



**CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO DE AGREGADO RECICLADO,
PROVENIENTE DE RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL, PARA USO EM
EXECUÇÃO DE SUB-BASES DE PAVIMENTOS**

ANA IZADORA DE OLIVEIRA UCHÔA

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL 2 EM ENGENHARIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

FACULDADE DE TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO DE AGREGADO RECICLADO,
PROVENIENTE DE RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL, PARA USO
EM EXECUÇÃO DE SUB-BASES DE PAVIMENTOS**

ANA IZADORA DE OLIVEIRA UCHÔA

**ORIENTADOR: CLÁUDIO HENRIQUE DE ALMEIDA
FEITOSA PEREIRA**

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL 2 EM ENGENHARIA CIVIL

BRASÍLIA, MAIO DE 2021

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO DE AGREGADO RECICLADO,
PROVENIENTE DE RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL, PARA USO
EM EXECUÇÃO DE SUB-BASES DE PAVIMENTOS**

ANA IZADORA DE OLIVEIRA UCHÔA

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.

APROVADA POR:

Prof. Cláudio Henrique de Almeida Feitosa Pereira, Doutor. (EnC/UnB)

(ORIENTADOR)

Prof. Fábio Zanchetta, Doutor. (EnC/UnB)

(EXAMINADOR INTERNO)

Maruska Lima de Sousa Holanda, Engenheira Civil.

(EXAMINADORA EXTERNA)

BRASÍLIA, 17 DE MAIO DE 2021

FICHA CATALOGRÁFICA

UCHÔA, ANA IZADORA DE OLIVEIRA

Critérios para Avaliação de Agregado Reciclado, Proveniente de Resíduo da Construção Civil, para Uso em Execução de Sub-bases de Pavimentos. [Distrito Federal] 2020.

X, 45p., 210x297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Estruturas e Construção Civil, 2020).

Monografia de Projeto Final – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Agregado Reciclado

2. Resíduos da Construção Civil

3. Sub-bases de Pavimentos

4. Critérios para Avaliação.

I. ENC/FT/UnB

II. Título (Bacharel)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

UCHÔA, A. I. O. (2021). Critérios para Avaliação de Agregado Reciclado, Proveniente de Resíduo da Construção Civil, para Uso em Execução de Sub-bases de Pavimentos. Monografia de Projeto Final II, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 45p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTORA: Ana Izadora de Oliveira Uchôa

TÍTULO: Critérios para Avaliação de Agregado Reciclado, Proveniente de Resíduo da Construção Civil, para Uso em Execução de Sub-bases de Pavimentos

GRAU: Bacharel

ANO: 2021

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta Monografia de Projeto Final 2 e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa Monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela oportunidade de ter estudado Engenharia Civil em uma das melhores universidades do Brasil, a Universidade de Brasília, por tudo que me concedeu até aqui e pelos dons que derramou sobre mim.

Aos meus pais, Ana Maria e Alex Uchôa, por sempre me incentivarem, pelo amor incondicional, por terem me ensinado a lutar por todos os meus sonhos e alcançar todos os meus objetivos e, principalmente, por não terem medido esforços para que a conclusão da minha graduação fosse possível.

A toda a minha família que sempre me apoiou, em especial às minhas avós, Sara e Telma, à minha irmã Izabela e à minha sobrinha Catarina.

Ao meu orientador, professor Cláudio, pela forma como me acolheu, pela paciência e dedicação no meu projeto final de curso.

Aos meus amigos, Amanda Assunção, Gianluca Nicolaico e Murilo Santos, que viveram essa trajetória comigo e que apesar de não ter sido fácil, fomos o impulso um do outro e colo nos momentos difíceis. Agradeço poder ter vivido a universidade ao lado de vocês e quero tê-los comigo por toda a vida.

Aos meus demais amigos agradeço o suporte, carinho, compreensão e momentos bons que tivemos nessa caminhada.

Ao meu namorado, Roberto Campelo, que me acompanhou em praticamente toda a graduação, sendo o meu porto seguro, me apoiando e me dando forças. Nós nos fortalecemos e crescemos juntos, estudamos, enfrentamos desafios e nos tornamos pessoas mais responsáveis nesse percurso. Sou grata por te ter ao meu lado.

A todas as pessoas que me ajudaram a amadurecer no campo intelectual, pessoal e profissional, em especial, a todos os meus professores e supervisores de estágio, levo comigo todo o aprendizado e toda a experiência que obtive.

Enfim, a todos aqueles que me apoiaram e torceram por mim, o meu muito obrigado, essa conquista também é de vocês!

RESUMO

Critérios para avaliação de agregado reciclado, proveniente de resíduo da construção civil, para uso em execução de sub-bases de pavimentos.

Autora: Ana Izadora de Oliveira Uchôa

Orientador: Cláudio Henrique de Almeida Feitosa Pereira

O setor da construção civil é responsável pela geração de uma enorme quantidade de resíduos e sua disposição inadequada causa diversos problemas urbanos. Uma maneira de minimizar os prejuízos causados ao meio ambiente e à sociedade é através da reciclagem desse material e uma alternativa bastante difundida é a sua utilização como agregado reciclado em camadas de pavimentos. O Resíduo da Construção Civil já é bastante utilizado no Brasil e no exterior como agregado reciclado em obras de pavimentação e vem apresentando resultados satisfatórios, que demonstram a boa adequação do material para esse fim. Dessa forma, é fundamental a avaliação do agregado que será utilizado na obra de pavimentação, bem como o conhecimento de suas características. Este projeto tem como objetivo definir e listar ensaios mínimos necessários e critérios ligados aos parâmetros físicos dos resíduos reciclados para uso em obras de pavimentação, tanto na etapa produção do agregado, como na execução de obras de pavimentação. Busca-se também a determinação de critérios para criação de uma proposta para rastreamento e certificação ambiental do agregado. Com base nas análises dos resultados, verificou-se que o processo de aceitação do agregado proveniente do resíduo da construção e demolição, comparando-se com o agregado natural, envolve um menor número de atividades, visto que não haveriam todas as etapas referentes à busca pela fonte de matéria-prima (jazida). Os RCD são produzidos todos os dias e a maior preocupação para a utilização desse material está no cumprimento dos requisitos impostos pelo pavimento para que esse possua estabilidade e durabilidade adequadas para resistir às cargas do trânsito e à ação dos agente climáticos. No que se refere a criação de uma proposta para rastreamento e certificação ambiental, foi possível compreender os princípios básicos de Rótulos e Declarações Ambientais e, dessa forma, tornou-se possível a descrição dos caminhos que devem ser tomados para a certificação do produto.

Palavras-chave: Agregado Reciclado; Resíduos da Construção Civil; Sub-bases de Pavimentos; Critérios para Avaliação.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Britador de RCC da Unidade de Recebimento de Entulhos (URE), localizada no antigo lixão da Estrutural – Aterro do Jóquei.....	7
Figura 2 – Índice de Forma.....	12
Figura 3 – Esquema de Sondagem para prospecção de materiais.	18
Figura 4 – Mapeamento da aceitação do agregado natural (solo e materiais granulares) para uso em sub-bases de pavimentos.....	19
Figura 5 – Mapeamento da aceitação do agregado natural (materiais rochosos) para uso em sub-bases de pavimentos.	22
Figura 6 – Mapeamento da aceitação do agregado reciclado para uso em sub-bases de pavimentos.....	23
Figura 7 – Modelo de Referência – Rodovia de Pista Simples	23
Figura 8 – Esquema da partícula de agregado na determinação das Gsa, Gsb e Gse, respectivamente.	30
Figura 9 – Esquema do Mapeamento do Processo.	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Requisitos gerais para agregado reciclado destinado a pavimentação	9
Tabela 2 - Requisitos específicos para agregado reciclado destinado a pavimentação	9
Tabela 3 - Determinação do tipo e frequência de execução de ensaios	10
Tabela 4 - Requisitos impostos aos agregados na etapa produção do agregado	26
Tabela 5 - Granulometria dos materiais – agregado natural (solo e materiais granulares)	27
Tabela 6 - Requisitos impostos aos agregados na etapa execução de obras de pavimentação	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ACV – Avaliação do Ciclo de Vida
- ARC – Agregado de Resíduo de Concreto
- ARM – Agregado de Resíduo Misto
- ATTR – Áreas de Transbordo, Triagem e Reciclagem
- CBR/ISC – Índice de Suporte Califórnia
- CNT – Confederação Nacional do Transporte
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
- DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
- IBRAM – Instituto Brasília Ambiental
- LL – Limite de Liquidez
- LP - Limite de Plasticidade
- NBR – Normas Brasileira
- PEVs – Pontos de Entrega Voluntária
- PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos
- RCC – Resíduos Sólidos da Construção Civil
- RCD – Resíduos da Construção e Demolição
- SISNAMA – Sistema Nacional do Meio Ambiente
- SGA – Sistema de Gestão Ambiental
- SLU – Serviço de Limpeza Urbana
- URE – Unidade de Recebimento de Entulhos

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	OBJETIVO DA PESQUISA.....	2
1.1.1	OBJETIVO GERAL.....	2
1.1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1	POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	3
2.2	RESÍDUOS SÓLIDOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL.....	4
2.3	AGREGADOS RECICLADOS PARA A APLICAÇÃO EM CAMADAS DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS.....	7
2.3.1	CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DOS REQUISITOS IMPOSTOS AOS AGREGADOS RECICLADOS PARA A APLICAÇÃO EM CAMADAS DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS.....	11
2.4	PESQUISAS ANTERIORES.....	12
3.	METODOLOGIA.....	14
3.1	MAPEAMENTO DAS ATIVIDADES E CRITÉRIOS DE ACEITAÇÃO DOS AGREGADOS NATURAL E RECICLADO PARA USO EM SUB-BASES DE PAVIMENTOS.....	14
3.2	DEFINIÇÃO E LISTAGEM DOS ENSAIOS MÍNIMOS NECESSÁRIOS E CRITÉRIOS LIGADOS AOS PARÂMETROS FÍSICOS DOS RESÍDUOS RECICLADOS PARA USO EM OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO (ETAPA PRODUÇÃO DO AGREGADO).....	15
3.3	DEFINIÇÃO E LISTAGEM DOS ENSAIOS MÍNIMOS NECESSÁRIOS E CRITÉRIOS LIGADOS AOS ÍNDICES FÍSICOS DOS RESÍDUOS RECICLADOS PARA USO EM OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO (ETAPA EXECUÇÃO DE OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO).....	15
3.4	DETERMINAÇÃO DE CRITÉRIOS PARA CRIAÇÃO DE UMA PROPOSTA PARA RASTREAMENTO E CERTIFICAÇÃO AMBIENTAL DO AGREGADO PROVENIENTE DA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL PARA USO EM OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO.....	16

4.	RESULTADOS	17
4.1	MAPEAMENTO DAS ATIVIDADES E CRITÉRIOS DE ACEITAÇÃO DOS AGREGADOS NATURAL E RECICLADO PARA USO EM SUB-BASES DE PAVIMENTOS	17
4.1.1	AGREGADO NATURAL – SOLO E MATERIAIS GRANULARES ...	17
4.1.2	AGREGADO NATURAL BRITADO – MATERIAIS ROCHOSOS (PEDREIRAS).....	19
4.1.3	AGREGADO RECICLADO	22
4.1.4	ANÁLISE DOS RESULTADOS	24
4.2	DEFINIÇÃO E LISTAGEM DOS ENSAIOS MÍNIMOS NECESSÁRIOS E CRITÉRIOS LIGADOS AOS PARÂMETROS FÍSICOS DOS RESÍDUOS RECICLADOS PARA USO EM OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO (ETAPA PRODUÇÃO DO AGREGADO)	26
4.3	DEFINIÇÃO E LISTAGEM DOS ENSAIOS MÍNIMOS NECESSÁRIOS E CRITÉRIOS LIGADOS AOS ÍNDICES FÍSICOS DOS RESÍDUOS RECICLADOS PARA USO EM OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO (ETAPA EXECUÇÃO DE OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO).....	28
4.4	DETERMINAÇÃO DE CRITÉRIOS PARA CRIAÇÃO DE UMA PROPOSTA PARA RASTREAMENTO E CERTIFICAÇÃO AMBIENTAL DO AGREGADO PROVENIENTE DA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL PARA USO EM OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO	36
5.	CONCLUSÕES	40
5.1	SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.....	41
	REFERÊNCIAS	42

1. INTRODUÇÃO

O setor da construção civil é responsável pela geração de uma enorme quantidade de resíduos e sua disposição inadequada causa diversos problemas urbanos. Existe a necessidade da gestão e manejo correto desses Resíduos da Construção Civil (RCC), de forma a tornar viáveis destinações mais nobres para esses materiais e minimizar os prejuízos causados ao meio ambiente e à sociedade.

