



Ministério da Educação
Universidade Federal da Integração Latino-Americana
Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e
Território

Centro Interdisciplinar de Tecnologia e Infraestrutura
Engenharia Civil de Infraestrutura

PARÂMETROS DE DOSAGENS DE CONCRETOS COM
CIMENTO LC3: UM LEVANTAMENTO DE INDICADORES DA
LITERATURA

GIOVANNA CARLA CAVALER

FOZ DO IGUAÇU, PR

ABRIL DE 2024



Ministério da Educação
Universidade Federal da Integração Latino-Americana
Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e
Território

Centro Interdisciplinar de Tecnologia e Infraestrutura
Engenharia Civil de Infraestrutura

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
PARÂMETROS DE DOSAGENS DE CONCRETOS COM
CIMENTO LC3: UM LEVANTAMENTO DE INDICADORES DA
LITERATURA

GIOVANNA CARLA CAVALER

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Banca Examinadora do Curso de Engenharia Civil de Infraestrutura da UNILA, como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Dr^a. Ana Carolina Parapinski dos Santos

Foz do Iguaçu, PR

Abril de 2024

Agradecimentos

Minha profunda gratidão, primeiramente, a Deus, por me amparar e conceder forças para chegar até aqui. À minha família, em especial à minha mãe, Genice, por estar sempre ao meu lado, oferecendo forças e palavras de incentivo para seguir em frente e alcançar meus objetivos; ao meu pai, Joercio, que fez o possível e o impossível para me proporcionar as melhores condições de estudo; e a minha irmã, Jadiane, que esteve ao meu lado em cada etapa da escrita, oferecendo suporte e apoio emocional. Obrigada por serem meu alicerce e minha força. Este trabalho é por vocês e para vocês.

À minha orientadora, Ana Carolina Parapinski dos Santos, expresso minha sincera gratidão por toda sua disponibilidade e orientação ao longo deste trabalho, bem como pelas conversas e conselhos que transcenderam a orientação acadêmica.

Agradeço aos meus amigos que, de diversas formas, me auxiliaram com palavras de afeto e motivação, suportaram minhas frustrações e lágrimas, mas sempre me mantiveram firme.

Em poucas linhas, é impossível expressar toda a minha imensa gratidão a todos que fizeram parte deste processo. Meu muito obrigada a todos, especialmente à minha família, por todo apoio e suporte nesta etapa da minha vida acadêmica. Amo vocês!

"A persistência é o caminho do êxito"

Charles Chaplin

RESUMO

O setor cimenteiro é um dos maiores emissores de CO₂ globalmente, tornando a busca por alternativas mitigatórias de essencial importância. A redução das emissões de CO₂ pode ser obtida pela diminuição da quantidade de clínquer no cimento, impulsionando a pesquisa em materiais cimentícios suplementares (SCMs). O LC3 (Limestone Calcined Clay Cement), um tipo de cimento composto por argila calcinada e calcário, surgiu como uma solução promissora. No entanto, a utilização deste cimento apresenta grandes desafios, pois suas propriedades de trabalhabilidade são afetadas pela alta finura e pela estrutura em forma de folha da argila calcinada. Este estudo tem por objetivo estabelecer parâmetros para dosagens de concretos com cimento LC3 para auxiliar na viabilização do uso em concretos. Este estudo consiste em uma pesquisa de caráter aplicado que utiliza uma abordagem quantitativa, integrando os métodos de revisão sistemática da literatura e meta análise com coleta de dados secundários e a partir destes dados estabeleceram-se alguns parâmetros como, quantidade de cimento LC3 em função da resistência, relação a/c em função da resistência, volume de agregado e volume de água, além da obrigatoriedade no uso de aditivos para a aquisição de uma trabalhabilidade adequada, Estes parâmetros servem para balizar as dosagens com cimento LC3. Como resultado da pesquisa realizada foram obtidos que para resistências de até 50 Mpa foram obtidos 310 kg/m³ de cimento para uma relação ac de 0,4 a 0,6 e para resistências superiores a 50 MPa foram obtidos 310-400 kg/m³ de cimento e uma relação a/c de 0,35.

Palavras-chave: LC3. Emissões de CO₂. Materiais Cimentícios Suplementares. Concreto. Dosagem.

ABSTRACT

The cement sector is one of the largest emitters of CO₂ globally, making the search for mitigating alternatives of essential importance. Reducing CO₂ emissions can be achieved by reducing the amount of clinker in cement, boosting research into supplementary cementitious materials (SCMs). LC3 (Limestone Calcined Clay Cement), a type of cement composed of calcined clay and limestone, emerged as a promising solution. However, the use of this cement presents major challenges, as its workability properties are affected by the high fineness and sheet-shaped structure of the calcined clay. This study aims to establish parameters for concrete dosages with LC3 cement to assist in enabling its use in concrete. This study consists of applied research that uses a quantitative approach. It integrates the methods of systematic literature review and meta-analysis with secondary data collection and from these data some parameters were established such as quantity of LC3 cement as a function of strength, w/c ratio as a function of strength, volume of aggregate and water volume, in addition to the mandatory use of additives to acquire adequate workability. These parameters serve to guide the dosages with LC3 cement. As a result of the research carried out, it was obtained that for strengths of up to 50 MPa, 310 kg/m³ of cement were obtained for an ac ratio of 0.4 to 0.6 and for strengths greater than 50 MPa, 310-400 kg/m³ of cement were obtained. cement and a w/c ratio of 0.35.

Keywords: LC3. CO₂ emissions. Supplementary Cementitious Materials. Concrete. Dosagem.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Relação água cimento versus Abatimento de tronco cone.	19
Figura 2- Resistência a compressão aos 28 dias versus relação água/aglutinante. .	20
Figura 3 - Teste de abatimento de tronco de cone versus a porcentagem de aditivo.	21
Figura 4- Quantidade de cimento LC3 versus Resistência a compressão aos 28 dias de idade.....	22
Figura 5- Índice de ligantes versus Resistência a compressão aos 28 dias de idade.	23
Figura 6- Índice de ligantes versus resistência a compressão aos 28 dias	24
Figura 7- Quantidade de cimento versus resistência a compressão aos 28 dias de idade	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dosagens de concreto com cimento LC3.....	26
Tabela 2 - Tabela ABCP.....	27

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Identificação dos artigos.....	17
Quadro 2 - Proporções de materiais do concreto.....	17
Quadro 3 - Características físicas do concreto.....	17
Quadro 4 - Índice de ligantes por unidade de resistência.....	17
Quadro 5 - Tabela ABCP para determinação do volume de brita e areia.....	27

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	9
2. OBJETIVOS	10
1.1 Objetivo Geral.....	10
1.2 Objetivos Específicos	10
3. SÍNTESE DA BIBLIOGRAFIA FUNDAMENTAL	11
1.3 Cimento Portland.....	11
1.4 Emissões de CO ₂ pela indústria cimenteira	11
1.5 Materiais Cimentícios Suplementares	12
1.5.1 Composição dos materiais cimentícios suplementares	12
1.6 LC3 (Limenstone Calcined Clay)	13
1.7 Argila Calcinada (Calcined Clay)	14
1.8 Concreto com cimento LC3	15
4. MÉTODO.....	16
1.9 Etapa 01 - Coleta de dados	16
1.9.1 Instrumento de Coleta e Tabulação de Dados da Literatura	16
1.10 Etapa 02 - Sistematização de dados	17
1.11 Etapa 03 – sistematização de parâmetros de dosagens	18
5. RESULTADOS.....	18
1.12 INFLUÊNCIA DA ÁGUA	18
1.13 INFLUÊNCIA DO ADITIVO	20
1.14 INFLUÊNCIA DA QUANTIDADE DE CIMENTO LC3.....	21
1.15 INFLUÊNCIA DO CLÍNQUER	24
1.16 SISTEMATIZAÇÃO DOS PARÂMETROS DE DOSAGENS	25
6. Conclusão	27
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30
8. Anexos	34

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O setor cimenteiro é o segundo maior emissor industrial de CO₂ a nível mundial (IEA; WBCSD, 2018). O cimento é amplamente utilizado na construção globalmente devido à sua capacidade de produzir concreto sólido e resistente (MOHAMAD et al., 2022).

Para mitigar as emissões de CO₂, a busca por materiais cimentícios suplementares (MCs) alternativos está em ascensão (Dochytka et al., 2017). Os Suplementos de Cimento Minerais (SCMs) são utilizados como uma ferramenta para mitigar as emissões de dióxido de carbono provenientes da produção de concreto (Skibsted & Snellings, 2019)

Uma das alternativas para reduzir as emissões de CO₂ é diminuir a proporção de clínquer no cimento (IEA; WBCSD, 2018). Os materiais cimentícios suplementares utilizados incluem pós solúveis ricos em sílica e alumina, que podem substituir parcialmente o clínquer em cimentos ou o cimento Portland em misturas de concreto (Juenger et al., 2019). Destacam-se a argila calcinada e o calcário como opções viáveis, pois estão amplamente disponíveis e não dependem de outros processos industriais, como as escórias de alto forno (Juenger et al., 2019)

O novo tipo de cimento, chamado LC3 (Limenstone Calcined Clay Cement), é composto principalmente por argila calcinada e calcário. Ele pode substituir até 50% do clínquer no cimento Portland comum, mantendo propriedades mecânicas comparáveis e reduzindo significativamente as emissões de CO₂ durante a fabricação. (DHANDAPANI et al., 2018).

No entanto, a utilização de argilas calcinadas apresenta desafios relacionados ao aumento da demanda por água e custos adicionais de aditivos para manter a trabalhabilidade do concreto (NAIR et al., 2020). Embora o LC3 demonstre maior resistividade e durabilidade em comparação com o concreto convencional (Nguyen et al., 2018) critérios precisos para proporções adequadas de aditivos ainda precisam ser estabelecidos.

Já se tem o conhecimento de que o concreto com cimento LC3, chega a uma resistência aos 28 dias, muitas vezes superior ao concreto convencional, porém em idades mais jovens, a resistência é um pouco afetada pela substituição do calcário e da argila calcinada (Nguyen et al., 2018). Por consequência dos materiais finos

incorporados, ocorre, um aumento na demanda de água, e por isso, utiliza-se mais aditivo para preservar a trabalhabilidade (NAIR et al., 2020). Contudo por este fato, critérios para a elaboração de dosagens de concretos com cimento LC3 ainda precisam ser estabelecidos.

2. OBJETIVOS

1.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é sistematizar parâmetros para dosagens de concretos com cimento LC3.

1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a relação entre o consumo de cimento LC3 e a trabalhabilidade no estado fresco do concreto, levando em consideração a quantidade de água e o uso de aditivos.
- Analisar o efeito do consumo do cimento LC3 na resistência a compressão do concreto e no índice de ligantes;
- Avaliar o efeito da relação água/cimento nas propriedades de trabalhabilidade e resistência a compressão.

3. SÍNTESE DA BIBLIOGRAFIA FUNDAMENTAL

1.3 Cimento Portland

O cimento Portland, com sua trajetória de mais de 200 anos possui o título de material mais confiável para fins construtivos em diversas condições e ambientes de trabalho. Sua notável elegância e durabilidade são evidenciadas, tendo em vista ser o material mais produzido globalmente (SHARMA et al., 2021). De acordo com (SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2018) O cimento é a substância manufaturada mais abundante em termos de massa na Terra. Quando misturado com água e agregados minerais, ele se transforma em materiais à base de cimento, como o concreto. O cimento é a segunda substância mais amplamente empregada no planeta, ficando atrás apenas da água em termos de utilização global (SHARMA et al., 2021)

Embora ocorreram mudanças significativas em sua produção e aplicações, a base química fundamental do cimento Portland permaneceu inalterada, isso elucidada, porque grande parte das melhorias viáveis no cimento, envolvem principalmente as peças parciais do clínquer Portland, ao invés de haver uma introdução de um processo químico completamente atual (SHARMA et al., 2021).

