FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA
NÚCLEO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
MESTRADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO REGIONAL E MEIO AMBIENTE

UTILIZAÇÃO DE ARGILAS CALCINADAS PARA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE CIMENTO PORTLAND EM MISTURAS DE CONCRETO

DAIANE TELLES DA SILVA

Porto Velho (RO)
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Fundação Universidade Federal de Rondônia

Gerada automaticamente mediante informações fornecidas pelo(a) autor(a)

S586u Silva, Daiane.

Utilização de argilas calcinadas para substituição parcial de cimento Portland em misturas de concreto / Daiane Silva. -- Porto Velho, RO, 2021.

52 f.

Orientador(a): Prof. Dr. Jairo André Schlindwein

Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente) - Fundação Universidade Federal de Rondônia

1.Cimento Portland. 2.Pozolanas. 3.Concreto. 4.Meio Ambiente. I. Schlindwein, Jairo André. II. Título.

CDU 691.32:666.94

Bibliotecário(a) Luã Silva Mendonça CRB 11/905

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA
NÚCLEO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
MESTRADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO REGIONAL E MEIO AMBIENTE

DAIANE TELLES DA SILVA

Orientador: Prof. Dr. Jairo André Schlindwein

Dissertação de Mestrado apresentada junto ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, Área de Concentração em Engenharia, para obtenção do Título de Mestre em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente.

Porto Velho (RO)
2021

DAIANE TELLES DA SILVA

UTILIZAÇÃO DE ARGILAS CALCINADAS PARA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE CIMENTO PORTLAND EM MISTURAS DE CONCRETO

Comissão Examinadora

Documento assinado eletronicamente por **JAIRO ANDRE SCHLINDWEIN**, **Presidente**, em 31/03/2021, às 17:48, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento noart. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

Documento assinado eletronicamente por **DIEGO HENRIQUE DE ALMEIDA**, **Examinador Externo**, em 01/04/2021, às 11:26, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

Documento assinado eletronicamente por **PETRUS LUIZ DE LUNA PEQUENO**, **Docente**, em 06/04/2021, às 00:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, doDecreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

Documento assinado eletronicamente por **Daiane Telles da Silva**, **Usuário Externo**, em 31/03/2021,às 17:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539,de 8 de outubro de 2015.

Porto Velho, 31 de março de 2021.

Resultado: Aprovada.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Jeová Deus, soberano criador do universo, pela dádiva da vida. Ele em toda sua glória nos permitiu viver até aqui, e todos os dias nos mostra seu amor e benignidade imerecida.

Agradecer a minha família, meu pai Loreni Telles, minha mãe Maria Ocilânia Lima Bezerra e meu irmão Guilherme Telles. De todo meu coração, agradeço ao meu companheiro Franklin Veríssimo, que desde 2013 me apoia e me faz sentir capaz de realizar os feitos mais improváveis. Amo vocês e serei eternamente grata por tudo.

Agradeço ao meu orientador, o professor Jairo André por sua orientação, sempre paciente e tranquilo. Obrigada pelas correções, sugestões e pelo tempo despendido neste trabalho. Agradeço também ao PGDRA pela oportunidade, aos professores pelo compartilhamento do conhecimento e a Dona Isabel pelo suporte acadêmico.

Jamais poderia deixar de agradecer a toda equipe do departamento de engenharia civil da UNIR. Aos professores Lívia Maria, Diego e Petrus por toda a ajuda que me forneceram. Agradeço também aos técnicos deste departamento, André e Arione, por todo suporte e apoio durante esta pesquisa. Gostaria também de agradecer ao Centro Universitário São Lucas, por me fornecer alguns de seus laboratórios. Nesta instituição não posso deixar de deixar meu muito obrigada a Jayne Piovesan, coordenadora do curso de engenharia civil, por toda ajuda e compreensão, deixo aqui meu muito obrigada. Por fim, ao professor Guilherme, que me guiou no caminho da estatística, sempre paciente e otimista.

Meus agradecimentos finais reservo a duas pessoas de extrema importância nestes quase 3 anos de mestrado. A primeira delas, Raduan Krause, alguém que merece este título tanto quanto eu, aquele que fez tudo que estava ao seu alcance para me dar suporte didático, bem como não mediu esforços para me proporcionar a estrutura física necessária a concluir esta pesquisa, principalmente durante este período em que fomos acometidos pela pandemia do COVID-19. A segunda, Pedro Ignácio, aquele que mesmo sem vínculo a este trabalho, compartilhou comigo conhecimento, muitos conselhos quando tudo pareceu dar errado, e até mesmo seu tempo (inclusive sábados) para me acompanhar durante algumas fases deste trabalho. A vocês dois meus amigos, nem todas as páginas desta dissertação seriam suficientes para agradecer.

“Compreender as coisas que nos cercam é a melhor preparação para entender as coisas que estão além.”

Hipátia

RESUMO

Os processos de evolução humana são inevitáveis e constantes, principalmente no que tange ao desenvolvimento da infraestrutura da sociedade. Acompanhando esse desenvolvimento, há um material com origem muito antiga e que vem sendo utilizado até hoje, o cimento Portland. Este, ainda é fabricado com um processo altamente impactante ao meio ambiente, principalmente pelas extrações na natureza e emissões de CO_2 na atmosfera, fazendo com que muitas pesquisas fossem e ainda sejam desenvolvidas, visando encontrar materiais alternativos ao cimento Portland. Para substituição do cimento muito se tem estudado sobre a calcinação de materiais de forma a se obter pozolanas. Neste sentido, este trabalho busca avaliar o potencial pozolânico de argilas provenientes de jazidas o estado de Rondônia, de forma a substituir o cimento em diferentes porcentagens dentro de misturas de concreto e posteriormente analisar suas características de resistência mecânica à compressão. A pesquisa foi desenvolvida nos Laboratório de Materiais de Construção Civil (LabMat) e Laboratório de Estruturas e Ensaios Mecânico (LaEEM) ambos vinculados ao Departamento de Engenharia Civil (DECIV) da Universidade Federal de Rondônia (UNIR) em Porto Velho-RO. Para o desenvolvimento da mesma, foram coletadas amostras deformadas de solo na profundidade de 1,20 nos municípios de Cacoal; Candeias do Jamari; Ji-Paraná; Pimenta Bueno e Porto Velho. Em laboratório as amostras foram inicialmente secas naturalmente, peneiradas e secas em estufa. Posteriormente realizou-se a calcinação destas amostras por meio de tratamento térmico a 800º C em forno tipo mufla. As amostras calcinadas foram analisadas por fluorescência de raio-X e classificadas como pozolânicas ou não. Foram selecionadas duas amostras, a de maior e a de menor teor de dióxido de silício, para serem utilizadas como substitutas parciais do cimento Portland em misturas de concreto. As substituições foram realizadas nas porcentagens de 10, 30 e 50%, além de uma mistura de concreto sem nenhuma substituição (traço controle). Foram realizados testes de trabalhabilidade e desenvolvidos corpos de prova para todos os concretos produzidos para análise de resistência mecânica a compressão do traço controle e dos traços com substituição pozolânica. Para os testes de consistência somente o concreto feito com a substituição de 10% de pozolana proveniente de amostras de solo de Candeias do Jamari atendeu aos requisitos da ABNT NBR 8953:2015, todos os outros concretos tiveram restrição em seu uso, no entanto problemas de consistência podem ser resolvidos com o uso de aditivos para concreto. Os valores de resistência mecânica à compressão exigidos pela ABNT NBR 6118:2014 apresentaram aumentos graduais ao longo do tempo, porém somente na substituição de 10% de amostras de Candeias do Jamari e Ji-Paraná atingiram a resistência mínima de 20 MPa para ser considerado um concreto estrutural; em Ji Paraná a substituição de até 30% atingiu o mínimo de 15 MPa para ser considerado um concreto, mas sem fins estruturais.

Palavras-chave: Cimento Portland, Pozolanas, Concreto, Meio Ambiente.

ABSTRACT

The human Evolution process are inevitable and constants, mainly regarding the development of society's infrastructure. Keeping up with this development, there is a material with a very old origin and which has been used until today, the Portland cement. This is still manufactured with a process that is highly impactful for the environment, mainly by the extractions in nature and atmosphere CO2 emissions, causing a lot of research that was and is still being developed, aiming to find alternative materials to Portland cement. For cement replacement, much has been studied on the calcination of materials in order to obtain pozzolans. In this regard, this work seeks to evaluate the pozzolanic clays potential from Rondonia state deposits, in order to replace cement in different percentages within concrete mixtures and later analyze its mechanical strength compression characteristics. The research was carried out at the Civil Construction Material Laboratory (LabMat) and the Structures and Mechanical Testing Laboratory (LaEEM), both linked to the Department of Civil Engineering (DECIV) of the Rondonia Federal University (UNIR) in Porto Velho – RO. For its development, deformed soil samples were collected at a depth of 1.20 in the cities of Cacoal; Candeias do Jamari; Ji-Paraná; Pimenta Bueno and Porto Velho. At the laboratory, the samples were initially dried naturally, sieved and oven dried. Subsequently, these samples were calcined by heat treatment at 800°C in a muffle furnace. The calcined samples were analyzed by X-ray fluorescence and classified as pozzolanic or not. Two samples were selected, the higher and lowest dioxide silicon content, to be used as partial substitute of Portland cement in concrete mixtures. The replacement was performed in percentages of 10, 30 and 50%, besides a concrete mix without any replacement (control trace). Workability tests were performed and developed specimens for all concrete produced for analysis of control trace mechanical resistance compression and the traces with pozzolanic replacement. For consistency tests, only the concrete made with the 10% pozzolan replacement from Candeias do Jamari soil samples met the requirements of ABNT NBR 8953:2015, all other concretes were restricted in their use, however consistency problems can be solved with the use of concrete additives. The compressive strength values required by ABNT NBR 6118:2014 showed gradual increases over time, however only in the 10% replacement samples from Candeias do Jamari and Ji-Parana reached the minimum strength of 20MPa to be considered structural concrete; in Ji-Paraná the replacement of up to 30% reached the minimum of 15MPa to be considered as concrete, but without structural purposes.

Keywords: Portland Cement, Pozzolans, Concrete, Environment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Procedimento de coleta de amostra de solo em diferentes localidades..... 21
Figura 2 Curva para determinar o fator *água*/cimento..... 25
Figura 3 Fluxograma do método ABCP..... 26
Figura 4 Medida do abatimento..... 29
Figura 5 Corpos de prova das amostras de Candeias do Jamari e Ji-Paraná..... 30
Figura 6 Retífica faceadora de corpos de prova 32
Figura 7 Rompimento de um dos corpos de prova 33
Figura 8 Testes de trabalhabilidade do concreto com substituição parcial de cimento por pozolana (a)50%; (b)30% e (c)10% nas amostras de Ji-Paraná. 38
Figura 9 Testes de trabalhabilidade do concreto com substituição parcial de cimento por pozolana (a)50%; (b)30% e (c)10% para amostras de Candeias do Jamari. 38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -Tipologias de cimento Portland 9
Tabela 2 Ensaios de caracterização do agregado miúdo 23
Tabela 3 Ensaios de caracterização do agregado graúdo 24
Tabela 4 Resumo do método de cálculo de traço de concreto conforme ABCP 26
Tabela 5 Resultados obtidos para o traço do concreto 27
Tabela 6 Proporção de substituição de pozolana no traço de concreto 27
Tabela 7 Quantidade de corpos de prova (CP) por amostra 31
Tabela 8 - Análise estatística da composição química das amostras coletadas nas cidades de Porto Velho, Candeias do Jamari, Pimenta Bueno, Cacoal e Ji Paraná. 34
Tabela 9 Análise estatística da concentração de caulinita (%) das amostras de solos das cidades de Porto Velho, Candeias do Jamari, Pimenta Bueno, Cacoal e Ji Paraná. 36
Tabela 10 Análise estatística da resistência mecânica à compressão do concreto - Substituições de 10; 30 e 50% para as amostras de solo das cidades de Candeias do Jamari e Ji Paraná. 40

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 5
2 REFERENCIAL TEÓRICO 8
2.1 Cimento Portland e o concreto 8
2.2 Materiais Cimentícios Suplementares 11
2.3 Pozolanas 13
2.3.1 Pozolana como alternativa cimento Portland em concretos 15
3 JUSTIFICATIVA 18
4 OBJETIVOS 19
4.1 Objetivos específicos 19
5 MATERIAIS E MÉTODO 20
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES 34
6.1 Caracterização química das amostras 34
6.2 Traço do concreto e adições pozolânicas 37
6.3 Resistência Mecânica à Compressão 39
7 CONCLUSÃO 43
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS 44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 45
ANEXO A – MAPA DE RECURSOS MINERAIS DO ESTADO DE RONDÔNIA 51

1 INTRODUÇÃO

A evolução humana é de fato constante e inevitável, seja em aspectos físicos do homem ou em relação a modernização constante do meio em que este vive. Muito se descobriu desde o início das civilizações humanas até os dias atuais, principalmente em relação a materiais e equipamentos que auxiliam no desenvolvimento da infraestrutura das cidades. No grupo dos materiais, um muito antigo e amplamente utilizado até hoje é o cimento Portland. Estima-se que os primeiros indícios de utilização de um material com características cimentícias tenha sido utilizado por gregos, romanos e egípcios no início de suas civilizações (NEVILLE, 2016).

Desde as primeiras utilizações de materiais cimentícios até a consolidação do que hoje é chamado cimento Portland, este material sempre apresentou grande demanda de utilização. Dados do *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD) (2016), mostram que o cimento Portland é o segundo material mais consumido do planeta, ficando atrás somente da água. A expressiva utilização de cimento Portland pela sociedade moderna deve ser vista com cautela, principalmente ao se considerar todo o método produtivo deste e de sua matéria de formação básica. Dados fornecidos pelo WBCSD (2017), estimam que o processo produtivo chegue a representar 7% do total de emissões de dióxido de carbono mundial.

Çankaya e Pekey (2019) mostram que o processo de fabricação do cimento Portland envolve grande consumo energético, podendo ser resumido em quatro grandes etapas: a etapa inicial refere-se a preparação de matéria prima; a segunda grande etapa é a clinquerização da farinha crua em forno rotativos, a terceira etapa é a queima de clínquer*;* por fim, a quarta e última etapa é a moagem e mistura das matérias prima para obtenção do cimento.

A preocupação com a preservação e conservação ambiental, de acordo com Scrivenera, John e Gartner (2018), há tempos já está presente no setor de materiais de construção e consolida-se cada vez mais ao longo dos anos. Esta preocupação demonstra-se bem mais consistente em relação a busca por métodos de diminuição dos impactos gerados do cimento Portland, dado seu processo que contribui significativamente para as emissões de CO_2 na atmosfera. Em todo o mundo, são desenvolvidas pesquisas que visem tanto melhorar o processo de produção do cimento Portland, tornando-o menos agressivo, bem como estudos que objetivam encontrar materiais alternativos ao uso constante deste.

Dando ênfase aos estudos relacionados a materiais alternativos ao cimento Portland, pode-se citar como base o estudo de Zampieri (1989), o qual foi um dos pioneiros em tratar sobre um material alternativo ao cimento Portland, capaz de apresentar resistência similar em uma mistura, que antes, eram fornecidas exclusivamente pelo cimento. Em suas análises,

Zampieri (1989) utilizou a incorporação de materiais pozolânicos, obtidos pela calcinação de argilas, em misturas com cimento Portland. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) disponibiliza a norma ABNT NBR 12653:2014 “Materiais pozolânicos - Requisitos” que define as pozolanas como materiais silicosos ou sílico-aluminosos que quando moídos finamente e na presença de água, podem apresentar propriedades ligantes através da reação com o hidróxido de cálcio.

Shulze e Rickert (2019) mostram que a obtenção de pozolanas é proveniente de tratamento térmico, normalmente a calcinação. Neste processo o material é submetido a temperatura de queima que variam de 500 a 1300°C. Costa *et al.* (2014) afirmaram que quando um material é submetido a altas temperaturas ocorre a ruptura da cadeia polimérica, promovendo a transformação estrutural do material e eliminando a matéria orgânica existente. Basicamente, a elevação da temperatura de calcinação faz com que ocorra um novo arranjo cristalino da matéria, significando um aumento no tamanho de cristais que é influenciado pelo coalescimento dos cristais menores.

Atualmente, o campo de estudo relacionado a utilização de pozolanas como materiais alternativos ao cimento Portland apresenta cada vez mais fundamentação, justificado tanto pela extensa e crescente base de dados acerca do assunto, como também pelo potencial de disponibilidade deste material no mundo inteiro. (JASKULSKI, NIEDŹWIEDZKA E YAKYMECHKO, 2020). O estudo de Du e Pang (2020) acerca da utilização de argilas calcinadas como substituta do cimento Portland numa mistura de concreto de alto desempenho, demonstrou que em porcentagens de substituição de 30 e 45%, equilibradas com a adição de água na mistura, as propriedades mecânicas do concreto são crescentes e se tornam mais evidentes a partir do 7º dia. O estudo revelou resultados de resistência similares ao do concreto convencional para misturas com adições de até 45% de pozolana em substituição do cimento Portland. Sugere ainda análises futuras para determinar concentrações ideais de materiais numa mistura de concreto visando melhorar as características físicas, bem como diminuir ainda mais a proporção de cimento Portland nesta.

Fundamentado em dados relacionados a exponencial utilização de cimento Portland no mundo (WBCSD, 2017), a definição de materiais alternativos a este deve estar cada vez mais fortalecida. O estudo relacionado a utilização de pozolanas demonstra grande potencial na busca por um material aglomerante que forneça as mesmas características do cimento. A instigação de estudo sobre pozolanas justifica-se pela alta disponibilidade de matéria prima (principalmente argilas) no planeta, bem como menor impacto em seu método produtivo.

Considerando a potencialidade da utilização argilas como material pozolânico, somando isso a grande disponibilidade de solos argilosos no estado de Rondônia (ADAMY 2010), esta pesquisa trata o conceito de utilização de argilas regionais na forma de pozolanas. As amostras de solos de argilas apresentaram potencial pozolânico em misturas de concreto através da reação com o hidróxido de cálcio do cimento durante o processo de hidratação (contato com a água). Desta forma, objetivou-se um produto que apresentasse características semelhantes de resistência mecânica à compressão de concretos convencionais formulados com cimento Portland. Logo, este trabalho buscou utilizar argilas calcinadas proveniente do estado de Rondônia para substituir diferentes porcentagens o cimento Portland no concreto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cimento Portland e o concreto

Silva *et al.* (2020), define o cimento Portland como um material composto, formado por agregados dispersos numa matriz contínua de pasta de cimento e capazes de influenciar nas propriedades mecânicas do cimento. Pode-se definir também o cimento Portland como um tipo de aglomerante hidráulico, com propriedades adesivas e coesivas, podendo ser capaz de unir peças. É obtido principalmente através da fusão/calcinação de seus materiais de origem, sendo estes uma mistura de calcário e óxidos de ferro, de alumínio e de silício, recebendo posteriormente a adição de uma ou mais formas de sulfatos de cálcio (NEVILLE, 2016).