Uma forma de reciclagem difundida para esse resíduo é a sua utilização como agregado reciclado em camadas de pavimentos, sobretudo em camadas de base e sub-base. O aproveitamento do agregado reciclado em obras de pavimentação apresenta vantagens econômicas para o Estado, tais como a redução de custos com a remoção do material depositado clandestinamente, o aumento da vida útil de aterros sanitários e a consequente redução do custo de operação desses aterros, e inclusive a redução nos custos das obras de pavimentação. Vale lembrar o impacto positivo para o meio ambiente, visto que a utilização de agregados recicláveis ademais de dar uma destinação mais nobre para os resíduos da construção, reduz a degradação ambiental causada pela extração das matérias-primas convencionais, preservando os recursos naturais.

O Resíduo Sólido da Construção Civil (RCC) já é bastante utilizado no Brasil e no exterior como agregado reciclado em obras de pavimentação e vem apresentando resultados satisfatórios, que demonstram a boa adequação do material para esse fim. E nesse momento, vale a pergunta: qual a semelhança entre o concreto para uma obra de edificação e do agregado para uma obra de pavimentação? A resposta é simples, ambos são insumos muito representativos para o empreendimento. Da mesma forma como é fundamental o controle tecnológico do concreto para uma obra de edificação, se faz necessário a avaliação do agregado que será utilizado na obra de pavimentação, bem como o conhecimento de suas características.

Para avaliação desse material devem ser observados os requisitos para os agregados reciclados e os limites impostos pelas Normas Brasileiras, sempre em atendimento a legislação, pois a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) é o instrumento legal com diretrizes gerais aplicáveis aos resíduos sólidos e com orientações aos Estados e Municípios para adequada gestão desses resíduos. Além da PNRS, existem normas abordando a temática dos resíduos sólidos, tais como Resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) e normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

1.1 OBJETIVO DA PESQUISA

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Como objetivo geral pretende-se definir critérios para avaliação de agregado reciclado, proveniente de resíduo da construção civil, destinados para uso em execução de sub-bases de pavimentos.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos propostos para esse estudo como delimitadores do tema são:

- Definição e listagem dos ensaios mínimos necessários e critérios ligados aos parâmetros físicos dos resíduos reciclados para uso em obras de pavimentação (etapa produção do agregado);
- Definição e listagem dos ensaios mínimos necessários e critérios ligados aos índices físicos dos resíduos reciclados para uso em obras de pavimentação (etapa execução de obras de pavimentação);
- Criação de fluxograma com as atividades e o estabelecimento de critérios de classificação para a comercialização e aceitação do agregado proveniente do processamento do resíduo da construção civil; e
- Determinação de critérios para criação de uma proposta para rastreamento e certificação ambiental do agregado proveniente da reciclagem de resíduos da construção civil para uso em obras de pavimentação.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

A exploração indiscriminada dos recursos naturais, bem como, a disposição irregular de resíduos, tem causado graves problemas ambientais. O crescimento na geração de resíduos sólidos urbanos não é acompanhado pela destinação e tratamento adequados, prejudicando o meio ambiente, contaminando o solo, os corpos hídricos e a atmosfera, além de trazer prejuízos sociais e para saúde humana. Existe, portanto, a necessidade da busca de alternativas para reduzir o volume de resíduos gerados e permitir o descarte adequado, bem como a reciclagem e o reaproveitamento desses materiais.

Conforme artigo 18 da Constituição Federal de 1988, a União, os Estados, o Distrito Federal e os municípios são entes federativos autônomos, portanto, são dotados de competências próprias, com independência política, administrativa e financeira. Compete aos municípios, em particular, organizar e prestar, direta ou sob regime de concessão ou permissão, os serviços públicos de interesse local de caráter essencial (artigo 30, incisos I, II e V). Entende-se que o município é, portanto, responsável pelos serviços de limpeza urbana e por toda a gestão e manejo dos resíduos sólidos, desde a coleta até a sua destinação final.

Embora existissem normas abordando a temática dos resíduos sólidos, especialmente Resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA, ainda não existia no Brasil um instrumento legal com as diretrizes gerais aplicáveis aos resíduos sólidos para orientar os Estados e os Municípios na adequada gestão desses resíduos. A PNRS surgiu para dar base e nortear a criação de Planos de Resíduos Sólidos (documento estratégico que visa alcançar determinadas metas).

A PNRS é instituída pela Lei nº 12.305/10, sendo um marco no setor, por tratar de todos os resíduos sólidos. A importância da Lei vai além da questão ambiental, a PNRS transcorre por questões políticas, sociais e de saúde pública. O descarte inadequado de resíduos associa-se a um quadro socioeconômico de famílias que sobrevivem dos lixões e evolui para questões de saúde pública.

Um dos pontos mais importantes abordados na Lei nº 12.305/10 está na Seção II – Da Responsabilidade Compartilhada, artigo 30. A Lei prevê um acordo setorial relativo a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, abrangendo os fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, consumidores e titulares dos serviços públicos de

limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, pela minimização do volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como redução dos impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos. Antes, quando um consumidor descartava um produto de forma inadequada, ninguém sabia de quem era a responsabilidade, com PNRS, essa responsabilidade é dividida entre os diversos participantes da cadeia.

Estão entre os objetivos da PNRS: não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final, ambientalmente adequada dos rejeitos; prioridade, nas aquisições e contratações governamentais para bens, serviços e obras que considerem critérios compatíveis com padrões de consumo social e ambientalmente sustentáveis; incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados à melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético.

Um dos mecanismos dessa responsabilidade conjunta cabe ao setor privado, que deve viabilizar a logística reversa, conforme estabelecido no Inciso XII do Art. 3º da Lei nº 12.305/10, logística reversa é definida como um instrumento de desenvolvimento econômico e social, caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada. Isso quer dizer que as empresas devem se preocupar em saber qual será a destinação que o usuário final dará ao seu produto após ser consumido, além de oferecer opções para reaproveitá-lo em suas cadeias produtivas ou destiná-lo corretamente. O usuário deve devolver embalagens e produtos às empresas, que podem fazer acordos setoriais e termos de compromisso com o poder público para viabilizar medidas de reaproveitamento.

2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL

De acordo com a ABNT NBR 10004:2004 – Resíduos sólidos – Classificação, as classes de resíduos envolvem a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem, de seus constituintes e características, e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e meio ambiente é conhecido. Os resíduos de construção civil (RCC) são materiais normalmente inertes e estão classificados na Classe IIB – Não Perigosos e Inertes.

Na Classe IIB, estão inclusos quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007:2004, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006:2004, não têm nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor, conforme anexo G da ABNT NBR 10004:2004.

Para a correta classificação do resíduo da construção civil nessa classe, seria necessário coleta de amostras seguindo as recomendações da ABNT NBR 10007:2004 e análises de toxicidade (lixiviado) e solubilidade (solubilizado) preparados conforme as recomendações da ABNT NBR 10005:2004 e ABNT NBR 10006:2004, respectivamente, com os parâmetros utilizados na análise da toxicidade e da solubilidade determinados segundo os anexos F e G da ABNT NBR 10004:2004.

Visto que o RCC é usualmente considerado inerte, ele já é bastante utilizado como agregado reciclado em obras de pavimentação, entretanto, estes resíduos podem conter impurezas e contaminantes capazes de afetar o solo e os recursos hídricos podendo também, causar riscos à saúde humana. Lima e Cabral (2013) evidenciam a importância da correta classificação do resíduo. Em seu estudo, os RCC Classe A de Fortaleza analisados não são tóxicos e não são inertes, ou seja, devem ser classificados na Classe IIA – não perigosos e não inertes, de acordo com a ABNT NBR 10004:2004.

Conforme a Resolução CONAMA nº 307/2002 os resíduos da construção civil são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos. São classificados da seguinte forma:

Classe A: resíduos reutilizáveis e recicláveis como agregados, tais como de construção, demolição, reformas, reparos de pavimentação, inclusive proveniente de terraplanagem, incluindo componentes cerâmicos, argamassas, concreto e peças pré-moldadas de concreto.

Classe B: são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso.

Classe C: são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação.

Classe D: são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem

como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

Para este trabalho, os RCC de interesse são aqueles classificados na Classe A e que podem ser utilizados como agregado reciclado, ou seja, conforme a Resolução CONAMA nº 307/2002, material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção que apresentem características técnicas para a aplicação em obras de edificação, de infraestrutura, em aterros sanitários ou outras obras de engenharia (CONAMA, 2002).

Segundo o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, a geração de RCC no Brasil é da ordem de 0,50 ton./hab.ano. Contudo, o próprio plano salienta que para uma maior representatividade são necessários estudos de caracterização para verificação desta estimativa (PRGIRS, 2018).

No Plano Distrital de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PRGIRS) é possível obter informações a respeito da geração e coleta de RCC no Distrito Federal, entretanto, as informações não são precisas devido a inexistência de um melhor regramento e controle (PRGIRS, 2018).

Com base nos valores de RCC estimados pelo Serviço de Limpeza Urbana (SLU) recebidos no Aterro do Jóquei, transportando por terceiros em 2015, a quantidade gerada per capita no Distrito Federal foi de 0,50 ton/hab.ano. Este valor, se somado aos resíduos de entulho coletados pelo SLU, que se caracterizam em parte por RCC, atinge um índice per capita de 0,85 ton/hab.ano.

Dados mais atuais mostram o Distrito Federal produz mais de 4.500 toneladas/dia de entulho da construção civil (Relatório Anual de 2019 do SLU).

No Distrito Federal, os geradores estão representados por instituições e atores que desempenham funções na gestão e gerenciamento dos RCC e são eles: SLU, responsável pela coleta de RCC em locais públicos com disposição irregular; empresas privadas e carroceiros, responsáveis pela coleta e pelo transporte mediante contratação do gerador.

O manejo de RCC no Distrito Federal ocorre da seguinte forma: Pontos de entrega voluntária (PEVs) para resíduos de RCC com volume de até 1,0 m³. Áreas de transbordo, triagem e reciclagem (ATTR) e aterros de RCC (Aterros Inertes – ATI) para volumes maiores que 1,0 m³.

Basicamente, todos os resíduos gerados no Distrito Federal e, coletados pelo setor público ou privado, acabam sendo depositados no Aterro do Jóquei, em área previamente demarcada para as atividades de reciclagem, as quais são realizadas por organização de catadores denominada Plasferro. As práticas de tratamento resumem-se a processamento de

uma pequena parcela do material. Sua instalação é precária, visto que dispõe apenas de um britador a céu aberto, e não dispõe das condições mínimas de operação (BRASIL, 2018).

Atualmente, o Distrito Federal dispõe de três ATTR licenciadas pelo Instituto Brasília Ambiental (IBRAM) para o recebimento e correta destinação dos RCC.

Figura 1 – Britador de RCC da Unidade de Recebimento de Entulhos (URE), localizada no antigo lixão da Estrutural – Aterro do Jóquei



Fonte: Plano Distrital de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (2018).

As diretrizes para projeto, implantação e operação de áreas de reciclagem de resíduos sólidos da construção civil são apresentadas na ABNT NBR 15114:2004. Entre outros pontos, a norma aborda as condições de operação e determina que, no recebimento dos resíduos na área de reciclagem, só podem ser aceitos RCC classe A, nos quais sejam conhecidas sua procedência e composição.

2.3 AGREGADOS RECICLADOS PARA A APLICAÇÃO EM CAMADAS DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS

Os agregados podem ser classificados, inicialmente, em agregados naturais e artificiais. Os agregados naturais são agregados utilizados como se encontram na natureza, salvo os procedimentos de britagem e lavagem, como por exemplo a areia, a brita e o pedregulho. Já os agregados artificiais são aqueles que se originam de alterações físicas e químicas de outros materiais, como por exemplo o entulho, a argila expandida e a escória de alto forno.

A seleção dos materiais é um dos poucos aspectos no dimensionamento de pavimentos em que o projetista possui a capacidade de intervir. O uso do agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil é uma alternativa interessante e que deve ser incentivada, visto que

pode-se dar uma destinação mais nobre para os resíduos de construção civil gerados em regiões urbanas, com a conseqüente minimização dos impactos ambientais gerados pela sua disposição inadequada e uma possível redução dos custos da obra, visto que o agregado reciclado possui custo inferior ao de materiais convencionais. No Brasil a malha rodoviária não pavimentada representa 78,5% do total da malha rodoviária nacional (Pesquisa CNT de Rodovias, 2019), portanto, existe um amplo campo para o incentivo dessa alternativa em obras futuras.

O agregado reciclado de RCC vem sendo cada vez mais consumido em obras de pavimentação, mas vale ressaltar que antes da sua utilização, o agregado deve ser devidamente avaliado, pois, além de cumprir as exigências impostas pelos métodos de dimensionamento, estes agregados não devem ser capazes de contaminar o solo e os recursos hídricos.

Os agregados reciclados para utilização em obras de pavimentação devem ser os provenientes de resíduos sólidos de construção civil, classificados pelo CONAMA na Classe A e são divididos em:

- i. Agregado de resíduo de concreto (ARC): é o agregado reciclado obtido do beneficiamento de resíduo pertencente à classe A, composto na sua fração graúda, de no mínimo 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas.
- ii. Agregado de resíduo misto (ARM): é o agregado reciclado obtido do beneficiamento de resíduo de classe A, composto na sua fração graúda com menos de 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas.