1.4 Emissões de CO₂ pela indústria cimenteira

Como é evidenciado atualmente, as emissões de carbono no ambiente provêm principalmente da indústria cimenteira (IEA; WBCSD, 2018), tendo em vista que cimento Portland, as emissões de gases de efeito estufa da indústria de produção de cimento contribuem com aproximadamente 5 a 8% das emissões globais de dióxido de carbono (CO₂) (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2009; SANTIN, 2019; SKIBSTED; SNELLINGS, 2019).

No contexto brasileiro, esse percentual é substancialmente menor, situando-se em torno de 2,6%, devido às diversas iniciativas de sustentabilidade que foram implementadas pela indústria nos últimos anos (SANTIN, 2019). Do processo produtivo de cimento, 60% das emissões de gases, são provenientes da descarbonatação do calcário e 40% relacionado a energia e combustíveis (SCRIVENER, 2014; SKIBSTED; SNELLINGS, 2019).

As estratégias de mitigação delineadas no Cement Technology Roadmap, (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2009), relacionadas a liberação massiva de CO₂ na produção de cimento, geraram uma motivação na indústria cimenteira e em diversos pesquisadores a direcionar suas energias para o desenvolvimento de novos tipos de cimento utilizando materiais cimentícios suplementares, assim reduzindo a utilização de clínquer (MARIA C.G. JUENGER; RUBEN SNELLINGS; SUSAN A .BERNAL, 2019; SCRIVENER, 2014).

1.5 Materiais Cimentícios Suplementares

Em um primeiro momento, o objetivo do setor da construção civil de utilizar os materiais cimentícios suplementares era melhorar algumas propriedades mecânicas e a durabilidade dos materiais cimentícios. Porém, atualmente, a pesquisa relacionada à sua aplicação está mais centrada na sustentabilidade, devido ao seu potencial para reduzir as emissões de CO₂, atuando como substitutos de parte da proporção de clínquer no cimento (REDDY; REDDY, 2021; SCRIVENER et al., 2018).

1.5.1 Composição dos materiais cimentícios suplementares

Os materiais cimentícios suplementares, são, pós solúveis, principalmente compostos de sílica, alumina-silicatos ou alumina-silicatos de cálcio, com teor de cálcio inferior ao Cimento Portland comum (JUENGER; SNELLINGS; BERNAL, 2019). A aplicação destes materiais, ocasiona uma aceleração na cinética da reação de hidratação, em virtude da relação entre o clínquer e os MCS por meio das reações químicas e o efeito de preenchimento. (KUMAR et al., 2017).

Cada MCS, tem uma composição química individual, o que gera uma interferência na velocidade de hidratação do cimento, devido a combinação de dois fatores na solução, a alcalinidade e a temperatura.(LOTTHENBACH; SCRIVENER; HOOTON, 2011; SNELLINGS, 2016). Inicialmente, no primeiro dia de hidratação a tendência de ocorrer uma reação é baixa, onde o seu papel fundamental na composição é ter a função de preenchimento. No decorrer do primeiro dia de hidratação, a capacidade de reação desses materiais é limitada, resultando em sua principal função na mistura como um agente de preenchimento. Após esse período inicial, a reação pozolânica será acionada em materiais que contenham sílica ou sílica-alumina, visto que eles iniciarão uma reação química com o hidróxido de cálcio (CH ou portlandita), dando origem a compostos hidratados. (SKIBSTED; SNELLINGS, 2019).

Em materiais cimentícios a base de cimento Portland, a principal fase hidratada é denominada como C-S-H (ou C-A-S-H) e tem uma composição estequiométrica variável, depende de vários fatores, dentre eles, a proporção de água/aglomerante, composição do clínquer, e a composição da mistura.(AVET; BOEHM-COURJAULT; SCRIVENER, 2019). Com as substituições de clínquer utilizadas, a principal alteração que se nota é a menor relação Ca/Si, devido, a redução da concentração de íons Ca^{2+} . Contudo, para materiais como a argila calcinada, e as cinzas volantes, há uma redução na quantidade de portlandita, e um aumento nas fases AFm devido as quantidades de Al disponíveis. (LOTHENBACH; SCRIVENER; HOOTON, 2011). É imprescindível, destacar que embora os MCs terem suas composições químicas análogas, para cada aplicação, pode-se ter um comportamento reológico diferente, pois dependem de certos fatores, como a sua morfologia, a distribuição de tamanhos (granulometria), e área de superfície (porosidade). (ABRÃO; CARDOSO; JOHN, 2020).

1.6 LC3 (Limenstone Calcined Clay)

A diminuição das emissões de CO_2 ocasionado pela produção de cimento e a oferta limitada de MCS, o novo cimento denominado LC3 se mostra como um método promissor. (SCRIVENER et al., 2018). O LC3, consiste em uma mistura ternária onde o teor de clínquer pode ser reduzido em até 50% (FRANCISCO AVET; KAREN SCRIVENER, 2018). Esta proposta foi executada por uma equipe científica internacional, liderada pela EPFL-Lausanne (Escola Politécnica Federal de Lausanne), Suíça, com pesquisadores dos países Suíça, Cuba e Índia introduziram o Cimento Argiloso Calcinado Calcário (LC3) como uma inovação tecnológica.(DÍAZ et al., 2018).

Como a argila calcinada e o calcário, são utilizados como substituição parcial do clínquer, utilizam-se a designação LC3-X, onde o X, significa o teor de clínquer da mistura em percentagem.(SCRIVENER et al., 2018). De acordo com as pesquisas realizadas na área, a proporção mais utilizada que consegue-se chegar as melhores características mecânicas e permeabilidade são as que contém, 50% de clínquer, 30% de argila calcinada, 15% de calcário e 5% de gesso.(LOTHENBACH; SCRIVENER; RD HOOTON, 2011; JUENGER; SNELLINGS; BERNAL, 2019; SCRIVENER, 2014).

Esta mistura, é possível em razão da interação que é gerada entre a argila e o calcário meio a base de cimento. Com a associação entre os efeitos de preenchimento e as reações pozolânicas vistas em cimentos com adições de argila calcinada e

calcário, no LC3, ocorre uma reação com o alumínio extra que é provido pela argila calcinada e com a portlandita, o que gera compostos hidratados (SÁNCHEZ BERRIEL et al., 2016).

1.7 Argila Calcinada (Calcined Clay)

A argila calcinada é proveniente da transformação térmica (calcinação) de argilas encontradas no estado bruto e veem sendo estudadas e incorporadas atualmente por sua grande abundância mundial (GMUR; THIENEL; BEUNTNER, 2016; SCRIVENER et al., 2018)

Quando a argila contendo caulinita é submetida à calcinação, forma-se metacaulim, que é basicamente um alumino silicato amorfo ($Al_2Si_2O_7$). Esse composto tem a capacidade de reagir com o hidróxido de cálcio, atuando como uma pozolana tradicional, resultando na formação de C-(A)-SH e hidratos de aluminato. Além disso, a alumina pode reagir com o calcário, produzindo hidratos de carboaluminato. Todos esses produtos preenchem espaços vazios e contribuem para o desenvolvimento de propriedades, como resistência e durabilidade.(SCRIVENER et al., 2018).

A maior parte das pesquisas sobre argilas calcinadas se focaliza na relação entre argilominerais específicos, como caulinita, montmorilonita e ilita, as temperaturas de calcinação e a reatividade pozolânica. Estas pesquisas relatam que a caulinita é a que possui a maior atividade pozolânica utilizando uma menor temperatura de ativação. (ADRIAN ALUJAS et al., 2015). Isso acontece, pois a caulinita possui o maior potencial de ativação, devido sua estrutura 1:1, ao maior conteúdo de alumínio e ao maior grupo de hidroxila. Isso resulta na formação de metacaulim após o processo de ativação térmica (FERNÁNDEZ; MARTIRENA; SCRIVENER, 2011).

A utilização de argila calcinada (metacaulim) como um MCS é um assunto que tem dominado a literatura científica atualmente, o interesse por este material tem sido direcionado para a eliminação do hidróxido de cálcio (CH), um subproduto da hidratação do cimento, associado à baixa durabilidade. A remoção do CH tem um impacto significativo na resistência à corrosão por sulfatos, na reação álcali-sílica (ASR), e também contribui para um aumento da resistência, resultado das fases cimentícias adicionais formadas pela reação do CH com a metacaulinita (MK) (Sabir et al. 2001) (Dai et al., 2014) (SABIR; WILD; BAI, 2001) (DAI; TRAN; SKIBSTED, 2014).

1.8 Concreto com cimento LC3

A incorporação de MCS, é uma estratégia comumente adotada para a mitigação dos impactos ambientais decorrentes da produção do cimento e o uso no concreto. Contudo Uma das questões desafiadoras associadas ao uso de argilas calcinadas é o aumento na demanda de água, que ocorre devido à alta finura das partículas (resultante da estrutura semelhante a uma folha) e à distribuição estreita do tamanho das partículas. Como resultado, para manter a trabalhabilidade necessária, é necessário aumentar a quantidade de superplastificante utilizado. (NAIR et al., 2020)

As argilas possuem a habilidade de realizar a troca de cátions de forma eficaz para neutralizar as cargas elétricas naturais de sua superfície. Quando substâncias químicas são introduzidas, os cátions da argila são prontamente substituídos pelos componentes orgânicos presentes na mistura. Isso resulta em uma menor dispersão e absorção de aditivos químicos na superfície da argila. Por consequência, a maior parte do aditivo introduzido é absorvida pelas partículas de argila, o que gera um uso de uma maior quantidade de aditivo, para que se alcance a trabalhabilidade necessária, porém com este fato, o tempo de pega fica prolongado e gera um atraso na resistência desejada, além de se ter um aumento dos custos.(NAIR et al., 2020)

Em termos de resistência o concreto com LC3, aos 28 dias, consegue-se chegar em uma resistência superior ao do concreto convencional, porém em 7 dias, a resistência é ligeiramente afetada devido a substituição do calcário e da argila calcinada. Já aos 14 dias a resistência é equivalente sou superior ao convencional. (NGUYEN; KHAN; CASTEL, 2018)

No quesito durabilidade, o concreto com LC3, atinge uma maior resistividade, independente da proporção de misturas utilizadas, isso ocorre devido ao refinamento precoce das estruturas dos poros, em idades mais jovens o LC3 tem um aumento da resistividade. (DHANDAPANI et al., 2018).

Afim de ter uma proporção correta de aditivos, mantendo uma boa trabalhabilidade e pega do cimento, além de preservar a boa durabilidade e resistência a compressão, serão elaborados critérios, que auxiliarão neste processo conforme o decorrer desta pesquisa.

4. MÉTODO

O estudo em questão é uma pesquisa de caráter aplicado que utiliza uma abordagem quantitativa. Ele integra os métodos de revisão sistemática da literatura, e meta-análise. Este trabalho consiste em três etapas, descritas a continuação.

A base utilizada para a revisão bibliográfica, são os artigos técnicos e científicos sobre o tipo de concreto utilizado, onde serão reunidos dados de quantidades de materiais utilizados, e os elementos químicos de cada material.

1.9 Etapa 01 - Coleta de dados

Nesta etapa foram reunidos dados de estudos de âmbito mundial, obtidos a partir de revisão bibliográfica de artigos científicos, dissertações de mestrado e teses de doutorado publicados.

