



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

ADAPTABILIDADE E PRODUÇÃO DE ABELHAS
(Apis mellifera, Linnaeus, 1758) **EM COLMEIAS CONSTRUÍDAS**
COM MATERIAIS ALTERNATIVOS

CAMPINA GRANDE

AGOSTO - 2020

FRANCISCA LÍGIA AURÉLIO MESQUITA REIS

ADAPTABILIDADE E PRODUÇÃO DE ABELHAS
(*Apis mellifera*, Linnaeus, 1758) **EM COLMEIAS CONSTRUÍDAS**
COM MATERIAIS ALTERNATIVOS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Agrícola da Universidade Federal
de Campina Grande, em cumprimento às
exigências para obtenção do Título de Doutora em
Engenharia Agrícola

Orientador: Prof. Dr. Dermeval Araújo Furtado

Campina Grande, PB

Agosto – 2020

R375a Reis, Francisca Lígia Aurélio Mesquita.
Adaptabilidade e produção de abelhas (*Apis mellifera*, Linnaeus,
1758) em colméias construídas com materiais alternativos / Francisca
Lígia Aurélio Mesquita Reis. – Campina Grande, 2020.
72 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal
de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2020.
"Orientação: Prof. Dr. Dermeval Araújo Furtado".
Referências.

1. Apicultura. 2. Concreto. 3. Argila. 4. Isopor. 5. Construção. I.
Furtado, Dermeval Araújo. II. Título.

CDU 638.1(043)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA AGRICOLA
Rua Aprígio Veloso, 882, - Bairro Universitário, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

PARECER SEI Nº 6/2020/PPGEA-PRPG/PRPG
PROCESSO Nº 23096.027190/2020-48
INTERESSADO: DERMEVAL ARAUJO FURTADO

FRANCISCA LÍGIA AURELIO MESQUITA REIS

APROVADA: 21 DE AGOSTO de 2020

BANCA EXAMINADORA

Dr. Dermeval Araújo Furtado - Orientador - UAEA/CTRN/UFCG
Dra. Adriana Evangelista Rodrigues - Examinadora - DZOO/CCA/UFPB
Dra. Neila Lidiany Ribeiro - Examinadora - INSA
Dr. José Pinheiro Lopes Neto - Examinador - UAEA/CTRN/UFCG
Dr. José Wallace Barbosa do Nascimento - Examinador - UAEA/CTRN/UFCG

Documento assinado eletronicamente por **JOSE WALLACE BARBOSA DO NASCIMENTO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 26/08/2020, às 19:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **DERMEVAL ARAUJO FURTADO, PROFESSOR 3 GRAU**, em 27/08/2020, às 08:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **JOSE PINHEIRO LOPES NETO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 28/08/2020, às 06:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **0950485** e o código CRC **E3DCCCCF**.

Referência: Processo nº 23096.027190/2020-48

SEI nº 0950485



Aos meus familiares, esposo e filhos, por se fazerem sempre presentes em minha vida, sendo eles os principais responsáveis pela conclusão dessa tese.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, através do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, área de Construções Rurais e Ambiente, pela possibilidade de realização do doutorado.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - IFPB, Campus Picuí, por ceder os laboratórios de materiais para a execução das análises desta tese.

Ao meu orientador prof. Dr. Dermeval Furtado Araújo, exemplo de profissionalismo no qual me guiou de forma sincera e objetiva, retirando as minhas dúvidas durante o curso e ao longo da execução do presente projeto, obrigada por sua atenção, amizade e compreensão.

A banca examinadora pela participação e contribuições.

A Capes pela concessão da bolsa, fundamental para a execução do trabalho.

Ao amigo e professor Dr. Lucas Borchardt Bandeira da Universidade Federal da Paraíba, UFPB, Campus Bananeiras, por toda ajuda prestada na parte estatística do projeto.

Ao professor Dr. José Lucínio de Oliveira Freire do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, *Campus Picuí*, por toda ajuda e tempo dispensado a favor da conclusão dessa tese e a sua esposa MSc. Madele Maria Barros de Oliveira Freire, também do IFPB, pela amizade, apoio, força, orações e por toda ajuda prestada à essa tese.

Ao aluno de graduação do curso de Agroecologia Valter Silva Ferreira do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, pela ajuda na mão de obra da construção dos corpos de prova e das colmeias do experimento.

Ao meu esposo, companheiro, amigo e colega de doutorado Igor Torres Reis, pelos constantes debates sobre os assuntos de nossa área em comum, pela paciência, amizade, parceria, amor e por todas as ajudas prestadas a essa tese e à minha vida.

Ao meu amado filho Igor Aurélio Reis, que apesar de tão pequeno já coopera inocentemente com meus objetivos, tendo disciplina, alegria e principalmente saúde para permanecer durante os dias letivos longe dos pais, em prol de um ensinamento futuro, esperando que lhe sirva de exemplo, espelho e orgulho por toda sua vida.