Esses agregados devem atender aos requisitos gerais e específicos determinados pela ABNT NBR 15116:2004. Os requisitos encontram-se apresentados nas tabelas abaixo. Caso os materiais não atendam aos requisitos específicos, esses agregados podem ser estabilizados granulometricamente, conforme a ABNT NBR 11804, ou pela adição de cimento Portland ou cal hidratada, e, neste caso, ser submetidos ao ensaio de resistência à compressão simples, após 7 dias de cura, devendo apresentar resistência de no mínimo 2,1 MPa, em corpos-de-prova moldados na energia de compactação especificada.

Tabela 1 – Requisitos gerais para agregado reciclado destinado a pavimentação.

Propriedades		Agregado reciclado classe A		Normas de ensaios	
		Graúdo	Miúdo	Agregado graúdo	Agregado miúdo
Composição granulométrica		Não uniforme e bem graduado com coeficiente de uniformidade $C_u > 10$		ABNT NBR 7181	
Dimensão máxima característica		≤ 63 mm		ABNT NBR NM 248	
Índice de forma		≤ 3	-	ABNT NBR 7809	-
Teor de material passante na peneira de 0,42 mm		Entre 10% e 40%		ABNT NBR 7181	
Contaminantes - teores máximos em relação à massa do agregado reciclado (%)	Materials não minerais de mesmas características ¹⁾	2		Anexo A	Anexo B
	Materials não minerais de características distintas ¹⁾	3		Anexo A	Anexo B
	Sulfatos	2		ABNT NBR 9917	

¹⁾ Para os efeitos desta Norma, são exemplos de materiais não minerais: madeira, plástico, betume, materiais carbonizados, vidros e vidrados cerâmicos.

Fonte: ABNT NBR 15116:2004.

Tabela 2 – Requisitos específicos para agregado reciclado destinado a pavimentação.

Aplicação	ISC (CBR) %	Expansibilidade %	Energia de compactação
Material para execução de reforço de subleito	≥ 12	$\leq 1,0$	Normal
Material para execução de revestimento primário e sub-base	≥ 20	$\leq 1,0$	Intermediária
Material para execução de base de pavimento ¹⁾	≥ 60	$\leq 0,5$	Intermediária ou modificada

¹⁾ Permitido o uso como material de base somente para vias de tráfego com $N \leq 10^6$ repetições do eixo padrão de 8,2 tf (80 kN) no período de projeto.

Fonte: ABNT NBR 15116:2004.

O controle de qualidade e caracterização do agregado reciclado deve ser feito da seguinte maneira:

- Os lotes de agregados reciclados devem ser formados por ARM ou ARC a cada graduação granulométrica (bica corrida, brita zero, brita um, areia etc.) e compreender a produção dentro do período de um mês, considerando-se o volume máximo de 1 500 m³ para cada lote, ou o que primeiro ocorrer.

- Para os ensaios de caracterização deve haver uma amostra de ensaio, que é uma porção reduzida da amostra de campo e deve ser de no mínimo 60kg. A amostra de campo, por sua vez, é formada por um conjunto de amostras parciais de cada lote de agregado reciclado, reunindo-se no mínimo 10 amostras parciais por lote. Por último, as amostras parciais são coletadas aleatoriamente ao menos 2 vezes por dia e por tipo de resíduo sólido, cada amostra deve conter cerca de 10kg e deve ser coletada do material processado.

- Devem ser realizados os ensaios de caracterização do agregado reciclado, de acordo com a tabela a seguir. Um lote de agregado reciclado somente deve ser aceito quando cumprir todas as prescrições.

Tabela 3 – Determinação do tipo e frequência de execução de ensaios.

Propriedades	Método de Ensaio	Frequência de Ensaios
Composição granulométrica	NBR 7181	A cada lote
Índice de forma (agregado graúdo)	NBR 7809	A cada lote
Índice de suporte Califórnia e expansibilidade	NBR 9895	A cada lote
Composição do agregado graúdo	Anexo A - NBR 15116	A cada lote
Percentual de materiais não minerais no agregado miúdo	Anexo B - NBR 15116	A cada lote
Teor de sulfatos	NBR 9917	1 vez por mês ou 6000 m ³ (o 1º que ocorrer)

Fonte: ABNT NBR 15116:2004 (Adaptado).

No ensaio de composição granulométrica (ABNT NBR 7181), o agregado reciclado deve apresentar curva granulométrica bem graduada, não uniforme, com coeficiente de uniformidade $C_u \geq 10$ ($C_u = D_{60} / D_{10}$). A porcentagem que passa na peneira 0,42 mm (nº 40) deve ficar entre 10% e 40%.

No ensaio para avaliação do Índice de Suporte Califórnia (CBR) e expansibilidade (ABNT NBR 9895), o material para execução de sub-base deve apresentar $CBR \geq 20\%$, expansão $\leq 1,0\%$ (energia de compactação intermediária, conforme ABNT NBR 7182 e ABNT NBR 6457).

Na avaliação do índice de forma do agregado graúdo (ABNT NBR 7809), a porcentagem máxima admissível, em massa, para grãos de forma lamelar é de 30%.

A dimensão característica máxima dos grãos é 63,5 mm (tolerância de 5% da porcentagem retida, em massa, na peneira de 63,5 mm), limitada a 2/3 da espessura da camada compactada.

Os materiais indesejáveis de grupos distintos deve ser, no máximo, de 3% em massa, os materiais indesejáveis de mesmo grupo deve ser no máximo de 2% em massa e não são permitidos materiais nocivos ao meio ambiente ou à saúde do trabalhador.

Deve ser feito o controle tecnológico dos materiais durante a execução dos serviços de pavimentação: o ensaio de composição granulométrica (ABNT NBR 7181) deve ser feito a cada lote equivalente a 700 m² de camada acabada, com no mínimo três determinações; a determinação da massa específica aparente seca, da umidade ótima e do Índice de Suporte

Califórnia (CBR) e expansão (ABNT NBR 7185, ABNT NBR 7182 e ABNT NBR 9895) devem ser feitos a cada lote equivalente a 2000 m² de camada acabada, com no mínimo três determinações; e a determinação da porcentagem de grãos lamelares (ABNT NBR 7809) deve ser avaliada sempre que houver variação nas características do agregado utilizado ou a cada lote equivalente a 700 m² de camada acabada.

Durante a execução do empreendimento, devem ser executados controles de execução, como por exemplo, a verificação do teor de umidade da pista e a massa específica aparente seca. Entretanto, é importante lembrar que esse controle está fora do escopo da pesquisa.

2.3.1 CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DOS REQUISITOS IMPOSTOS AOS AGREGADOS RECICLADOS PARA A APLICAÇÃO EM CAMADAS DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS

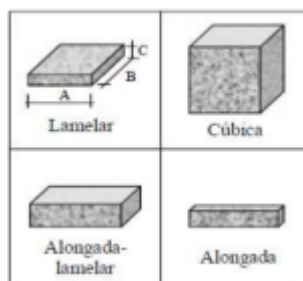
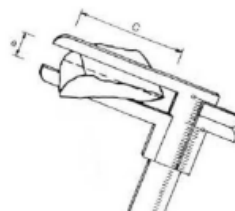
No item 2.3, é possível identificar as características dos agregados que merecem mais atenção quando a destinação do agregado é a aplicação em camadas de pavimentos. Pode-se observar que no processo de seleção dos materiais é de fundamental importância o conhecimento da distribuição granulométrica, do CBR e expansão, bem como a forma dos grãos.

A determinação da dimensão das partículas e de suas respectivas porcentagens de ocorrência permite a obtenção da distribuição granulométrica do material. As especificações para materiais de base e sub-base de pavimentos estabilizados granulometricamente são apresentadas pela ABNT NBR 11804, a qual indica a necessidade de a curva granulométrica ser contínua, na qual estão presentes todos os tamanhos das partículas de um determinado intervalo granulométrico, permitindo que os grãos menores se encaixem nos vazios intergranulares dos maiores, constituindo um material bem compactado, isto é, mais resistente e menos deformável, e que se enquadre nas faixas granulométricas nela especificadas com o objetivo de o material resultante se manter volumetricamente estável e apresentar ganho de resistência.

A forma deve ser avaliada, no caso dos agregados graúdos, e necessita apresentar um bom “índice de forma” (ausência de partículas muito alongadas e lamelares) para que o agregado não apresente uma variação significativa na resistência dependendo da posição em que se encontra. O índice de forma deve ser superior a 3, como pode-se observar na figura abaixo:

Figura 2 – Índice de Forma

$$\frac{\sum c/e}{200} \leq 3,0$$



. Fonte: Anotações de aula do Prof. D.Sc. Luiz Guilherme (2019).

Ainda a respeito da forma, agregados de textura rugosa e arestas vivas tendem a desenvolver mais atrito interno e melhor “adesividade passiva” que os grãos arredondados de textura lisa.

A resistência se refere ao agregado graúdo, o qual deve resistir ao choque e ao desgaste por atrito entre as partículas. No Brasil, a resistência do agregado é geralmente especificada com base no Ensaio de Abrasão Los Angeles (DNER-ME 035).

Avaliar as propriedades químicas dos agregados reciclados é extremamente importante para a determinação dos materiais indesejáveis que podem estar presentes. Deve-se observar os limites impostos pelas normas, lembrando que não são permitidos materiais nocivos ao meio ambiente ou à saúde do trabalhador.

2.4 PESQUISAS ANTERIORES

O RCD já vem sendo estudado e utilizado no Brasil como agregado reciclado em obras de pavimentação e vem apresentando resultados satisfatórios, que demonstram a boa adequação do material para esse fim, como podemos verificar nas pesquisas citadas abaixo.

Em 2005, Motta fez um estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego. O trabalho analisa laboratorialmente aspectos físicos e de comportamento mecânico do agregado reciclado da cidade de São Paulo, a ser utilizado em camadas de base, sub-base ou reforço do subleito de

pavimento, em substituição aos materiais convencionais. O estudo envolveu a análise do agregado reciclado in natura, além de sua mistura com 4% de cal ou 4% de cimento Portland, como forma de promover um aumento da resistência do material. Além disso, foram realizados alguns ensaios com brita graduada, a fim de comparar resultados. Concluiu-se que o agregado reciclado analisado é de uso promissor em pavimentação, dadas suas propriedades físicas e mecânicas satisfatórias, comparáveis a tradicionais materiais estabilizados granulometricamente ou mesmo a brita graduada simples. Ademais, a adição de cal ou cimento Portland apresenta-se como excelente alternativa quanto ao requisito de aumento de resistência do material reciclado (Motta, 2005).

Em 2007, Leite analisou o comportamento mecânico de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil em camadas de base e sub-base de pavimentos. A pesquisa consistiu em ensaios laboratoriais, acompanhados de um estudo de caso. O pavimento avaliado possui agregado reciclado em sua estrutura; quatro seções-tipos diferentes foram construídas, variando os materiais, as espessuras, a compactação e o subleito. Propriedades físicas e mecânicas do agregado reciclado foram determinadas em laboratório. Os resultados mostraram que o comportamento mecânico do agregado reciclado apresenta uma forte dependência da eficiência da compactação. Quando submetido a uma compactação adequada, o material reciclado comporta-se tal qual uma brita graduada simples (Leite, 2007).

Em 2014, Beja estudou a utilização de agregado reciclado de construção e demolição com adição de aglomerantes hidráulicos como sub-base de pavimentos. O trabalho buscou compreender o comportamento físico e mecânico do agregado reciclado com adição de aglomerantes. Foram construídos três trechos experimentais de uma via urbana com uso de RCD misto na sub-base dos pavimentos, um sem aglomerantes adicionais, um com adição de 3% de cal hidratada e um com adição de 3% de cimento Portland. Foram analisados os comportamentos mecânicos e os resultados mostram que a mistura em RCD apresentou o menor ganho em módulo de resiliência, enquanto que a mistura de RCD com 3% cimento, apresentou os maiores módulos e a mistura RCD com adição em 3% de cal obteve um valor pouco abaixo daquele com cimento. Quanto ao comportamento à deformação permanente, verificou-se que a baixos níveis de tensão, todas as misturas apresentaram baixas deformações e comportamento similar. Em maiores níveis, as misturas estabilizadas apresentaram comportamento estável e as misturas em RCD obtiveram deformação permanente mais significativa. Passados quase dois anos, o comportamento funcional e estrutural dos trechos experimentais é satisfatório (Beja, 2014).

3. METODOLOGIA

A presente monografia tem como foco mapear as atividades e critérios de aceitação do agregado reciclado para a sua comercialização e utilização em sub-bases de pavimentos, definir e listar os ensaios e critérios mínimos para avaliação de agregado reciclado, proveniente de resíduo da construção e demolição, na etapa de produção do agregado e na execução de sub-bases de pavimentos e, por último, uma busca pela certificação ambiental do agregado reciclado.