A partir das pesquisas realizadas no portal Café da CAPES utilizando as strings "concrete", "LC3" e "Concrete with Calcined Clay and Limestone", obtiveram-se respectivamente 535 artigos. Foram considerados artigos em ambos os idiomas, português e inglês, sem limite de data de publicação. Após a leitura dos artigos, foram totalizados 252 deles. Dentre esses, foram selecionados 32 artigos que incluíam informações sobre a dosagem do concreto com argila calcinada, juntamente com outras informações relevantes, ao todo foram obtidas 79 dosagens de concretos dos artigos lidos. Artigos provenientes de congressos, conferências, assim como estudos sobre concretos com fibras, compósitos cimentícios, pastas e argamassas foram excluídas durante o processo de seleção.

1.9.1 Instrumento de Coleta e Tabulação de Dados da Literatura

Para a coleta de dados foi desenvolvido um modelo de tabela estruturada dividida em 4 grupos de coletas de informações: a) identificação do trabalho; b) proporção de materiais (quantidade de cimento, de aditivos, tipo de aditivo, quantidade de água aglomerante.); c) características físicas (resistência a compressão, idade e teste de abatimento de tronco cone); d) índice de ligantes.

Parte a) identificação dos trabalhos

Quadro 1- Identificação dos artigos.

Identificação do trabalho			
Nº	Ano de publicação	Autores	Título

Parte b) proporção de materiais

Quadro 2 - Proporções de materiais do concreto.

Nº	Quantidade de argila (kg/m ³)	Quantidade de cimento LC3 (Kg/m ³)	Quantidade de clínquer (Kg/m ³)	Aditivo		Quantidade água/aglomerante	Volume de argamassa (kg/m ³)
				tipo	Quantidade (%)		

Parte c) Características Físicas

Quadro 3 - Características físicas do concreto.

Nº	Resistência a compressão (Mpa)					Abatimento de tronco de cone (mm)	Finura (cm ³ /g)
	7	14	28	56	90		

Parte d) Índice de ligantes por unidade de resistência (kg.m³. Mpa⁻¹)

Quadro 4 - Índice de ligantes por unidade de resistência.

Nº	Índice de ligantes (kg/m ³ /Mpa)
----	---

A tabulação dos dados foi executada no software *Excel*, e o banco de dados foi separado de acordo com cada trabalho e autor.

1.10 Etapa 02 - Sistematização de dados

A sistematização dos efeitos nas propriedades de trabalhabilidade e resistência a compressão dos concretos com LC3, foi feita a partir de revisão crítica de literatura

(dos estudos práticos de artigos disponibilizados em revistas nacionais e internacionais. A busca foi realizada no buscador do portal cafe, da capes.

Nesta etapa fez-se o uso de informações concebidas pelos artigos científicos selecionados, para esta seleção, foram utilizados todos os artigos que possuíam as dosagens de concretos com cimento LC3 de acordo com a etapa 1 e foram elaborados gráficos, respectivamente: relação água/cimento (*a/c*) *versus* abatimento; Resistência a compressão *versus* relação *a/c*; Abatimento *versus* porcentagem de aditivo; Quantidade de cimento *versus* resistência a compressão; índice de ligantes *versus* resistência a compressão;

1.11 Etapa 03 – sistematização de parâmetros de dosagens

Após a elaboração dos gráficos, foram analisados os comportamentos das curvas obtidas, com as dosagens de cada trabalho, e assim sistematizados os parâmetros que poderão ser utilizados para a dosagem de concretos com cimento LC3, e que respondam os objetivos específicos propostos neste trabalho.

5. RESULTADOS

Neste capítulo apresenta-se os resultados da análise de metadados, dos 79 artigos selecionados na etapa 01.

1.12 INFLUÊNCIA DA ÁGUA

Para a análise de influência da água no cimento LC3, foram elaborados gráficos que correlacionam a relação água/aglutinante com o abatimento de tronco de cone (figura 1); a relação água/aglutinante com resistência a compressão aos 28 dias de idade (figura 2).

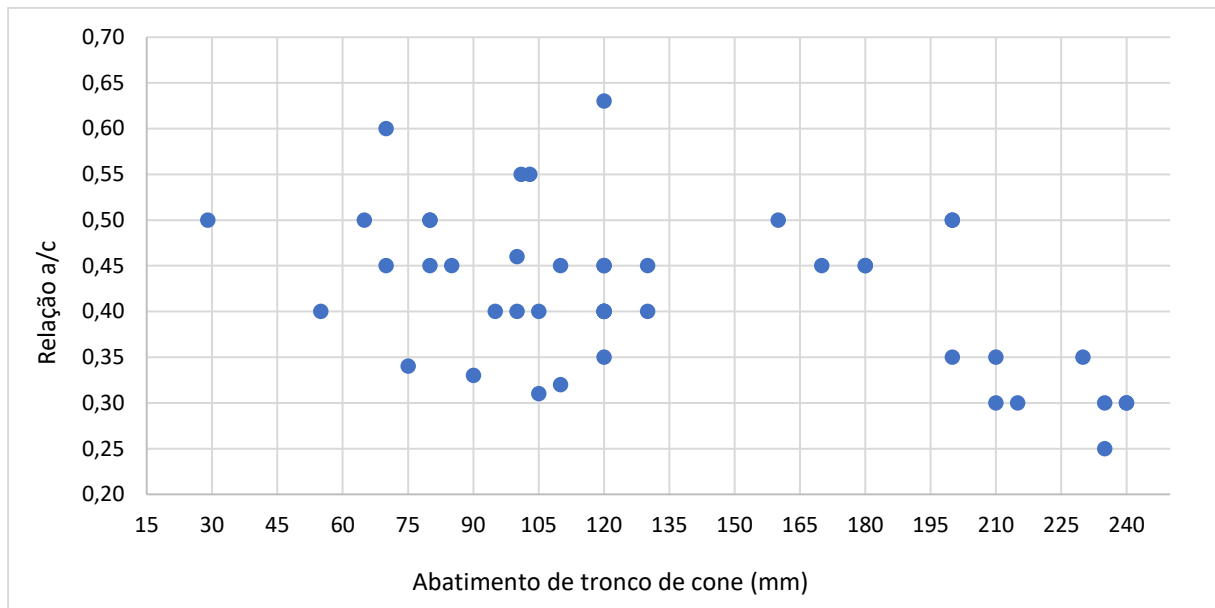


Figura 1 - Relação água cimento versus Abatimento de tronco cone.

A Figura 1 representa a relação entre água/aglutinante (eixo y) e abatimento de tronco cone em (mm) (eixo x). Podemos observar que os pontos do gráfico estão notavelmente distintos, o que não nos fornece uma relação entre tais fatores.

Ao analisar a causa de não haver relação entre a relação a/c e a trabalhabilidade no concreto com cimento LC3, pode-se dizer que, uma das maiores preocupações do emprego das argilas calcinadas, está no aumento da demanda de água devido sua alta finura, relacionada com sua estrutura de partículas semelhantes a uma folha, e sua estreita distribuição do tamanho das mesmas (NAIR et al., 2020).

Neste sentido, é necessário recorrer ao uso de aditivos para preservar tais características sem aumentar a quantidade de água, uma vez que isso poderia ocasionar uma redução na resistência, conforme observado por (CASTRO; LIBORIO; PANDOLFELLI, 2009). Assim, pode-se concluir que a quantidade de água utilizada em uma dosagem com cimento LC3 deve ser estipulada em função da resistência a compressão requerida enquanto a trabalhabilidade deve ser ajustada com o uso de aditivos plastificantes ou superplastificante.

Assim, mostra-se na Figura 2 a relação entre a resistência a compressão e a relação água/aglutinante.

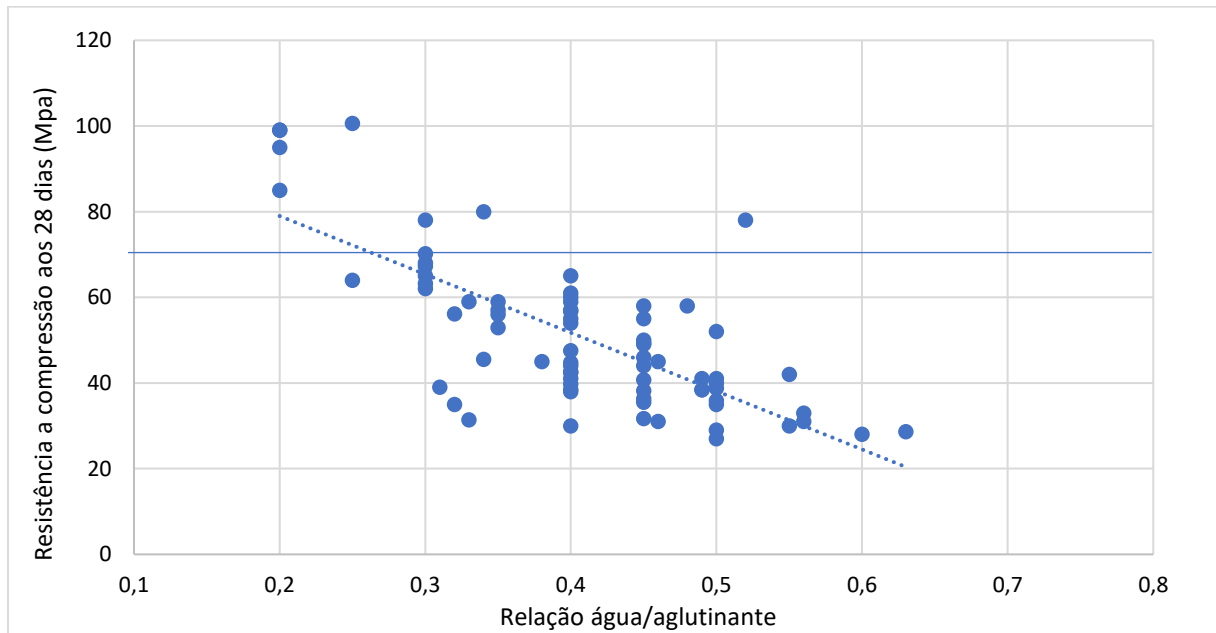


Figura 2- Resistência a compressão aos 28 dias versus relação água/aglutinante.

Pode-se observar no gráfico apresentado na Figura 2 que uma relação água/aglutinante mais baixa tende a resultar em uma resistência à compressão mais elevada, ou seja, um comportamento inversamente proporcional entre estes parâmetros. Mesmo com um valor baixo de R^2 , temos uma tendência clara de que quanto menor o valor da relação água cimento, maior será a resistência a compressão, o que já é conhecido uma vez que de acordo com (ADAM M. NEVILLE, 1997) o fator principal a ser considerado na resistência do concreto é a relação a/c. Também é possível observar que a relação a/c permanece fixa ou varia minimamente na maioria dos trabalhos (dentro de um grupo de diferentes dosagens), pois normalmente fixa-se o valor de resistência para estudar outras propriedades do concreto.

1.13 INFLUÊNCIA DO ADITIVO

Para a análise da influência do aditivo no concreto com cimento LC3, elaborou-se o gráfico relacionando a porcentagem de aditivo em (%) com o abatimento de tronco cone em (mm), conforme figura 3.