Silva et al. (2021) mostra que o cimento é composto por clínquer, e adições minerais como cinzas volantes, escória de alto forno e calcário, podendo ser classificados baseado nessas adições minerais ou por suas propriedades de resistência. Ademais, os materiais que compõem certa classe de cimento Portland influenciam singularmente no comportamento deste dentro de uma mistura de concreto, desde aspectos químicos até aspectos mecânicos de resistência.

A industrialização do cimento Portland varia em função das matérias primas e dos tipos de cimento produzidos conforme entendimento Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) apresentado através da norma ABNT NBR 16697:2018 “Cimento Portland - Requisitos”). De acordo com Neville (2016), o processo inicia-se com a moagem da matéria prima, mistura de determinadas proporções de componentes e então a fusão das matérias como o calcário (carbonato de cálcio ($CaCO_3$)) e solo, até próximo de 1450°C em grandes fornos rotativos promovendo sua sinterização, formando então o que se conhece como clíquer. Após a fusão o material é resfriado e recebe uma pequena adição de sulfato de cálcio, sendo então novamente moído para dar origem um material extremamente fino.

Os principais constituintes do cimento são: Silicato tricálcico $(CaO)_3SiO_2$, com concentrações entre 45-75% (alíta), Silicato dicálcico $(CaO)_2SiO_2$, com concentrações de 7-35% (belíta), Aluminato tricálcico $(CaO)_3Al_2O_3$, com concentrações de 0-13% (celíta) e Ferroaluminato tetracálcico $(CaO)_4Al_2O_3Fe_2O_{34}$, com concentrações de 0-18% (brownmerita).A resistência mecânica do concreto até o terceiro dia acontece por meio da hidratação dos aluminatos e silicatos tricálcicos ($3CaO.Al_2O_3$ e $3CaO.SiO_2$); até o sétimo dia é ela ocorre através do aumento da hidratação de $3CaO.SiO_2$ e segue aumentando até os 28 dias com a hidratação do $3CaO.SiO_2$ o qual é responsável pelo aumento de resistência, com pequena

contribuição do $2CaO.SiO_2$. A partir de 28 dias o ganho da resistência continua devido à hidratação de $2CaO.SiO_2$ (BAUER, 2016).

Conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) apresentado através da norma ABNT NBR 16697:2018 “Cimento Portland - Requisitos”), o cimento Portland possui diferentes classes que são relacionadas a sua resistência física e química. Esta norma apresenta respectivamente a descrição (tipo) de cimento e por qual sigla este é representado, onde, normalmente utiliza-se esta sigla numa apresentação comercial (Tabela 1). Pode-se notar também, através da norma (Tabela 1), a classe de resistência mecânica à compressão de cada tipo de cimento, onde é possível que um mesmo tipo de Cimento venha a apresentar diferentes classes de resistência, estando esta resistência mecânica à compressão em unidade de MPa (mega Pascal). Por fim, os cimentos são acompanhados pelos sufixos RS ou BC, relacionados a resistências a sulfatos ou ao calor de hidratação do cimento.

Tabela 1 -Tipologias de cimento Portland

Designação da norma (Tipo)	**Sigla**	**Classe de resistência (MPa)**	**Sufixo**
Cimento Portland Comum	CP-I	25; 32 ou 40	RS ou BC[3]
Cimento Portland Composto	CP-II	25; 32 ou 40	RS ou BC[3]
Cimento Portland de Alto Forno	CP-III	25; 32 ou 40	RS ou BC[3]
Cimento Portland Pozolânico	CP-IV	25; 32 ou 40	RS ou BC[3]
Cimento Portland de Alta Resistência Inicial	CP-V	14 (1º dia) [1]	RS ou BC[3]
Cimento Portland Branco não Estrutural	CPB	25; 32 ou 40	RS ou BC[3]
Cimento Portland Branco Estrutural	CPB	NA[2]	NA[2]

[1] Resistência alcançada no primeiro dia, aumentando proporcionalmente a idade; [2] Não se aplica; [3] RC (Resistência a sulfatos) e BC (Baixo calor de hidratação). Adaptado NBR 16697, 2018. Fonte: Adaptado NBR 16697:2018.

Analisando a ABNT NBR 16697:2018 “Cimento Portland - Requisitos” (Tabela 1) nota-se que esta norma apresenta a resistência mínima que cada tipo de cimento deve apresentar conforme sua classe. Por exemplo, o cimento Portland comum CP-1 classe 25, deve apresentar uma resistência mínima à compressão de 25 MPa aos 28 dias. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) apresentado através da norma ABNT NBR 6118:2014 “Projeto de estruturas de concreto - Procedimento”, estabelece que a menor resistência a ser oferecida por um concreto estrutural é de 20 MPa para armaduras passivas.

De forma resumida, o cimento Portland é obtido através de uma mistura de três matérias primas principais: material calcário; alumina e sílica. Estas matérias primas podem ser encontradas com facilidade ao redor do mundo, sendo este um fator decisivo na ampla

utilização do cimento Portland (SCRIVENERA, JOHN E GARTNER, 2018). No entanto, processo de fabricação do cimento é condicionado ao prévio processo de fabricação de seu material de origem calcário, conhecido como clínquer, ou seja, para que o cimento Portland seja obtido, é necessário a produção do clínquer.

O cimento em sua forma mais básica, denominado CP-I, é formado simplesmente por clínquer e gesso. O processo produtivo começa pela fusão de calcário e argila a uma temperatura de 1460º C, posteriormente é realizado um rápido resfriamento do pó, este processo inicialmente resultará no clínquer. O clínquer apresenta-se em forma de "torrões" de alta granulometria, e é necessário então que este seja moído até se tornar um material extremamente fino. A última etapa é a mistura do clínquer com o gesso considerando o CP-I, no entanto, se o cimento desejado for de outra tipologia, podem ser adicionados outros materiais e/ou processos de produção final (STROTHER, 2017).

O cimento Portland é resultado de uma associação de elementos que, ao trabalharem juntos, após a queima irão formar uma mistura aglomerante de extrema resistência e durabilidade denominada clínquer. Os óxidos de cálcio (CaO) são encontrados em maior concentração no cimento Portland, cerca de 60 a 67%, e são responsáveis pelo aumento das propriedades mecânicas do cimento. O dióxido de silício (SiO_2), este representa cerca de 17 a 25% da composição do cimento e este que reage diretamente com os outros elementos de forma a conferir as propriedades do cimento, principalmente com o CaO. O óxido de alumínio (Al_2O_3) está presente em torno de 3 a 8% da mistura, e é ele quem é responsável por facilitar a fundição dos elementos formando o clínquer, resulta posteriormente em característica de aceleração do início da reação química na mistura, mas pode diminuir a resistência a sulfatos, não sendo vantajosa grandes concentrações deste. Por fim, o quarto elemento principal do cimento é o óxido de ferro (Fe_2O_3), com uma concentração de cerca de 0,5 a 6%, sendo este um importante elemento de facilitação da fundição dos demais elementos (MEHTA E MONTEIRO, 2014).

A matéria prima de maior importância numa mistura de concreto é o cimento Portland, esta mistura ainda é composta por agregados minerais inertes (areia, cascalho, brita etc.). O cimento Portland é utilizado em larga escala ao redor do mundo, isso devido a abundância das matérias primas componentes, bem como uma produção altamente generalizada (WORREL, 2001).

O concreto é basicamente uma combinação de cimento Portland, água e agregados minerais (areia, brita entre outros por exemplo). Na sociedade moderna é possível encontrar elementos de concreto em todo lugar, a grande maioria dos ambientes construídos nas cidades é formada por concreto (SCRIVENERA; JOHN E GARTNER, 2018).

Numa mistura de concreto o cimento Portland é responsável por conferir as características de resistência mecânica e física, influenciando diretamente no desempenho estrutural do concreto. A forma com que o cimento Portland reage na mistura é explicada pelo fato de que, em contato com a água, o cimento tem a capacidade de envolver as partículas dos agregados formando uma pasta fluída e moldável. Com o decorrer do tempo, essa mesma pasta vai endurecendo através das reações químicas irreversíveis, resultando em resistência e durabilidade (HELENE E ANDRADE, 2010).

Para Tibbetts *et al.* (2020), o concreto apresenta característica de um material composto heterogêneo. O comportamento final de uma mistura de concreto está diretamente relacionado pelas propriedades de cada componente adicionado a esta, bem como a relação água/cimento (a/c). Os componentes comuns em uma mistura de concreto são basicamente o cimento Portland, os agregados e a água. No entanto, em algumas destas misturas se pode encontrar adições/substituições de cimento por Materiais Cimentícios Suplementares (SCM).

Atualmente as adições/substituições de cimento Portland por Materiais Cimentícios Suplementares têm se tornado um dos principais meios de mitigar os impactos gerados ao longo de todo o processo produtivo do cimento e diminuir custos. Este processo envolve a queima de combustíveis fósseis a altas temperaturas, gerando grandes emissões de CO_2 na atmosfera. Apesar de existirem outras linhas de pesquisa acerca de meios de redução dos impactos gerados pelo cimento Portland, a utilização dos Materiais Cimentícios Suplementares como materiais alternativos, vem se consolidando como o de maior potencial (SCHNEIDER, 2019).

2.2 Materiais Cimentícios Suplementares

Os Materiais Cimentícios Suplementares (*Supplementary Cementitious Materials (SCM*)) são definidos como pós solúveis de silício, aluminossilicioso ou aluminossilicioso de cálcio. Normalmente são utilizados como substitutos parciais do clínquer ou mesmo como substitutos parciais do cimento Portland nas misturas de concreto. Uma das grandes vantagens dos SCM é que alguns destes, os provenientes de minerais naturais, possuem um consumo de energia na produção muito inferior ao do cimento Portland (JUENGER; SNELLINGS; BERNAL, 2019). Estes materiais apresentam-se como alternativas viáveis para substituir porções de cimento Portland nas misturas tradicionais de concreto. Isso porque, em sua maioria, os SCM apresentam-se como materiais silicosos por natureza, capazes de proporcionar nas misturas boas características comportamentais (PARIS *et al.*,2016).

Silva (2007) classificou os SCM em 3 tipos. O primeiro se refere aos cimentantes, aos quais, na presença de água reagem quimicamente a ponto de resultarem em produtos similares aos obtidos no processo de hidratação do cimento Portland, em contrapartida, esse processo de hidratação é mais lento do que no cimento convencional. O segundo é o SCM tipo fíler, um material inerte com capacidade de preencher os poros e durante o processo de hidratação pode servir com ponto de nucleação. Por fim, o terceiro SCMs, pozolanas, têm a capacidade de diminuir o calor de hidratação da mistura, melhorar as propriedades mecânicas e a durabilidade, além de diminuir a porosidade.

Suraneni e Weiss (2017) mostram a larga utilização dos SCMs como material alternativo ao cimento Portland em misturas de concreto, resultando numa redução de custos na produção, bem como minimização de emissões de dióxido carbono na atmosfera, além de proporcionar aumento a durabilidade do concreto. Segundo os autores a prática do uso de SCM na construção civil significa além de tudo a promoção da sustentabilidade do setor.

Os SCM, conforme Pillai, Gettu e Santhanam (2020), são capazes de aumentar as resistências mecânicas da mistura, desde a resistência à tração, resistência à flexão, bem como à resistência compressão. Ainda, o uso dos SCM é capaz de elevar a resistência a corrosão, resistividade elétrica e a cloretos, de forma a diminuir as taxas de corrosão do aço (em caso de concretos estruturais). No entanto, Pillai, Gettu e Santhanam (2020) demonstram que as adições de SCM em misturas de cimento necessitam de atenção, visto que normalmente, estes materiais apresentam comportamentos em proporções diferentes ao comportamento do cimento Portland, ou seja, simplesmente substituir porções de cimento por SCM sem análises prévias pode acarretar problemas de trabalhabilidade, propriedades mecânicas, estabilidade dimensional, durabilidade e resistência à corrosão, entre outros aspectos. É então importante enfatizar a importância da pesquisa em relação aos SCM, que é necessário conhecer o comportamento que cada tipologia pode vir a apresentar, de forma a definir a melhor metodologia de utilização de cada material.

Santos e Isaia (2020) colocam os SCM como uma alternativa para minimizar o consumo desenfreado dos recursos da natureza. Isso porque, diversos materiais de uso da construção civil são oriundos da exploração de matérias primas do meio ambiente. Conforme Santos e Isaia (2020), utilizar materiais alternativos significa tanto diminuir a exploração dos recursos naturais, quanto a possibilidade de dar destino a resíduos da própria construção civil, através do processamento adequado e posterior reutilização.

A preocupação em relação ao consumo desenfreado dos recursos naturais pela construção civil, refletiu no que é atualmente uma busca por maior sustentabilidade em

processos produtivos de materiais e conservação do meio ambiente. Em consonância a isto, os SCM vêm atuando com uma das principais fontes de redução nas emissões de dióxido de carbono gerados pela produção do cimento Portland na atmosfera. Isso porque os SCM são capazes de substituir proporções de clínquer e/ou cimento, sendo o seu processo produtivo de menor demanda energética em relação ao cimento Portland (JUENGER; SNELLINGS; BERNAL, 2019).

Atualmente o emprego de SCM na construção têm demonstrado ser um dos métodos mais efetivos de diminuição dos impactos gerados pelo setor, principalmente em relação aos impactos relacionados ao cimento Portland. Uma das características principais dos SCMs é a capacidade de alguns destes materiais substituir porções de cimento em misturas de concreto, e principalmente a possibilidade da substituição do clínquer utilizado na produção do cimento Portland. Isso significa uma diminuição direta nos impactos ocasionados pelos resíduos gerados na construção civil, bem como, a diminuição da necessidade de exploração de matéria prima da natureza (PARIS *et al*., 2016)

Schulze e Rickert (2019), sugerem que muitas argilas podem ser utilizadas como SCM na forma de pozolanas. Isso porque, as argilas podem ser encontradas no mundo todo e em imensuráveis quantidades. Através do o efeito fíler de algumas argilas calcinadas e da reação pozolânica que estas podem apresentar, ocorre a influência na hidratação do cimento e uma consequência influência no ganho de resistências na mistura ao longo do tempo. Os autores atentam para a necessidade de estudos mais aprofundados sobre os diversos tipos de pozolanas e definição de métodos particulares de utilização destas.

2.3 Pozolanas

Pode-se definir pozolanas como materiais silicosos ou sílico-aluminosos, que sozinhos possuem pouca ou nenhuma atividade ligante. No entanto, quando finamente divididos e na presença de água, são capazes de reagir com o hidróxido de cálcio em temperatura ambiente, de forma a apresentar propriedades cimentícias (ABNT NBR 16697:2018 “Cimento Portland – Requisitos”). As características das pozolanas de apresentarem partículas extremamente finas, faz com que nesta forma que a sílica seja capaz de apresentar reação com o hidróxido de cálcio, $Ca(OH)_2$, formando assim compostos aglomerantes similares ao do cimento Portland (MOHAMMED, 2017).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) disponibiliza a norma ABNT NBR 12653:2014 “Materiais pozolânicos - Requisitos” que classifica pozolanas em dois grupos: naturais e artificiais. Conforme esta norma, pode-se considerar como pozolana natural tanto aquelas de origem sedimentar, bem como as de origem vulcânica, estas com concentrações de SiO_2 geralmente maiores que 65%, o que a caracteriza petrográficamente como uma pozolana ácida. O grupo das pozolanas artificias refere-se a aquelas provenientes de tratamento térmico ou de subprodutos industriais, as quais apresentam atividade pozolânica.

Estima-se que a utilização de pozolanas tenha iniciado antes da história registrada. É possível que povos antigos tenham constatado por observação uma melhora em misturas aglomerantes quando estas eram “contaminadas” com cinzas provenientes de regiões vulcânicas. Estas cinzas podem ser classificadas como pozolana natural. O fato é que aparentemente esta descoberta acabou por abandonada quando os primeiros indícios do cimento Portland surgiram (BAUER, 2016).

Uma pozolana, seja natural ou artificial, pode ter como material base diversas matérias primas, desde solos calcinados artificialmente, até cinzas provenientes da queima de algum material. O processo produtivo para obtenção de uma pozolana é basicamente o mesmo para qualquer matéria prima, com pequenas particularidades dependendo do material. Pode ser um processo natural ou artificial, como as próprias denominações sugerem (NEVILLE, 2016).

Considerando aspectos da sociedade moderna, uma análise pioneira no campo de pozolanas foi a de Zampieri (1989), em relação a obtenção de pozolanas através de argilas. Este considerou a vasta disponibilidade deste tipo de solo dentro do território nacional e demonstrou a necessidade do desenvolvimento de estudos com objetivos da utilização de diferentes solos visando o uso destes na obtenção de pozolanas. Considerando as particularidades da realidade brasileira para a época do estudo, no que se refere ao estudo de novos materiais de construção civil, afirma-se que a obtenção de pozolanas por meio da ativação térmica das argilas apresentaria uma solução técnica e econômica mais adequada para o mudar o antigo cenário de setor poluidor.

Um processo de obtenção pozolanas, conforme Avet *et al.* (2016), compreende etapas de coleta e preparação do material de modo a diminuir o tamanho das partículas. Com o uso de recipientes resistentes a altas temperaturas, o material é colocado dentro dos fornos tipo mufla e submetidos a elevadas temperaturas. Para Tironi *et al.* (2014), materiais calcinados a temperaturas entre 500 a 800º C são propensas a desenvolver uma atividade pozolânica adequada, visto que é dentro destes patamares que é formada a fase amorfa reativa do material. Em relação a determinação da temperatura de calcinação, Avet *et al.* (2016), demonstra que

materiais calcinados a 800º C sofrem a desidroxilação completa da caulinita e podem obter maior potencial pozolânico, sendo esta uma temperatura considerada ideal para o processo.

Garg e Skibsted (2016), analisaram a sequência de decomposição térmica e reatividade pozolânica de uma argila, onde constaram que ao longo de seu processo de calcinação a argila passou por 4 etapas de transformação de sua estrutura. A primeira etapa refere-se ao processo de desidratação da argila e ocorre no intervalo de 25 a 200° C. Na segunda etapa ocorre a desidroxilação do material por volta de 600 a 800° C A terceira etapa refere-se a amorfização da argila, no intervalo de 800 a 900°C. Por fim, na última etapa ocorre a recristalização do material, em temperaturas superiores a 950° C. A última etapa apresentada não demonstra ser interessante, pois a cristalização dificulta a reação pozolânica da argila.