Após o levantamento realizado no capítulo anterior, verificou-se que o ciclo do agregado reciclado para aplicação em obras de pavimentação envolve: triagem, coleta e separação do resíduo da construção civil, processamento, caracterização, comercialização, recebimento do agregado na obra, aplicação e controle na execução e recebimento do serviço de pavimentação. A análise realizada nessa pesquisa envolverá as etapas pós-processamento (à jusante) até a aplicação e controle na execução.

Abaixo segue os procedimentos que serão realizados para resolução de cada uma das quatro partes do presente estudo:

3.1 MAPEAMENTO DAS ATIVIDADES E CRITÉRIOS DE ACEITAÇÃO DOS AGREGADOS NATURAL E RECICLADO PARA USO EM SUB-BASES DE PAVIMENTOS

Será feito o mapeamento do processo de aceitação dos agregados natural e reciclado para uso em sub-bases de pavimentos. O mapeamento possui como objetivo detalhar as atividades necessárias para a aceitação do agregado de forma que esse material atenda aos requisitos necessários. Será feita uma pesquisa na literatura para identificar essas atividades.

O foco da pesquisa são os agregados reciclados proveniente do processamento do resíduo da construção e demolição, entretanto, serão mapeados também o processo de aceitação dos agregados naturais com o objetivo de visualizar as diferenças entre os processos.

Acredita-se que a proposta de fluxo do processo de aceitação do agregado reciclado irá incentivar e facilitar a sua comercialização, utilizando critérios qualitativos e garantindo que as exigências para a aceitação do agregado para uso em obras de pavimentação estão sendo atendidas, ou seja, que o agregado seria viável para esse fim e possibilitando uma certificação desse material.

3.2 DEFINIÇÃO E LISTAGEM DOS ENSAIOS MÍNIMOS NECESSÁRIOS E CRITÉRIOS LIGADOS AOS PARÂMETROS FÍSICOS DOS RESÍDUOS RECICLADOS PARA USO EM OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO (ETAPA PRODUÇÃO DO AGREGADO)

Será feito um levantamento dos ensaios e critérios de aceitação, baseado em pesquisas técnico-científicas, normas e na legislação brasileira que tratam dos parâmetros físicos dos agregados naturais e reciclados para aplicação em sub-bases de pavimentos.

A apresentação dos dados resultados será feita na forma de uma tabela, listando os ensaios mínimos e os requisitos necessários para controle do agregado.

3.3 DEFINIÇÃO E LISTAGEM DOS ENSAIOS MÍNIMOS NECESSÁRIOS E CRITÉRIOS LIGADOS AOS ÍNDICES FÍSICOS DOS RESÍDUOS RECICLADOS PARA USO EM OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO (ETAPA EXECUÇÃO DE OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO)

Será feita uma avaliação mais aprofundada dos métodos utilizados para avaliação das propriedades dos materiais baseados nas normas técnicas da ABNT — Associação Brasileira de Normas Técnicas e do DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes.

Após essa pesquisa inicial, serão realizadas buscas na literatura técnico-científica, nacional e internacional, e serão feitas considerações a respeito dos requisitos impostos aos agregados para a aplicação em camadas de sub-base de pavimentos rodoviários e as principais diferenças entre o agregado convencional e o reciclado, de forma entender como o comportamento desses materiais se diferem.

A partir do momento em que as diferenças estiverem compreendidas, será possível definir e listar os ensaios mínimos necessários para o agregado reciclado e responder alguns questionamentos, como por exemplo:

- Os critérios são os mesmos para agregados convencionais e agregados reciclados?
- Existem ensaios que não se aplicam para agregados reciclados, mas se aplicam para convencionais e vice-versa?

3.4 DETERMINAÇÃO DE CRITÉRIOS PARA CRIAÇÃO DE UMA PROPOSTA PARA RASTREAMENTO E CERTIFICAÇÃO AMBIENTAL DO AGREGADO PROVENIENTE DA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL PARA USO EM OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO

O primeiro passo para definição dos critérios para obtenção da certificação ambiental será entender em qual certificado se encaixa o produto.

O padrão internacional de normas ISO 14000 tem a finalidade de padronizar e harmonizar métodos e procedimentos que estejam envolvidos em um determinado processo produtivo, através de duas frentes: organização e produto.

A Rotulagem Ambiental de Produtos objetiva a divulgação de aspectos ambientais de um produto visando promover a demanda por produtos com menor impacto sobre o ambiente e a sua valorização pelo consumidor. E para evitar o uso indevido do meio ambiente para valorização de um produto, existe a necessidade de normatização. As ISO 14000 relacionadas ao produto estão divididas nas que se referem à Rotulagem Ambiental (ISO 14020 A 14024) e à Avaliação do Ciclo de Vida (ISO 14040 A 14043).

Estabelecida pela ISO 14020, a rotulagem e declarações ambientais tem como principal objetivo trazer informações relevantes para os consumidores, disponibilizando-as nos rótulos dos produtos. A ideia é garantir um consumo consciente e que esteja em harmonia com o meio ambiente e com a preservação ambiental. Será preciso uma familiarização com as regras e procedimentos exigidos.

Por último, será necessário criar uma proposta para a avaliação dos processos envolvidos na produção do agregado reciclado e dos impactos ambientais potenciais, permitindo, dessa forma, a certificação do produto.

4. RESULTADOS

Os resultados apresentados nesse capítulo foram realizados com base na metodologia descrita anteriormente.

4.1 MAPEAMENTO DAS ATIVIDADES E CRITÉRIOS DE ACEITAÇÃO DOS AGREGADOS NATURAL E RECICLADO PARA USO EM SUB-BASES DE PAVIMENTOS

4.1.1 AGREGADO NATURAL – SOLO E MATERIAIS GRANULARES

Este item foi adaptado do Manual de Pavimentação do DNIT (DNIT, 2006).

O estudo das ocorrências de materiais para pavimentação tem como objetivo o reconhecimento e a caracterização dos materiais de jazidas como fonte de matéria-prima para a utilização na construção das diversas camadas de acordo com o projeto do pavimento (reforço de subleito, sub-base, base, revestimento).

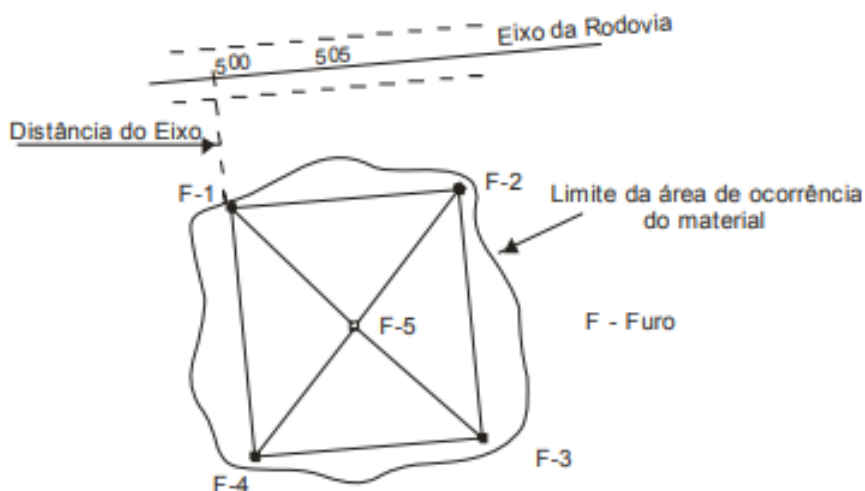
Para utilização do agregado natural em um empreendimento são feitos estudos específicos nas jazidas da região. O estudo das ocorrências de materiais é feito em duas fases: prospecção preliminar e prospecção definitiva. A prospecção é feita para identificar as ocorrências que apresentam possibilidade de aproveitamento, tendo em vista a qualidade do material e o seu volume aproximado. Nessa pesquisa, o foco será no estudo do material que será utilizado em sub-bases de pavimentos.

Primeiramente, é necessário a identificação dos possíveis locais que poderão ser utilizados como jazidas. Para isso são utilizados os dados da geologia e pedologia da região, através de fotografias aéreas, mapas geológicos, pesquisas com os moradores da região, reconhecimento de jazidas antigas etc. Nessa etapa também é feita a localização das fontes de abastecimentos de água.

A **prospecção preliminar** compreende por inspeção expedida no campo, sondagens e ensaios de laboratório. Delimita-se a área onde existe a ocorrência do material e faz-se 4 furos na periferia e 1 furo no interior da área delimitada, localizados até a profundidade necessária. Coleta-se em cada furo e para cada camada, uma amostra suficiente para a realização dos ensaios (Ensaio de Granulometria por peneiramento com lavagem do material na peneira de 2,0 mm (nº10) e de 0,075 mm (nº200), Limite de Liquidez LL, Limite de Plasticidade LP,

Equivalente de Areia, Compactação e Índice de Suporte de Califórnia – ISC). Anota-se as cotas de mudança de camadas. O material da camada superficial é comumente chamado de capa ou expurgo. Faz-se a amarração dos furos de sondagem, anotando-se as distâncias aproximadas entre os mesmos e a posição da ocorrência em relação à rodovia. Segue na figura abaixo o esquema de localização da jazida.

Figura 3 – Esquema de Sondagem para prospecção de materiais



Fonte: Manual de Pavimentação do DNIT (2006).

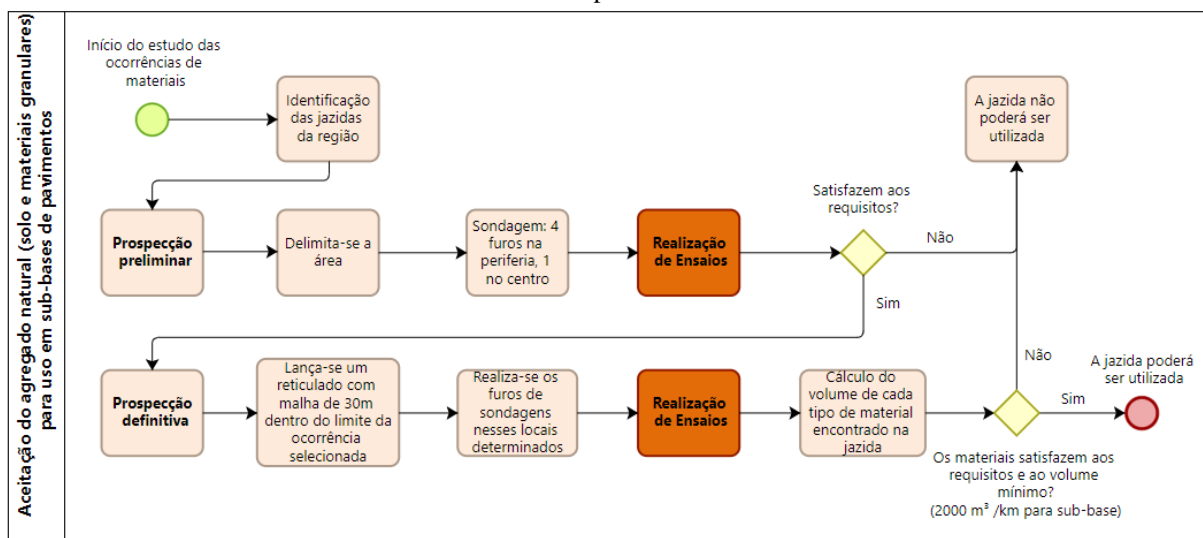
A ocorrência será considerada satisfatória para a prospecção definitiva quando os materiais coletados e ensaiados, ou pelo menos, parte dos materiais existentes satisfizerem as especificações vigentes, ou quando houver a possibilidade de correção, por mistura, com materiais de outras ocorrências.

A **prospecção definitiva** das ocorrências de materiais compreende sondagens e coleta de amostras, ensaios de laboratório e avaliação do volume das ocorrências. Lança-se um reticulado com malha de 30 m ou mais de lado, dentro dos limites da ocorrência selecionada, onde serão feitos os furos de sondagem. Em cada furo da malha, ou no seu interior, para cada camada de material, será feito um Ensaio de Granulometria por peneiramento, de Limite de Liquidez, de Limite de Plasticidade e de Equivalente de Areia (quando for indicado). No caso de existirem camadas com mais de 1,00 m de espessura, deve-se executar os ensaios acima citados, para cada metro de profundidade dessa camada. Para determinação do Índice Suporte Califórnia (ISC) a mesma orientação deverá ser seguida, ensaiando-se materiais de furos mais espaçados, se for o caso. O Ensaio de Índice Suporte Califórnia para ocorrência de solos e materiais granulares, é feito utilizando os corpos-de-prova obtidos no ensaio de compactação, ou os três que mais se aproximem do ponto de massa específica aparente máxima, de acordo

com o método padronizado do DNER. Quando solicitado, são realizados também ensaio de Determinação de Massa Específica Aparente "in situ" do material "in natura". Com a rede de furos lançada (de 30 em 30m) e com a profundidade de cada furo e cada horizonte, pode-se calcular o volume de cada tipo de material encontrado na jazida. As quantidades mínimas de materiais de ocorrência a serem reconhecidas, para cada quilômetro de pavimento de estrada, são aproximadamente 2000 m³/km para sub-bases.