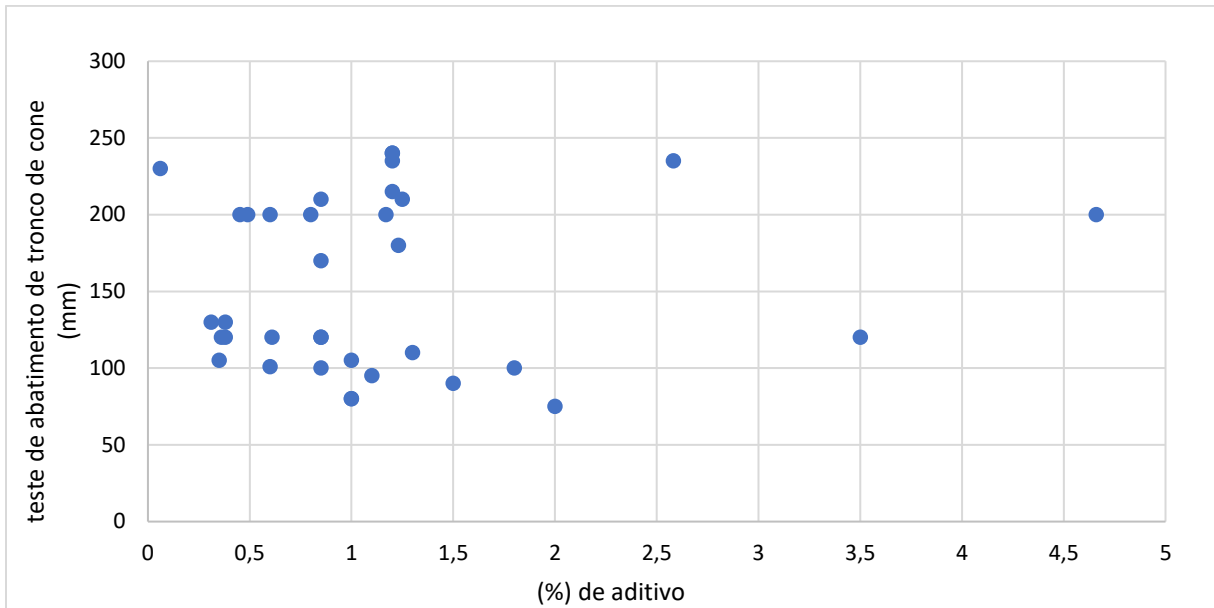


Figura 3 - Teste de abatimento de tronco de cone versus a porcentagem de aditivo.

A figura 3 dispõe a análise do efeito do aditivo (%) destacado no eixo x versus a trabalhabilidade medida pelo teste de abatimento de tronco de cone (mm) no eixo y, nela pode-se ver a forte influência diretamente proporcional do aditivo na trabalhabilidade dos concretos. Pode-se observar que à medida que a quantidade de aditivo aumenta, a fluidez do concreto também se intensifica, resultando em valores mais altos de abatimento.

Conforme observado na figura 3, para as dosagens analisadas constata-se que a maior parte da quantidade de aditivo utilizada se situa em valores entre 0,3% e 1,2%. Porém em alguns trabalhos científicos o uso de aditivo é visivelmente maior, o que é algo natural quando se trabalha com o LC3, pois para manter a trabalhabilidade necessária é aumentada a dosagem de aditivos plastificantes e superplastificante. Este fato ocorre principalmente pela maior demanda de água imposta pela estrutura da argila calcinada. (NAIR et al., 2020).

1.14 INFLUÊNCIA DA QUANTIDADE DE CIMENTO LC3

A fim de avaliar o impacto do cimento LC3 nas propriedades do concreto, foram elaborados gráficos, apresentando a relação da quantidade de cimento LC3 com a resistência a compressão aos 28 dias (Figura 4), gráfico da relação do índice de ligantes com a resistência aos 28 dias (Figura 5), e a relação do índice de ligantes com a

resistência a compressão e a quantidade de cimento LC3 utilizada nas dosagens (Figura 6).

O gráfico da Figura 4 apresenta a relação entre a quantidade de cimento LC3 em kg/m^3 no eixo y e a resistência à compressão aos 28 dias de idade em MPa no eixo x.

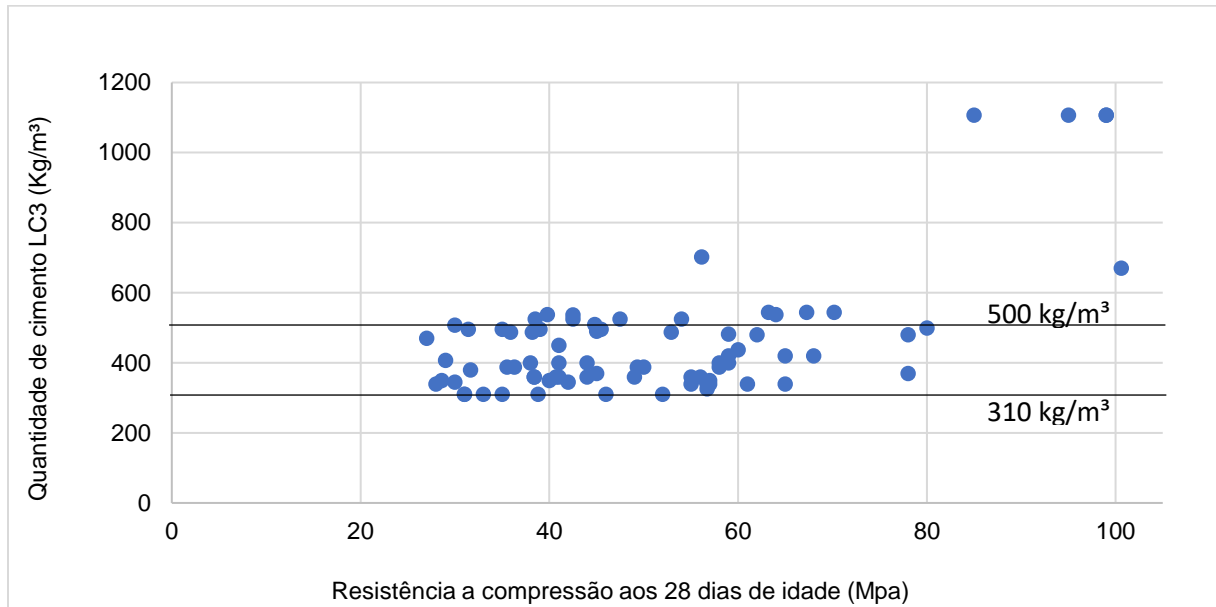


Figura 4- Quantidade de cimento LC3 versus Resistência a compressão aos 28 dias de idade.

Nota-se que as quantidades de cimento empregadas variam de 310 kg/m^3 a 500 kg/m^3 . No entanto, também é perceptível que as resistências dos concretos analisados apresentam valores similares para diferentes quantidades de ligantes. Esta ocorrência pode estar ligada a vários fatores que influenciam nas propriedades mecânicas e de durabilidade do concreto com cimento LC3.

Para dar continuidade as análises da influência de quantidade de cimento, foi elaborado um gráfico relacionando as quantidades de cimento LC3 mais utilizadas, com o índice de ligantes, que de acordo com (DAMINELI, 2013) é a quantidade de ligante necessária para se obter um Mpa de resistência. A Figura 5 apresenta o comportamento do índice de ligantes descrito no eixo y versus a resistência a compressão descrita no eixo x.

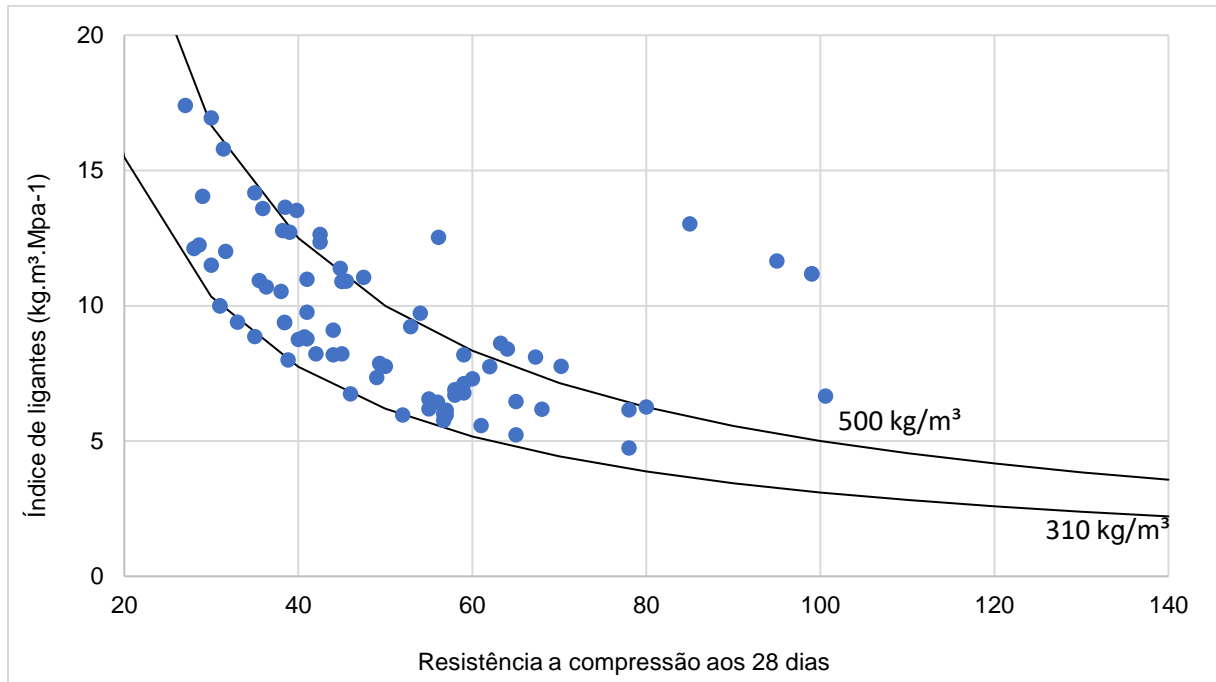


Figura 5- Índice de ligantes versus Resistência a compressão aos 28 dias de idade.

Na figura 5, pode-se observar uma ampla variação nos níveis de resistência entre os concretos analisados, mesmo com um consumo de cimento que varia de cerca de 310 kg/m³ a mais de 500 kg/m³. Esta observação destaca a significativa disparidade no consumo de cimento nas formulações de concreto com cimento LC3. Isso ressalta a importância contínua de estudar as formulações de concreto com cimento LC3 conforme o conhecimento já estabelecido por (Scrivener et al.) sobre os diversos fatores que influenciam seu comportamento como, quantidade de argila, tipo de argila, finura e etc.

A fim de avaliar o índice de ligantes do cimento LC3 com o cimento convencional, foi executada uma sobreposição (figura 6) onde se utilizou o gráfico realizado por (DAMINELI, 2013) e um gráfico realizado neste presente trabalho analisando o índice de ligantes no concreto com cimento LC3.

Na figura 6 é apresentado o comportamento do índice de ligantes (eixo y) *versus* a resistência a compressão aos 28 dias (eixo x). Os pontos caracterizados pela cor preta, são os índices de ligantes das dosagens avaliadas neste presente trabalho, e o restante da figura mostrada consiste na análise imposta por (DAMINELI, 2013) sobre o índice de ligantes nos concretos convencionais.