Scrivenera *et al.* (2018) mostraram que durante o processo de calcinação, a estrutura de ligações de hidroxilas é eliminada e ocorre uma reorganização estrutural de forma a gerar um material altamente amorfo, ou seja, um material de alta reatividade com o hidróxido de cálcio. Ainda é possível que ocasionado pelo aumento da superfície específica da mistura do cimento, a demanda de água seja maior, o que requer certo cuidado durante o processo de adição de pozolanas nas misturas de concreto.

2.3.1 Pozolana como alternativa cimento Portland em concretos

A utilização de pozolanas pode ser um potencial substituto do cimento Portland, seja em adições ou substituições numa mistura. Essa possiblidade pode consolidar-se por diversos fatores, quando se compara por exemplo o processo de fabricação de uma pozolana com o do cimento Portland, com este último demonstrando ser mais agressivo do que primeiro. Além do fato de que a obtenção de uma pozolana envolve menos etapas e consequentemente é mais simples, exequível e sustentável (JASKULSKI; JÓZWIAK-NIEDZWIEDZKA; YAKYMECHKO, 2020). A maior relevância entre os dois métodos de produção evidencia-se pela alta demanda energética na fabricação do cimento Portland para queima dos componentes do clínquer, enquanto a pozolana demanda uma temperatura de cerca de 45% menor durante seu processo de calcinação, representando assim a diminuição da emissão de gases contribuintes ao efeito estufa (BERRIEL *et al.*, 2016). Zhang et al. (2020) mostram que o processo produtivo de certas pozolanas significam 28% menos emissões de CO_2 na atmosfera do que o processo produtivo do cimento Portland.

Com relação aos custos, há uma evidente diferença entre as pozolanas e o cimento Portland, a qual é demonstrada por Lacerda (2010), que relata que cimentos com utilização de adições pozolânicas, como o CP-IV (cimento Portland pozolânico), podem ter expressivas reduções de custos de até 60% em relação aos que utilizam outros tipos de adições tais como o CP-III (cimento Portland de alto forno), o qual utiliza a escória de alto forno. Nota-se que ao utilizar materiais pozolânicos configura uma redução de despesas em mais de um aspecto, ou seja, desenvolver pesquisas relacionadas às reduções de proporções de cimento supridas pela adição de materiais pozolânicos em argamassas, pode apresentar expressiva contribuição regional para esta área, que está em constante expansão mundial.

A adição de pozolanas provenientes de argilas calcinadas é capaz de significar uma maior resistência a penetração de cloretos na mistura. Isso porque a adição de pozolanas causa um refinamento da estrutura dos poros na mistura, em relação a uma mistura de cimento Portland convencional (MSINJILI et al., 2021). Quando uma pozolana é adicionada a uma mistura de cimento Portland, seus óxidos de silício se combinam com os hidróxidos de cálcio durante a hidratação do cimento e iniciam então a formação de silicatos de cálcio que poderão apresentar as propriedades cimentícias do cimento Portland (NEVILLE, 2016).

Estudo feito por Hossain et al. (2016) apresentou uma relação de pesquisas referentes a utilização de pozolanas como substitutos parciais do cimento Portland. Neste o autor pôde afirmar que atualmente já existe um grande acervo de pesquisas acerca da utilização de materiais pozolânicos, com foco principalmente na equivalência de mesma durabilidade e resistência que o cimento Portland. Alguns destes estudos apresentaram resultados de durabilidade superior ao de misturas convencionais (somente com cimento Portland). Concluiu-se neste levantamento bibliográfico que utilizar pozolanas pode representar a diminuição de custos na construção civil, aliado a uma diminuição de impactos ambientais gerados pela utilização excessiva e exclusiva de cimento Portland.

Rodriguez e Tobon (2020), analisaram uma argila caulinítica da Colômbia, calcinada a temperaturas entre 750 a 900º C, com altas concentrações de dióxido de silício. Estes notaram um ganho de resistência superior no concreto com a adição da argila caulinítica calcinada em relação ao concreto convencional (traço referência). Os ganhos de resistência na mistura com argila calcinada mostraram-se mais efetivos até a idade de 28 dias do concreto, a partir desta idade o ganho de resistência passa a ser menos intenso.

Vejmelkova *et al.* (2018) utilizou argilas calcinadas a uma temperatura 700° C em substituições de Cimento Portland em uma mistura de concreto. O tipo de argila utilizada configura um material caulinítico, cerca de 75% de sua composição, tendo em sua composição

altas proporções de SiO_2 (superiores a 50%), bem como Al_2O como segunda maior concentração na amostra (acima de 40%). As adições da pesquisa variaram entre proporções de 10 a 60% de adição de argila na forma de pozolana, sendo a substituição de 30% a que se mostrou mais eficiente, superando em 20% a resistência mecânica a compressão da mistura referência (somente com cimento Portland). A substituição de 30% demonstrou-se também efetiva em critérios de durabilidade e trabalhabilidade, possivelmente por este possuir um menor coeficiente de absorção de água, diminuindo a influência no fator a/c da mistura. É importante notar que no estudo apresentado, a pozolana adquiriu seu melhor estado de resistência somente na idade de análise aos 28 dias, demonstrando que pozolanas possuem aumentos de resistência menores entre o primeiro dia até o vigésimo oitavo dia.

A análise feita por Skibsted e Snellings (2019) mostra que a utilização a compreensão sobre as reações pozolânicas no concreto têm sido cada vez mais significativas, principalmente sobre como os elementos mais comuns de uma pozolana, hidróxido de cálcio, dióxido de silício e óxido de alumínio, se comportam na mistura. Muitos parâmetros sobre a utilização de SCM como aditivos em concreto vêm sendo desvendados ao longo de anos de pesquisa por meio da utilização de conceitos de geoquímica e modelagem termodinâmica dos materiais empregados. Em especial, as argilas calcinadas demandam grande conhecimento sobre sua estrutura e propriedades, principalmente em relação a fase de ativação térmica destas a qual será um fator determinante na reação da pozolana com o cimento Portland. No entanto, os autores afirmam que ainda são necessários mais dados para formulação de modelos de utilização para estes materiais alternativos ao cimento Portland, no sentido de otimizar o desempenho físico, melhorar a microestrutura, a durabilidade, bem como fornecer caminhos para o desenvolvimento de métodos ambientalmente menos agressivos a natureza.

3 JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento da sociedade moderna significa diretamente um aumento na infraestrutura das cidades. Isso reflete no aquecimento do setor da construção civil e uma demanda constante de materiais, insumos, mão de obra e equipamentos. Com o cimento Portland essa necessidade é ainda maior, visto que hoje ele é o principal material com funções aglomerantes utilizado no mundo inteiro.

Apesar de o cimento Portland ter aparentemente consolidado sua função e importância na construção civil, não se pode permitir que essa situação permaneça no comodismo. Dados de estudo realizado pelo WCSB (2017) demonstram o quão impactante é o processo de produção do cimento Portland, o qual compreende desde a clinquerização, processo de mistura, consumo energético até o transporte. Todas estas etapas significam cerca de 7% do total das emissões de CO_2 (dióxido de carbono) produzidas pelo homem e liberada na atmosfera e representam, no setor industrial, a segunda maior emissão deste gás na atmosfera.

Diante da expressiva contribuição do cimento Portland com a emissão de gases contribuintes com o efeito estufa, é necessário fomentar a busca de materiais que possuam origens e funções aglomerantes, tais quais a do cimento Portland, de forma a diminuir a demanda deste material.

É importante fomentar o desenvolvimento de políticas de incentivo para utilização de materiais alternativos ao cimento, visto que estes podem ser viáveis em sentidos econômicos e simbolizar o desenvolvimento sustentável da região. Atualmente, diversas pesquisas comprovaram a eficácia do tratamento térmico de argilas, de forma a obter-se as pozolanas, as quais podem apresentar funções aglomerantes similares a do cimento Portland. As pozolanas podem então ser uma alternativa para diminuição do uso constante do cimento Portland como o único material aglomerante do mercado.

O estado de Rondônia é rico em jazidas de materiais argilosos ao longo de todo o seu território e, apesar desta expressiva possibilidade de utilização das argilas regionais como materiais pozolânicos, pesquisas visando essa finalidade ainda são consideravelmente escassas no estado. Desta forma, determinar na região argilas que na forma de pozolanas, sejam capazes de substituir parcialmente o cimento Portland, simboliza grande desenvolvimento para a sociedade local, bem como representa uma contribuição da região para minimizar os impactos causados pelo homem ao meio ambiente.

4 OBJETIVOS

Este trabalho teve por objetivo avaliar características de resistência a compressão de concretos com substituição parcial do cimento Portland por argilas calcinas provenientes do estado de Rondônia

4.1 Objetivos específicos

a. Analisar o potencial pozolânico de amostras de solos calcinados;

b. Analisar as características do concreto em estado fresco, nos traços que receberam adições pozolânicas em substituição parcial ao cimento;

c. Analisar a resistência à compressão dos concretos fabricados nas diferentes formulações com substituições de cimento Portland pela argila calcinada.

5 MATERIAIS E MÉTODO

Os materiais e métodos adotados para realização deste trabalho serão descritos a seguir. É importante notar que todos os materiais utilizados para produção do concreto foram provenientes do estado de Rondônia, sendo o agregado miúdo e o graúdo oriundos de fornecedor de materiais agregados para construção, na capital Porto Velho. As amostras de argila, foram provenientes de coletas realizadas nas cidades de Candeias do Jamari e Ji paraná.

5.1 Definição do local e método de coleta das argilas

Para definição dos locais de coleta, adotou-se o critério de Almenares *et. al* (2017), no qual buscou-se inicialmente identificar mineralmente o solo, bem como disponibilidade expressiva destes recursos no solo. Os critérios estabelecidos por Almenares et. al (2017), foram atendidos através do uso o mapa de recursos minerais do estado de Rondônia (ANEXO I) disponibilizado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) que tem as atribuições de Serviço Geológico do Brasil.

Através da análise do mapa do CPRM (ANEXO I) foi possível constatar que cinco cidades do estado dispunham de expressivas jazidas de argilas. Considerando o critério de Almenares *et. al* (2017), e possibilidades de exploração posteriores aos resultados desta pesquisa de argilas na condição de pozolanas para adições em concretos, constatou-se a necessidade de considerar somente jazidas que apresentassem grandes áreas de reservas de material no estado de Rondônia. Desta forma, a coleta de material foi previamente definida para regiões que apresentaram tal expressividade de material, sendo então as jazidas nas seguintes regiões: Cacoal (11°26'21.688"N 61°27'46.303"E), Candeias do Jamari (8°47'25.068"N 63°40'12.338"E), Ji-Paraná (10°53'36.369"N 61°56'13.635"E), Pimenta Bueno (11°42'16.144"N 61°9'49.919"E) e Porto Velho ((8°44'26.644"N 63º57'11.747"E).

Para as jazidas de cada cidade foram coletadas quatro amostras de solo, cada uma contendo cinco sub-amostras, totalizando assim 20 amostras por jazida/cidade.

O processo de coleta das argilas foi realizado por meio do perfurador de solo com broca, composto por um motor mecânico com hastes de manuseio e com eixo central rotativo com broca na extremidade inferior, de forma a possibilitar a perfuração do solo alcançando uma profundidade de aproximadamente 1,20 metros.

Figura 1 Procedimento de coleta de amostra de solo em diferentes localidades

5.2 Tratamento das amostras

5.3.1 Preparação das amostras de solo

Considerando aspectos de macro utilização na engenharia de materiais, onde, as jazidas de solo/argila em processo de lavra são por diversas vezes revolvidas e misturadas, adotou-se este mesmo conceito. Desta forma, as amostras coletadas foram tratadas de forma a desfazer possíveis torrões de solo, posteriormente foram misturadas buscando obter-se uma perfeita homogeneização.

As amostras de solos foram secas em estufa, a uma temperatura constante de 110º ± 5ºC, até alcançar massa constante, o que durou em média período de 24 horas. Buscando uma secagem homogênea e eficaz, a altura da camada de solo em processo de secagem não ultrapassou três centímetros. As amostras secas foram levadas imediatamente ao processo de calcinação, a fim de evitar possível absorção de umidade do meio.

5.3.2 Calcinação

O processo de calcinação foi realizado com equipamento tipo forno mufla com possibilidade de alcance de temperatura até 1200° C. A temperatura de calcinação, baseado em

preceitos de Avet et al. (2016) foi de 800º C para todas as amostras calcinadas. buscando alcançar a desidroxilação completa da caulinita e obter o maior potencial pozolânico de cada amostra.

O processo de calcinação deste trabalho é baseado em etapas de elevação de temperatura gradual em função de determinado tempo, onde, a temperatura inicial adotada foi de 100ºC e com aumentos de 100ºC a cada 10 minutos. Posteriormente, ao período de 70 minutos o forno mufla atingia a temperatura de calcinação efetiva de 800º C permanecendo o processo de calcinação por um período de 3 horas tendo como base o estudo de Jaskulski, Józwiak-Niedzwiedzka e Yakymechko (2020) mostrando que as amostras calcinadas por três horas tiveram aumento na resistência da mistura, em relação as amostras calcinadas por períodos menores.

5.3.3 Caracterização química das amostras de argila

O processo de caracterização química das argilas que compunham as amostras de solo foi realizado para as amostras das 5 cidades coletadas (Cacoal, Candeias do Jamari, Ji Paraná, Pimenta Bueno e Porto Velho), processo o qual foi realizado posteriormente à calcinação das amostras. A caracterização foi realizada através da Espectrometria de Fluorescência de Raios-X (FRX), no qual foi possível identificar os elementos químicos presentes em uma amostra, além de fornecer dados da concentração de cada elemento presente. O equipamento utilizado para esta análise foi o modelo X-Supreme 8000 do fabricante Oxford no ano de 2009.

Por meio dos resultados obtidos pelo FRX que se obteve a composição de óxidos para cada amostra de solo coletada nas 5 diferentes localidades. Foi possível também conhecer especificamente qual o teor de caulinita de cada amostra coletada por localidade, para definição de quais seriam utilizadas para testes em concretos. Foram selecionadas duas amostras, de duas localidades distintas, uma que apresentou a maior e outra com a menor concentração de caulinita.

5.3.4 Caracterização dos agregados

Os agregados utilizados nesta pesquisa foram os do tipo agregado miúdo (areia) e agregado graúdo (brita), provenientes de um lote único, de forma a evitar divergências entre as

características físicas dos agregados nas misturas de concreto. O agregado miúdo utilizado foi a areia média lavada e o agregado graúdo foi a brita número1, ambos adquiridos em fornecedor de materiais agregados para construção civil na cidade de Porto Velho/RO.

As análises de caracterização foram realizadas nos Laboratório de Materiais de Construção Civil (LabMat) e Laboratório de Estruturas e Ensaios Mecânico (LaEEM) ambos vinculados ao Departamento de Engenharia Civil (DECIV) da Universidade Federal de Rondônia (UNIR).

A etapa de caracterização dos agregados foi realizada por meio da utilização de "Normas Mercosul (NM)" e "Normas Brasileiras (NBR)", determinando assim as características dos agregados, as quais poderiam influenciar no comportamento destes nas misturas de concreto. Logo, foi necessário realizar ensaios que resultassem em índices como absorção de água, massa específica, massa específica aparente, teor de argila e de material fino, massa unitária, volume de vazios, bem como composição granulométrica.

a. Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado foi a areia média lavada, e o mesmo foi caracterizado conforme "Normas Mercosul" e "Normas Brasileiras" vigentes. Na Tabela 2 apresenta-se uma relação das normas utilizadas e quais os ensaios que elas preconizam:

Tabela 2 Ensaios de caracterização do agregado miúdo

Ensaio	**Norma**
Determinação da absorção de água.	NBR NM 30:2001
Determinação da massa específica e massa específica aparente.	NBR NM 52:2003
Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis.	ABNT NBR 7218:2010
Determinação do material fino que passa através da peneira 75µm, por lavagem.	NBR NM 46:2003
Determinação da massa unitária e do volume de vazios.	NBR NM 45:2006
Determinação da composição granulométrica.	NBR NM 248:2003

b. Agregado graúdo:

O agregado graúdo utilizado foi a brita número 1, e o mesmo foi caracterizado conforme "Normas Mercosul" e "Normas Brasileiras" vigentes. Na Tabela 3 apresenta-se uma relação das normas utilizadas e quais os ensaios que as mesmas preconizam:

Tabela 3 Ensaios de caracterização do agregado graúdo

Ensaio	Norma
Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água.	NBR NM 53:2009
Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis.	ABNT NBR 7218:2010
Determinação do material fino que passa através da peneira 75µm, por lavagem.	NBR NM 46:2003
Determinação da massa unitária e do volume de vazios.	NBR NM 45:2006
Determinação da composição granulométrica.	NBR NM 248:2003

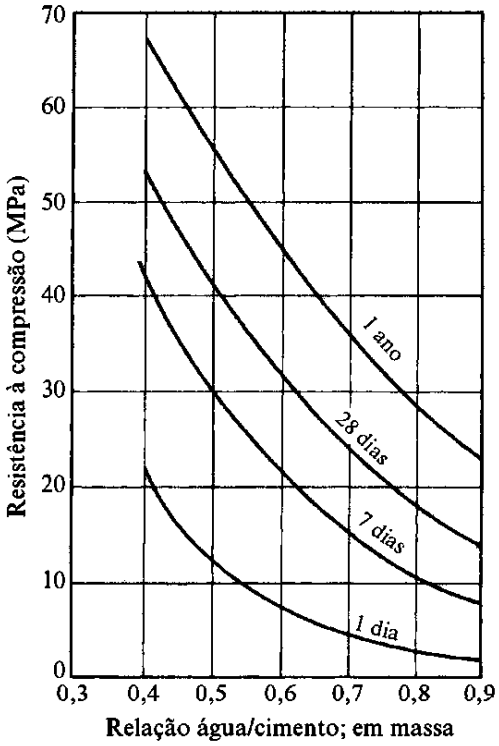
5.3.5 Determinação do traço de concreto

A formulação foi proposta por meio do método fornecido por Rodrigues (1983) através da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). Neste trabalho o método foi responsável por fornecer os parâmetros de dosagens de cada material (cimento, areia e brita) numa mistura de concreto. O cálculo da dosagem pelo método leva em consideração diversas tabelas e gráficos com dados estipulados a partir de informações obtidas experimentalmente, considerando parâmetros de agregados estipulado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) através da norma ABNT NBR 7211:2009 “Agregados para concreto - Especificação”.

O cálculo do método ABCP necessita previamente da análise granulométrica e massa específica dos agregados (miúdo e graúdo), bem como, classe, massa específica e grau de resistência do cimento Portland aos 28 dias. Outros parâmetros importantes são: dimensão máxima do agregado graúdo, consistência desejada do concreto no estado fresco e a resistência de dosagem do concreto. Após a determinação destes dados, utilizando-se de gráficos determinados pelo método ABCP, relaciona-se dados sobre gráficos de forma a determinar uma sequência de parâmetros específicos e necessários ao cálculo final de determinação do traço.