Abaixo segue o mapeamento das atividades conforme os processos descrito acima:

Figura 4 – Mapeamento da aceitação do agregado natural (solo e materiais granulares) para uso em sub-bases de pavimentos



Fonte: Autor (2021).

A apresentação dos resultados é complementada mediante um esquema geral de todas as ocorrências e das fontes de abastecimento de água do trecho estudado.

4.1.2 AGREGADO NATURAL BRITADO – MATERIAIS ROCHOSOS (PEDREIRAS)

Este item foi adaptado do Manual de Pavimentação do DNIT (DNIT, 2006).

As rochas normalmente utilizadas para fins rodoviários são de origem ígneas ou metamórficas. Na escolha de uma pedra deve-se levar em consideração a qualidade da rocha, o volume aproveitável, a espessura do material inerte, a facilidade do desmonte, a distância até a aplicação e os impedimentos legais e técnicos.

A prospecção preliminar é realizada mediante as indicações geológicas, procurando-se avaliar no local por meio de sondagens e levantamentos expeditos.

Na prospecção definitiva será obedecido o que recomenda a Norma ABNT 6490/85 (NB-28/68), para "Reconhecimento e Amostragem para Fins de Caracterização das Ocorrências de Rochas". A coleta de amostras de rochas para serem submetidas aos ensaios (Abrasão Los Angeles, Sanidade e Adesividade) é realizada através de sondagens rotativas ou então, quando a ocorrência assim o permitir, por extração por meios de furos com barra-mina e explosivos no paredão rochoso. Quando for necessário, os ensaios correntes poderão ser complementados pelos exames de Lâmina e de Raio X do material coletado. A cubagem do material poderá ser realizada por auscultação a barra-mina. Quando necessário, poderá ser providenciado o lançamento de um reticulado com lados de 10m a 20m aproximadamente. Admite-se que seja considerado como rocha, o maciço abaixo da capa de pedreira.

Após a aprovação da jazida é necessário montar um plano de ataque que estabeleça os acessos, declividade, drenagem, locais para bota-fora, altura das bancadas. É importante a elaboração de um planejamento que minimize a agressão ao meio ambiente e a sua recomposição, parcial ou total, após a exploração. A exploração propriamente dita necessita de licença para exploração e é composta pelas seguintes atividades: limpeza da camada estéril, perfuração da rocha, carregamento e detonação e carga e transporte.

A instalação para britagem é o próximo passo para a produção dos agregados graúdos e miúdos. O processo de redução de diâmetro dos agregados se faz por: i) Fase 1 – Britagem Primária – Britadores de mandíbula; ii) Fase 2 – Britagem Secundária – Rebritadores de mandíbula/ girosféricos; iii) Fase 3– Britagem Terciária – Girosféricos e; iv) Fase 4 – Britagem Quaternária – Hidrocônicos, girosféricos rocha/ rocha ou moinhos de barra ou de bola. A necessidade de todas essas fases no processo de britagem estão ligadas diretamente às faixas e aos volumes granulométricos exigidos pelo projeto.

O dimensionamento da instalação é feito em função dos tempos, da demanda mensal, em consonância com as especificações e normas técnicas exigidas pelo projeto. Calculam-se as produções efetiva e nominal da instalação, as quais definirão, o porte dos equipamentos, bem como as fases da britagem necessárias à instalação.

Produção horária efetiva:

$$PHE = \frac{PEAK}{J.M}$$

PHE – Produção Horária Efetiva

PEAK – Necessidade máxima de produção no mês

J – Horas/ Dias

M – Dias/ Mês

Para este cálculo deve-se considerar os dois períodos distintos na região, seco e chuvoso, obtendo-se duas produções horárias efetivas.

Produção horária nominal:

$$PHN = \frac{PHE}{C}$$

PHN – Produção Horária Nominal

PHE – Produção Horária Efetiva

C – Eficiência do Sistema

$$C = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6$$

K_1 – 0,85 (avarias mecânicas)

K_2 – 0,97 (lubrificação e limpeza)

K_3 – 0,752 (utilização do equipamento)

K_4 – x (dias chuvosos no período seco, valor variável dependendo da região) e y (dias chuvosos no período chuvoso, valor variável dependendo da região)

K_5 – 0,9 (rocha basalto), 1,0 (rocha granito) e 1,2 (rocha calcário)

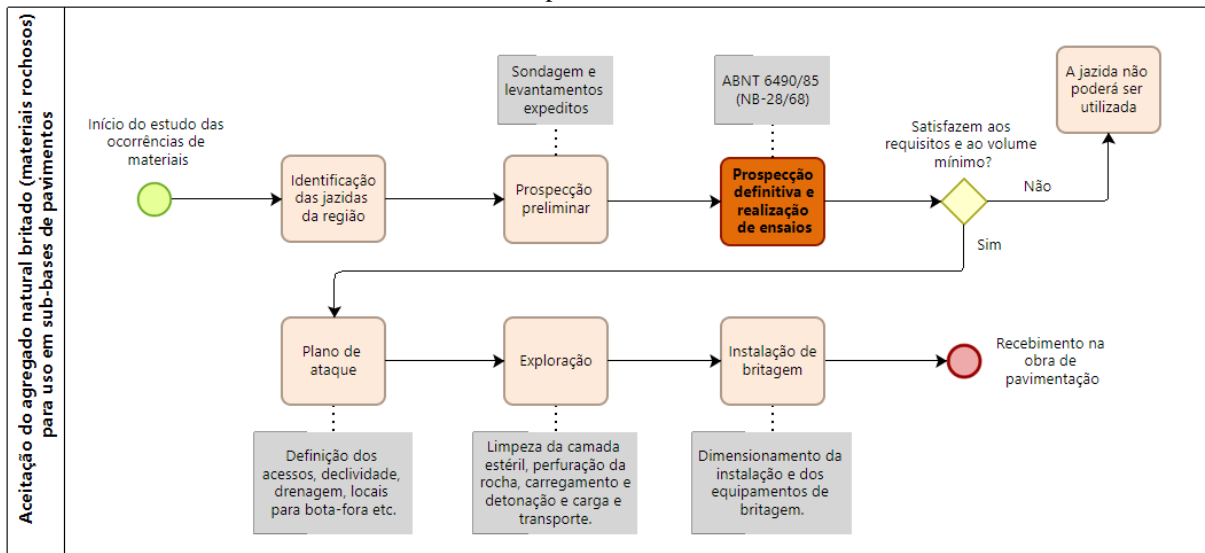
K_6 – 0,95 (alimentador com pré-silo)

Em razão de se estar considerando duas produções horárias em função dos períodos distintos na região, seco e chuvoso, a eficiência também é assim considerada.

Para o dimensionamento de todos os equipamentos de britagem para cada fase do processo, deve-se levar em consideração as faixas e a curva granulométrica a serem obtidas, bem como as seguintes características do material: tipo da rocha, densidade aparente, peso específico, umidade aparente, contaminação da rocha, compatibilidade do tamanho máximo da pedra da alimentação com a boca de admissão de agregados do equipamento e a curva final a ser obtida.

Abaixo segue o mapeamento inicial, conforme os processos descrito acima:

Figura 5 – Mapeamento da aceitação do agregado natural (materiais rochosos) para uso em sub-bases de pavimentos



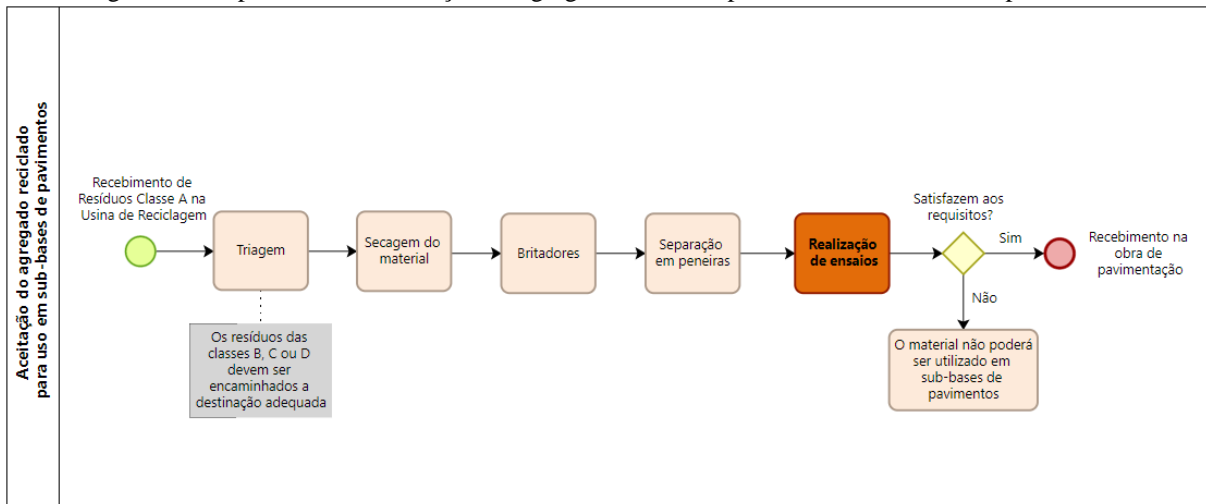
Fonte: Autor (2021).

4.1.3 AGREGADO RECICLADO

Na pesquisa realizada em 21/04/2021 na Coletânea de Normas Vigentes do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) foram identificadas 442 normas. Em nenhuma delas é tratada a utilização de agregados reciclados para a execução de pavimentos. O assunto também não foi abordado no Manual de Pavimentação do DNIT (DNIT, 2006).

O mapeamento das atividades e critérios de aceitação do agregado reciclado para uso em sub-bases de pavimentos foi feito com base nas seguintes normas técnicas: ABNT NBR 15114: Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação, ABNT NBR 15115: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos e ABNT NBR 15116: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos Resíduos sólidos – Classificação.

Figura 6 – Mapeamento da aceitação do agregado reciclado para uso em sub-bases de pavimentos

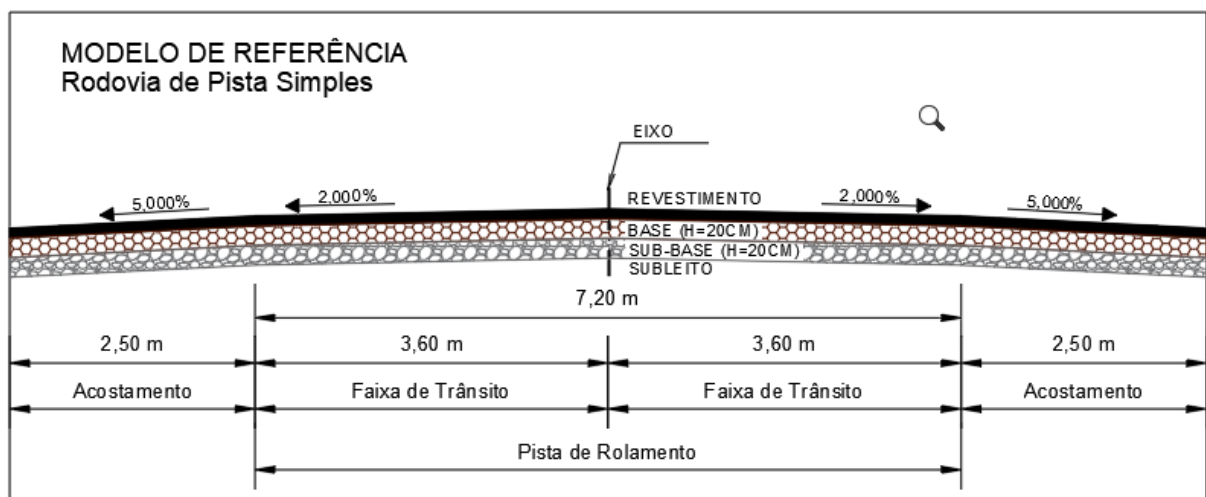


Fonte: Autor (2021).

Verificou-se nos no estudo dos critérios de aceitação do agregado natural que o volume de material é um dos critérios para aceitação das jazidas. Dessa forma, é importante a avaliação da quantidade de resíduo que é gerada e se esse volume seria suficiente para suprir a demanda necessária para utilização em obras de pavimentação.

Dados mostram que, no Distrito Federal, são gerados, aproximadamente, 4.500 toneladas/dia de Resíduos da Construção e Demolição (RCD). Para que se tenha uma ordem de grandeza do volume de agregado reciclado que poderia ser aproveitado em obras de pavimentação foi proposto um modelo de referência, considerando-se a seção transversal de uma rodovia de pista simples, conforme figura abaixo:

Figura 7 – Modelo de Referência – Rodovia de Pista Simples



Fonte: Autor (2021).