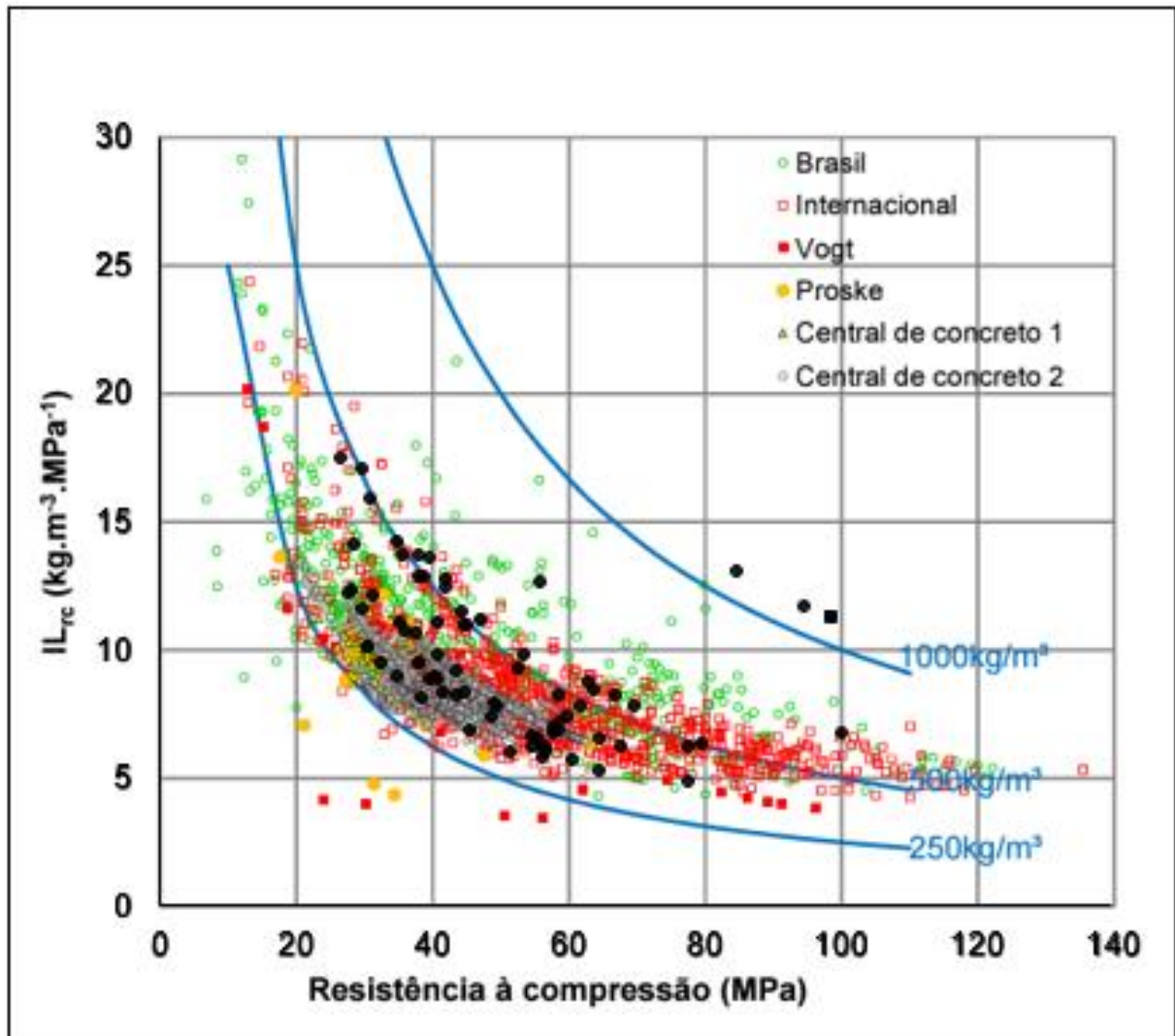


Figura 6- Índice de ligantes versus resistência a compressão aos 28 dias.

Na Figura 6, nota-se que a metodologia de dosagem utilizada para ambos os tipos de concretos é idêntica, uma vez que os pontos abordados neste estudo coincidem significativamente com aqueles apresentados na figura do autor mencionado anteriormente. Os pontos localizados fora da área de estudo podem ser interpretados como indicações de concretos mal dosados.

1.15 INFLUÊNCIA DO CLÍNQUER

Com o intuito de avaliar qual a ação do clínquer nas propriedades do concreto com cimento LC3, gerou-se o gráfico de Quantidade de clínquer *versus* resistência a compressão (Figura 7).

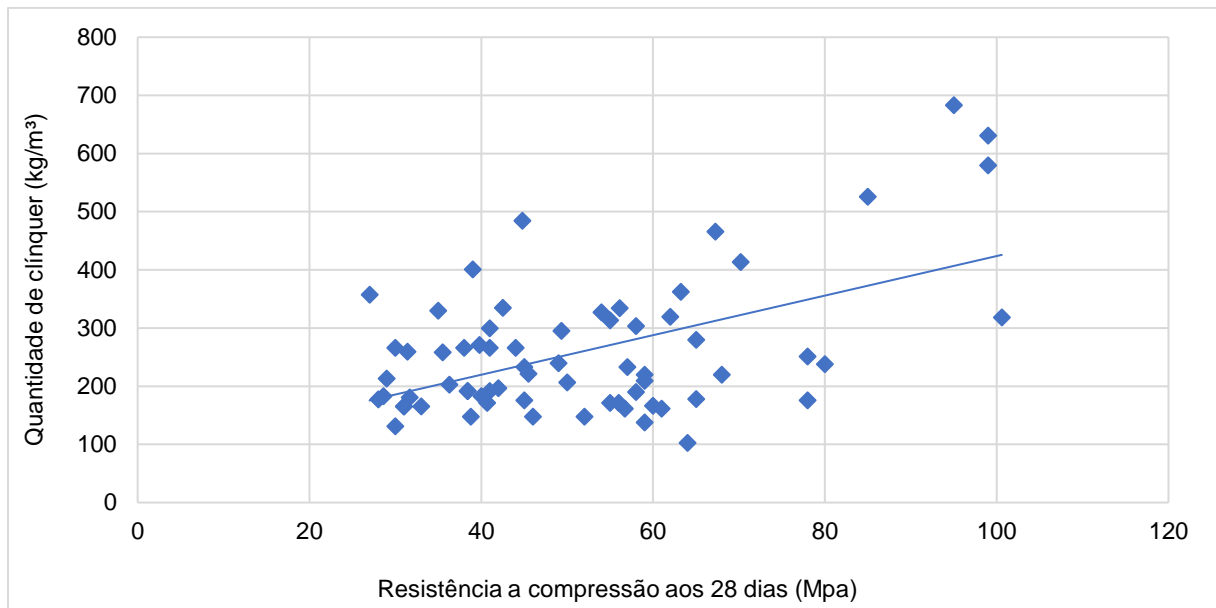


Figura 7- Quantidade de cimento versus resistência a compressão aos 28 dias de idade

A Figura 7 ilustra como a quantidade de clínquer (eixo y), influencia a resistência à compressão, (eixo x). Observa-se que a quantidade de clínquer é diretamente proporcional nos valores de resistência mecânica. Quanto maior o clínquer, mais C_3S (alita), fase do clínquer responsável pela resistência inicial nas fases hidratadas do cimento (Boscaro et al., 2021), logo, também é maior a resistência. Sabe-se que a taxa de substituição de clínquer no LC3 dos artigos analisados é de 50%, o que de acordo com (Sun et al., 2024) pode ser aplicado sem comprometer as propriedades mecânicas, gerando resistência semelhantes ao PC.

1.16 SISTEMATIZAÇÃO DOS PARÂMETROS DE DOSAGENS

Conforme o objetivo desta análise, foram realizadas as sistematizações dos parâmetros de dosagens, analisados pelos gráficos que relacionam quantidade de cimento e índice de ligantes em função da resistência.

Para resistências de concretos até 50 Mpa, a quantidade de ligante é definida em até 310 Kg/m^3 , já para resistências em um intervalo de 50 a 70 Mpa, observa-se o uso de um intervalo de 310 a 400 kg/m^3 de ligante. Para concretos com resistências acima de 70 Mpa, a quantidade de ligante obtida a partir das análises está entre 400 e 500 kg/m^3 de cimento.

A partir dos gráficos de relação da água em função da resistência, definiu-se que resistências mais baixas tendem a possuir relações água/cimento mais altas, enquanto

resistências mais altas tendem a ter menor relação a/c. Para concretos de resistência até 30 Mpa a relação a/c foi definida entre 0,4 e 0,6, já para as resistências de até 40 Mpa observou-se uma tendência clara de que relações a/c entre 0,4 e 0,5 funcionaram bem. Para as classes de resistência até 50 Mpa, a relação a/c que se apresentou de forma mais influente no concreto foi o intervalo de 0,4 a 0,45. Para resistência de 60 e 70 Mpa, as relações a/c definidas com base nas análises foram 0,35 e 0,3 respectivamente.

A determinação do volume de cimento também foi estabelecida, dividindo a quantidade de ligante determinada para cada resistência pela densidade do cimento, que resulta em 3000 kg.m^{-3} , conforme pesquisas realizadas na literatura. Posteriormente, determinou-se o volume total de água, calculado multiplicando as relações água/cimento pelas quantidades de cimento previamente definidas.

Para determinação do volume total de agregados (grãos + miúdos), estabeleceu-se previamente que a mistura total de concreto equivale a 1000 litros. Em seguida, realizou-se a subtração deste valor do volume de água e do volume de cimento que já haviam sido determinados anteriormente, resultando no valor definido como volume total de agregado.

As dosagens de aditivos não foram determinadas, visto que há uma variação para cada caso em particular, já que vários fatores podem interferir, como por exemplo o tipo de argila utilizado no LC3.

Na tabela 1 é possível observar os parâmetros definidos com base nas análises realizadas anteriormente, de forma clara, organizada e conforme as classes de resistências.

Tabela 1 - Dosagens de concreto com cimento LC3.

Resistência (Mpa)	Quantidade de cimento LC3 (kg/m³)	Relação a/c	Volume de água na dosagem (l)	Volume de agregado (l)
30	310	0,4 - 0,6	124 -186	773 -711
40	310	0,4 - 0,5	124 - 155	773 – 742
50	310	0,4 – 0,45	124 -139,5	773 – 757,5
60	310 - 400	0,35	108,5 - 140	788,5 - 727
70	310 - 400	0,3	93 - 120	804 – 747
80	400-500	0,3	120 - 150	747 - 684

Para determinação do volume de brita e areia em caráter individual, primeiramente indica-se o uso da tabela ABCP para determinação do V_b , conforme descreve a tabela 2.

Tabela 2 - Tabela ABCP

MF	Dimensão máxima (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
	(% de agregado graúdo (V_b))				
1,8	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
2,0	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785
2,6	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745
3,0	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
3,4	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685
3,6	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665

Após a determinação do V_b , calcula-se o consumo de brita, de acordo com a equação 1:

$$Massa_{BRITA} = Massa_{unitária_{BRITA}} \times V_b \quad \text{Eq. (1)}$$

Para o cálculo da quantidade de areia, inicialmente calcula-se o volume de areia (Equação 2), e posteriormente o consumo de areia, determinado a partir da Equação 3.

$$Vol_{AREIA} = 1 - \left(\frac{Cons.CIMENTO}{Massa_{esp.CIMENTO}} + \frac{Cons.BRITA}{Massa_{esp.BRITA}} + \frac{Cons.ÁGUA}{Massa_{esp.ÁGUA}} + \frac{Cons.ADITIVO}{Massa_{esp.ADITIVO}} \right) \text{Eq. (2)}$$

$$Consumo_{AREIA} = Vol_{AREIA} \times Massa_{esp.AREIA} \quad \text{Eq. (3)}$$

6. CONCLUSÃO

De acordo com os dados obtidos nesta pesquisa, é possível inferir que o concreto com cimento LC3 é influenciado por uma gama diversificada de variáveis que impactam suas propriedades tanto no estado fresco quanto na resistência final. É

imperativo destacar a necessidade incontestável de aditivos quando se trata desse tipo específico de cimento. Tal necessidade decorre, principalmente, da estrutura laminar das argilas presentes, exigindo, por conseguinte, uma quantidade adicional de água na mistura para preservar sua trabalhabilidade. No entanto, é importante ressaltar que o aumento na relação água/cimento resulta em uma diminuição da resistência do concreto, tornando, assim, o emprego de aditivos uma medida de suma importância para mitigar tal efeito.