O primeiro gráfico a ser utilizado no método ABCP refere-se ao traçado da relação água/cimento da mistura. A exemplo apresenta-se o gráfico da curva de Abrams (Figura 1), que pode ser utilizado nesta determinação de a/c.

Figura 2 Curva para determinar o fator água/cimento

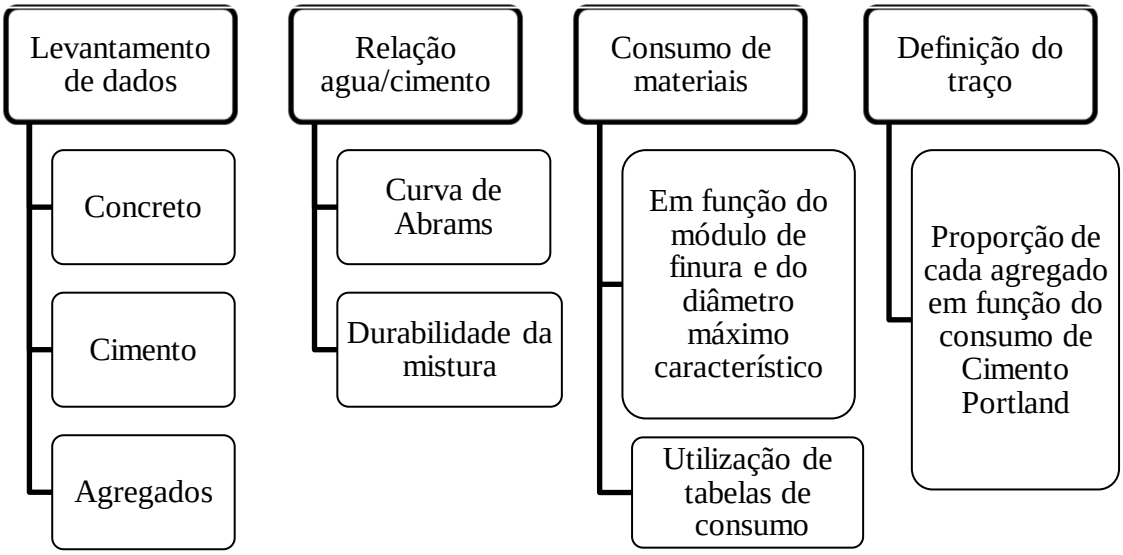


Fonte: Neville, 2016, p. 760.

A associação ao valor da relação água/cimento com os dados de caracterização dos materiais resulta na estimativa dos valores de consumo de consumo de água, cimento, areia e brita na mistura de concreto. Tomando como parâmetro uma quantidade determinada de cimento Portland, calcula-se a proporção de cada material na mistura, estas proporções resultarão no que na construção civil é conhecido como traço de concreto, e são apresentados pela relação cimento:areia:brita:água.

O método ABCP é composto de várias etapas de análise para determinação do traço de concreto em relação a características físicas e químicas dos componentes deste. Este método de dosagem pode ser dividido em quatro importantes etapas (figura 2).

Figura 3 Fluxograma do método ABCP



Fonte: Autor, adaptado de Associação Brasileira de Cimento Portland (2020).

O método ABPC permite então determinar a formulação do concreto, fundamentado nas características da matéria prima a ser utilizada (agregado graúdo, agregado miúdo, cimento Portland e água). Os dados pertinentes ao cálculo podem ser observados na Tabela 4:

Tabela 4 Resumo do método de cálculo de traço de concreto conforme ABCP

Parâmetro a determinar	**Método**	**Resultado**
Fator água/cimento	Determinado conforme curva de Abrams	0,44
Consumo de água	Abatimento em relação ao diâmetro máximo do agregado graúdo	205 l/m³
Consumo de cimento	Água inicial ÷ fator água/cimento	465,91 kg/m³
Consumo de brita	Volume de brita multiplicado pela massa unitária da brita	1.066,74 kg/m³
Consumo de areia	Volume de areia multiplicado pela massa específica da areia	834,75 kg/m³
Formulação	Ccp : Ca : Cb : Cágua Ccp : Ccp : Ccp : Ccp	1 **:** 1,79 **:** 2,29 **:** 0,44

A formulação obtida no cálculo através do método ABCP representou uma proporção de 1:1,79:2,29:0,44 (cimento:areia:brita:água), logo, numa medida relativa a 1 metro cúbico de concreto, a proporção anteriormente apresentada significa os seguintes valores em relação a cada material (Tabela 5)

Tabela 5 Resultados obtidos para o traço do concreto

Material	Proporção	Porcentagem (%)	Consumo por m³
Cimento	1	18,12	465,91kg
Areia	1,79	32,43	834,75kg
Brita	2,29	41,49	1066,74kg
Água	0,44	7,97	205 L

5.3.6 Substituição pozolânica na mistura de concreto

Dentre as 5 cidades das quais se possuía amostras de solo, somente duas foram utilizadas para análise de resistência através da substituição parcial de cimento Portland por pozolanas. O critério de escolha destas duas cidades baseou-se na análise de Santos et al. (2016) e Siang Ng et al. (2020), que em seus estudos notaram que altas concentrações de SiO_2 são capazes de influenciar quimicamente e fisicamente em misturas de concreto. Desta forma, as amostras de solos provenientes das localidades coletadas que, através do FRX, demonstraram a maior e a menor concentração de SiO_2 (menor e maior concentração de caulinita, respectivamente) foram as escolhidas para prosseguimento nas análises.

Os traços foram trabalhados com 3 percentuais de substituição/adição de pozolana nos traços de concreto. A utilização de 3 traços se faz importante pela possibilidade determinar posteriormente, por meio de curvas de resistência, qual será a porcentagem mais eficiente de adição de pozolana numa mistura. Para melhor compreensão da adição, é possível verificar no quadro 5 quais foram os valores das substituições. Deve-se atentar para o fato de que nos agregados brita e areia, bem como na água não tiveram as suas proporções alteradas em nenhuma das porcentagens de substituição/adições de pozolana na mistura.

Em resumo, foi realizado somente a diminuição dos índices de cimento Portland em paralelo a adições de pozolana de forma proporcional (Tabela 6). É importante notar que este trabalho se trata de substituição de cimento, um método diferente dos de adições livres de pozolanas em concreto.

Tabela 6 Proporção de substituição de pozolana no traço de concreto

Adição (%)	Cimento Portland (%)	(kg)	Areia média (kg)	Brita nº1 (kg)	Água (kg)	Pozolana (%)	(kg)
0	100%	11,18	20,03	25,60	4,92	0%	-
10	90%	10,06	20,03	25,60	4,92	10%	1,12
30	70%	7,83	20,03	25,60	4,92	30%	3,35
50	50%	5,59	20,03	25,60	4,92	50%	5,59

Os valores de adições pozolânicas foram calculadas baseadas nas quantidades de cimento Portland na mistura de concreto. Considerando ainda a quantidade de corpos de prova a necessários serem moldados, calculou-se qual seria o consumo total de material conforme cada amostra de solo, quantidade adição de pozolana e quantidade de idades de rompimentos. Deve-se atentar para o fato de que a diminuição do percentual de cimento era inversamente proporcional a adição de pozolana (Tabela 6).

5.3.7 Produção do concreto e moldagem dos corpos de prova

O cimento Portland utilizado foi o da classe II F–32, composto com fíler e adquirido em fornecedor de materiais de construção civil da cidade de Porto Velho/RO. A determinação do cimento Portland II F-32 considerou a recomendação da norma técnica relacionada a análise do potencial de pozolanicidade de materiais, obedecendo então os parâmetros estabelecidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) através da norma ABNT NBR 5752:2014 “Materiais pozolânicos — Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias”. Este tipo de cimento é indicado para estruturas de concreto armado e possui uma adição de fíler calcário entre 6 a 10%. O CP II F-32 apresenta melhor compatibilidade de utilização nesta pesquisa considerando que, dentro da sua composição, a adição de fíler tem efeito apenas de preenchimento. Desta forma, pode-se notar que o material da adição deste cimento não apresenta nenhuma propriedade pozolânica, possibilitando assim uma análise precisa em relação aos efeitos de adições pozolânicas.

O equipamento utilizado para produção das misturas de concreto, a fim de obter uma mistura homogênea, foi uma betoneira mecânica com capacidade de 120 L. Na betoneira os materiais adicionados foram o cimento Portland, a água, a brita, a areia e por fim o material pozolânico. A betoneira permanecia em operação até que se constatasse que a mistura estava homogênea e sem apresentação de grumos. Neste ponto o equipamento era é desligado para retirada de porção da mistura para análise de parâmetros de trabalhabilidade do concreto, denominado *slump test*.

O teste de abatimento é frequentemente realizado em canteiros de obra e se faz imprescindível para avaliar um concreto. É através dele que se determina a trabalhabilidade de um material, coesão da mistura (capacidade de se manter misturado) e consistência (grau de fluidez do concreto e o quanto ele pode ser moldado). Como o nome indica, este teste visa analisar o quanto uma parte de concreto, moldada cilindricamente por um cone, se abateu após

a retirada deste cone. É um teste simples, onde por meio da medição (ex. trena métrica) obtém se a altura que a mistura “cedeu” e fornece a possibilidade de ajustes da consistência do concreto na própria obra. Estes ajustes são em sua maioria realizado pelo aumento ou diminuição da razão de água, ou pela adição de aditivos superplastificantes (reduzem a necessidade de parte da água do traço), até que se obtenha um traço de concreto com boa coesão e plasticidade, de forma a melhorar o resultado do elemento a ser construído com o concreto analisado (TUAN et al., 2021).

O *slump test* consiste nos parâmetros estabelecidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) através da norma ABNT NBR 16889:2020 “Concreto — Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone”, a qual trata sobre a determinação da consistência do concreto pelo método do tronco de abatimento. Desta forma, com o concreto misturado realizou-se a primeira análise, que é este ensaio de abatimento ou *slump test*. O procedimento utiliza como materiais o tronco de cone oco, a placa de base para o tronco, régua metálica, e a haste de compactação. Todos estes materiais estavam umedecidos antes de o concreto ser analisado. O tronco de cone foi colocado sobre a placa de base, com sua maior abertura em contato com a placa. Este foi então preenchido em 3 camadas, com a utilização da haste de compactação a cada 30% do preenchimento do tronco, onde cada camada recebeu 25 golpes. Com o tronco de cone devidamente preenchido e compactado, realizou-se a retirada deste para análise do abatimento da mistura (Figura3).

Figura 4 Medida do abatimento

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) através da norma ABNT NBR 8953:2015 “Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência”, as medidas de abatimento do concreto não devem ser inferiores a 5 centímetros para alguns tipos de pavimentos e fundações, bem como devem estar acima de 10 centímetros para utilização em demais elementos estruturais (com lançamento convencional, sem utilização de bombas. A ABNT NBR 16889:2020 “Concreto — Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone” determina que em situações em que ocorre o desmoronamento da amostra em cone, deve-se proceder para uma segunda tentativa com a utilização de outra parcela de amostra. Em caso de um segundo desmoronamento, o concreto é então considerado possivelmente um concreto não plástico e sem coesão.

Após a análise de trabalhabilidade, através do abatimento de tronco de cone, a mistura de concreto voltou para a betoneira e foi mais uma vez misturada. Com o procedimento de mistura finalizado, seguiu-se para a etapa de moldagem dos corpos de prova para análise de resistência mecânica a compressão. Logo, o concreto foi então colocado em moldes cilíndricos com diâmetro = 10cm e altura = 20cm, especificados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) através da norma ABNT NBR 5738:2015 “Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova”, onde impreterivelmente a largura representava duas vezes o diâmetro da peça.

Figura 5 Corpos de prova das amostras de Candeias do Jamari e Ji-Paraná

O concreto depositado nos moldes foi também adensado com a haste de compactação, conforme ABNT NBR 5738:2015. Este adensamento objetivou eliminar espaços vazios (nichos de concreto) que viessem a influenciar ou prejudicar a resistência da peça. A quantidade de moldes necessária foi determinada baseada em parâmetros de idades de rompimento e percentuais de adições de pozolana na mistura. O total de moldes foi de 5 corpos de prova para traço controle aos 7 dias e mais 5 corpos de prova para os 28 dias, também, para a primeira cidade foram 3 corpos de prova para cada uma das 3 adições (10%, 30% e 50%) para o rompimento aos 7 dias, bem como a mesma quantidade para rompimento aos 28 dias. O total para a segunda cidade é o mesmo que para a primeira. A tabela 8 apresenta um resumo do quantitativo de corpos de prova analisados.

Tabela 7 Quantidade de corpos de prova (CP) por amostra

Idades de rompimento	**Controle**	**10%**		**30%**		**50%**	
		Ji-Paraná	**Candeias do Jamari**	**Ji-Paraná**	**Candeias do Jamari**	**Ji-Paraná**	**Candeias do Jamari**
7 dias	5 CP	3 CP	3 CP	3 CP	3 CP	3 CP	3 CP
28 dias	5 CP	3 CP	3 CP	3 CP	3 CP	3 CP	3 CP

O total de corpos de prova analisados foram de 46 corpos de prova (Tabela 8) para as duas cidades analisadas, bem como o traço controle. Conforme a ABNT NBR 5738:2015, os moldes preenchidos com o concreto devem ser reservados por um período de 24 horas, e transcorrido esse tempo, desmoldados e direcionados aos tanques de armazenamento úmido, aguardando o período de rompimento preconizado pela norma, a fim de avaliar a resistência que o concreto atingirá (7 dias e 28 dias).

5.3.8 Teste de resistência à compressão do concreto

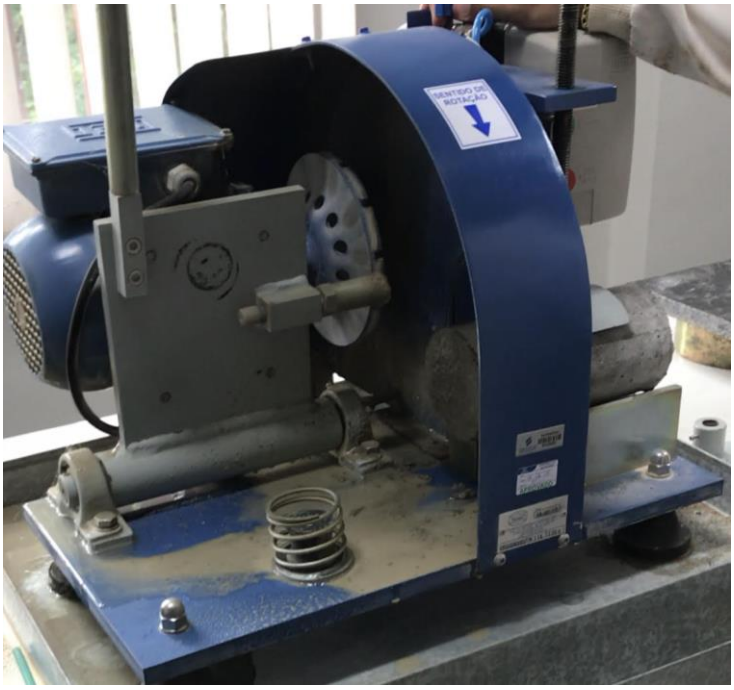
O teste de resistência à compressão do concreto foi realizado conforme parâmetros estabelecidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) através da norma ABNT NBR 5739:2018 “Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos, a qual “prescreve o método pelo qual devem ser ensaiados à compressão os corpos-de-prova cilíndricos de concreto, moldados conforme a ABNT NBR 5738:2015 “Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova e extraídos conforme ABNT NBR 7680:2015 “Concreto - Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de

concreto. Conforme Carvalho e Figueiredo Filho (2014, p.34) a determinação da resistência à compressão do corpo de prova (fc) é dada conforme Equação 1, onde F e A denotam, respectivamente, a força de ruptura obtida pelo ensaio (em Kn) e a área da seção transversal do corpo de prova (em cm²).

$$f_{cj} = \frac{N_{rup}}{\mathrm{A}} \qquad \text{(Equação 1)}$$

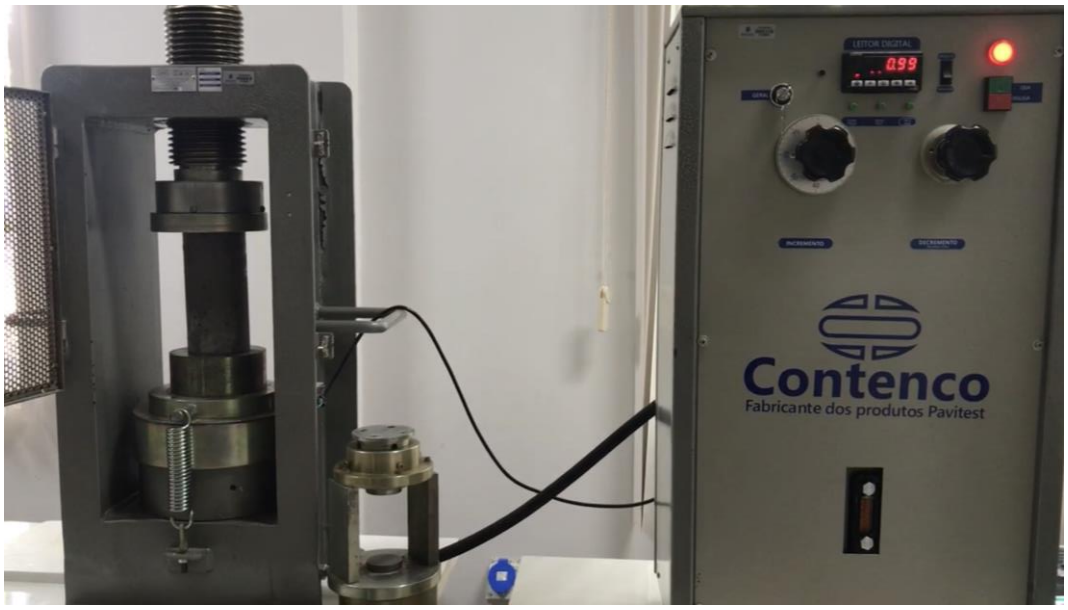
A primeira etapa para o processo referiu-se ao nivelamento das faces dos corpos de prova de concreto através da retífica faceadora (Figura 5), visando a uniformização da superfície de contado do corpo de prova com as superfícies de compressão do equipamento de rompimento, de forma que durante o rompimento as cargas aplicadas sejam uniformemente distribuídas sobre a peça.

Figura 6 Retífica faceadora de corpos de prova



Os corpos de prova foram então colocados no equipamento de teste de resistência e sofreram a ação de uma força de compressão sobre estes até que se rompessem (Figura 6).