No modelo considerou-se 20 cm para as espessuras da base e sub-base, além disso, foram fixados alguns elementos que constituem a seção transversal, sendo eles:

- i. Largura da faixa de trânsito para a rodovia igual a 3,60 m;
- ii. Acostamento externo de 2,50 m com largura constante em toda sua extensão;
- iii. Abaulamento de 2,000% (caimento duplo);
- iv. Declividade transversal nos acostamentos de 5,000% com inclinação voltada para fora da pista.

Assim, é possível estimar a quantidade de agregado reciclado que seria utilizado na sub-base desse modelo de referência. A área da sub-base na seção transversal é de 2,44 m², portanto, em 1km de rodovia, seriam necessários 2440 m³/km de agregado reciclado. Considerando-se uma massa específica do material de 2500 kg/m³, 1km de rodovia consumiria 6.100 toneladas de agregado reciclado.

No Distrito Federal são gerados em torno de 4.500 toneladas/dia de RCD e considerando que todo o volume coletado fosse viável para ser utilizado como agregado reciclado em obras de pavimentação, a cada dia, seria possível realizar aproximadamente 730 m de sub-base de uma rodovia de pista simples. Cabe ressaltar que a sub-base pode ser executada utilizando-se combinações de materiais e, portanto, pode-se utilizar uma porcentagem de agregado reciclado, em relação ao volume total da sub-base, que atenda à disponibilidade do material e que satisfaça aos requisitos impostos pelo pavimento.

4.1.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A comparação dos mapeamentos apresentados acima não está relacionada apenas com as atividades relacionadas com as características do material, é importante compreender o processo de licenciamento como um todo, incluindo-se também o embasamento legal.

Pela constituição brasileira, as riquezas minerais do país pertencem à União e não ao proprietário da terra onde elas se encontram. Isso quer dizer que o proprietário do solo não é dono do subsolo, ele é chamado de superficiário.

As regras para se obter o direito de extrair uma substância mineral não são as mesmas em todos os casos. O órgão que regulamenta e fiscaliza a pesquisa, extração e comercialização de bens minerais no país é o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) do Ministério de Minas e Energia (MME). O aproveitamento das substâncias minerais pode ser

feito por autorização, licenciamento, regime de monopólio, concessão ou permissão de lavra garimpeira.

A Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, entre outras particularidades, institui o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), as competências do CONAMA e cria o Licenciamento Ambiental.

A atuação do Instituto Brasília Ambiental (IBRAM) é regida pelos fundamentos, objetivos e diretrizes da Lei Federal no 6.938, de 31 de agosto de 1981. O IBRAM nos termos da Lei nº 3.984, de 28 de maio de 2007, é responsável por controlar e fiscalizar, com poder de polícia, o manejo dos recursos ambientais e hídricos do Distrito Federal, bem como toda e qualquer atividade ou empreendimento que cause ou possa causar poluição ou degradação do meio ambiente e dos recursos hídricos.

O procedimento de licenciamento ambiental obedece às etapas constantes na Resolução CONAMA nº 237/1997 e é definido pelo órgão ambiental competente, no caso do Distrito Federal, esse órgão é o IBRAM.

A legislação ambiental é relativamente recente e, em muitos casos, conflita com a legislação mineral. O CONAMA vem estabelecendo várias resoluções que estão aumentando as restrições à atividade mineral, o que vem tornando cada vez mais difícil o licenciamento ambiental e torna-se cada vez mais necessário a busca de outras alternativas.

A busca por novas alternativas vai muito além de uma solução para as dificuldades encontradas para o licenciamento, é uma maneira de minimizar os prejuízos causados ao meio ambiente, prejuízos esses causados tanto pela atividade de mineração, como pela disposição inadequada do RDC.

No que se refere apenas à análise das atividades relacionadas com as características do material, percebe-se que o processo do agregado reciclado envolve um número muito menor de atividades e, devido a isso, o gasto de energia dispendido seria menor.

Conforme a análise feita, o volume do material disponível diariamente, apesar de variável, seria suficiente para suprir parte da demanda do agregado requerido para a sub-base do pavimento, sendo necessário avaliar cada empreendimento individualmente, podendo-se chegar em uma porcentagem do volume total da sub-base que seria possível utilizar o agregado reciclado. Dessa forma, a maior preocupação está relacionada com a qualidade do material e satisfação das exigências impostas pelo pavimento, preocupação essa, que também é fundamental para o agregado natural.

O último item dessa pesquisa está relacionado com uma proposta para rastreamento e certificação ambiental do agregado proveniente da reciclagem de resíduos da construção civil para uso em obras de pavimentação. Essa seria uma forma de garantir a qualidade do material e o cumprimento dos requisitos.

4.2 DEFINIÇÃO E LISTAGEM DOS ENSAIOS MÍNIMOS NECESSÁRIOS E CRITÉRIOS LIGADOS AOS PARÂMETROS FÍSICOS DOS RESÍDUOS RECICLADOS PARA USO EM OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO (ETAPA PRODUÇÃO DO AGREGADO)

Nesse item do projeto, apresenta-se a listagem dos ensaios que aparecem destacados nos fluxogramas do item anterior. Nessa etapa, os ensaios são aqueles realizados antes do material chegar na obra, ainda na “produção” do agregados. Os ensaios serão listados na forma de tabela e o material continuará dividido em: agregado natural e agregado reciclado.

Tabela 4 – Requisitos impostos aos agregados na etapa produção do agregado

Ensaio	Requisitos					
	Agregado Reciclado Classe A		Agregado natural (solo e materiais granulares)		Agregado natural (materiais rochosos)	
	Graúdo	Miúdo	Graúdo	Miúdo	Graúdo	Miúdo
ABNT NBR 7181 – Composição granulométrica	Não uniforme e bem graduado com $C_u \geq 10$		Deverá estar enquadrada em umas das faixas da Tabela 5		-	-
ABNT NBR NM 248 – Dimensão máxima característica	$\leq 63,5$ mm ⁽⁴⁾		-	-	-	-
ABNT NBR 7809 – Índice de forma	≤ 3	-	-	-	-	-
ABNT NBR 7181 – Teor de material passante na peneira 0,42 mm	Entre 10% e 40%		-	-	-	-
ABNT NBR 15116 – Contaminantes: materiais não minerais de mesmas características ⁽¹⁾	2% ⁽²⁾		-	-	-	-
ABNT NBR 15116 – Contaminantes: materiais não minerais de características distintas ⁽¹⁾	3% ⁽²⁾		-	-	-	-
ABNT NBR 9917 – Contaminantes: sulfatos	2% ⁽²⁾		-	-	-	-

ISC (CBR) % ⁽³⁾	≥ 20		≥ 20		-	-
Expansibilidade % ⁽³⁾	≤ 1,0		≤ 1,0		-	-
ABNT NBR 7182 - Compactação	-	-	Deverá ser realizado.		-	-
Limite de Liquidez (LL)	-	-	-	IG = 0	-	-
Limite de Plasticidade (LP)	-	-	-		-	-
Equivalente de Areia	-	-	-	Exigência para sub-base não informada	-	-
Abrasão Los Angeles	-	-	-	-	As exigências não foram informadas no Manual de Pavimentação do DNIT (2006).	
Sanidade	-	-	-	-		
Adesividade	-	-	-	-		
Exames de lâmina e raio x (quando necessário)	-	-	-	-		

⁽¹⁾ São exemplos de materiais não minerais: madeira, plástico, betume, materiais carbonizados, vidros e vidrados cerâmicos.

⁽²⁾ Teores máximos em relação à massa do agregado reciclado.

⁽³⁾ Requisitos específicos para agregado reciclado destinado a pavimentação para execução de sub-base.

⁽⁴⁾ Tolerância de 5% da porcentagem retida, em massa na peneira de 63,5 mm, limitada a 2/3 da espessura da camada compactada.

Fonte: Autor (2021).

Tabela 5 – Granulometria dos materiais – agregado natural (solo e materiais granulares)

TIPOS PENEIRA	I				II	
	A	B	C	D	E	F
	% em peso passando					
2"	100	100	—	—	—	—
1"		75-90	100	100	100	100
3/8"	30-65	40-75	50-85	60-100	...	—
Nº4	25-55	30-60	35-65	50-85	55-100	70-100
Nº10	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100	55-100
Nº40	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50	30-70
Nº200	2-8	5-15	5-15	10-25	6-20	8-25

Fonte: Manual de Pavimentação do DNIT (2006).

Os requisitos apresentados na tabela acima impostos aos Agregados Reciclados Classe A foram obtidos com base nas Normas ABNT NBR 15115:2004: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos e ABNT NBR 15116:2004: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos Resíduos

sólidos – Classificação. Já os requisitos impostos aos Agregados Naturais, tanto os requisitos referentes a solo e materiais granulares, como os referentes a materiais rochosos foram obtidos com base no Manual de Pavimentação do DNIT (DNIT, 2006).

Analisando a tabela é possível observar que os ensaios necessários para os agregados reciclados, se assemelham mais com os agregados naturais – solo ou materiais granulares, adicionando-se preocupações no que se refere aos contaminantes que podem estar presentes. As preocupações estão relacionadas com o tamanho e graduação do material, com o CBR e expansão e no que se refere ao agregado natural, com os Limites de Atterberg. Acredita-se que essa semelhança acontece pois em ambos os casos o material considerado já estaria “pronto” para ser utilizado no pavimento, sendo necessário apenas processos posteriores de estabilização, já as ocorrências de materiais rochosos ainda precisaria passar por processos de britagem e peneiramento.

Sabe-se que o agregado reciclado proveniente de resíduos sólidos da construção civil Classe A também passam por processos de britagem e peneiramento, entretanto a avaliação do material no que se refere ao seu uso em camadas de pavimentos acontece posteriormente a esses processos. Caso o agregado reciclado não satisfaça aos requisitos para aplicação em pavimentos, esse material poderá ser utilizado para outros fins, enquanto as instalações de britagem de rocha já são pensadas para um empreendimento específico.

O Manual de Pavimentação do DNIT (DNIT, 2006), no que se refere às pedreiras, listou os ensaios necessários para a avaliação das amostras de rochas, mas não definiu as exigências para a aprovação desse material. Os ensaios necessários são: Abrasão Los Angeles, sanidade, adesividade e, quando necessário, exames de lâmina e raio x. Pelos ensaios, consegue-se perceber que nesse etapa existe uma preocupação maior com a resistência à abrasão da rocha, com o processo de desintegração química quando exposta às condições ambientais e com o possível descolamento do ligante asfáltico da superfície do agregado.

4.3 DEFINIÇÃO E LISTAGEM DOS ENSAIOS MÍNIMOS NECESSÁRIOS E CRITÉRIOS LIGADOS AOS ÍNDICES FÍSICOS DOS RESÍDUOS RECICLADOS PARA USO EM OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO (ETAPA EXECUÇÃO DE OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO)

Como foi possível observar no item 4.1 as sub-bases granulares podem ser constituídas de solos, areias, seixos, pedregulhos, produtos de britagem de rochas ou até mesmo de resíduos sólidos.

Essas camadas também podem ser constituídas, quando adequadamente compactadas, por combinações de materiais que apresentem estabilidade e durabilidade adequadas para resistir às cargas do trânsito e à ação dos agentes climáticos.

Os solos e os agregados empregados na pavimentação devem apresentar determinadas propriedades, para que possam ser utilizados. Entre as propriedades, destaca-se:

- **Tamanho e graduação:** o tamanho máximo do agregado e sua graduação são controlados por especificações que prescrevem a distribuição granulométrica a ser usada para uma determinada aplicação. A distribuição granulométrica assegura a estabilidade da camada de revestimento asfáltico, por estar relacionada ao entrosamento entre as partículas e o consequente atrito entre elas.
- **Limpeza:** alguns agregados contêm certos materiais que os tornam impróprios para utilização em revestimentos asfálticos, a menos que a quantidade desses materiais seja pequena. O ensaio de equivalente de areia determina a proporção relativa de materiais do tipo argila ou pó em amostras de agregados miúdos.
- **Resistência à abrasão:** durante o processo de manuseio e execução, bem como durante a ação do tráfego, os agregados estão sujeitos a quebras e abrasão. Portanto, esses materiais devem possuir habilidade para resistir a quebras, degradação e desintegração. Quanto mais próximos da superfície do pavimento, maior deve ser a resistência.
- **Forma das partículas:** a forma dos agregados influi na trabalhabilidade, na resistência ao cisalhamento e muda a energia de compactação para se alcançar determinada densidade. A forma deve ser avaliada, no caso de agregados graúdos, necessitando apresentar um bom índice de forma (f), ou seja, sem partículas muito alongadas e lamelares.
- **Sanidade:** agregados com boas características de resistência podem sofrer processos de desintegração química quando expostos às condições ambientais no pavimento. Os agregados devem possuir resistência à desintegração química satisfatória.
- **Massa específica do agregado:** no estudo de agregados são definidas três designações de massa específica: real, aparente e efetiva.

