ANEXO IIIC- QUESTIONÁRIO SORE TRLS PARA SAÚDE

Foco em meio ambiente

TRL 1: Princípios básicos observados e relatados

(Fase de descoberta e fundamentação científica básica)

1. O problema ambiental (ex: contaminação de solos, emissão de gases estufa, escassez hídrica) foi claramente identificado e quantificado?
2. Os princípios científicos fundamentais (físicos, químicos, ecológicos ou biológicos) que baseiam a solução foram descritos?
3. Existe literatura científica ou dados acadêmicos consolidados que comprovem a viabilidade teórica da abordagem proposta?
4. A hipótese de como a nova tecnologia irá mitigar, regenerar ou monitorar o impacto ambiental foi formulada?
5. Foram identificados os ecossistemas, recursos naturais ou matrizes industriais que serão diretamente afetados ou beneficiados?
6. As leis naturais que regem o processo (ex: termodinâmica, ciclos biogeoquímicos) foram mapeadas e respeitadas no conceito?
7. O conhecimento básico gerado foi revisado por pares, publicado ou apresentado em fóruns científicos da área ambiental?
8. A equipe técnica possui a expertise científica necessária (biologia, engenharia ambiental, química, etc.) para fundamentar o projeto?
9. Foi verificado se o conceito teórico não viola nenhuma lei básica de conservação ou princípio ecológico fundamental?
10. A relevância teórica da solução diante das metas globais ou nacionais de sustentabilidade (ex: ODS da ONU) foi estabelecida?

TRL 2: Conceito e/ou aplicação da tecnologia formulados

(Desenho da hipótese e formulação da aplicação tecnológica)

1. O conceito da tecnologia ambiental está formalizado e descrito em um documento técnico ou proposta de projeto?
2. Foi elaborado um desenho conceitual preliminar ou fluxograma do processo tecnológico?
3. As aplicações práticas e os mercados potenciais (indústria, governos, conservação) foram identificados e priorizados?
4. Foi realizado um levantamento preliminar de patentes para avaliar a novidade e a liberdade de operação (FTO)?
5. Os potenciais benefícios ambientais (ex: redução de pegada de carbono, eficiência hídrica) foram estimados teoricamente?

6. Os insumos, matérias-primas ou recursos biológicos necessários para materializar a solução foram mapeados?
7. Foram identificadas as principais legislações e normas ambientais que regulam o setor de aplicação da tecnologia?
8. Os critérios de sucesso e as métricas de eficiência técnica para a fase laboratorial foram estabelecidos?
9. Foi feita uma análise teórica preliminar para garantir que a solução não gera novos impactos ambientais negativos (poluição secundária)?
10. Existe um cronograma teórico estimando os passos necessários para a construção do primeiro experimento físico?

TRL 3: Prova de conceito analítica e experimental

(Testes de bancada e validação laboratorial de componentes)

1. Foram realizados experimentos iniciais de bancada em laboratório ou simulações computacionais para testar a hipótese central?
2. A prova de conceito demonstrou a funcionalidade química, física ou biológica esperada em escala de laboratório?
3. Os componentes individuais do sistema (ex: um catalisador específico, uma cepa bacteriana, um sensor) funcionam de forma isolada?
4. Os primeiros dados de eficiência técnica (ex: taxa de degradação, capacidade de absorção, geração de energia) foram medidos e registrados?
5. Os resultados experimentais são consistentes e puderam ser reproduzidos pela equipe em diferentes ensaios?
6. Foi desenvolvida uma primeira versão rudimentar do dispositivo ou uma formulação química/biológica estável em pequena escala?
7. As limitações operacionais básicas e os gargalos químicos/físicos da tecnologia foram mapeados em laboratório?
8. Foram estabelecidos os primeiros Procedimentos Operacionais Padrão (POPs) para a manipulação segura dos materiais?
9. Foi verificado se os subprodutos gerados na reação laboratorial são seguros e passíveis de descarte legal?
10. A viabilidade técnica de avançar para a montagem de um sistema integrado de laboratório foi confirmada?