Além disso, a análise do índice de ligantes revela que o concreto com cimento LC3 está sendo dosado de maneira idêntica ao concreto convencional. Tal abordagem carece de adequação, uma vez que, embora possam surgir propriedades similares entre os dois tipos de concreto, suas distinções materiais e composicionais tornam-nos inequivocamente diferentes e, portanto, requerem tratamentos distintos no processo de dosagem.

O propósito fundamental deste trabalho consiste em estabelecer diretrizes para a dosagem de concretos utilizando cimento LC3, com a análise realizada anteriormente, podemos identificar alguns parâmetros de dosagens que são fundamentais quando se trabalha com cimento LC3. Neste estudo visualizou-se a quantidade de cimento utilizado em função da resistência. Para concretos de resistência até 50 Mpa, é ideal que se trabalhe com quantidades de ligante de até 310 kg/m³. Já para resistências em um intervalo de 50 a 70 Mpa, aconselha-se utilizar de 310 a 400 kg/m³ de ligante. Por fim, para concretos acima de 70 MPa de resistência, é apropriado o uso de 400 a 500kg/m³ de cimento.

Com o objetivo de estabelecer a quantidade ideal de água/cimento em função da resistência, pode-se concluir que resistências mais baixas tendem a ter relação a/c mais altas, enquanto resistências mais altas tendem a ter relações a/c mais baixas. Por isso, foram definidos os seguintes parâmetros de relação água-cimento em função da resistência. Para concretos de resistência até 30 MPa, a relação a/c situa-se entre 0,4 e 0,6. Para resistências de até 40 MPa, observa-se funcionalmente uma relação a/c de 0,4 a 0,5. Para classes de resistência de até 50 MPa, tem-se uma relação a/c de 0,4 a 0,45. Para resistências de até 60 MPa, a relação água/cimento é de 0,35, e para 70 MPa de resistência, a relação a/c é de 0,3.

Foram definidos também, por meio de cálculos especificados no método do estudo em questão, o volume de cimento em litros e o volume total de água além do

volume total de agregados, que consistiu no valor de agregado miúdo mais agregado graúdo. Os resultados da sistematização dos parâmetros obtidos estão descritos na Tabela 1.

Assim, para determinar o volume de brita e areia separadamente, indica-se o uso da tabela ABCP (Tabela 2) para determinação do V_b , e então a determinação da quantidade de brita e areia

Contudo, é possível concluir que os parâmetros elaborados anteriormente, são parâmetros iniciais de dosagens de concretos com cimento LC3 e necessitam ser testados in loco.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRÃO, P. C. R. A.; CARDOSO, F. A.; JOHN, V. M. Efficiency of Portland-pozzolana cements: Water demand, chemical reactivity and environmental impact. **Construction and Building Materials**, v. 247, p. 118546, jun. 2020.

ADAM M. NEVILLE. **Tecnologia do concreto**. 2. ed. São Paulo: Ed Pini, 1997.

ADRIAN ALUJAS et al. Pozzolanic reactivity of low grade kaolinitic clays: Influence of calcination temperature and impact of calcination products on OPC hydration. **Applied Clay Science**, v. 108, p. 94–101, 1 maio 2015.

AFROZ, S. et al. Shrinkage of blended cement concrete with fly ash or limestone calcined clay. **Materials and Structures**, v. 56, n. 1, p. 15, fev. 2023a.

AFROZ, S. et al. Cracking of limestone calcined clay blended concrete and mortar under restrained shrinkage. **Construction and Building Materials**, v. 386, p. 131599, jul. 2023b.

AKSHAY SHARMA; A.B. DANIE ROY. Post-heating evaluation of fibre reinforced concrete with LC3 binder as replacement to OPC. **Construction and Building Materials**, v. 407, p. 133603, 1 dez. 2023.

AVET, F.; BOEHM-COURJAULT, E.; SCRIVENER, K. Investigation of C-A-S-H composition, morphology and density in Limestone Calcined Clay Cement (LC3). **Cement and Concrete Research**, v. 115, p. 70–79, jan. 2019.

BÁRBARA LOTHENBACH; KAREN SCRIVENER; RD HOOTON. Supplementary cementitious materials. **Cement and Concrete Research**, v. 41, n. 12, p. 1244–1256, 1 dez. 2011.

CASTRO, A. L. D.; LIBORIO, J. B. L.; PANDOLFELLI, V. C. Desempenho de concretos avançados para a construção civil, formulados a partir do método de dosagem computacional. **Cerâmica**, v. 55, n. 335, p. 233–251, set. 2009.

DAI, Z.; TRAN, T. T.; SKIBSTED, J. Aluminum Incorporation in the C–S–H Phase of White Portland Cement–Metakaolin Blends Studied by ^{27}Al and ^{29}Si MAS NMR Spectroscopy. **Journal of the American Ceramic Society**, v. 97, n. 8, p. 2662–2671, ago. 2014.

DAMINELI, B. L. **Conceitos para formulação de concretos com baixo consumo de ligantes: controle reológico, empacotamento e dispersão de partículas**. Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana—São Paulo: Universidade de São Paulo, 25 out. 2013.

DHANDAPANI, Y. et al. Mechanical properties and durability performance of concretos with Limestone Calcined Clay Cement (LC3). **Cement and Concrete Research**, v. 107, p. 136–151, maio 2018.

- DÍAZ, Y. C. et al. Sustainability of Cuban Construction Supply Chain by Means of LC3 Cement: Case Studies in Villa Clara Province. Em: MARTIRENA, F.; FAVIER, A.; SCRIVENER, K. (Eds.). **Calcined Clays for Sustainable Concrete**. RILEM Bookseries. Dordrecht: Springer Netherlands, 2018. v. 16p. 105–109.
- DIXIT, A. et al. Quaternary blended limestone-calcined clay cement concrete incorporating fly ash. **Cement and Concrete Composites**, v. 123, p. 104174, out. 2021.
- FRANCISCO AVET; KAREN SCRIVENER. Investigation of the calcined kaolinite content on the hydration of Limestone Calcined Clay Cement (LC3). **Cement and Concrete Research**, v. 107, p. 124–135, 1 maio 2018.
- GARCES-VARGAS, J. et al. The Challenge of Grinding Ternary Blends Containing Calcined Clays and Limestone. **Minerals**, v. 12, n. 9, p. 1170, 16 set. 2022.
- GUNJAL, S. M. et al. Effect of magnesium sulphate and sulphuric acid attack on limestone calcined clay cement concrete. **Materials Today: Proceedings**, p. S2214785323015390, mar. 2023.
- GUO, M. et al. Performance evaluation of recycled aggregate concrete incorporating limestone calcined clay cement (LC3). **Journal of Cleaner Production**, v. 366, p. 132820, set. 2022.
- HAY, R.; CELIK, K. Effects of water-to-binder ratios (w/b) and superplasticizer on physicochemical, microstructural, and mechanical evolution of limestone calcined clay cement (LC3). **Construction and Building Materials**, v. 391, p. 131529, ago. 2023.
- HUANG, X. et al. Performance assessment of LC3 concrete structures considering life-cycle cost and environmental impacts. **Journal of Cleaner Production**, v. 436, p. 140380, jan. 2024.
- HUANG, Z. et al. Shear design and life cycle assessment of novel limestone calcined clay cement reinforced concrete beams. **Structural Concrete**, v. 24, n. 4, p. 5063–5085, ago. 2023.
- IEA; WBCSD. **Technology Roadmap - Low-Carbon Transition in the Cement Industry – Analysis**. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/technology-roadmap-low-carbon-transition-in-the-cement-industry>>. Acesso em: 9 set. 2023.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Cement Technology Roadmap: Carbon Emissions Reductions up to 2050**. [s.l.] OECD, 2009.
- JING YU et al. Mechanical, environmental and economic performance of sustainable Grade 45 concrete with ultrahigh-volume Limestone-Calcined Clay (LCC). **Resources, Conservation and Recycling**, v. 175, p. 105846, 1 dez. 2021.
- KAREN SCRIVENER et al. Impacting factors and properties of limestone calcined clay cements (LC3). **Impacting factors and properties of limestone calcined clay cements (LC3)**, v. 7, n. GM1, 13 dez. 2018.

KUMAR, A. et al. The filler effect: The influence of filler content and type on the hydration rate of tricalcium silicate. **Journal of the American Ceramic Society**, v. 100, n. 7, p. 3316–3328, jul. 2017.

MARIA C.G. JUENGER; RUBEN SNELLINGS; SUSAN A .BERNAL. Supplementary cementitious materials: New sources, characterization, and performance insights. **Cement and Concrete Research**, v. 122, p. 257–273, ago. 2019.

MO, Z. et al. Strength properties and hydration of ultra-high performance concrete incorporating calcined clay and limestone with steam curing regimes. **Case Studies in Construction Materials**, v. 17, p. e01658, dez. 2022.

MOHAMAD, N. et al. Environmental impact of cement production and Solutions: A review. **Materials Today: Proceedings**, 2nd International Conference on Innovative Technology and Sciences (iCITES 2020). v. 48, p. 741–746, 1 jan. 2022.

MUSBAU, K. D. et al. Comparative performance of limestone calcined clay and limestone calcined laterite blended cement concrete. **Cleaner Engineering and Technology**, v. 4, p. 100264, out. 2021.

NAIR, N. et al. A study on fresh properties of limestone calcined clay blended cementitious systems. **Construction and Building Materials**, v. 254, p. 119326, set. 2020.

NGUYEN, Q. D. et al. Autogenous and total shrinkage of limestone calcined clay cement (LC3) concretes. **Construction and Building Materials**, v. 314, p. 125720, jan. 2022.

NGUYEN, Q. D.; CASTEL, A. Reinforcement corrosion in limestone flash calcined clay cement-based concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 132, p. 106051, jun. 2020.

NGUYEN, Q. D.; KHAN, M. S. H.; CASTEL, A. Engineering Properties of Limestone Calcined Clay Concrete. **Journal of Advanced Concrete Technology**, v. 16, n. 8, p. 343–357, 17 ago. 2018.

PILLAI, R. G. et al. Service life and life cycle assessment of reinforced concrete systems with limestone calcined clay cement (LC3). **Cement and Concrete Research**, v. 118, p. 111–119, abr. 2019.

PRADHAN, S.; CHANG BOON POH, A.; QIAN, S. Impact of service life and system boundaries on life cycle assessment of sustainable concrete mixes. **Journal of Cleaner Production**, v. 342, p. 130847, mar. 2022.

RAM, K. et al. Influence of Low- to Medium-Kaolinite Clay on the Durability of Limestone Calcined Clay Cement (LC3) Concrete. **Materials**, v. 16, n. 1, p. 374, 30 dez. 2022.

RAMOS, T.; MATOS, A. M.; SOUSA-COUTINHO, J. Strength and Durability of Mortar Using Cork Waste Ash as Cement Replacement. **Materials Research**, v. 17, p. 893–907, ago. 2014.

RATHNARAJAN, S. et al. Carbonation model for concretes with fly ash, slag, and limestone calcined clay - using accelerated and five - year natural exposure data. **Cement and Concrete Composites**, v. 126, p. 104329, fev. 2022.

REDDY, S. S.; REDDY, M. A. K. LIME CALCINED CLAY CEMENT (LC3): A Review. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 796, n. 1, p. 012037, jun. 2021.