Figura 7 Rompimento de um dos corpos de prova



Para a realização da análise dos resultados obtidos de resistência a compressão dos corpos de prova, foram utilizados os parâmetros estabelecidos conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) através das normas ABNT NBR 6118:2014 “Projeto de estruturas de concreto — Procedimento” e ABNT NBR 14931:2004 “Execução de estruturas de concreto – Procedimento”. Estes serão discutidos no tópico relacionado a resultados e discussões.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Caracterização química das amostras

Os percentuais dos óxidos AL_2O_3, SiO_2, K_2O, CaO e Fe_2O_3 nos solos das mostras diferiram estatisticamente entre os locais amostrados (tabela 6). O destaque foi para o SiO_2, que foi maior em todas as amostras, com média de 70,78% na composição com maior percentual nas amostras de Ji-Paraná (81,66%), diferindo-se Cacoal, Pimenta Bueno, Porto Velho e Candeias, sendo que este último local apresentou os menores teores de SiO_2 (61,27%). O AL_2O_3 foi o segundo óxido em percentual nas amostras, com média de 20,36%. A maior concentração de AL_2O_3 foi no solo de Candeias do Jamari (29,50%) este com menos SiO_2, e a menor concentração foi no solo de Ji-Paraná (12,85%), onde o SiO_2 foi maior estatisticamente, ou seja, os teores de AL_2O_3 foram inversamente proporcionais aos teores de SiO_2. Toya et al. (2004) afirmaram em suas análises em vitrocerâmicas que o aumento da quantidade de AL_2O_3 associado a diminuição do SiO_2 ocorrem em materiais de características mais argilosas, e estão diretamente ligados a maiores teores de caulim.

Os teores de Fe_2O_3 foram maiores nas amostras de Pimenta Bueno e Porto Velho e, estatisticamente menores em Cacoal, Candeias do Jamari e Ji-Paraná. Os óxidos de K_2O e CaO foram baixos em todas as amostras, se comparados aos óxidos de SiO_2, AL_2O_3 e Fe_2O_3.

Tabela 8 - Análise estatística da composição química das amostras coletadas nas cidades de Porto Velho, Candeias do Jamari, Pimenta Bueno, Cacoal e Ji Paraná.

Análise de variância	**Al_2O_3**		**SiO_2**		**K_2O**		**CaO**		**Fe_2O_3**	
GL resíduo	20		20		20		20		20	
F tratamentos	216,50	**	210,02	**	59,58	**	5,98	**	42,16	**
Média geral	20,36		70,87		1,54		0,15		6,91	
Desvio-Padrão	1,00		1,28		0,13		0,08		0,66	
DMS (5%)	1,89		2,42		0,24		0,15		1,25	
CV (%)	4,91		1,81		8,28		51,28		9,55	
Teste de Tukey a 5%:										
Porto Velho	23,81	b	65,25	d	1,89	a	0,30	a	8,55	a
Candeias	29,50	a	61,27	e	0,88	c	0,09	b	5,36	b
Pimenta	19,86	c	69,54	c	1,37	b	0,10	b	9,38	a
Cacoal	15,78	d	76,64	b	1,97	a	0,16	ab	5,95	b
Ji-Paraná	12,85	e	81,66	a	1,58	b	0,11	b	5,30	b

Nível de significância: **: 1%; *: 5%, GL: graus de liberdade; DMS: diferença mínima significativa; CV: coeficiente de variação. Letras diferentes diferem estatisticamente $p<0,05$.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) através da norma ABNT NBR 12653:2015 “Materiais pozolânicos — Requisitos”, estabelece requisitos para a aceite de amostra como pozolanas naturais. Primeiro, a amostra deve apresentar uma soma da concentração dos elementos SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 superior a 70%. Logo, a amostra de Porto Velho apresentou um somatório destes elementos igual a 97,61%. Na amostra de Candeias do Jamari o resultado foi 96,13%. Na amostra de Pimenta Bueno a soma dos três elementos significou 98,78%. Na amostra de Cacoal o resultado da soma dos elementos foi 98,37% e na amostra de Ji Paraná o valor foi de 99,81%. Neste sentido, pode-se notar, (Tabela 9) que as amostras das 5 cidades atenderam este requisito. A ABNT NBR 12653:2015 estabelece também que as concentrações de óxido sulfúrico (SO_3) e álcalis disponíveis em Na_2O devem ser respectivamente inferiores a 4% e 1,5%. Estes elementos não foram analisados na Fluorescência de Raio-X, entretanto eles normalmente são muito baixos nos solos de regiões com clima tropical quente e úmido, como é o caso da região onde este trabalho é desenvolvido.

Santos et al. (2016), mostraram que concentrações de SiO_2 acima dos 45% podem melhorar a trabalhabilidade de uma mistura, ou seja, a facilidade com a qual se pode manusear o concreto fresco sem que ele perda ou perda minimamente sua homogeneidade. Além disso, os autores mostram que este elemento pode auxiliar no adensamento da mistura, em outras palavras, o SiO_2 influencia na diminuição do número de vazios, bolhas de ar e excesso de água do interior da massa durante o processo de vibração/movimentação da mistura, objetivando uma massa densa e compacta. Em contrapartida, em algumas situações é possível que o SiO_2 venha a ocasionar a retração do concreto durante o seu endurecimento, ou seja, uma diminuição do volume, muitas vezes resultado do processo de exsudação (eliminação de água da mistura). Este acontecimento, de acordo com Siang Ng et al. (2020), pode acontecer quando as concentrações de SiO_2 acabam absorvendo mais água do que outros componentes na mistura, resultando em possíveis falhas no processo de hidratação do cimento.

As constituições químicas das amostras podem afetar características relacionadas a trabalhabilidade e a resistência mecânica do concreto (capacidade de resistir a esforços externos sem sofrer deformações ou danos), isso pode ser constatado na pesquisa de Liu et al. (2018), os quais analisaram especificamente os efeitos do SiO_2 e do Al_2O_3 como agregados em concreto. Nestas análises, o aumento das concentrações de SiO_2 simbolizaram a diminuição da densidade aparente e da densidade de partículas, mas com um aumento da absorção de água. O aumento do SiO_2 ocasionou uma mudança macroestrutural nas amostras analisadas, de forma a ocorrer a geração de fissuras e diferenças de tamanhos de poros nas partículas da amostra. Liu et al. (2018) observaram ainda o comportamento do Al_2O_3, onde, quanto maior fosse a concentração

desta espécie química, maior também seria a irregularidade de partícula, bem como o aumento da fragilidade das partículas. Estes fatores foram considerados causadores do aumento da absorção de água, bem como alteração na microestrutura das partículas. Os autores afirmam a importância de se considerar os teores de SiO_2 e do Al_2O_3 como fatores influentes no comportamento estrutural de uma mistura com adições de amostras formadas por estes elementos.

Jiang et al. (2017), mostraram que os elementos CaO e Fe_2O_3, se existentes em excessividade, podem influenciar na ocorrência de deformações dos elementos devido à baixa viscosidade da fase vítrea quando submetido a altas temperaturas. Desta forma a utilização de argilas com altas concentrações destes elementos, para fins construtivos é desvantajoso. Por outro lado, estes elementos auxiliam na fusão do SiO_2 e do Al_2O_3, os quais necessitam de altas temperaturas. Os autores demonstram que uma concentração adequada de CaO e Fe_2O_3 pode ser benéfica a uma mistura pois facilitam as reações químicas em temperaturas mais baixas que os elementos sofrem durante um processo de queima.

Os percentuais de caulinita nas amostras de solo foram em média de 51,53%, sendo maiores nas cidades de Candeias do Jamari (74,68%), seguidos na sequência por Porto Velho, Pimenta Bueno, Cacoal e Ji-Paraná, com menores teores (Tabela 7).

Tabela 9 Análise estatística da concentração de caulinita (%) das amostras de solos das cidades de Porto Velho, Candeias do Jamari, Pimenta Bueno, Cacoal e Ji Paraná.

Análise de variância	**Caulinita**	
GL resíduo	20	
F tratamentos	217,12	**
Média geral	51,53	
Desvio-padrão	2,53	
DMS (5%)	4,78	
CV (%)	4,90	
Teste de Tukey a 5%:		
Porto Velho	60,27	b
Candeias	74,68	a
Pimenta	50,28	c
Cacoal	39,94	d
Ji-Paraná	32,51	e

Nível de significância: **: 1%; *: 5%. GL: graus de liberdade; DMS: diferença mínima significativa; CV: coeficiente de variação. Letras diferentes diferem estatisticamente $p<0,05$.

Os resultados da Tabela 10 são confirmados também pelos da Tabela 9, ou seja, a amostra de Candeias do Jamari possui mais caulinita, que é um tipo de argilomineral do tipo 1:1, mais argiloso, composto principalmente por óxidos de Silício, Ferro e Alumínio. Já o solo de Ji-Paraná possui menos Caulinita e, por outro lado possui mais óxidos de Si, que é típico de solos mais arenoso. Sendo assim, o solo de candeias do Jamari tem constituição de solo mais argiloso do que o solo de Ji-Paraná.

A variedade dos teores de caulinita entre cidades (tabela 7) dentro de um raio de alcance menor a 500 quilômetro's pode ser explicada pela composição mineralógica e química de cada amostra. Meseguer et al. (2011), mostraram em seu estudo sobre as propriedades de argilas que a origem dos caulins está diretamente ligada ao processo de intemperismo das rochas metamórficas e de fundação granítica (processo da caulinização de fedspatos e micas tonalíticas, granitos e ardósias).

6.2 Traço do concreto e adições pozolânicas

O primeiro traço de concreto realizado foi o piloto, com nenhuma adição pozolânica, somente os materiais de uma mistura de concreto comum (água:cimento:areia:brita). Este traço, assim como os traços com pozolanas, passaram por uma análise inicial denominado teste de abatimento (slump test), o qual determina características de trabalhabilidade das misturas. Conforme análise, o teste piloto apresentou boa homogeneidade, não houve indícios de segregação da mistura (separação dos materiais que a compõem), e foi possível constatar que a mistura apresenta boas características de plasticidade (facilidade de moldagem do concreto sem que ele se rompa) e trabalhabilidade.

O teste de consistência das amostras coletadas em Ji Paraná (figura 5) apresenta a sequência de porcentagens de adições pozolânicas de 50%, 30% e 10% respectivamente. As substituições de 50% e 30% apresentaram abatimento de 1 centímetro e 2 centímetros respectivamente, estando estas abaixo do mínimo de 5 centímetros. A substituição de 10% apresentou um abatimento de 6 centímetros, sendo este um valor aceitável para utilização em alguns elementos de concreto, indicando ainda que a mistura possui a trabalhabilidade necessária para utilização (ABNT NBR 8953:2015 "Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência").

Figura 8 Testes de trabalhabilidade do concreto com substituição parcial de cimento por pozolana (a)50%; (b)30% e (c)10% nas amostras de Ji-Paraná.

(a) (b) (c)

Os testes de consistência do concreto das amostras da cidade de Candeias do Jamari também foram realizados para as substituições pozolânicas de 50%, 30% e 10%, a, b, c, respectivamente (figura 6). Na substituição de 50% de pozolana por cimento ocorreu o desmoronamento do concreto nas duas tentativas solicitadas conforme ABNT NBR 16889:2020 “Concreto — Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone”, indicando a possível não plasticidade e coesão desta mistura. A substituição de 30% apresentou um abatimento de 7 centímetros, indicando sua possibilidade de utilização em elementos de fundação e pavimentos. Para a porcentagem de 10% de substituição, a amostra apresentou um abatimento de 10 centímetros, estando este valor de acordo do mínimo estabelecido para utilização em elementos estruturais de concreto e simbolizando que a mistura apresenta a coesão e plasticidade necessária (ABNT NBR 8953:2015 “Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência”).

Figura 9 Testes de trabalhabilidade do concreto com substituição parcial de cimento por pozolana (a)50%; (b)30% e (c)10% para amostras de Candeias do Jamari.

(a) (b) (c)

Comparando os dois traços analisados, é possível notar que na substituição de 50% do cimento por solos (pozolana) não houve desmoronamento com a amostra de Ji-Paraná (Figura 5) e houve desmoronamento com a amostra de Candeias (Figura 6). A amostra que desmoronou apresentava características de solo menos arenoso (menor proporção de SiO_2, Tabela 6) e maior teor de Caulinita (Tabela 7), característica de solos mais argilosos. Os solos argilosos possuem maior capacidade de retenção/absorção de água, se comparado a solos mais arenosos. O resultado disso foi a falta de água para dar coesão das unidades componentes do concreto.

De forma geral, através da análise do teste de consistência dos concretos com substituições pozolânicas, nota-se que o aumento da proporção de substituição de cimento por pozolanas, aumenta a absorção de água pela mistura e afeta de forma negativa aspectos de coesão, plasticidade e consequentemente a trabalhabilidade do concreto. Nos traços com substituições de 30% e 50% em ambas as cidades as características de trabalhabilidade e coesão não atingiram os critérios estabelecidos pela norma. Na substituição de 10%, a amostra de Candeias do Jamari atingiu o mínimo estabelecido pela norma, e no caso de Ji-Paraná, há uma limitação para o uso do concreto. Msinjili et al. (2021), em suas análises observaram que o uso dos SCMs, incluindo argilas calcinadas, frequentemente pode ocasionar um efeito adverso na trabalhabilidade da mistura. No entanto, afirmam que estes efeitos podem ser mitigados pelo uso de aditivos plastificantes, não desconsiderando a necessidade de dimensionamento da proporção destes na mistura. Ou seja, nas situações em que certas porcentagens de substituições apresentaram valores de abatimento abaixo do mínimo estabelecido por norma, pode-se corrigir esta falha através dos aditivos plastificantes até que se obtenha a trabalhabilidade necessária.

6.3 Resistência Mecânica à Compressão

Os resultados da resistência mecânica à compressão do concreto (Tabela 11) foram avaliados conforme os parâmetros estabelecidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) através da norma ABNT NBR 6118:2014 “Projeto de estruturas de concreto — Procedimento”, considerando que o teor de cimento influencia diretamente nos índices de resistência do concreto.

Tabela 10 Análise estatística da resistência mecânica à compressão do concreto - Substituições de 10; 30 e 50% para as amostras de solo das cidades de Candeias do Jamari e Ji Paraná.

Análise de variância	Resistência (7d)		Resistência (28d)	
GL resíduo	16		16	
F tratamentos	132,59	**	33,91	**
Média geral	13,27		17,58	
Desvio-padrão	1,19		2,24	
DMS (5%)	(x)		(x)	
CV (%)	9,00		12,73	
Teste de Tukey a 5%:				
Controle	24,80	A	27,92	a
Candeias 10%	15,39	B	20,47	b
Candeias 30%	8,33	Cd	13,39	c
Candeias 50%	6,07	D	9,72	c
Controle	24,80	A	27,92	a
Ji Paraná 10%	15,25	B	19,85	b
Ji Paraná 30%	9,91	C	15,18	bc
Ji Paraná 50%	5,46	D	9,64	c

Nível de significância: **: 1%; *: 5%. GL: graus de liberdade; DMS: diferença mínima significativa; CV: coeficiente de variação. Letras diferentes diferem estatisticamente $p<0,05$.

A resistência de todas as substituições pozolânicas para as cidades de Candeias do Jamari e Ji Paraná aos 7 dias não alcançaram o valor mínimo de resistência estabelecido pela norma, de 20MPa. No entanto, Mehta e Monteiro, 2014, demonstraram que para concretos com adições pozolânicas, o ganho de resistência significativo se inicia após os 7 dias. Da mesma forma, Hossain et al. (2021), em suas análises perceberam que boa parte das amostras não atinge a resistência logo aos 7 dias, no entanto, na idade dos 28 dias a resistência é geralmente alcançada.

A resistência alcançada aos 28 dias em ambas as cidades avaliadas na substituição de 10%, alcançou o valor de 20MPa, o mínimo de resistência requerido por norma para ser considerado um concreto estrutural, mas de armadura passiva. As demais adições das duas cidades, tanto para 30% quanto para 50% apresentaram valores inferiores ao mínimo estabelecido por norma (ABNT NBR 6118:2014 “Projeto de estruturas de concreto — Procedimento”). O processo de ganho de resistências em alguns concretos com pozolanas é mais lento do que no concreto convencional nas idades iniciais (7 dias). O ganho de resistência é gradual e constante, obtendo bons resultados já nos 28 dias (HOSSAIN et al., 2021).

Nota-se que em relação ao traço controle (tabela 8), as amostras com 10% de substituição de ambas as cidades, mesmo tendo alcançado a resistência mínima aos 28 dias, não alcançaram a resistência apresentada pelo traço controle. De fato, diminuir o teor do clínquer presente no cimento, significa diminuir a produção de hidróxido de cálcio e consequentemente a velocidade de reação pozolânica (ZHANG et al., 2020). Neste sentido, Msinjili et al. (2021) mostra que as pozolanas como substitutos ao cimento têm grande potencial, já que aos 28 dias (valor de referência do concreto) elas geralmente já atingem a resistência necessária. No entanto, o autor mostra através de suas análises, que ganho de resistência significativo ocorre em idades superiores aos 28 dias, podendo chegar até os 91 dias, mostrando que a reação das pozolanas são geralmente lentas. Zhang et al. (2020) mostra uma possível explicação para este ganho de resistência desproporcional entre o traço controle e os traços com adições, onde afirmam que a diminuição de clínquer e consequente redução do hidróxido de sódio são capazes de retardar a reação pozolânica na mistura.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) através da norma ABNT NBR 6118:2014 “Projeto de estruturas de concreto — Procedimento” estabelece ainda que é aceitável o valor mínimo de resistência de 15,00 MPa para utilização de concreto sem fins estruturais como contrapisos, blocos de concreto não estrutural (maciços ou vazados), lastros de concreto etc. Neste sentido as amostras da cidade de Ji Paraná apresentaram o valor de 15,18 MPa para a substituição de até 30% de cimento, e podem ser aproveitados para os fins anteriormente citados.

Apesar de as substituições de 30% e 50% de cimento Portland por pozolanas terem apresentado resultados inferiores ao mínimo estabelecido pela ABNT NBR 6118:2014 “Projeto de estruturas de concreto — Procedimento”, Vejmelkova et al. (2018), mostram que no caso das pozolanas é possível que o ganho efetivo de resistência ocorra em idades superiores. Nota-se que o ganho de resistência dos dias iniciais até alcançar os 28 dias pode não ser um parâmetro adequado de observação no caso de concreto com pozolanas, podendo ser necessária uma avaliação de amostras em idades mais avançadas.