TRL 4: Validação da tecnologia em laboratório

(Integração do sistema e testes com amostras reais controladas)

1. Todos os componentes do sistema foram integrados e funcionam de forma sinfônica em ambiente laboratorial?

2. A tecnologia foi testada utilizando matrizes ou amostras reais do problema (ex: água de rio poluída real, efluente industrial bruto, solo de campo contaminado)?
3. A eficiência de tratamento, mitigação ou monitoramento foi comprovada e documentada nestas amostras reais?
4. O balanço de massa e energia do processo laboratorial integrado foi calculado e considerado promissor?
5. O processo mostrou-se resistente a interferências comuns de amostras reais (ex: variações de pH, temperatura ou presença de outros compostos)?
6. Os parâmetros operacionais necessários para manter a estabilidade do sistema em laboratório foram definidos?
7. Uma avaliação preliminar do ciclo de vida (ACV) teórica foi iniciada para medir a sustentabilidade global do processo?
8. Os custos de produção dos insumos laboratoriais foram levantados para entender a viabilidade econômica preliminar?
9. Os requisitos regulatórios para testes em campo (licenças de pesquisa ambiental) começaram a ser mapeados e preparados?
10. O pacote de dados gerado em laboratório é robusto o suficiente para justificar o investimento em um protótipo de escala piloto?

TRL 5: Validação da tecnologia em ambiente relevante

(Montagem da planta piloto e testes em escala reduzida simulada)

1. O protótipo ou planta piloto em escala reduzida foi projetado e construído com materiais e componentes industriais/comerciais?
2. A tecnologia foi instalada e testada em um ambiente relevante que simula as intempéries e variações do mundo real (ex: estufa, área externa protegida)?
3. O sistema operou de forma contínua por um período mínimo de tempo que comprove sua estabilidade operacional preliminar?
4. A eficiência do processo em escala piloto mantém-se equivalente ou superior aos resultados obtidos no laboratório?
5. Os subprodutos, emissões atmosféricas ou resíduos gerados pela planta piloto foram monitorados e estão dentro de limites seguros?
6. Os requisitos de automação, controle de fluxo e segurança industrial para o tamanho piloto foram validados?
7. Os fornecedores e a cadeia de suprimentos das matérias-primas críticas para a operação da planta piloto foram estabelecidos?
8. Os dados obtidos nesta fase foram utilizados para refinar a Análise do Ciclo de Vida (ACV) e estimar os custos operacionais (OPEX)?

9. Foi elaborado o plano detalhado de instalação e operação da tecnologia diretamente no local real de aplicação (campo/indústria)?
10. As licenças ambientais prévias ou autorizações de pesquisa necessárias para o teste em ambiente real foram solicitadas ou obtidas?

TRL 6: Demonstração da tecnologia em ambiente relevante

(Primeiro teste em campo ou ambiente operacional real - Escala Piloto Comercial)

1. A planta piloto foi instalada e operada diretamente no ambiente real (ex: dentro de uma fábrica, em uma Estação de Tratamento de Esgoto real, em uma lavoura comercial)?
2. A tecnologia funcionou com sucesso sob as condições climáticas e operacionais reais da localidade (chuva, poeira, flutuação de carga)?
3. A eficiência de desempenho ambiental da tecnologia foi validada e certificada por análises laboratoriais independentes ou de terceiros?
4. Os operadores locais (equipe do cliente ou de campo) receberam treinamento e conseguiram operar o sistema seguindo os manuais?
5. O sistema demonstrou robustez mecânica, elétrica ou biológica, sem apresentar falhas críticas que causassem acidentes ambientais?
6. O consumo de energia, água e insumos medido em campo confirma as projeções de viabilidade econômica feitas no TRL 5?
7. O protocolo de destinação segura de qualquer resíduo gerado pela operação da tecnologia foi executado com sucesso?
8. O Sistema de Gestão da Qualidade da empresa desenvolvedora (ex: ISO 9001, ISO 14001) acompanhou formalmente a validação de campo?
9. Os impactos ecológicos ou benefícios sistêmicos imediatos gerados pela tecnologia no entorno do teste foram documentados?
10. O relatório técnico e econômico da operação piloto em campo foi concluído, justificando o avanço para a escala de demonstração industrial.