RICARDA GMUR; KARL-CHRISTIAN THIENEL; NANCY BEUNTNER. Influence of aging conditions upon the properties of calcined clay and its performance as supplementary cementitious material. **Cement and Concrete Composites**, v. 72, p. 114–124, 1 set. 2016.

RODRIGO FERNÁNDEZ; FERNANDO MARTIRENA; KAREN L. SCRIVENER. The origin of the pozzolanic activity of calcined clay minerals: A comparison between kaolinite, illite and montmorillonite. **Cement and Concrete Research**, v. 41, n. 1, p. 113–122, 1 jan. 2011.

SABIR, B. B.; WILD, S.; BAI, J. Metakaolin and calcined clays as pozzolans for concrete: a review. **Cement and Concrete Composites**, Metakaolin and Calcined Clays. v. 23, n. 6, p. 441–454, 1 dez. 2001.

SALMAN, A. M. et al. Workability and strengths of ternary cementitious concrete incorporating calcined clay and limestone powder. **Materials Today: Proceedings**, v. 86, p. 51–58, 2023.

SÁNCHEZ BERRIEL, S. et al. Assessing the environmental and economic potential of Limestone Calcined Clay Cement in Cuba. **Journal of Cleaner Production**, v. 124, p. 361–369, jun. 2016.

SANTIN. **Redução na emissão de CO2 é sinônimo de competitividade na indústria global do cimento**. Disponível em: <<https://abcp.org.br/reducao-na-emissao-de-co2-e-sinonimo-de-competitividade-na-industria-global-do-cimento/>>. Acesso em: 18 set. 2023.

SCRIVENER, K. et al. Calcined clay limestone cements (LC3). **Cement and Concrete Research**, v. 114, p. 49–56, dez. 2018.

SCRIVENER, K. L. Options for the future of cement. **Options for the future of cement**, 2014.

SCRIVENER, K. L.; JOHN, V. M.; GARTNER, E. M. Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO2 cement-based materials industry. **Cement and Concrete Research**, Report of UNEP SBCI WORKING GROUP ON LOW-CO2 ECO-EFFICIENT CEMENT-BASED MATERIALS. v. 114, p. 2–26, 1 dez. 2018.

SHARMA, A.; ROY, A. B. D.; BANSAL, P. P. Post-heating evaluation of fibre reinforced concrete with LC3 binder as replacement to OPC. **Construction and Building Materials**, v. 407, p. 133603, dez. 2023.

SHARMA, M. et al. Limestone calcined clay cement and concrete: A state-of-the-art review. **Cement and Concrete Research**, v. 149, p. 106564, nov. 2021.

SIRANGI, B.; PRASAD, M. L. V. A low carbon cement (LC3) as a sustainable material in high strength concrete: green concrete. **Materiales de Construcción**, v. 73, n. 352, p. e326, 3 nov. 2023.

SKIBSTED, J.; SNELLINGS, R. Reactivity of supplementary cementitious materials (SCMs) in cement blends. **Cement and Concrete Research**, v. 124, p. 105799, out. 2019.

SNELLINGS, R. Assessing, Understanding and Unlocking Supplementary Cementitious Materials. **RILEM Technical Letters**, v. 1, p. 50–55, 16 ago. 2016.

TINO BALESTRA, C. E. et al. Contribution to low-carbon cement studies: Effects of silica fume, fly ash, sugarcane bagasse ash and acai stone ash incorporation in quaternary blended limestone-calcined clay cement concretes. **Environmental Development**, v. 45, p. 100792, mar. 2023.

VAASUDEVA, B. V.; DHANDAPANI, Y.; SANTHANAM, M. Performance evaluation of limestone-calcined clay (LC2) combination as a cement substitute in concrete systems subjected to short-term heat curing. **Construction and Building Materials**, v. 302, p. 124121, out. 2021.

YADAK YARAGHI, A. H. et al. Evaluation of test procedures for durability and permeability assessment of concretes containing calcined clay. **Journal of Building Engineering**, v. 58, p. 105016, out. 2022.

YANG, P. et al. Simulation of chloride diffusion in fly ash and limestone-calcined clay cement (LC3) concretes and the influence of damage on service-life. **Cement and Concrete Research**, v. 130, p. 106010, abr. 2020.

8. ANEXOS

Identificação do trabalho			
N°	Ano de publicação	Autores	Título
1	2018	Yuvaraj Dhandapani, T. Sakthivel, Manu Santhanam, Ravindra Gettu, Radhakrishna G. Pillai	Mechanical properties and durability performance of concretes with Limestone Calcined Clay Cement (LC3):
2	2022	Quang Dieu Nguyen, Sumaiya Afroz, Yingda Zhang, Taehwan Kim, Wengui Li, Arnaud Castel	Autogenous and total shrinkage of limestone calcined clay cement (LC3) concretes
3	2022	Amir Hossein Yadak Yaraghi, Amir Mohammad Ramezaniapour, Ali Akbar Ramezaniapour, Farnaz Bahman-Zadeh, Arash Zolfagharnasab	Evaluation of test procedures for durability and permeability assessment of concretes containing calcined clay
4	2018	Quang Dieu Nguyen, Mohammad Shakhout Hossain Khan and Arnaud Castel	Engineering Properties of Limestone Calcined Clay Concrete
5	2022	Kiran Ram, Matea Flegar, Marijana Serdar, and Karen Scrivener	Influence of Low- to Medium-Kaolinite Clay on the Durability of Limestone Calcined Clay Cement (LC3) Concrete
6	2020	Pu Yang, Yuvaraj Dhandapani, Manu Santhanam, Narayanan Neithalath	Simulation of chloride diffusion in fly ash and limestone calcined clay cement (LC3) concretes and the influence of damage on service-life
7	2023	S. Bhavani, M.L.V. Prasad	A low carbon cement (LC3) as a sustainable material in high strength concrete: green concrete

8	2020	Quang Dieu Nguyen, Arnaud Castel	Reinforcement corrosion in limestone flash calcined clay cement-based concrete
9	2023	Zhenyu Huang, Weixiong Deng, Xiaolong Zhao, Yingwu Zhou, Feng Xing, Pengkun Hou, Cheng Chen	Shear design and life cycle assessment of novel limestone calcined clay cement reinforced concrete beams
10	2023	Sumaya Afroz, Yingda Zhang, Quang Dieu Nguyen, Taehwan Kim, Arnaud Castel.	Shrinkage of blended cement concrete with fly ash or limestone calcined clay
11	2023	Sirangi Bhavani, M.L.V Prasad	Strength and durability properties of SCC developed using limestone calcined clay cement (LC3)
12	2022	Subhasis Pradhan, Anthony Chang Boon Poh, Shunzhi Qian	Impact of service life and system boundaries on lifecycle assessment of sustainable concrete mixes
13	2023	Rotana Hay, Kemal Celik	Effects of water-to-binder ratios (w/b) and superplasticizer on physicochemical, microstructural, and mechanical evolution of limestone calcined clay cement (LC3)
14	2021	Jing Yu, Dhanada K. Mishra, Chuanlin Hu, Christopher K.Y. Leung, Surendra P. Shah.	Mechanical, environmental and economic performance of sustainable Grade 45 concrete with ultrahigh-volume Limestone-Calcined Clay (LCC)
15	2020	Nithya Nair, K.Mohammed Haneefa, Manu Santhanam, Ravindra Gettu.	A study on fresh properties of limestone calcined clay blended cementitious systems
16	2022	Sundar Rathnarajan, B.S. Dhanya, Radhakrishna G. Pillai, Ravindra Gettu, Manu Santhanam	Carbonation model for concretes with fly ash, slag, and limestone calcined clay - using accelerated and five - year natural exposure data
17	2021	Kazeem Dele Musbau, Jhon Temitope Kolawole, Adewumi Jhon Babafemi, Oladimeji Benedict Olalusi.	Comparative performance of limestone calcined clay and limestone calcined laterite blended cement concrete.
18	2022	Juan Francisco Garces-Vargas, Yosvany Diaz-Cardenas, Franco Zunino, Juan Ribalta-Quesada, Karen Scrivener and Fernando Martirena	The Challenge of Grinding Ternary Blends Containing Calcined Clays and Limestone
19	2022	Zongyun Mo, Youmin Han, Li Jiang, Jiawei Wang, Xiaojian Gao	Strength properties and hydration of ultra-high performance concrete incorporating calcined clay and limestone with steam curing regimes
20	2023	Ayesha Ayub, Tehmina Ayub - Tariq Jamil - Asad-ur-Rehman Khan	Mechanical and Durability Properties of High-Strength Limestone Calcined Clay Cement (LC3) Concrete Containing Waste Glass Powder
21	2021	Anjaneya Dixit, Hongjian Du, Juntao Dang, Sze Dai Pang	Quaternary blended limestone-calcined clay cement concrete incorporating fly ash
22	2019	Radhakrishna G. Pillai, Ravindra Gettu, Manu Santhanam, Sripriya Rengaraju, Yuvaraj Dhandapani, Sundar Rathnarajan, Anusha S. Basavaraj.	Service life and life cycle assessment of reinforced concrete systems with limestone calcined clay cement (LC3)
23	2022	Menghuan Guo, Guoqiang Gong, Yanchao Yuea, Feng Xing, Yingwu Zhou, Biao Hu	Performance evaluation of recycled aggregate concrete incorporating limestone calcined clay cement (LC3)
24	2021	B.V. Vaasudeva, Yuvaraj Dhandapani, Manu Santhanam	Performance evaluation of limestone-calcined clay (LC2) combination as a cement substitute in concrete systems subjected to short-term heat curing
25	2023	Carlos Eduardo Tino Balestraa, Lilyanne Rocha Garcez, Leandro Couto da Silva, Márcia Teresinha Veit, Eliziane Jubanski, Alberto Yoshihiro Nakano, Marina Helena Pietrobelli, Ricardo Schneider, Miguel Angel Ramirez Gil	Contribution to low-carbon cement studies: Effects of silica fume, fly ash, sugarcane bagasse ash and acai stone ash incorporation in quaternary blended limestone-calcined clay cement concretes
26	2023	S.M. Gunjal, Sagar D. Turkane, S.V. Patankar, B. Kondraivendhan.	Effect of magnesium sulphate and sulphuric acid attack on limestone calcined clay cement concrete
27	2020	Hongjian Du, Sze Dai Pang	High-performance concrete incorporating calcined kaolin clay and limestone as cement substitute
28	2020	Yuvaraj Dhandapani, Manu Santhanam	Investigation on the microstructure-related characteristics to elucidate performance of composite cement with limestone-calcined clay combination
29	2023	Akshay Sharma, A.B. Danie Roy, Prem Pal Bansal	Post-heating evaluation of fibre reinforced concrete with LC3 binder as replacement to OPC
30	2023	A.M Salman; M.A Akinpelu; I.t Yahaya; H.M Salami.	Workability and strengths of ternary cementitious concrete incorporating calcined clay and limestone powder
31	2023	Sumaya Afroz, Yingda Zhang, Quang Dieu Nguyen, Taehwan Kim, Arnaud Castel.	Cracking of limestone calcined clay blended concrete and mortar under restrained shrinkage
32	2024	Xiaoxu Huang, Zhenxiao Jiao, Feng Xing, Lili Sui, Biao Hu, Yingwu Zhou	Performance assessment of LC3 concrete structures considering life-cycle cost and environmental impacts