Omrane e Rabehi (2020), notaram em suas análises que a longo prazo houve um aumento no ganho de resistência do concreto, em idades próximas aos 120 dias. As pozolanas em análise, assim como as desta pesquisa, possuíam altos teores de SiO_2, o que pode explicar o ganho de resistência em função do aumento da idade. Isto explica-se, pois, a reação de hidratação nesse caso continua por longos períodos, ou seja, a reação pozolânica com o hidróxido de cálcio acontece por períodos superiores aos 100 dias. Este mesmo fato foi notado por Omrane et al. (2017), em uma outra pesquisa, onde o concreto com maiores proporções de

pozolanas teve um aumento do ganho resistência a longo prazo (120 dias). Os autores sugeriram também que este acontecimento era atribuído aos altos teores de SiO_2 na mistura por causa da pozolana. É possível que as amostras deste trabalham possam seguir esta mesma linha de ganho de resistência conforme o avanço das idades.

Os corpos de prova que foram rompidos aos 7 dias apresentaram baixa resistência nas maiores substituições de pozolanas, e estavam bem inferiores ao mínimo exigido. No entanto, o estudo de Grist et al. (2015), mostra que misturas de concreto com pozolana podem ter ganhos de resistência menores em relação a misturas de concreto convencionais, nos primeiros 7 dias. Em contrapartida, entre 7 e 28 dias, o ganho de resistência apresenta-se semelhante e posteriormente a esta idade, os concretos com pozolanas apresentam maior ganho de resistência. Os autores mostram que para entender a dinâmica desta divergência entre ganho de resistência é necessário o aprofundamento em trabalhos que envolvam concretos com pozolanas tendo em vista a variabilidade de pozolanas.

7 CONCLUSÃO

As análises de FRX realizadas nas amostras de solo deste estudo, apresentaram constituição química para serem considerados argilas pozolânicas.

O solo de Candeias do Jamari apresenta maior proporção de caulinitas, associado a menor proporção de silício (menos arenoso) em relação ao solo de Ji-Paraná que teve menos caulinita e mais óxidos de silício (mais arenoso).

Nas substituições de 10% de pozolana por cimento o teste de abatimento atendeu a ABNT NBR 16889:2020 “Concreto — Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone”), já as substituições de 30 e 50%, as quais tiveram maior substituição pozolânica ocorreu maior absorção de água. No caso da amostra de solo da cidade de Ji-Paraná o solo apresentou características de ser a mais arenosa e consequentemente demonstrou pouca trabalhabilidade e menor absorção de água. Na amostra de solo da cidade de Candeias do Jamari, esta apresentou características menos arenosa, com uma absorção da água superior a amostra de Ji-Paraná, e consequentemente apresentou menor trabalhabilidade.

A resistência mecânica à compressão do concreto feito com as amostras de solo calcinado apresentou aumentos graduais ao longo do tempo, porém somente a substituição de 10% dos solos das cidades de Candeias do Jamari e Ji-Paraná atingiram 20 MPa (concreto estrutural) aos 28 dias.

As substituições de 10% das amostras de solos de Ji-Paraná e de Candeias, bem como a substituição de 30% nas amostras de solo de Ji-Paraná apresentaram a resistência à compressão mínima de 15 MPa, podendo ser utilizado como concreto sem fins estruturais (ABNT NBR 6118:2014 “Projeto de estruturas de concreto — Procedimento”).

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O atual cenário de pandemia mundial gerou questões que afetaram a infraestrutura laboratorial disponível, sendo difícil a análise de todos os solos coletados nesta pesquisa. Sugere-se então a realização de análises de substituição pozolânica em concretos, utilizando todas as amostras coletadas nas cinco cidades apresentadas. Isso porque há demanda de mais pesquisas acerca de pozolanas com características singulares, de forma a consolidar métodos de utilização deste material.

Os resultados desta pesquisa demonstraram-se promissores durante as etapas analisadas, mas há necessidade de mais análises para todas as porcentagens de substituição de cimento Portland por pozolana, bem como verificação do comportamento de cada material do traço com a pozolana e análise para idades superiores aos 28 dias. Isso porque estudos mostram que concretos com substituições parciais de cimento por pozolanas tendem a ganhar resistência por idades superiores aos 28 dias, tendo em vista que o processo de ganho de resistência significativa em concretos com pozolanas é mais lento, mas perdura por mais tempo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMY, A. **Geodiversidade do Estado de Rondônia**. Porto Velho, Serviço Geológico do Brasil - Programa Geologia do Brasil, 2010.

ROGER S. ALMENARES, R. S.; VIZCAÍNO, L. M.; DAMAS, S.; MATHIEU, A.; ALUJAS, A.; MARTIRENA, F. **Industrial Calcination of Kaolinitic Clays to Make Reactive Pozzolans.** Case Studies in Construction Materials, v. 6, p. 225-232, Cuba, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉNICAS. **NBR 16697: Cimento Portland – Requisitos.** Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR 12653: Materiais pozolânicos – Requisitos.** Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 14931: Execução de estruturas de concreto - Procedimento.** Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 16889: Concreto — Determinação da Consistência pelo Abatimento do Tronco de Cone.** Rio de Janeiro, 2020.

_____. **NBR 5738: Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR 5752: Materiais pozolânicos — Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias.** Rio de Janeiro, 2014

_____. **NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto-Procedimento.** Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 7218:** Agregados — **Determinação do Teor de Argila em Torrões e Materiais Friáveis.** Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 7680: Concreto - Extração, Preparo, Ensaio e Análise de Testemunhos de Estruturas de Concreto - Parte 1: Resistência à Compressão Axial.** Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação.** Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 8953: Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência.** Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NM 30: Agregado Miúdo – Determinação da Absorção de Água.** Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios.** Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NM 46: Agregados – Determinação do Material Fino que Passa Através da Peneira 75 um, por Lavagem.** Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NM 52: Agregado Miúdo - Determinação Da Massa Específica E Massa Específica Aparente.** Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NM 53: Agregado Graúdo - Determinação De Massa Específica, Massa Específica Aparente E Absorção De Água.** Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NM 248: Agregados- Determinação da Composição Granulométrica.** Rio de Janeiro, 2003.

AVET, F.; SNELLINGS, R.; DIAZ, A. A.; SCRIVENER, K. **Development of a new rapid, relevant and reliable (R^3) test method to evaluate the pozzolanic reactivity of calcined kaolinitic clays.** Cement and Concrete Research, v. 85, p. 1-11, Switzerland, 2016.

BAUER, F. L. A.; **Materiais de Construção**. 5ed. rev. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

BERRIEL, S. S.; FAVIER, A.; DOMÍNGUEZ, E. R.; MACHADO, I. R. S.; HEIERLI, U.; SCRIVENER, K.; HERNÁNDEZ, F. M.; HABERT, G. **Assessing the environmental and economic potential of Limestone Calcined Clay Cement in Cuba.** Journal of Cleaner Production, v. 124, p. 361-369, Switzerland, 2016.

ÇANKAYA, S.; PEKEY, B. **A Comparative Life Cycle Assessment For Sustainable Cement Production In Turkey.** Journal of Environmental Management, v. 249, Turkey, 2019.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO, J. R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado segundo a NBR 6118:2003**. 4 ed. rev., São Paulo: EdUFSCar, 2014.

COSTA, M.; LIRA, H.; RIBEIRO, P.; FREITAS, N. **Avaliação do efeito da temperatura de calcinação nas características estruturais e morfológicas de aluminas sintetizadas pelo método Pechini.** Revista Matéria, v. 19, nº.2, p. 171-182, Paraíba, 2014.

DU, H.; PANG, S. D. **High-performance concrete incorporating calcined kaolin clay and limestone as cement substitute.** Construction and Building Materials, v. 264, Singapore, 2020.

GARG. N.; SKIBSTED, J. **Pozzolanic Reactivity of a Calcined Interstratified Illite/Smectite (70/30) Clay.** Cement and Concrete Research, v. 79, p. 101-111, Dinamarca, 2016.

GRIST, E.R.; PAINE, K.A.; HEATH, A.; NORMAN, J.; PINDER, H. **Structural and Durability Properties of Hydraulic Lime–Pozzolan Concretes.** Cement & Concrete Composites, v. 62, p. 212–223, Inglaterra, 2015.

HELENE, P.; ANDRADE, T. **Concreto de Cimento Portland**. Capítulo 29. In: ISAIA, Geraldo (Ed.). Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. 2 ed. IBRACON, 2010. v.1 & v.2. p. 945-984, ISBN 978-85-98576-14-5 e 978-85-98576-15-2

HOSSAIN, M. M.; KARIM, M. R.; HASAN, M.; HOSSAIN, M. K.; ZAIN, M. F. M.; **Durability of mortar and concrete made up of pozzolans as a partial replacement of cement: A review.** Construction and Building Materials, v. 116, p. 128-140, 2016.

HOSSAIN, M. U.; CAI, R.; THOMAS, S.; XUAN, D.; YE, H. **Sustainable Natural Pozzolana Concrete – A Comparative Study on its Environmental Performance Against Concretes With Other Industrial By-Products.** Construction and Building Materials, v. 270, 2021.

Mapa de Recursos **Minerais do Estado de Rondônia**. Disponível em: https:// http://geosgb.cprm.gov.br/geosgb/downloads.html. Acesso em: 05 de mar. 2021.

JASKULSKI, R.; JÓZWIAK-NIEDZWIEDZKA, D.; YAKYMECHKO Y. **Calcined Clay as Supplementary Cementitious Material.** Materials, v. 13, Poland, 2020.

JIANGA, F.; LIA, Y.; ZHAOA, L.; CANGA, D. **Novel Ceramics Prepared From Inferior Clay Rich in CaO and Fe_2O_3: Properties, Crystalline Phases Evolution and Densification Process.** Applied Clay Science, v. 143, p. 199–204, China, 2017.

JUENGER, M. G. G.; SNELLINGS, R.; BERNAL, S. A. **Supplementary cementitious materials: New sources, characterization, and performance insights.** Cement and Concrete Research, v. 122, p. 257-273, 2019.

LACERDA, M. L. **Avaliação Geológica e Tecnológica de Argilas Pozolânicas do Distrito Federal e Entorno**. Brasília. 2010. 150f. Dissertação (Doutorado), Universidade de Brasília, Brasília/DF, 2010.

LIU, M.; LIU, X.; WANG, W.; GUO, J.; ZHANG, L.; ZHANG, H. **Effect of SiO_2 and Al_2O_3 on Characteristics of Lightweight Aggregate Made From Sewage Sludge and River Sediment.** Ceramics International, v. 44, p. 4313–4319, China, 2018.

MESEGUER, S.; PARDO, F.; JORDAN, M.M.; SANFELIU, T.; GONZÁLEZ, I. **Ceramic Behaviour of Some Kaolins From Cauquenes Province (VII Region of Maule, Chile).** Applied Clay Science, v. 52, p. 414–418, 2011.

MOHAMMED, S. **Processing, effect and reactivity assessment of artificial pozzolans obtained from clays and clay wastes: A review**. Construction and Building Materials, v.140, p.10-19, 2017.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Cimentos hidráulicos. **Concreto – Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 2º edição. São Paulo: Ibracon, 2014.

MOHAMMED, S. **Processing, effect and reactivity assessment of artificial pozzolans obtained from clays and clay wastes: A review**. Construction and Building Materials, v.140, p.10-19, 2017.

MSINJILI, N. S.; VOGLER, N.; STURM, P.; NEUBERT, M.; SCHRÖDER, H-J.; KÜHNE, H-C.; HÜNGER, K-J.; GLUTH, G. J. G. **Calcined Brick Clays and Mixed Clays as Supplementary Cementitious Materials: Effects on the Performance of Blended Cement Mortars.** Construction and Building Materials, v. 266, Alemanha, 2021.

NEVILLE, A. M.; Propriedades do Concreto. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

OMRANE, M.; RABEHI, M. **Effect of Natural Pozzolan and Recycled Concrete Aggregates on Termal and Physico-Mechanical Characteristics of Self-Compacting Concrete.** Construction and Building Materials, v. 247, 2020.

PARIS, J. M.; ROESSLER, J. G.; FERRARO, C. C.; DEFORD, H. D .; TOWNSEND, T. G. **A Review Of Waste Products Utilized As Supplements To Portland Cement In Concrete.** Journal of Cleaner Production, v.121, p.1-18, 2016.

PETRUCCI, E. G. R.; Concreto de Cimento Portland. 2.ed. Porto Alegre: Editora Globo, 1975.

PILLAI, R. G.; GETTU, R.; SANTHANAM, M. **Uso de materiais cimentícios suplementares (SCMs) em sistemas de concreto armado - Benefícios e limitações.** Revista ALCONPAT, v. 10, n.2, p. 147-164, 2020.

RODRIGUES, P. P. F. **Parâmetros da Dosagem Racional do Concreto. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland.** 34ª Reunião de Técnicos da Indústria do Cimento, São Paulo, 1983.

RODRIGUEZ, C.; TOBON, J. I. **Influence of Calcined Clay/Limestone, Sulfate and Clinker Proportions on Cement Performance.** Construction and Building Materials, v.251, Colombia, 2020.

SANTOS, C. C.; ISAIA, G. C. **Materiais alternativos para concretos de cimento Portland.** Revista Tecnologia, v. 41, n.1, p. 1-13, 2020.

SANTOS, C. P.; OLIVEIRA, H. A.; OLIVEIRA, R. M. P. B.; MACEDO, Z. S. **Caracterização de Argilas Calcárias Utilizadas na Produção de Revestimentos Cerâmicos no Estado De Sergipe – Brasil.** Revista Cerâmica, v. 62, p. 147-156, 2016.

SCHNEIDER, M. **The Cement Industry on The Way to a Low-Carbon Future.** Cement and Concrete Research, v. 124, 2019.

SCHULZE, S. E.; RICKERT, J. **Suitability of Natural Calcined Clays as Supplementary Cementitious Material.** Cement and Concrete Composites, v. 95, p. 92-97, 2019.

SCRIVENERA, K.; JOHN, V. M.; GARTNER, E. M. **Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO_2 cement-based materials industry.** Cement and Concrete Research, v. 114, p. 2-26, 2018.

SCRIVENERA, K.; MARTIRENA, F.; BISHNOI, S.; MAITY, S. **Calcined Clay Limestone Cements.** Cement and Concrete Research, v.114, p.49-56, 2018.

SIANG NG, D.; PAUL, S. C.; ANGGRAINI, V.; KONG, S. Y.; QURESHI, T. S.; RODRIGUEZ, C. R.; LIU, Q-F.; ŠAVIJA, B. **Influence of SiO_2, TiO_2 and Fe_2O_3 Nanoparticles on the Properties of Fly Ash Blended Cement Mortars.** Construction and Building Materials, v. 258, 2020.

SILVA, M. G. D. Cimentos Portland com Adições Minerais. In: ISAIA, G. C. (Ed.). Materiais de Construção Civil: e princípios de ciência e engenharia dos materiais. São Paulo: ISAIA, G. C., v.1, 2007. cap. 23.

SILVA, C.; GODINHO, D. S. S.; RIBEIRO, A.; FERRONATO, A.; SANTOS NETO, A. B. S.; ANGIOLETTO, E. **Influence of substitution of Portland cement CP-II-Z32 by refractory cement on residual properties of high-temperature concrete.** Cerâmica, v. 55, p. 330-339, 2020.

SILVA, M. G. S.; CAPPELLESSO, V. G.; GARCIA, M. G. L.; MASUERO, A. B.; DAL MOLIN, D. C. C. **Calcium hydroxide influence in autogenous self-healingofcement-based materials in various environmental conditions.** Ambiente Construído, v.21, p-209-224, Porto Alegre, 2021.

SKIBSTED, J.; SNELLINGS, R. **Reactivity of Supplementary Cementitious Materials (SCMs) in Cement Blends.** Cement and Concrete Research, v. 124, 2019.

STROTHER, P. **Manufacture of Portland Cement**. Capítulo 2. In: HEWLETT, P.C; LISKA, M. (Ed.). Lea's Chemistry of Cement and Concrete. 5 ed. Butterworth-Heinemann, 2017. p. 31-56, ISBN 9780081007730,

SURANENI, P.; WEISS, J. **Examining the Pozzolanicity of Supplementary Cementitious Materials Using Isothermal Calorimetry and Thermogravimetric Analysis.** Cement and Concrete Composites, v. 83, p. 273-278, 2017.

TIBBETTS, C. M.; WATTS, B. E.; HUBER, E. D.; FERRARO, C. C; **Analysis of Portland Cement Concrete Components on Porosity, Electrical, and Transport Properties.** Cement and Concrete Composites, v.116, 2020.

TIRONI, A.; CASTELLANO, C. C.; BONAVETTI, V. L.; TREZZA, M. A.; SCIAN, A. N.; IRASSAR, E. F. **Kaolinitic calcined clays – Portland cement system: Hydration and properties.** Construction and Building Materials, v. 64, p. 215-221, 2014.

TOYA, T.; TAMURA, Y.; KAMESHIMA, Y.; OKADA, K. **Preparation and Properties of $CaO–MgO–Al_2O_3–SiO_2$ Glass-Ceramics From Kaolin Clay Refining Waste (Kira) and Dolomite.** Ceramics International, v.30, p. 983–989, 2004.

TUAN, N. M.; VAN HAU, Q.; CHIN, S.; PARK, S. **In-situ Concrete Slump Test Incorporating Deep Learning and Stereo Vision.** Automation in Construction, v. 121, 2021.

VEJMELKOVÁ, E.; KONÁKOVÁ, D.; DOLEZELOVÁ, M.; SCHEINHERROVÁ, L.; SVORA, P.; KEPPERT, M.; REITERMAN, P.; CERNY, R. **Effect of Calcined Czech Claystone on the Properties of High Performance Concrete: Microstructure, Strength and Durability.** Construction and Building Materials, v. 168, p. 966-974, República Tcheca, 2018.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. WBCSD - **Technology Roadmap -** Low-Carbon Transition in the Cement Industry**.** Geneva, CSI, 2017

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. WBCSD - **Cement Industry Energy and CO2 Performance -** Getting the Numbers Right (GNR)**.** Geneva, CSI, 2016

WORRELL, E.; PRICE, L.; MARTIN, N.; HENDRIKS, C.; MEIDA, L. O. **Carbon Dioxide Emissions From The Global Cement Industry**. Annu. Rev. Energy Environ, v.26, p. 303-329, 2001.

ZAMPIERI, V. A. **Mineralogia e Mecanismos de Ativação e Reação das Pozolanas de Argilas Calcinadas**. São Paulo. 1989. 191f. Dissertação (Mestrado em Mineralogia e Petrologia) Universidade de São Paulo, São Paulo/SP, 1989.

ZHANG, D.; JAWORSKA, B.; ZHU, H.; DAHLQUIST, K.; LI, V. C. **Engineered Cementitious Composites (ECC) with limestone calcined clay cement (LC3).** Cement and Concrete Composites, v. 114, Estados Unidos, 2020.