Ao meu bebê Rodrigo Aurélio Reis, que nasceu durante o período de doutorado, mostrando que sou mais forte do que um dia imaginei ser, trouxe muita força e coragem para que eu nunca desistisse desse sonho, além de um amor inexplicável que me fez descobrir o verdadeiro sentido da vida nesse mundo, onde nada é impossível.

Ao meu eterno pai, Aurélio da Costa Neto (*In memoriam*), que sem dúvida foi quem me transmitiu confiança, sabedoria e força de vontade, e com certeza hoje seria quem estaria

mais feliz. A minha mãe Antônia Inês Mesquita da Costa, meu porto seguro, minha melhor amiga, apesar da distância geográfica, sempre que eu precisei foi tão presente fisicamente e psicologicamente quanto se estivesse perto a toda hora, me acompanhou, me ajudou, tentou me entender e me incentivou em todas as minhas decisões durante o doutorado e por toda a minha vida.

Aos meus irmãos Paulo Abner Aurélio Mesquita e Marco Diego Aurélio Mesquita, assim como minha linda sobrinha Isabel Aurélio de Carvalho que apesar da distância sei que torcem por mim, a minha afilhada Miryan Flor da Costa Lucas e a todos os meus familiares.

A meu sogro Francisco Edilberto Fernandes dos Reis que incentiva à vida profissional de todos que convive com ele, à minha sogra Vera Lúcia Falcão Torres Reis, que sempre acabava concordando com as minhas decisões, relevando os 700 km que nos separa, e si fazendo presente quando eu mais precisava. Ao meu cunhado, cunhadas, a minha mais nova sobrinha Bianca de Oliveira Reis, mesmo distantes trouxeram alegrias aos meus dias, assim como todos os amigos que em muitos momentos e de alguma forma me apoiaram e torceram pelo meu crescimento profissional.

A todos os colegas de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFCG, no qual sempre me acolheu muito bem ampliando meus conhecimentos acadêmicos nesta área, e em especial à aluna Jaciara Ribeiro Miranda, colega de diversas disciplinas ao qual me ajudou muito durante todo esse trajeto.

A todos que direto ou indiretamente estiveram comigo perto ou longe, durante essa caminhada, atravessando todas as dificuldades enfrentadas nesse tempo e nesse terrível período de pandemia, torcendo para que tudo desse certo. Muito Obrigada!

*"O período de maior ganho em conhecimento e
experiência é o período mais difícil
da vida de alguém."*

Dalai Lama

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Localização do sítio Carrascal.....	34
Figura 2. Betoneira utilizada na mistura do concreto.....	36
Figura 3. Ensaio de abatimento do tronco de cone (<i>Slump test</i>).....	36
Figura 4. Corpos de prova cilíndricos.....	37
Figura 5. Prensa hidráulica.....	39
Figura 6. Colmeia de concreto.....	42
Figura 7. Fôrma de ninho pré-moldada.....	43
Figura 8. Colmeias instaladas.....	44
Figura 9. Dataloggers (Arduínos Placa Uno R3, RTC, SD CARD, DHT 11)....	46
Figura 10. Gaiola contendo o sensor DHT11 inserida dentro da colmeia.....	47
Figura 11. Tampas quebradiças.....	52
Figura 12. Contraste entre a temperatura interna das colmeias e temperatura do ar externa.....	58
Figura 13. Médias da umidade interna das colmeias e do ambiente externo.....	59

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Resumo da análise de variância referente à resistência à compressão axial (RES) dos corpos de prova em todos os tratamentos.....	49
Tabela 2. Análise de variância relativa à resistência à compressão axial (RES), capacidade de absorção hídrica (ABS), índice de vazios (IV), massa específica (ME) e massa específica saturada (MESAT) de corpos de prova com diferentes materiais.....	49
Tabela 3. Resistência à compressão axial (MPa) dos corpos de prova com isopor e argila na composição do concreto em função do tempo de cura.....	51
Tabela 4. Capacidade de absorção de água, índice de vazio, massa específica seca, massa específica saturada do corpo de prova de concreto com substituição de isopor e argila.....	52
Tabela 5. Resumo da análise de variância de condutividade térmica de placas confeccionadas com diferentes materiais.....	54
Tabela 6. Condutividade térmica das colmeias de concreto fabricadas com diferentes composições de isopor e argila expandida.....	55
Tabela 7. Correlação entre dados climáticos externos, produção e ambiente interno da colmeia.....	60
Tabela 8. Resumo da análise de variância da influência de diferentes materiais na confecção de colmeias sobre o número de quadros com crias (NQC), tamanho da população (TPOPU) e produção de mel (PROD).....	62
Tabela 9. Número de quadros com crias de abelhas, tamanho da população e produção de mel das colmeias fabricadas com diferentes composições.....	62

Reis, Francisca Ligia Aurélio Mesquita. **ADAPTABILIDADE E PRODUÇÃO DE ABELHAS** (*Apis mellifera*, Linnaeus, 1758) **EM COLMEIAS CONSTRUÍDAS COM MATERIAIS ALTERNATIVOS**. 2020. 73f. Tese. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, PB.