Nº	ID da mistura	quantidade de cimento LC3 (kg/m³)	Quantidade de argila calcinada (kg/m³)	Quantidade de calcário (kg/m³)	Quantidade de Clinquer (kg/m³)	Volume de argamassa (cimento+areia)	Quantidade de finos (kg/m³)	aditivo			Slumpstest (mm)	Finura de blaine	Resistência a compressão (Mpa)					
								tipo	quantidade (%)	quantidade em kg/m³			relação água/aglutinante	7 dias	14 dias	28 dias	56 dias	90 dias
1	LC3 M30	310	96,1	46,5	147,25	1018	708	superplastificante a base de éter policarboxílico	1	(-)	0,45	80	520	40,5	(-)	46	(-)	54
	LC3 M50	360	111,6	54	171	1044	704		0,85	(-)	0,35	120	520	50,5	(-)	56	(-)	64
	LC3 25	310	93	43,4	164,92	1166	856		(-)	(-)	0,56	(-)	(-)	23	29	33	(-)	(-)
2	LC3 32	360	108	50,4	191,52	1187	827	Superplastificante	0,5	(-)	0,49	(-)	(-)	29	34	41	(-)	(-)
	LC3 45	388	116,4	54,3	206,435	999	611		(-)	(-)	0,45	(-)	(-)	41	46	50	(-)	(-)
	LC3-1	400	80	40	266	1440	1040		0,38	(-)	0,4	120	320	30	(-)	41	(-)	43
3	LC3-2	400	80	40	266	1439	1039	Superplastificante	0,35	(-)	0,4	105	320	30	(-)	38	(-)	42
	LC3-3	400	80	40	266	1440	1040		0,31	(-)	0,4	130	320	33	(-)	44	(-)	46
	LC3-15	388	38,8	19,4	303,42	1008,8	620,8		0,38	(-)	0,45	130	(-)	38	52	58	(-)	(-)
4	LC3-30	388	77,6	38,8	258,02	1008,8	620,8	Superplastificante	0,85	(-)	0,45	170	(-)	26	33	35,5	(-)	(-)
	LC3-45	388	116,4	58,2	202,7	1008,8	620,8		1,23	(-)	0,45	180	(-)	28	34	36,3	(-)	(-)
	LC3-A	340	102	51	177,6	1358	(-)		1,8	(-)	0,4	100	325	52	(-)	65	(-)	(-)
5	LC3-B	340	102	51	313,3	1404	(-)	Superplastificante	1,1	(-)	0,4	95	325	42	(-)	55	(-)	(-)
	LC3-30	310	96	46,5	147,25	1018	708		1,0	(-)	0,5	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
	LC3-50	340	105,4	51	161,5	1044	704	Superplastificante a base de policarboxilato	0,85	(-)	0,4	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
7	LC3-40	370	111	55,5	175,75	1099	729	Superplastificante	0,85	(-)	0,46	100	(-)	35	43	45	60	65
	LC3-70	500	150	75	237,5	1075	575		2,4	(-)	0,34	100	(-)	60	70	80	89	99
	LC3	388	50,44	27,16	294,88	1008,8	620,8	Superplastificante	0,61	(-)	0,45	120	(-)	(-)	(-)	49,33	(-)	(-)
9	LC3-45	487,8	146,4	73,2	(-)	1187,8	700	(-)	(-)	(-)	0,5	160	(-)	(-)	(-)	35,9	(-)	(-)
	LC-50	487,8	146,4	73,2	(-)	1187,8	700	(-)	(-)	(-)	0,45	180	(-)	(-)	(-)	38,2	(-)	(-)
	LC-60	487,8	146,4	73,2	(-)	1187,8	700	Superplastificante	0,06	(-)	0,35	230	(-)	(-)	(-)	52,9	(-)	(-)
10	N25-LC44	310	93	43,4	164,92	1166	856	superplastificante (MasterGlenium SKY 8100; um polímero de éter policarboxílico)	0,15	(-)	0,46	(-)	(-)	(-)	(-)	31	(-)	(-)
	N32-LC44	360	108	50,4	191,52	1186,5	826,5		(-)	(-)	0,49	(-)	(-)	(-)	38,4	(-)	(-)	
	A-70 Mpa B-40MPa	490 370	147 111	73,5 55,5	232,75 175,75	1279 1227	789 857	superplastificante	(-) (-)	6,2 3,8	0,38 0,52	(-) (-)	(-) (-)	28 49	38 69	45 78	58 83	63 88
12	LC3	326,4	105,4	51	(-)	1030,4	704	superplastificante	(-)	2,89	(-)	(-)	(-)	(-)	56,7	(-)	(-)	(-)
	HP-LC	670	214,4	107,2	318,25	911,4	241,4	Superplastificante	(-)	10,1	0,25	235	(-)	67	88,3	100,6	(-)	(-)
	LC50	399,8	59,97	59,97	189,905	1063,8	664	reductor de água de alto alcance (HRWR) à base de éter policarboxilato GCP 1M ADVA 189	0,452	(-)	0,48	200	(-)	50	(-)	58	(-)	67
14	LCC60	437,8	78,81	65,67	166,345	1101,8	664		1,169	(-)	0,4	200	(-)	49	(-)	60	(-)	65
	LC70	482,6	101,34	72,39	137,56	1146,6	664		2,582	(-)	0,33	235	(-)	54	(-)	59	(-)	66
	LC80	537,5	129	80,625	102,125	1201,5	664		4,66	(-)	0,25	200	(-)	54	(-)	64	(-)	67
15	LC2-30-M30	450	90	45	299,25	(-)	(-)	Superplastificante PCE1	0,49	(-)	0,5	200	(-)	54	(-)	41	(-)	(-)
	LC2-30-M45	350	70	35	232,75	(-)	(-)		0,8	(-)	0,35	200	(-)	46	(-)	57	(-)	(-)
	LC2-30-M60	420	84	42	279,3	(-)	(-)		1,2	(-)	0,3	215	(-)	55	(-)	65	(-)	(-)
16	LC2-45-M30	350	105	52,5	182,875	(-)	(-)		0,6	(-)	0,5	200	(-)	38	(-)	40	(-)	(-)
	LC2-45-M45	420	126	63	219,45	(-)	(-)		0,85	(-)	0,35	210	(-)	50	(-)	59	(-)	(-)
	LC2-45-M60	420	126	63	219,45	(-)	(-)		1,25	(-)	0,3	210	(-)	55	(-)	68	(-)	(-)
17	INM 32	310	93	46,5	147,25	1015	705	Superplastificante	1,25	(-)	0,3	210	(-)	55	(-)	68	(-)	(-)
	INM 33	340	102	51	161,5	1053	713		(-)	(-)	0,4	120	480	(-)	(-)	61	(-)	(-)
	INM 34	360	108	54	171	1042	682		(-)	(-)	0,45	70	(-)	(-)	55	(-)	(-)	
18	LC3	508,14	152,55	76,3	266	1152	643,95	superplastificante Complast	(-)	151,2	0,4	55	(-)	16	24	30	36	36
	LC3	407,21	122,1	61,2	212,8	1091,86	684,65		(-)	100	0,5	65	(-)	13	22,5	29	34	35
	M3 - LC3-50	496	101,8	50,9	177,75	1050,93	711,63		(-)	51,2	0,6	70	(-)	12	21	28	31	33
19	M4 (OPC 85% + LC2 15%)	496	156,24	78,12	221,464	1354	858	Superplastificante MasterRheobuild @ 1050	2	(-)	0,34	75	1154,61	26	(-)	45,5	(-)	(-)
	M5 (OPC 70% + LC2 30%)	496	23,436	11,718	400,52	1354	858		1	(-)	0,31	105	583,661	21	(-)	39	(-)	(-)
	M6 (OPC 55% + LC2 45%)	496	46,856	23,428	329,84	1354	858		1,3	(-)	0,32	110	673,289	19	(-)	35	(-)	(-)
20	CL505	1107	55	332	683,05	1354	858	Superplastificante	1,5	(-)	0,33	90	804,02	14	(-)	31,4	(-)	(-)
	CL510	1107	111	332	630,8	(-)	1107		0,5	5,52	0,2	(-)	(-)	79	90	95	95	98
	CL515	1107	111	332	630,8	(-)	1107		0,7	7,74	0,2	(-)	(-)	88	89	99	100	100
21	LC3	1107	166	332	579,55	(-)	1107		1	11,07	0,2	(-)	(-)	89	98	99	109	110,5
	CL520	1107	221	332	525,35	(-)	1107		2,5	27,66	0,2	(-)	(-)	72	78	85	90	100
	LG-0	702,842	210,8526	105,42	333,85	1707,902	1005,06	Superplastificante a base de éter policarboxílico de alta resistência	1,5	10,54	0,32	(-)	(-)	(-)	(-)	56,12	(-)	(-)
22	LC40	345	104	34	196,65	1245	900	Superplastificante	(-)	1,83	0,55	103	(-)	37	39	42	44	47
	LC60	345	155	52	131,1	1245	900		0,6	4	0,55	101	(-)	25	27	30	31	33
	LC3-15	310	96,1	46,5	147,25	1018	708		(-)	(-)	0,5	(-)	(-)	(-)	38,8	(-)	(-)	
23	LC3-1P	360	111,6	54	171	1047	687	superplastificante à base de éter policarboxílico (PCE)	(-)	(-)	0,45	(-)	520	(-)	(-)	40,7	(-)	(-)
	LC3-2	340	105,4	51	161,5	1044	704		(-)	(-)	0,4	(-)	(-)	(-)	56,7	(-)	(-)	
	RAC-LC3-35	537	118	59	334,4	1113	576	O reductor de água de alto alcance à base de policarboxilato (HRWR)	(-)	0,92	0,4	(-)	(-)	34,8	(-)	42,5	(-)	(-)
24	RAC-LC3-50	538	161	81	270,75	1114	576		(-)	1,21	0,4	(-)	(-)	27,8	(-)	39,8	(-)	(-)
	LC3	360	69,12	35,64	239,4	1171	811	Superplastificante à base de PCE	(-)	(-)	0,45	85	(-)	41	(-)	49	(-)	(-)
	LC3	400	115,2	59,4	197	1197	797		(-)	(-)	0,4	120	(-)	49	(-)	59	(-)	(-)
25	LC350	350	105	52,5	182,875	1205,5	822,5	Superplastificante à base de PCE	3,5	(-)	0,63	120	(-)	(-)	28,6	(-)	(-)	(-)
	M25-GCCL	380	114	57	180,5	1130	750		(-)	(-)	0,45	110	(-)	18,33	(-)	31,66	34,33	35,67
	B30	480	96	48	319,2	1195	715	Superplastificante à base de policarboxilato (ADVA 181 N)	(-)	(-)	0,3	(-)	(-)	54	(-)	62	(-)	(-)
27	B45	480	144	72	250,8	1195	715		(-)	11,554	0,3	(-)	(-)	74	(-)	78	(-)	(-)
	LC3-M30	310	96,1	46,5	(-)	1018	708		1	(-)	0,5	80	(-)	(-)	35	(-)	42	
	LC3-M50	340	105,4	51	(-)	1044	704	Superplastificante a base de éter policarboxílico	0,85	(-)	0,4	120	(-)	(-)	57	(-)	62	
28	LC3	360	111,6	54	1047	687	687		0,36	(-)	0,45	120	(-)	(-)	44	(-)	48	
	S2	544,4	163,32	81,66	258,59	1453,89	913,2	superplastificante à base de éter policarboxílico (Master Glenium 51)	1,2	5,88	0,3	240	(-)	(-)	67,25	(-)	(-)	
	S3	544,4	163,21	81,6	258,419	1453,84	913,2		1,2	5,23	0,3	235	(-)	(-)	70,18	(-)	(-)	
29	S4	544,79	163,437	81,71	258,775	1454,29	913,2		1,2	4,376	0,3	240	(-)	(-)	63,24	(-)	(-)	
	C10LP10	470	47	357,2	1065	595	595	(-)	(-)	(-)	0,5							