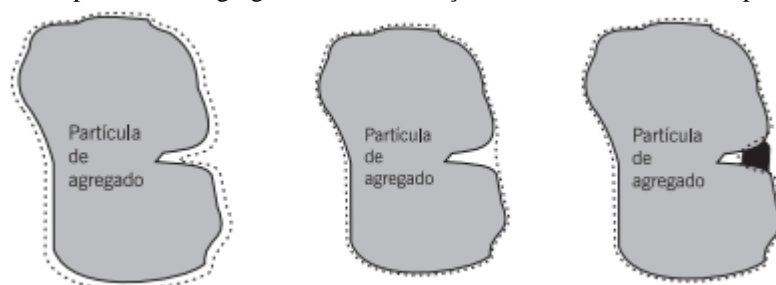
A massa específica real (G_{sa}), em g/cm^3 , é determinada através da relação entre a massa seca e o volume real. O volume real é o volume dos sólidos, desconsiderando o volume de quaisquer poros ou capilares na superfície que são preenchidos pela água após embebição de 24 horas.

A massa específica aparente (G_{sb}), em g/cm^3 , é determinada quando se considera o material como um todo (forma aparente), sem descontar os vazios. É determinada dividindo-se a massa seca pelo volume aparente do agregado, que inclui o volume de agregado sólido mais o volume dos poros superficiais contendo água. É medida quando o agregado está na condição superfície saturada seca (SSS). Esta condição em laboratório é obtida por remoção cuidadosa manual da água da superfície dos agregados com o uso de um tecido absorvente.

A massa específica efetiva (G_{se}), em g/cm^3 , é determinada quando se trabalha com misturas asfálticas cujo teor de ligante asfáltico seja conhecido. É calculada através da relação entre a massa seca da amostra e o volume efetivo do agregado. O volume efetivo é constituído pelo volume do agregado sólido e o volume dos poros permeáveis à água que não foram preenchidos pelo asfalto. A massa específica efetiva não é comumente medida diretamente, sendo frequentemente tomada como a média entre a massa real e a aparente. Essa prática só é adequada quando o volume de poros superficiais é baixo, ou seja, para agregados de baixa absorção, ou seja, inferior a 2%.

Quando se trabalha com uma mistura de duas ou mais frações, pode-se computar um valor para a massa específica média através de um valor ponderado das várias frações (agregados) que constituem a mistura.

Figura 8 – Esquema da partícula de agregado na determinação das G_{sa} , G_{sb} e G_{se} , respectivamente



Fonte: Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros (2006).

- **Massa específica seca máxima e umidade ótima:** a compactação é um método de estabilização obtido pela transferência de energia a solos e agregados, através de processos manuais ou mecânicos. Esses processos atuam conferindo ao material maior massa específica seca máxima, aumentando a sua resistência ao cisalhamento e diminuindo o seu índice de vazios, sua permeabilidade e sua compressibilidade. É possível correlacionar o teor de umidade e a massa específica seca do material. Ao se aumentar o teor de umidade do material para cada estado de compactação, a massa específica da amostra crescerá até um limite máximo, para, então, decrescer. O teor de umidade ótima correspondente ao teor de umidade que confere ao material o valor de massa específica seca máxima, proporcionando ao pavimento maior estabilidade.
- **Limites de consistência ou de Atterberg:** a influência das frações finas de um material não é definida apenas pela granulometria, pois as suas propriedades dependem também do teor de umidade, da esfericidade, do arredondamento e da composição química e mineralógica das partículas. Os ensaios de Limites de Consistência ou Limites de Atterberg são comumente utilizados na avaliação do material, objetivando o estudo de seus diferentes estados em presença de água. Nos ensaios de consistência, são obtidos os limites de liquidez e de plasticidade, bem como o índice de plasticidade (diferença entre esses dois limites). São adotados valores máximos admissíveis buscando evitar a perda de suporte ou a expansão excessiva da camada do pavimento.
- **Índice de Suporte Califórnia – *California Bearing Ratio (CBR)*:** através do ensaio é possível conhecer a expansão do material quando submetido a um processo de saturação. O CBR expressa as características de deformabilidade e de resistência do material submetido a carga estática, em condições saturadas.
- **Degradação:** o ensaio de degradação tem como objetivo analisar o comportamento do material em função do desgaste sofrido durante a compactação. O ensaio consiste na análise das características granulométricas das misturas obtidas, com a realização de ensaios de granulometria antes e depois do processo de compactação. O índice de degradação é obtido através do deslocamento médio da curva granulométrica da amostra degradada pelo ensaio de compactação, em relação à amostra inicial, e apresenta-se como um parâmetro para avaliação, em laboratório, do desempenho de materiais

compactados. O valor crítico do índice de degradação ocorre quando a curva granulométrica ultrapassa os limites especificados para a faixa adotada, ou quando é possível identificar uma brusca inflexão da curva granulométrica, causada por uma fratura mais significativa de certo tamanho de partículas.

Além dessas propriedades, outras também devem ser estudadas, quando o agregado estiver em contato direto com o ligante asfáltico. Como por exemplo:

- **Absorção:** a porosidade de um agregado é normalmente indicada pela quantidade de água que ele absorve quando imerso. Um agregado poroso irá absorver parte do ligante asfáltico necessário para dar coesão à mistura, sendo necessário a incorporação de uma quantidade de ligante adicional, tornando a mistura asfáltica mais cara.
- **Adesividade ao ligante asfáltico:** o efeito da água em separar ou descolar a película de ligante asfáltico da superfície do agregado pode torná-lo inaceitável para uso em misturas asfálticas. Esse agregado é denominado de hidrófilo.
- **Textura superficial:** influi na trabalhabilidade, na adesividade, e na resistência ao atrito e ao cisalhamento das misturas asfálticas para pavimentação. À medida que aumenta a rugosidade do agregado, há uma tendência de perda de trabalhabilidade da mistura asfáltica e de crescimento da resistência ao cisalhamento dessa mistura, bem como do teor de ligante asfáltico de projeto.

Tabela 6 – Requisitos impostos aos agregados na etapa execução de obras de pavimentação

Propriedade	Ensaio	Requisitos Agregado Reciclado Classe A		Requisitos Agregado Natural	
		Graúdo	Miúdo	Graúdo	Miúdo
Tamanho e graduação	ABNT NBR 7181/2016 Versão Corrigida 2/2018 – Composição granulométrica	Não uniforme e bem graduado com $C_u \geq 10$		-	
Tamanho e graduação	ABNT NBR 7181/2016 Versão Corrigida 2/2018 – Teor de material passante na peneira 0,42 mm	Entre 10% e 40%		-	

Tamanho e graduação	ABNT NBR NM 248/2003 – Dimensão máxima característica	$\leq 63,5 \text{ mm}^{(5)}$		-	
Tamanho e graduação Limpeza	DNER-ME 080/94 – Composição granulométrica	-		A fração retida na peneira nº 10 deve ser constituída de partículas duras, isentas de fragmentos moles, material orgânico ou outras substâncias prejudiciais	
Limpeza	DNER-ME 054/97 ou ABNT NBR 12052/92 - Equivalente de Areia	N/A	-	N/A	>55%
Limpeza	ABNT NBR 15116/2004 – Contaminantes: materiais não minerais de mesmas características ⁽¹⁾	2% ⁽²⁾		-	
Limpeza	ABNT NBR 15116/2004 – Contaminantes: materiais não minerais de características distintas ⁽¹⁾	3% ⁽²⁾		-	
Limpeza	ABNT NBR 9917/2009 – Contaminantes: sulfatos	2% ⁽²⁾		-	
Resistência à abrasão	DNER-ME 035/98 ou ABNT NBR NM 51/2001 – Agregados – determinação da abrasão Los Angeles.	-	N/A	$\leq 65\%$	N/A
Resistência à abrasão	DNER-ME 197/97 ou ABNT NBR 9938/2013 – Agregados – determinação da resistência ao esmagamento de agregados gráudos.	-	N/A	$E \geq 60$	N/A
Resistência à abrasão	DNER-ME 096/98 Agregado gráudo – avaliação da resistência mecânica pelo método dos 10% de finos.	-	N/A	10% finos $\geq 60 \text{ kN}$	N/A

Resistência à abrasão	DNER-ME 397/99 Agregados – determinação do índice de degradação Washington – IDW.	-	N/A	IDW \geq 30	N/A
Resistência à abrasão	DNER-ME 398/99 Agregados – determinação do índice de degradação após compactação Proctor IDP.	-	N/A	IDP \leq 6	N/A
Resistência à abrasão	DNER-ME 399/99 Agregados – determinação da perda ao choque no aparelho Treton.	-	N/A	T \leq 60%	N/A
Resistência à abrasão	DNER-ME 401/99 Agregados – determinação do índice de degradação de rochas após compactação Marshall, com ligante – IDML e sem ligante – IDM.	-	N/A	ID _{ML} com ligante \leq 5 ID _{ML} sem ligante \leq 8	N/A
Forma das Partículas	ABNT NBR 7809/2019 e DNER-ME 086/94 – Índice de forma	\leq 3	N/A	f \geq 0,5	N/A
Sanidade	DNER-ME 089/94	-	N/A	\leq 12%	N/A
Índice de Suporte Califórnia	ABNT NBR 9895/2016 Versão Corrigida 2017 ou DNER-ME 049/94 – ISC (CBR) ⁽³⁾	\geq 20%		\geq 20%	
Índice de Suporte Califórnia	ABNT NBR 9895/2016 Versão Corrigida 2017 ou DNER-ME 049/94 – Expansibilidade ⁽³⁾	\leq 1,0%		\leq 1,0% ⁽⁴⁾	
Massa específica seca e umidade ótima	ABNT NBR 7182/2016 Versão Corrigida 2020 ou DNER-ME 129/94 – Ensaio de Compactação	-		Energia do Método B (Intermediária), ou maior que esta	
Limites de Atterberg	ABNT NBR 6459/2016 Versão Corrigida 2017 ou DNER-ME 122/94 – Limite de Liquidez (LL)	N/A	-	N/A	< 25%
Limites de Atterberg	ABNT NBR 7180/2016 ou DNER-ME 082/94 – Limite de Plasticidade (LP)	N/A	-	N/A	<6%
Limites de Atterberg	Índice de Grupo (IG)	N/A	-	N/A	IG = 0 ⁽⁴⁾

- (1) São exemplos de materiais não minerais: madeira, plástico, betume, materiais carbonizados, vidros e vidrados cerâmicos.
- (2) Teores máximos em relação à massa do agregado reciclado.
- (3) Requisitos específicos para agregado destinado a pavimentação para execução de sub-base.
- (4) No caso de solos lateríticos, os materiais podem apresentar Índice de Grupo diferente de zero e expansão >1,0%, desde que no ensaio de expansibilidade (DNER-ME 029/94) apresente um valor inferior a 10%.
- (5) Tolerância de 5% da porcentagem retida, em massa na peneira de 63,5 mm, limitada a 2/3 da espessura da camada compactada.

Fonte: Autor (2021).

A tabela acima foi elaborada baseada nas normas técnicas da ABNT — Associação Brasileira de Normas Técnicas e do DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, bem como em buscas na literatura técnico-científica.

Os requisitos impostos aos Agregados Reciclados Classe A foram obtidos com base nas Normas ABNT NBR 15115:2004: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos e ABNT NBR 15116:2004: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos Resíduos sólidos – Classificação. Em pesquisas realizadas na Coletânea de Normas Vigentes do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) não foram identificadas normas que tratassem da utilização de agregados reciclados para a execução de sub-bases de pavimentos. O assunto também não foi abordado no Manual de Pavimentação do DNIT (DNIT, 2006).

Os requisitos impostos aos Agregados Naturais foram obtidos com base na Norma DNIT 139/2010 – ES: Pavimentação – Sub-base estabilizada granulometricamente – Especificação de serviço e também com base na literatura técnico-científica. Foi encontrada na literatura muitas citações das condições exigíveis para os materiais a serem utilizados na execução de camadas de sub-base fixadas pela ABNT NBR 11804/1991: Materiais para sub-base ou base de pavimentos estabilizados granulométricamente – Especificação. Entretanto, essa Norma encontra-se cancelada e segundo o catálogo da ABNT o motivo do cancelamento foi de que a Norma não é mais utilizada pelo setor. Não encontrou-se outra norma equivalente à esta que se encontra cancelada.

Dessa forma, conclui-se que é necessário a revisão e/ou inclusão de Normas que abordem a utilização de agregados reciclados em camadas de pavimentação e imponham os requisitos para os materiais a serem utilizados, principalmente por parte do DNIT.

Os critérios impostos aos materiais a serem empregados estão relacionados a determinadas propriedades que esses materiais devem possuir para que possuam estabilidade e durabilidade adequadas para resistir às cargas do trânsito e à ação dos agentes climáticos. Dessa forma, independente do material que será utilizado, ou da combinação de materiais, é essencial que para utilização em camadas de pavimentos, esses materiais sejam submetidos aos ensaios que avaliam cada uma das propriedades apresentadas nesse capítulo.