WORRELL, E.; PRICE, L.; MARTIN, N.; HENDRIKS, C.; MEIDA, L. O. **Carbon Dioxide Emissions From The Global Cement Industry.** Annu. Rev. Energy Environ, v.26, p.303-329, 2001.

ANEXO A – MAPA DE RECURSOS MINERAIS DO ESTADO DE RONDÔNIA

CPRM
Serviço Geológico do Brasil
Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral
Ministério de Minas e Energia
BRASIL UM PAÍS DE TODOS GOVERNO FEDERAL

MAPA DE RECURSOS MINERAIS DO ESTADO DE RONDÔNIA

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

MINISTRO DE ESTADO (INTERINO)
Nelson Hubner

SECRETÁRIO DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
Cláudio Scliar

COORDENAÇÃO GERAL DE GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS
Nóris Costa Diniz

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL

DIRETOR-PRESIDENTE
Agamenon Sérgio Lucas Dantas

DIRETOR DE GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS
Manoel Barreto da Rocha Neto

DIRETOR DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL
José Ribeiro Mendes

DIRETOR DE RELAÇÕES INSTITUCIONAIS E DESENVOLVIMENTO
Fernando Pereira de Carvalho

DIRETOR DE ADMINISTRAÇÃO E FINANÇAS (INTERINO)
Eduardo Santa Helena da Silva

CHEFE DA RESIDÊNCIA DE PORTO VELHO
Helena da Costa Bezerra

CHEFE DO DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
Edilton Santos

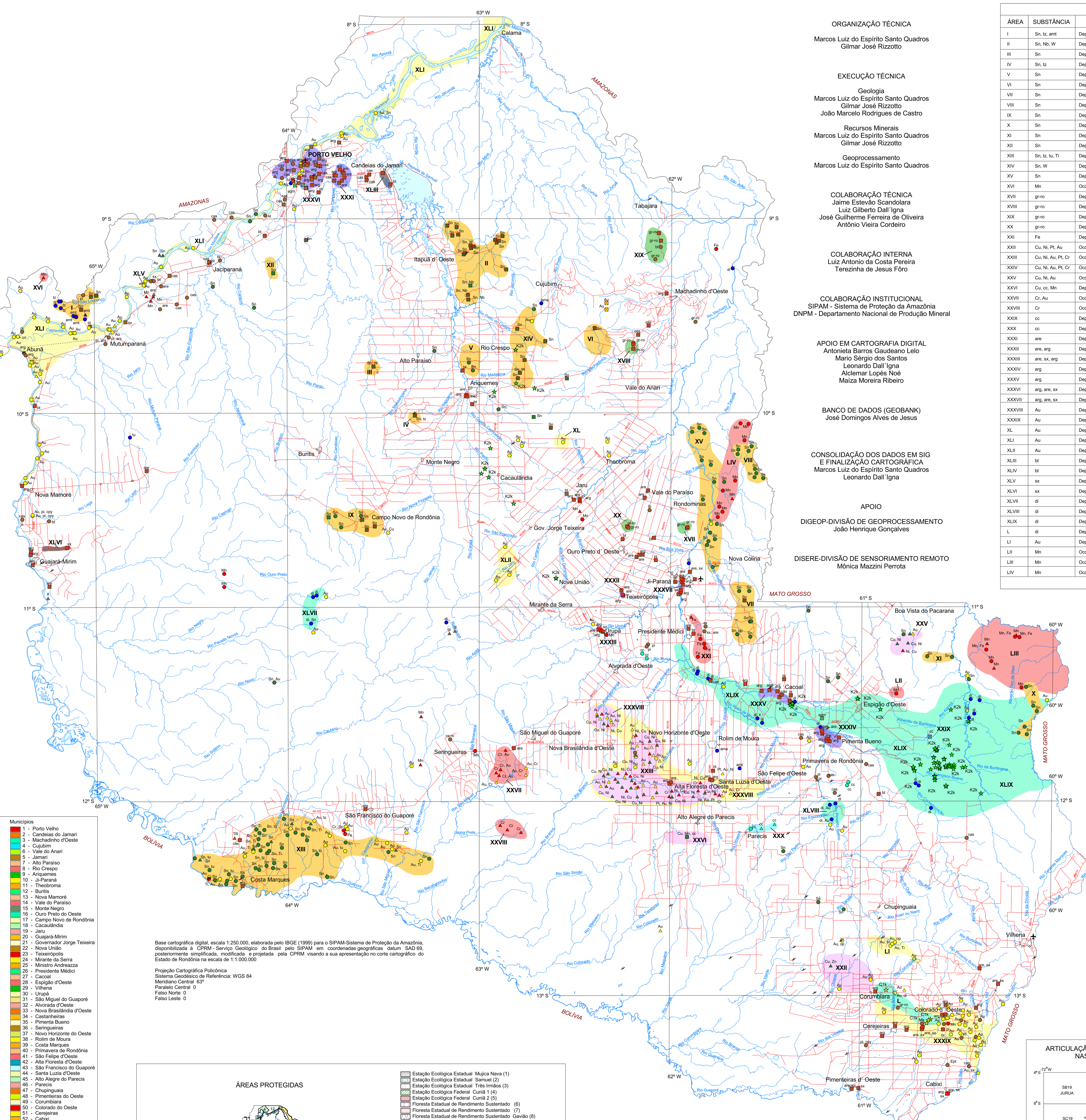
CHEFE DE DEPARTAMENTO DE RECURSOS MINERAIS
Reinaldo Santana Correia de Brito

CHEFE DA DIVISÃO DE GEOLOGIA BÁSICA
Inácio de Medeiros Delgado

COORDENAÇÃO TÉCNICA NACIONAL
Edilton José dos Santos
Inácio de Medeiros Delgado
João Henrique Gonçalves

COORDENAÇÃO TÉCNICA REGIONAL
Gilmar José Rizzotto

RESPONSÁVEL TÉCNICO
Marcos Luiz do Espírito Santo Quadros



ORGANIZAÇÃO TÉCNICA
Marcos Luiz do Espírito Santo Quadros
Gilmar José Rizzotto

EXECUÇÃO TÉCNICA
Geologia
Marcos Luiz do Espírito Santo Quadros
Gilmar José Rizzotto
João Marcelo Rodrigues de Castro

Recursos Minerais
Marcos Luiz do Espírito Santo Quadros
Gilmar José Rizzotto

Geoprocessamento
Marcos Luiz do Espírito Santo Quadros

COLABORAÇÃO TÉCNICA
Jaime Estevão Scandolara
Luiz Gilberto Dall´Igna
José Guilherme Ferreira de Oliveira
Antônio Vieira Cordeiro

COLABORAÇÃO INTERNA
Luiz Antonio da Costa Pereira
Terezinha de Jesus Fôro

COLABORAÇÃO INSTITUCIONAL
SIPAM - Sistema de Proteção da Amazônia
DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral

APOIO EM CARTOGRAFIA DIGITAL
Antonieta Barros Gaudeano Lelo
Mario Sérgio dos Santos
Leonardo Dall´Igna
Alclemar Lopés Noé
Maíza Moreira Ribeiro

BANCO DE DADOS (GEOBANK)
José Domingos Alves de Jesus

CONSOLIDAÇÃO DOS DADOS EM SIG
E FINALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA
Marcos Luiz do Espírito Santo Quadros
Leonardo Dall´Igna

APOIO
DIGEOP-DIVISÃO DE GEOPROCESSAMENTO
João Henrique Gonçalves

DISERE-DIVISÃO DE SENSORIAMENTO REMOTO
Mônica Mazzini Perrota

ÁREAS DE RELEVANTE INTERESSE MINERAL

ÁREA	SUBSTÂNCIA	TIPOLOGIA	CLASSE GENÉTICA	MODELO DO DEPÓSITO	MUNICÍPIO
I	Sn, tz, amt	Depósitos Relacionados a Intrusões Félsicas, Depósitos Relacionados a Rochas Sedimentares/Sedimentos	Magmática, Sedimentar Clástica	Sn em Veios e "Greisen", "Placer" Estanífero, Gemas em Veios e Bolsões	Porto Velho
II	Sn, Nb, W	Depósitos Relacionados a Intrusões Félsicas, a Processos Intempéricos e a Rochas Sedimentares/Sedimentos	Magmática Hidromesotermal, Intempérico-residual, Sedimentar Clástica	Sn em Veios e "Greisen", Concentração Estanífera Eluvio-coluvionar, "Placer" Estanífero	Itapuã d´Oeste
III	Sn	Depósitos Relacionados a Intrusões Félsicas, Depósitos Relacionados a Rochas Sedimentares/Sedimentos	Magmática, Sedimentar Clástica	Sn em Veios e em "Greisen", "Placer" (Depósito Aluvionar) Estanífero	Ariquemes, Alto Paraíso
IV	Sn, tz	Depósitos Relacionados a Intrusões Félsicas, Depósitos Relacionados a Rochas Sedimentares/Sedimentos	Magmática, Sedimentar Clástica	Sn em Veios e em "Greisen", "Placer" (Depósito Aluvionar) Estanífero	Ariquemes
V	Sn	Depósitos Relacionados a Intrusões Félsicas, Depósitos Relacionados a Rochas Sedimentares/Sedimentos	Magmática, Sedimentar clástica	Sn em Veios e em "Greisen", "Placer" (Depósito Aluvionar) Estanífero	Ariquemes, Alto Paraíso, Rio Crespo
VI	Sn	Depósitos Relacionados a Intrusões Félsicas, Depósitos Relacionados a Rochas Sedimentares/Sedimentos	Magmática, Sedimentar Clástica	Sn em Veios e em "Greisen", "Placer" (Depósito Aluvionar) Estanífero	Machadinho d´Oeste
VII	Sn	Depósitos Relacionados a Intrusões Félsicas, Depósitos Relacionados a Rochas Sedimentares/Sedimentos	Magmática, Sedimentar Clástica	Sn em Veios e em "Greisen", "Placer" (Depósito Aluvionar) Estanífero	Ji-Paraná, Ministro Adreazza, Presidente Médici
VIII	Sn	Depósitos Relacionados a Intrusões Félsicas, Depósitos Relacionados a Rochas Sedimentares/Sedimentos	Magmática, Sedimentar Clástica	Sn em Veios e em "Greisen", "Placer" (Depósito Aluvionar) Estanífero	Ji-Paraná
IX	Sn	Depósitos Relacionados a Intrusões Félsicas, Depósitos Relacionados a Rochas Sedimentares/Sedimentos	Magmática, Sedimentar Clástica	Sn em Veios e em "Greisen", "Placer" (Depósito Aluvionar) Estanífero	Campo Novo de Rondônia, Goverandor Jorge Teixeira
X	Sn	Depósitos Relacionados a Intrusões Félsicas, Depósitos Relacionados a Rochas Sedimentares/Sedimentos	Magmática, Sedimentar Clástica	Sn em Veios e em "Greisen", "Placer" (Depósito Aluvionar) Estanífero	Vilhena
XI	Sn	Depósitos Relacionados a Intrusões Félsicas, Depósitos Relacionados a Rochas Sedimentares/Sedimentos	Magmática, Sedimentar Clástica	Sn em Veios e em "Greisen", "Placer" (Depósito Aluvionar) Estanífero	Espigão d´Oeste, Vilhena
XII	Sn	Depósitos Relacionados a Intrusões Félsicas, Depósitos Relacionados a Rochas Sedimentares/Sedimentos	Magmática, Sedimentar Clástica	Sn em Veios e em "Greisen", "Placer" (Depósito Aluvionar) Estanífero	Porto Velho
XIII	Sn, tz, tu, Ti	Depósitos Relacionados a Intrusões Félsicas, Depósitos Relacionados a Rochas Sedimentares/Sedimentos	Magmática, Sedimentar Clástica	Sn em Veios e em "Greisen", "Placer" (Depósito Aluvionar) Estanífero	Costa Marques, São Francisco do Guaporé, Seringueiras
XIV	Sn, W	Depósitos Relacionados a Intrusões Félsicas, Depósitos Relacionados a Rochas Sedimentares/Sedimentos	Magmática, Sedimentar Clástica	Sn em Veios e em "Greisen", "Placer" (Depósito Aluvionar) Estanífero	Ariquemes, Rio Crespo, Cujubim
XV	Sn	Depósitos Relacionados a Intrusões Félsicas, Depósitos Relacionados a Rochas Sedimentares/Sedimentos	Magmática, Sedimentar Clástica	Sn em Veios e em "Greisen", "Placer" (Depósito Aluvionar) Estanífero	Ji-Paraná, Ouro Preto d´Oeste, Vale do Paraíso
XVI	Mn	Ocorrências Relacionadas a Sequências Metavulcanossedimentares			Porto Velho
XVII	gr-ro	Depósitos de Rochas e Minerais Industriais	Magmática	Rocha Magmática Ornamental (Maciço Rochoso ou Campo de Matacões)	Ji-Paraná
XVIII	gr-ro	Depósitos de Rochas e Minerais Industriais	Magmática	Rocha Magmática Ornamental (Maciço Rochoso ou Campo de Matacões)	Machadinho d´Oeste
XIX	gr-ro	Depósitos de Rochas e Minerais Industriais	Magmática	Rocha Magmática Ornamental (Maciço Rochoso ou Campo de Matacões)	Machadinho d´Oeste
XX	gr-ro	Depósitos de Rochas e Minerais Industriais	Magmática	Rocha Magmática Ornamental (Maciço Rochoso ou Campo de Matacões)	Ouro Preto d´Oeste, Vale do Paraíso
XXI	Fe	Depósitos Relacionados a Sequências Metavulcanossedimentares			Presidente Médici
XXII	Cu, Ni, Pt, Au	Ocorrências Relacionadas a Intrusões Máfico-Ultramáficas	Magmática		Corumbiara, Chupinguaia
XXIII	Cu, Ni, Au, Pt, Cr	Ocorrências Relacionadas a Intrusões Máfico-Ultramáficas	Magmática		Nova Brasilândia d´Oeste, Novo Horizonte d´Oeste, Rolim de Moura, Santa Luzia d´Oeste, Alto Alegre do Parecis, São Miguel do Guaporé
XXIV	Cu, Ni, Au, Pt, Cr	Ocorrências Relacionadas a Intrusões Máfico-Ultramáficas	Magmática		Nova Brasilândia d´Oeste, Alvorada d´Oeste
XXV	Cu, Ni, Au	Ocorrências Relacionadas a Intrusões Máfico-Ultramáficas	Magmática		Espigão d´Oeste
XXVI	Cu, cc, Mn	Depósitos Relacionados a Rochas Sedimentares			Alto Alegre do Parecis, Alta Floresta d´Oeste,
XXVII	Cr, Au	Ocorrências Relacionadas a Intrusões Máfico-Ultramáficas	Magmática		São Miguel do Guaporé, Seringueiras
XXVIII	Cr	Ocorrências Relacionadas a Intrusões Máfico-Ultramáficas	Magmática		São Miguel do Guaporé, São Francisco do Guaporé
XXIX	cc	Depósitos Relacionados a Rochas Sedimentares	Sedimentar		Espigão d´Oeste, Pimenta Bueno
XXX	cc	Depósitos de Rochas e Minerais Industriais, Depósitos Relacionados a Rochas Sedimentares/Sedimentos			Parecis
XXXI	are	Depósitos de Rochas e Minerais Industriais, Depósitos Relacionados a Rochas Sedimentares/Sedimentos	Sedimentar Clástica	"Placer" (Depósito Aluvionar)	Porto Velho, Candeias do Jamari
XXXII	are, arg	Depósitos de Rochas e Minerais Industriais, Depósitos Relacionados a Rochas Sedimentares/Sedimentos	Sedimentar Clástica	"Placer" (Depósito Aluvionar)	Teixeirópolis
XXXIII	are, sx, arg	Depósitos de Rochas e Minerais Industriais, Depósitos Relacionados a Rochas Sedimentares/Sedimentos	Sedimentar Clástica	"Placer" (Depósito Aluvionar)	Urupá
XXXIV	arg	Depósitos de Rochas e Minerais Industriais, Depósitos Relacionados a Rochas Sedimentares/Sedimentos	Sedimentar Clástica	"Placer" (Depósito Aluvionar)	Pimenta Bueno
XXXV	arg	Depósitos de Rochas e Minerais Industriais, Depósitos Relacionados a Rochas Sedimentares/Sedimentos	Sedimentar Clástica	"Placer" (Depósito Aluvionar)	Cacoal, Pimenta Bueno
XXXVI	arg, are, sx	Depósitos de Rochas e Minerais Industriais, Depósitos Relacionados a Rochas Sedimentares/Sedimentos	Sedimentar Clástica	"Placer" (Depósito Aluvionar)	Porto Velho
XXXVII	arg, are, sx	Depósitos de Rochas e Minerais Industriais, Depósitos Relacionados a Rochas Sedimentares/Sedimentos	Sedimentar Clástica	"Placer" (Depósito Aluvionar)	Ji-Paraná
XXXVIII	Au	Depósitos Relacionados a Sequências Metavulcanossedimentares			Nova Brasilândia d´Oeste, Novo Horizonte d´Oeste, Rolim de Moura, Santa Luzia d´Oeste, São Felipe d´Oeste, Alto Alegre do Parecis, Alta Floresta d´Oeste, São Miguel do Guaporé
XXXIX	Au	Depósitos Relacionados a Sequências Metavulcanossedimentares			Colorado d´Oeste, Corumbiara, Cerejeiras
XL	Au	Depósitos Relacionados a Sequências Metavulcanossedimentares			Ariquemes, Theobroma
XLI	Au	Depósitos Relacionados a Rochas Sedimentares/Sedimentos	Sedimentar Clástica	"Placer" (Depósito Aluvionar)	Porto Velho, Nova Mamoré
XLII	Au	Depósitos Relacionados a Sequências Metavulcanossedimentares			Governador Jorge Teixeira, Jaru
XLIII	bt	Depósitos de Rochas e Minerais Industriais	Magmática		Candeias do Jamari
XLIV	bt	Depósitos de Rochas e Minerais Industriais	Magmática		Porto Velho
XLV	sx	Depósitos de Rochas e Minerais Industriais	Sedimentar Clástica	"Placer" (Depósito Aluvionar)	Porto Velho
XLVI	sx	Depósitos de Rochas e Minerais Industriais	Sedimentar Clástica	"Placer" (Depósito Aluvionar)	Guajará-Mirim
XLVII	di	Depósitos Relacionados a Rochas Sedimentares/Sedimentos	Sedimentar Clástica	"Placer" (Depósito Aluvionar) Diamantífero	Guajará-Mirim
XLVIII	di	Depósitos Relacionados a Rochas Sedimentares/Sedimentos	Sedimentar Clástica	"Placer" (Depósito Aluvionar) Diamantífero	Parecis, Pimenta Bueno
XLIX	di	Depósitos Relacionados a Rochas Sedimentares/Sedimentos	Sedimentar Clástica	"Placer" (Depósito Aluvionar) Diamantífero	Vilhena, Espigão d´Oeste, Pimenta Bueno, Rolim de Moura, Cacoal, Presidente Médici, Castanheiras
L	di	Depósitos Relacionados a Rochas Sedimentares/Sedimentos	Sedimentar Clástica	"Placer" (Depósito Aluvionar) Diamantífero	Colorado d´Oeste, Corumbiara
LI	Au	Depósitos Relacionados a Rochas Sedimentares/Sedimentos	Sedimentar Clástica	"Placer" (Depósito Aluvionar)	Chupinguaia, Corumbiara
LII	Mn	Ocorrências Relacionadas a Sequências Metavulcanossedimentares			Espigão d´Oeste
LIII	Mn	Ocorrências Relacionadas a Sequências Metavulcanossedimentares			Vilhena
LIV	Mn	Ocorrências Relacionadas a Sequências Metavulcanossedimentares			Ji-Paraná