TRL 7: Demonstração do protótipo em ambiente operacional

(Validação em escala de demonstração industrial e engenharia final)

1. O sistema foi construído em escala real de comercialização (escala de demonstração industrial) e integrado ao fluxo produtivo ou ambiental definitivo?
2. A tecnologia foi testada e aprovada em operação contínua e de longo prazo sob condições reais de estresse e capacidade máxima?
3. A robustez do equipamento ou do bioprocesso provou que a taxa de manutenção e o tempo de inatividade estão dentro de limites comerciais aceitáveis?
4. Foi realizada uma análise de custo-benefício refinada, provando a viabilidade econômica (CAPEX e OPEX) frente às soluções concorrentes?

5. A Análise do Ciclo de Vida (ACV) definitiva foi concluída, comprovando um ganho ambiental líquido indiscutível (ex: pegada de carbono negativa ou neutra)?
6. Os manuais técnicos de instalação, operação, segurança industrial e planos de contingência ambiental foram finalizados e homologados?
7. Os dados gerados atendem a todos os requisitos técnicos exigidos pelos órgãos ambientais fiscalizadores (ex: IBAMA, CETESB, IAT)?
8. A cadeia de suprimentos para fabricação, montagem e fornecimento de insumos da tecnologia está estruturada para atender pedidos comerciais?
9. Foi definida a estratégia de suporte técnico e assistência pós-venda para clientes industriais ou agrícolas?
10. O Dossiê Técnico para solicitação de Licença de Operação (LO) comercial ou certificação equivalente foi protocolado?

TRL 8: Sistema completo e qualificado

(Homologação, Licenciamento Ambiental e Prontidão para o Mercado)

1. A tecnologia obteve todas as licenças ambientais definitivas (Licença de Operação - LO) e registros comerciais obrigatórios das autoridades competentes?
2. O sistema de fabricação industrial da tecnologia está totalmente qualificado, validado e operando sob padrões rigorosos de qualidade?
3. O produto/tecnologia passou por todas as vistorias de segurança ocupacional, industrial e de engenharia exigidas por lei?
4. Os contratos ou termos de garantia, níveis de serviço (SLA) e termos de responsabilidade ambiental técnica foram validados pelo setor jurídico?
5. A tecnologia cumpre integralmente todas as normas técnicas vigentes (ex: resoluções CONAMA, normas ABNT aplicáveis)?
6. A infraestrutura logística para transporte, instalação de grande porte e entrega da tecnologia no cliente final está testada e operando?
7. Os materiais e plataformas de treinamento comercial e técnico de equipes externas de instalação foram finalizados?
8. A precificação do produto está consolidada e estruturada com planos de financiamento de transição verde ou créditos de carbono (se aplicável)?
9. Foram aprovadas as auditorias de conformidade que habilitam a tecnologia a receber selos verdes ou certificações de sustentabilidade de mercado?
10. **A tecnologia está formalmente liberada, licenciada e disponível para comercialização em larga escala no mercado.**

TRL 9: Sistema comprovado em ambiente operacional

(Sucesso Comercial e Monitoramento de Impacto Ecológico de Longo Prazo)

1. A tecnologia está sendo vendida e operada regularmente por múltiplos clientes comerciais ou governamentais no mercado?
2. O sistema de produção atende à demanda comercial do mercado de forma estável, sem atrasos ou quebras na cadeia de suprimentos?
3. Os dados de monitoramento contínuo pós-venda provam que a tecnologia mantém seu desempenho ambiental e eficiência ao longo dos anos?
4. O serviço de atendimento ao cliente, manutenção preventiva e assistência técnica de campo funciona de maneira estruturada e ágil?
5. A tecnologia gerou impactos positivos mensuráveis em larga escala (ex: toneladas de <CO2> evitadas, milhões de litros de água tratados)?
6. O retorno financeiro obtido pelos clientes (ROI) com o uso da tecnologia valida a sustentabilidade comercial do modelo de negócios?
7. Os planos de gerenciamento de fim de vida útil do próprio equipamento (logística reversa e reciclagem de componentes) estão operando?
8. A solução está consolidada como referência técnica no mercado ou incluída em guias de Melhores Técnicas Disponíveis (BAT - *Best Available Techniques*)?
9. A tecnologia demonstra resiliência econômica diante das flutuações do mercado de insumos ou mudanças nas políticas ambientais governamentais?
10. Existem processos de melhoria contínua ativos baseados no feedback dos usuários para o desenvolvimento de futuras atualizações da tecnologia?