristalina/polimorfismo; DSC (Calorimetria Exploratória de Varredura) e TGA (Análise Termogravimétrica) para comportamento térmico e solvatos; RMN, FTIR, Raman e microscopia para identidade molecular.

5. INTERMEDIÁRIOS, FORMULAÇÃO INDUSTRIAL E EMBALAGEM *(ETAPAS 11 A 13)*

Incorporação em matrizes farmacêuticas/industriais e garantia de vida útil

ETAPA 11: Preparação de Intermediários Ativos

Objetivo do Processo: Preparar um intermediário padronizado com composição, conformidade e rastreabilidade asseguradas.

Controles Físico-Químicos: Teor e perfil de canabinoides (formas ácidas/neutras); avaliação da homogeneidade de lote; propriedades físico-químicas: concentração, densidade, viscosidade, pH e capacidade de dispersão; verificação de solventes residuais e produtos de degradação.

ETAPA 12: Formulação e Processamento Industrial

Objetivo do Processo: Integrar os constituintes ativos e excipientes em uma formulação final estável (óleos, emulsões, dispersões).

Controles Físico-Químicos: Composição e perfil de canabinoides; homogeneidade da massa e uniformidade de conteúdo entre unidades envasadas; reologia: aspecto, pH, densidade, viscosidade e distribuição de tamanho de partículas ou gotículas; estudos de estabilidade física e química.

ETAPA 13: Acondicionamento, Armazenamento e Transporte

Objetivo do Processo: Preservar a identidade, composição, integridade e qualidade do produto final durante toda a cadeia logística.

Fenômenos e Riscos Controlados: Seleção de sistemas de embalagem e fechamento de alta barreira; controle de condições ambientais (temperatura e luz); investigação de interações recipiente-conteúdo, sorção de constituintes fitoquímicos e ensaios de extraíveis e lixiviáveis (extractables & leachables).

6. GESTÃO AMBIENTAL DE RESÍDUOS E QUADRO SÍNTESE *(ETAPA 14)*

Sustentabilidade, segurança química e consolidação analítica do processo

ETAPA 14: Recuperação, Tratamento e Destinação de Resíduos

Objetivo do Processo: Caracterizar e gerenciar os resíduos industriais gerados, promovendo a recuperação de solventes e a destinação ambientalmente correta.

Operações Unitárias: Identificação de origem e composição dos efluentes/tortas vegetais; caracterização química de perigos; classificação e segregação por incompatibilidade química; contenção, tratamento e destinação habilitada.

Reconciliação e Governança: Verificação documental rigorosa e reconciliação de massa entre a matéria-prima processada e os resíduos encaminhados.

QUADRO GERAL SÍNTESE: OPERAÇÕES UNITÁRIAS E CONTROLE QUÍMICO COMPLETO

Etapas	Operação Unitária Principal	Transformação / Fenômeno Químico	Técnica / Laudo Analítico
1. Recebimento	Amostragem, pesagem, classificação e segregação	Preservação da integridade física e microbiológica	Inspeção visual e Laudo de Qualificação
2. Cultivo/Insumos	Tratamento de água, preparo de soluções nutricionais	Equilíbrio iônico, pH, condutividade e solubilidade	Análise de pH, CE, Dureza, Íons
3. Colheita	Corte, secagem, ventilação e acondicionamento	Transferência de massa/calor e remoção de umidade	Teor de água e UR% controlada
4. Cominuição	Corte, moagem mecânica e peneiramento	Área superficial, oxidação e perda de voláteis	Classificação Granulométrica
5. Extração	Contato sólido-líquido e percolação	Transferência de massa matriz-solvente	HPLC/UHPLC, GC-MS, ICP-MS
6. Filtração	Passagem por meio poroso e clarificação	Retenção seletiva e remoção de turbidez	Ensaio de partículas e claridade
7. Concentração	Evaporação de solvente e condensação	Mudança de fase volátil e balanço material	GC-FID/MS, Titulação Karl Fischer
8. Descarboxilação	Tratamento térmico sob temperatura programada	Eliminação de CO2 (THCA->THC, CBDA->CBD, CBGA->CBG)	HPLC/UHPLC (Perfil Ácido vs Neutro)
9. Purificação	Separação cromatográfica/ fracionamento	Enriquecimento seletivo do composto-alvo	HPLC, LC-MS/MS, GC-MS
10. Cristalização	Supersaturação, nucleação, lavagem e secagem	Formação de fase sólida cristalina pura	DRXP, DSC, TGA, RMN, FTIR, Raman
11. Intermediários	Homogeneização e ajuste de especificação	Estabilidade de fases e homogeneidade de teor	Densidade, viscosidade, pH, HPLC
12. Formulação	Mistura, emulsificação e envase final	Reologia, dispersão e uniformidade de unidade	Uniformidade de conteúdo, Reologia
13. Embalagem	Acondicionamento e selagem de barreira	Sorção, estabilidade e extraíveis/lixiviáveis	Estudo de prateleira, Extraíveis
14. Resíduos	Segregação, contenção e neutralização	Incompatibilidade química e degradação segura	Laudo de Caracterização de Resíduo

CONCLUSÃO TÉCNICA

O domínio de cada uma das 14 etapas da cadeia produtiva da cannabis fundamenta-se no rigoroso controle químico das operações unitárias e nas transformações moleculares associadas. A atuação contínua e qualificada do profissional da química é indispensável para garantir que cada fração, extrato ou produto acabado alcance os padrões exigidos de pureza, estabilidade, reprodutibilidade e conformidade regulatória.