Fonte: GEOBANK da CPRM

ÁREAS DE AGRUPAMENTO DE RECURSOS MINERAIS

- Areia, Argila, Seixo, Cascalho
- Brita, Seixo
- Rocha Ornamental
- Calcário
- Cromo, Manganês, Ferro (Ouro Associado)
- Cobre, Níquel, Platina, Cromo (Ouro Associado)
- Estanho, Nióbio, Tungstênio (Topázio, Ametista e Turmalina Associados)
- Ouro
- Diamante

CLASSE DAS SUBSTÂNCIAS MINERAIS INDICADAS NO MAPA

DEPÓSITOS
- Água mineral ou potável de mesa
- Rochas e minerais industriais (insumos para agricultura/agrominerais)
- Rochas e minerais industriais (material de uso na construção civil)
- Metais não ferrosos e semimetais
- Metais nobres

OCORRÊNCIAS
- Gemas
- Rochas e minerais industriais (insumos para agricultura/agrominerais)
- Rochas e minerais industriais (material de uso na construção civil)
- Metais ferrosos
- Metais não ferrosos e semimetais
- Metais nobres

INDÍCIOS
- Gemas
- Rochas e minerais industriais (insumos para agricultura/agrominerais)
- Rochas e minerais industriais (material de uso na construção civil)
- Metais ferrosos
- Metais não ferrosos e semimetais
- Metais nobres
- Recursos minerais energéticos

CONVENÇÕES DOS RECURSOS MINERAIS INDICADOS NO MAPA

GRAU DE IMPORTÂNCIA
- Depósito
- Ocorrência
- Indício

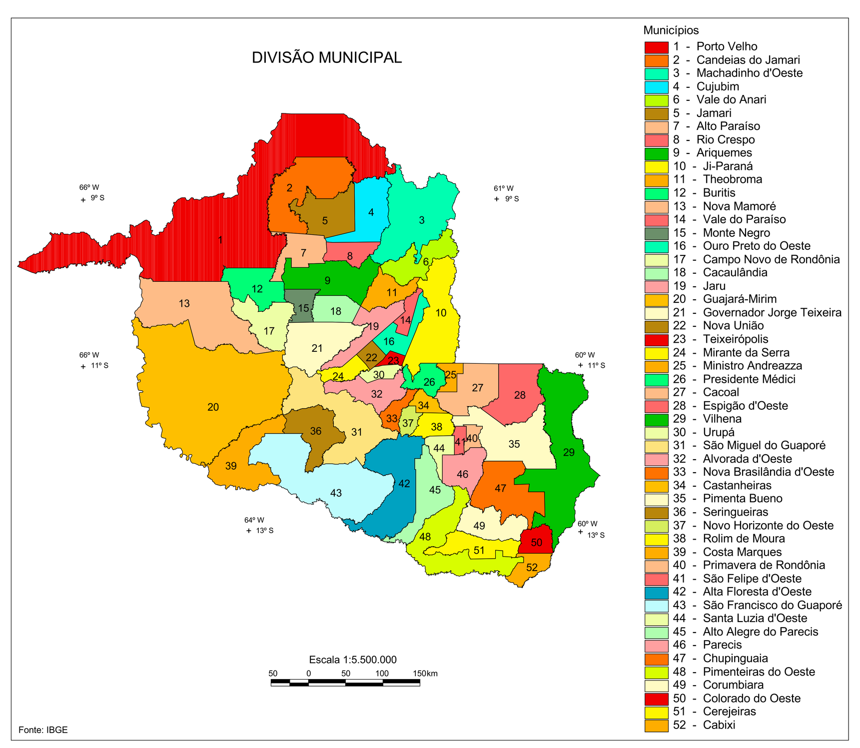
STATUS ECONÔMICO
- Mina ativa ou inativa
- Garimpo ativo ou inativo

SIMBOLOGIA DAS SUBSTÂNCIAS MINERAIS

agm Água Mineral	bl Berilo	Cu Cobre	Nb Nióbio	sx Seixo
Al Bauxita	bt Brita	di Diamante	Ni Níquel	tf Turfa
ama Água-Marinha	cas Cascalho	ept Epidoto	op Opala	Ti Titânio
amt Ametista	cc Calcário	Fe Ferro	pi Pirita	TR Terras Raras
are Areia	ch-ro Charnoquito-Rocha Ornamental	gi Gipsita	Pt Platina	tu Turmalina
arg Argila	cpy Calcopirita	gr-ro Granito-Rocha Ornamental	Qtz Quartzo Leitoso	tz Topázio
ars Arsenio	Cr Cromo	Kf K-Feldspato	Si Silicio	W Tungstênio
Au Ouro	crr Cristal de Rocha	Mn Manganês	Sn Estanho	Zn Zinco
	cs-ro Calcissilicática-Rocha Ornamental	Mu Muscovita		

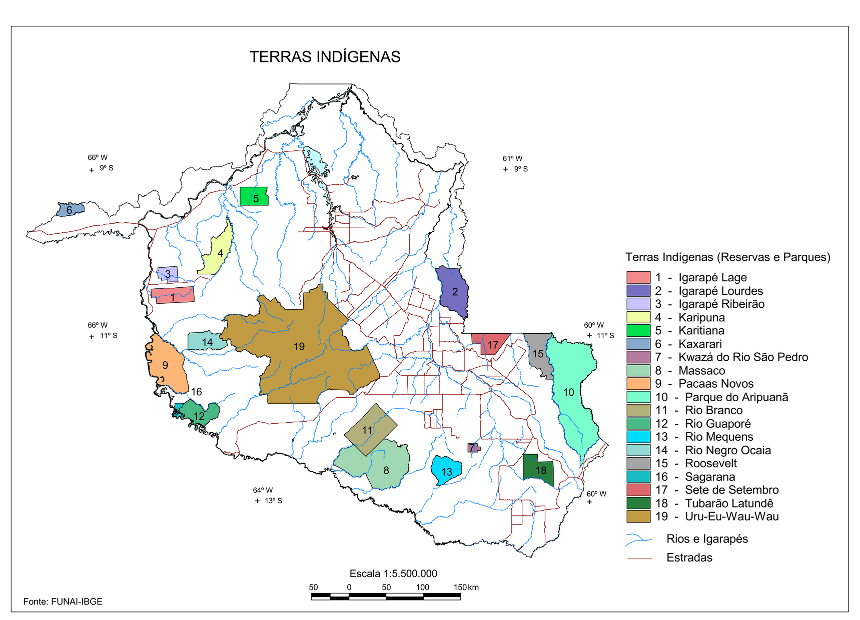
DIVISÃO POLÍTICA

DIVISÃO MUNICIPAL



Fonte: IBGE

TERRAS INDÍGENAS

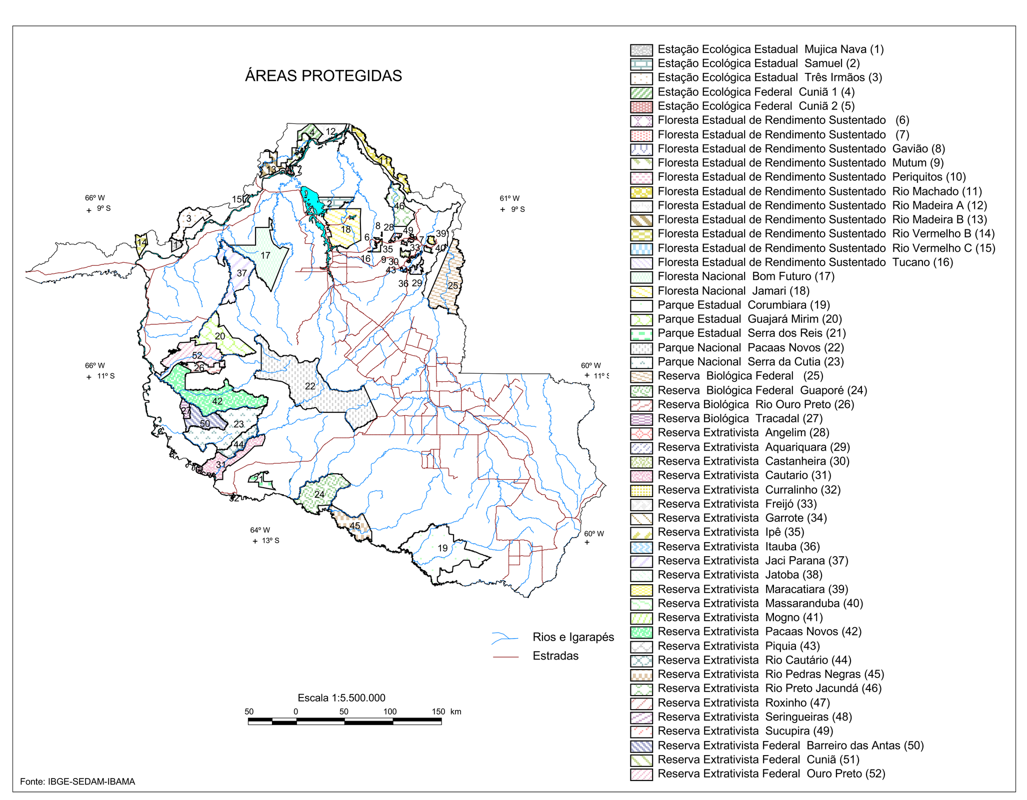


Fonte: FUNAI-IBGE

Base cartográfica digital, escala 1:250.000, elaborada pelo IBGE (1999) para o SIPAM-Sistema de Proteção da Amazônia, disponibilizada à CPRM - Serviço Geológico do Brasil pelo SIPAM em coordenadas geográficas datum SAD 69, posteriormente simplificada, modificada e projetada pela CPRM visando a sua apresentação no corte cartográfico do Estado de Rondônia na escala de 1:1.000.000

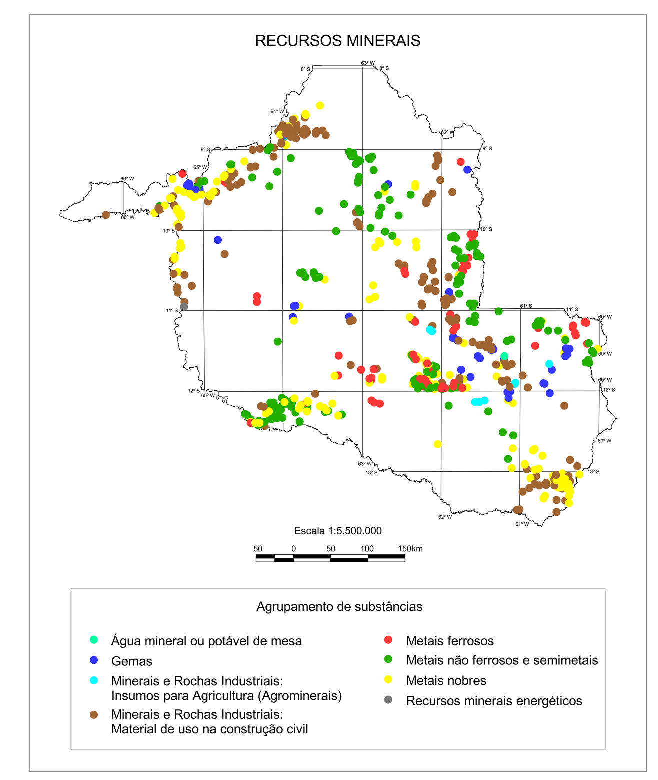
Projeção Cartográfica Policônica
Sistema Geodésico de Referência: WGS 84
Meridiano Central 63º
Paralelo Central 0
Falso Norte 0
Falso Leste 0

ÁREAS PROTEGIDAS

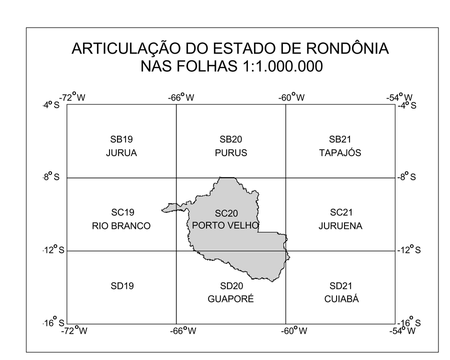


Fonte: IBGE-SEDAM-IBAMA

RECURSOS MINERAIS



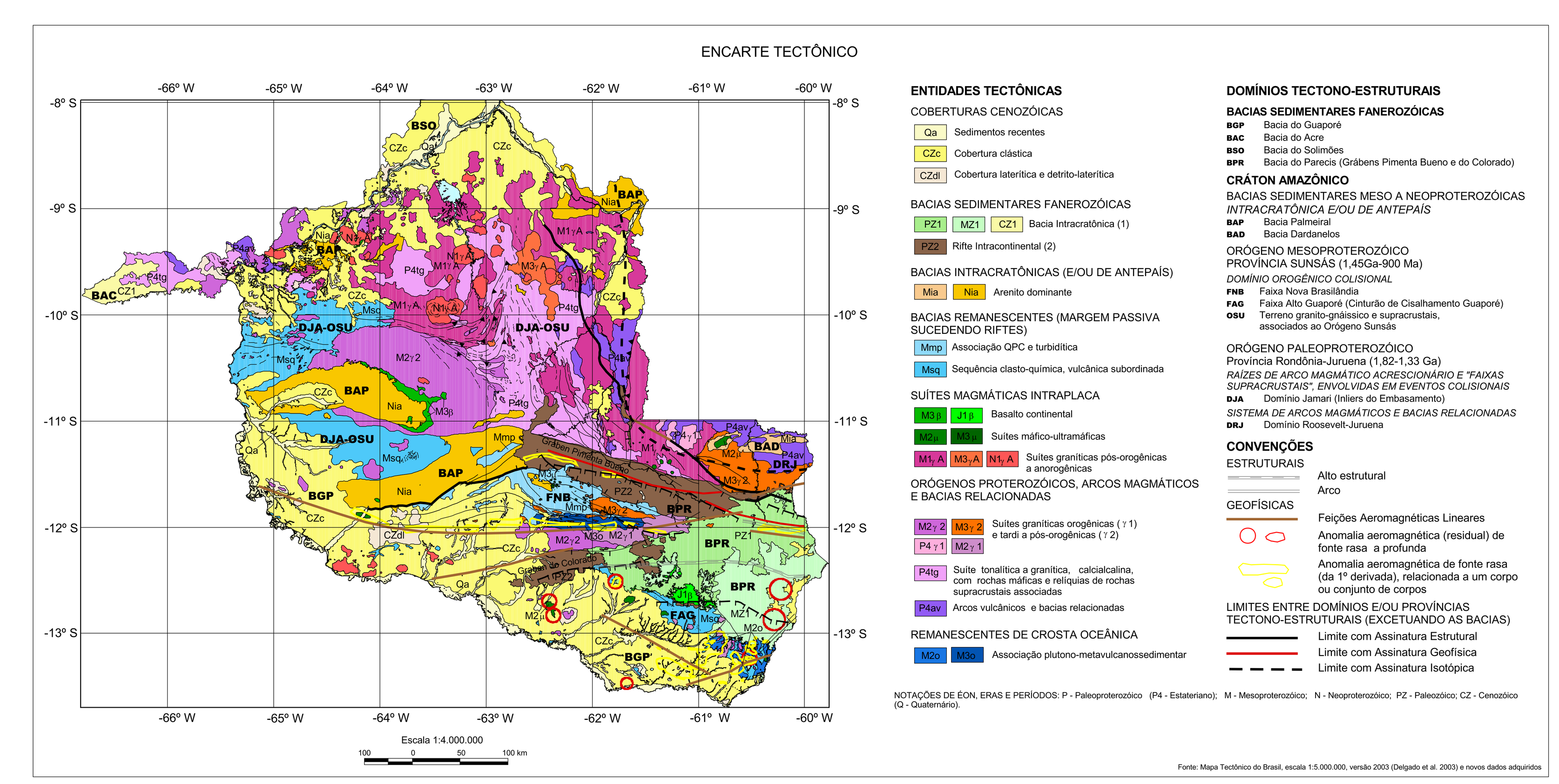
ARTICULAÇÃO DO ESTADO DE RONDÔNIA NAS FOLHAS 1:1.000.000



CONVENÇÕES GEOLÓGICAS

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

ENCARTE TECTÔNICO



PROGRAMA GEOLOGIA DO BRASIL - PGB

ESCALA 1:1.000.000

10 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100Km

2007

PROGRAMA INTEGRAÇÃO, ATUALIZAÇÃO E DIFUSÃO DE DADOS DA GEOLOGIA DO BRASIL, SUBPROGRAMA MAPAS GEOLÓGICOS ESTADUAIS

Este mapa foi elaborado a partir das informações obtidas das folhas da Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo que cobrem o Estado de Rondônia e compõem o Sistema de Informações Geográficas elaborado pelo Serviço Geológico do Brasil-CPRM (2004), acrescido de novas informações obtidas em trabalhos de campo e de informações oriundas dos novos projetos de mapeamento geológico realizados no período de 2004 a 2006 (Projetos Rio Madeira e Guaporé-Folhas Pimenteiras e Vilhena), além da utilização de informações compiladas e reinterpetadas dos projetos de reconhecimento geológico executados, pela CPRM em Rondônia, nas décadas de 70, 80 e 90.

Elaboração do mapa, consolidação dos dados em Sistemas de Informações Geográficas - SIG e finalização cartográfica:
CPRM-Serviço Geológico do Brasil, Residência de Porto Velho-REPO (ASSPRO-DRI e ASSPRO-DGM)
Site: www.cprm.gov.br

Referência Bibliográfica:

Quadros, M.L. do E.S.; Rizzotto, G.J. (Orgs.). 2007. Mapa de Recursos Minerais do Estado de Rondônia, escala 1:1.000.000. Programa Geologia do Brasil (PGB), Integração, Atualização e Difusão de Dados da Geologia do Brasil, Subprograma Mapas Geológicos Estaduais. CPRM-Serviço Geológico do Brasil, Residência de Porto Velho.