4.4 DETERMINAÇÃO DE CRITÉRIOS PARA CRIAÇÃO DE UMA PROPOSTA PARA RASTREAMENTO E CERTIFICAÇÃO AMBIENTAL DO AGREGADO PROVENIENTE DA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL PARA USO EM OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO

Nos dias atuais, é crescente a discussão sobre a sustentabilidade no modelo econômico, uma vez que o seu desenvolvimento provoca impactos ambientais por dois aspectos: o consumo de recursos naturais acima da capacidade de recuperação do planeta e pela crescente descarga de resíduos sólidos, líquidos e gases, que têm provocado fortes implicações socioambientais.

A utilização de agregados reciclados provenientes de resíduos sólidos da construção civil em obras de pavimentação reduz os impactos ambientais em ambos os aspectos, visto que por um lado reduz o volume de resíduos sólidos que seriam descartados no meio ambiente de forma inadequada e, por outro, reduz a utilização dos recursos naturais (agregados naturais), visto que esse será substituído, total ou parcialmente, por um recurso reciclado.

O padrão internacional de normas ISO 14000 tem a finalidade de padronizar e harmonizar métodos e procedimentos que estejam envolvidos em um determinado processo produtivo e possui duas frentes:

- **Organização:** dispões de normas sobre o Sistema de Gestão Ambiental (SGA), a Avaliação do Desempenho Ambiental e a Auditoria Ambiental.
- **Produto:** padronização da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e a Rotulagem Ambiental.

A ACV é uma técnica para avaliar aspectos ambientais e impactos potenciais associados a um produto mediante a compilação de um inventário de entradas e saídas pertinentes a um sistema de produto, a avaliação dos impactos ambientais potenciais associados e essas entradas e saídas e a interpretação dos resultados das fases de análise de inventário e de avaliação de impactos em relação aos objetivos dos estudos.

A Rotulagem Ambiental de Produtos objetiva a divulgação de aspectos ambientais de um produto visando promover a demanda por produtos com menor impacto sobre o ambiente e a sua valorização pelo consumidor. De forma a evitar o uso indevido do meio ambiente para valorização de um produto, existe a necessidade de normatização. As ISO 14000 relacionadas ao produto estão divididas nas que se referem à Rotulagem Ambiental (ISO 14020 A 14024) e à Avaliação do Ciclo de Vida (ISO 14040 A 14043).

A ISO 14020 trata dos princípios básicos de Rótulos e Declarações Ambientais. As Declarações se apresentam de três tipos:

- **Tipo I:** declarações feitas e atestadas por organizações externas, à exemplo dos selos verdes. São regidas pela Norma ISO 14024;
- **Tipo II:** denominadas de autodeclarações e regidas pela Norma ISO 14021, referem-se àquelas elaboradas e comunicadas pela própria empresa, sem a participação/confirmação de outras empresas;
- **Tipo III:** ainda não é norma, mas sim, um Relatório Técnico da ISO que define a aplicação de uma ACV individualizada, com revisão crítica externa, padrão de apresentação dos resultados, tendo grande importância para o comércio internacional. São regidas pela Norma ISO 14025, que ainda se encontra em fase de elaboração e discussão em função da complexidade e dificuldade que envolve seu processo de implementação.

Independentemente do tipo de rotulagem ambiental utilizado, elas devem seguir, segundo a ISO 14020, os seguintes princípios:

- Não devem ser feitas para criarem barreiras comerciais;
- Proibido declarações generalizadas e de difícil comprovação, como as do tipo: o produto promove o desenvolvimento sustentável;
- As informações sobre os atributos ambientais do produto devem ser dadas aos clientes quando solicitadas;
- Devem se basear na ciência e não em mitos populares;
- Não podem ser enganosas;
- Precisam ser de fácil verificação.

Inicialmente será proposta a implementação da declaração Tipo II: denominadas de autodeclarações. A preferência por esse tipo está relacionada a aspectos como a existência de

poucos selos verdes disponíveis e com a não necessidade do envolvimento de terceiros (empresas certificadoras) para que esse tipo de rotulagem seja utilizado, o que reduz os custos com rotulagem. A forma de comunicação do atributo também é mais simples e objetiva, facilitando o entendimento pela população.

A construção da autodeclaração será guiada pela norma ISO 14021:2017. A empresa que produz o agregado reciclado deve possuir Licenciamento Ambiental e o primeiro passo, é a avaliação do ciclo de vida do produto. Para essa avaliação, é proposto que seja feito o mapeamento de todo o processo de produção do agregado reciclado com a fronteira do sistema delimitada (como por exemplo, do portão ao portão – desde a chegada de resíduos, até a obtenção e comercialização do agregado reciclado com o rótulo ambiental). O mapeamento servirá de suporte para a avaliação dos impactos ambientais em cada uma das atividades envolvidas.

Figura 9 – Esquema do Mapeamento do Processo



Fonte: Autor (2021).

Recomenda-se a utilização de indicadores como forma de gerar um histórico de dados que vão contribuir para a determinação do progresso e o alcance de metas. Através dos resultados, também será possível a comparação com os resultados produzidos por empresas que produzem agregados convencionais. Pode-se inserir parâmetros que indiquem o consumo de água e energia, a quantidade de resíduo aproveitado, as emissões de carbono etc.

Os resultados serão o suporte para as autodeclarações, tais como: baixo consumo de energia durante a produção, consumo reduzido de água, redução de resíduos, elevado índice de conteúdo reciclável, materiais não-tóxicos etc.

Como um dos objetivos é a utilização do agregado reciclado em obras de pavimentação, recomenda-se que a empresa realize os ensaios constantes no item “Ensaio mínimos necessários e critérios ligados aos parâmetros físicos dos resíduos reciclados para uso em obras de pavimentação - etapa produção do agregado”. Dessa forma, a empresa possuirá dados para declarar que o agregado reciclado poderá ser utilizado para esse fim.

5. CONCLUSÕES

Com base nas análises dos resultados, pode-se concluir que a pesquisa obteve êxito no mapeamento das atividades e critérios de aceitação do agregado proveniente do resíduo da construção e demolição e que, comparando-se com o agregado natural, o processo envolve um menor número de atividades, visto que não haveriam todas as etapas referentes à busca pela fonte de matéria-prima (jazida). O Distrito Federal produz, todos os dias, uma quantidade de RDC e a maior preocupação não seria a disponibilidade do material, visto que a sub-base pode ser composta por uma combinação de materiais, mas sim, com a qualidade desse material e cumprimento dos requisitos para a aplicação em sub-bases de pavimentos, preocupação essa, que também é fundamental para o agregado natural.

Analisando-se o processo como um todo, incluindo-se o embasamento legal, percebe-se que a legislação encontra-se cada vez mais restritiva à atividade mineral e que surge a necessidade da busca por fontes que tragam um menor impacto ao meio ambiente.

Em relação aos impactos ambientais, é crescente a discussão sobre a sustentabilidade no modelo econômico. Existe a necessidade de minimizar os prejuízos e não somente, como também, a divulgação de aspectos ambientais de um produto, visando promover e valorizar produtos que tragam um menor impacto ao meio ambiente. Para evitar o uso indevido do meio ambiente, existe a necessidade de normatização.

No que se refere a criação de uma proposta para rastreamento e certificação ambiental, conclui-se que foi possível compreender os princípios básicos de Rótulos e Declarações Ambientais e, dessa forma, tornou-se possível a descrição dos caminhos que devem ser tomados para a certificação do produto, atendendo ao objetivo da pesquisa.

Por último, com relação à definição e listagens dos ensaios mínimos e critérios ligados aos parâmetros físicos dos resíduos reciclados para uso em obras de pavimentação, tanto na etapa produção do agregado, quanto na etapa execução de obras de pavimentação, considera-se que os objetivos foram parcialmente atendidos, visto que encontrou-se limitações no que diz respeito à definição de exigências por parte das normas técnicas brasileiras, principalmente, por parte do DNIT. Não foi possível determinar todos os requisitos que esse material deve possuir.

Os critérios impostos aos materiais a serem empregados estão relacionados a determinadas propriedades que esses materiais devem possuir para que possuam estabilidade e durabilidade adequadas para resistir às cargas do trânsito e à ação dos agentes climáticos. Dessa forma, independente do material que será utilizado, ou da combinação de materiais, é essencial

que para utilização em camadas de pavimentos, esses materiais sejam submetidos aos ensaios que foram pensados para a análise de cada uma das propriedades. Dessa maneira, conclui-se que é necessário a revisão e/ou inclusão de Normas que abordem a utilização de agregados reciclados em camadas de pavimentação e imponham os requisitos para os materiais a serem utilizados.

5.1 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

- Mapeamento do processo de produção de agregados reciclados, avaliação dos impactos ambientais em cada uma das atividades envolvidas e estudo de indicadores em uma usina de reciclagem;
- Aplicações de melhorias no processo de produção de agregados reciclados, criação de um banco de dados com os resultados de indicadores e acompanhamento de retornos obtidos;
- Comparação do resultado de indicadores produzidos por empresas que produzem agregados reciclados e empresas que produzem agregados convencionais;
- Pesquisa de viabilidade econômica do emprego do agregado reciclado como substituição do agregado natural em sub-bases de empreendimentos rodoviários;
- Avaliação do potencial de utilização do agregado reciclado para uso em sub-base de pavimentos; e
- Critérios de avaliação do agregado reciclado, proveniente de resíduo da construção civil, para uso em outras camadas do pavimento, bem como, para uso em aterros na etapa de terraplenagem.

REFERÊNCIAS

AMBIENTE MELHOR. Classificação de selos ambientais. Disponível em: <<http://www.ambientemelhor.com.br/index.php/artigos/item/112-classificacao-de-selos-ambientais>> Acesso em: 09 mai. 2021.

Anotações de aula do Prof. D.Sc. Luiz Guilherme Rodrigues de Mello do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15114: Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15115: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15116: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISSO 14020: Rótulos e declarações ambientais - Princípios Gerais. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISSO 14021: Rótulos e declarações ambientais — Autodeclarações ambientais (rotulagem do tipo II). Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISSO 14024: Rótulos e declarações ambientais - Rotulagem ambiental do tipo I - Princípios e procedimentos. Rio de Janeiro, 2004.

BEJA, I. A. Agregado reciclado de construção e demolição com adição de aglomerantes hidráulicos como sub-base de pavimentos. 2014. 219p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

BERNUCCI, L. B. et al. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2006.

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Manual de Pavimentação. 3ªed. Rio de Janeiro, 2006.

BRASIL. Lei nº 3.984, de 28 de maio de 2007. Cria o Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Distrito Federal — Brasília Ambiental e dá outras providências.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.

BRASIL. Lei nº12.305, de 2 de agosto de 2010. Dispõe a instituição da Política Nacional de Resíduos Sólidos.

BU, T. G. C.; FREITAS, L. S. Análise de produtos verdes à luz das estratégias de *Ecodesign* e da rotulagem ambiental: O caso Greenvana. *Sistemas & Gestão* 12 (2017), pp 158-169.

CARNEIRO, A. P.; BURGOS, P. C.; ALBERTE, E. P. V. Uso do agregado reciclado em camadas de base e sub-base de pavimentos. Disponível em: <https://www.pick-upau.org.br/mundo/reciclagem_entulho/capitulo_06.pdf> Acesso em: 13 nov. 2020.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Brasília. 2002. Resolução CONAMA nº237, de 19 de dezembro de 1997.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Brasília. 2002. Resolução CONAMA nº307, de 5 de julho de 2002.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. 139/2010 – ES: Pavimentação – Sub-base estabilizada granulometricamente - Especificação de serviço. Rio de Janeiro: IPR, 2010.

DISTRITO FEDERAL, Governo de Brasília. Plano Distrital de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. Distrito Federal, 2018.

LEITE, F. C. Comportamento mecânico de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil em camadas de base e sub-base de pavimentos. 2007. 185p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

LIMA, A. S.; CABRAL, A. E. B. Caracterização e classificação dos resíduos de construção civil da cidade de Fortaleza (CE). Eng Sanit Ambient, v.18 n.2, abr/jun 2013, 169-176. Disponível em: [https://www.scielo.br/pdf/esa/v18n2/a09v18n2#:~:text=A%20NBR%2010004%20\(ABNT%2C%202004a,B%20%E2%80%93%20n%C3%A3o%20perigosos%20e%20inertes](https://www.scielo.br/pdf/esa/v18n2/a09v18n2#:~:text=A%20NBR%2010004%20(ABNT%2C%202004a,B%20%E2%80%93%20n%C3%A3o%20perigosos%20e%20inertes)>. Acesso em: 08 out. 2020.

MARQUES, G. L.O. Notas de aula da disciplina Pavimentação. Versão: 2006. Disponível em: <https://www.ufjf.br/pavimentacao/files/2009/03/Notas-de-Aula-Prof.-Geraldo.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2021.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. A Problemática "Resíduos Sólidos". Disponível em: <https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos/contextos-e-principais->