RESUMO

Em razão de critérios de sustentabilidade econômica e ambiental, novas alternativas para a construção de colmeias são testadas constantemente, analisando-se informações ligadas ao custo, disponibilidade dos materiais, conforto térmico para as abelhas e durabilidade. Com isso objetivou-se analisar as propriedades físicas, mecânicas e térmicas de concretos com diferentes percentagens de isopor e argila expandida, na fabricação de colmeias modelo Langstroth, com vistas à adaptabilidade e produção das abelhas *Apis mellifera*. A pesquisa foi conduzida em duas etapas, sendo a primeira em delineamento inteiramente casualizado, com cinco tratamentos (T1 - corpos de concreto simples, T2 - corpos de concreto leve com 50% de isopor, T3 - corpos com 100% de isopor, T4 - corpos de concreto leve com 50% de argila expandida, T5 - corpos com 100% de argila expandida) e com dez repetições, onde foi analisada a resistência à compressão simples, capacidade de absorção de água, índices de vazios, massa específica da amostra seca e saturada dos corpos de prova dos diferentes materiais e sua condutividade térmica. A segunda etapa foi conduzida em um delineamento em blocos casualizados, com a fabricação de colmeias modelo Langstroth com os cinco tratamentos da etapa 1 e com seis repetições, onde foi analisada a adaptabilidade e produção das abelhas. A substituição da brita no concreto por isopor e argila expandida reduziu a resistência à compressão axial e aumentou a capacidade de absorção de água e índices de vazio dos corpos de prova. As condutividades térmicas das placas apresentaram efeito estatístico significativo ($P < 0,05$), onde as placas com concreto simples e concreto leve com 50% de argila expandida foram mais elevados e, a substituição da brita no concreto por isopor e argila expandida reduziram a condutividade térmica nas placas de concreto. Houve presença de abelha rainha nas colmeias e o tamanho da população de abelhas independem do tipo de concreto usado na sua construção. As colmeias construídas com concreto leve, apresentaram menor número de quadros com crias de abelhas e, as colmeias com concreto simples interferiram negativamente na produção de mel.

Palavras-chave: Apicultura, concreto, argila, isopor, construção.

ABSTRACT

Due to criteria of economic and environmental sustainability, new alternatives for the construction of hives are constantly tested, analyzing information related to cost, availability of materials, thermal comfort for bees and durability. Given this, the research aimed to analyze the physical, mechanical and thermal properties of concretes with different percentages of Styrofoam and expanded clay, in the manufacture of Langstroth hives, with a view to the adaptability and production of *Apis mellifera* bees. The research was conducted in two stages, the first in a completely randomized design, with five treatments (T1 - simple concrete bodies, T2 - lightweight concrete bodies with 50% styrofoam, T3 - bodies with 100% styrofoam, T4 - lightweight concrete bodies with 50% expanded clay, T5 - bodies with 100% expanded clay) and ten repetitions, in which resistance to simple compression, water absorption capacity, void indices, specific dry mass and saturated, real specific mass of specimens of different materials and their thermal conductivity. The second stage was conducted in a randomized block design, with the manufacture of Langstroth hives with five treatments from step 1 and six repetitions, where the adaptability and production of bees were analyzed. The replacement of gravel in concrete by Styrofoam and expanded clay reduced the resistance to axial compression and increased the water absorption capacity and void indices of the specimens. The thermal conductivities of the slabs showed a significant statistical effect ($P < 0.05$), where slabs with simple concrete and light concrete with 50% expanded clay were higher, and the replacement of gravel in the concrete with styrofoam and expanded clay reduced the thermal conductivity in concrete plates. Queen bee was present in the hives and the size of the bee population does not depend on the type of concrete used in its construction. The hives built with light concrete, have a lower number of frames with bees and, the hives with simple concrete interfered negatively in the production of honey.

Keywords: Beekeeping, concrete, clay, styrofoam, construction.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
	1.1. Objetivos	16
	1.1.1. Objetivo geral.....	16
	1.1.2. Objetivos específicos	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
	2.1. Concreto	17
	2.2. Argila expandida	19
	2.3. Isopor	21
	2.4. Colmeias com materiais alternativos	22
	2.5. Apicultura brasileira	25
	2.6. Clima	27
	2.7. Termorregulação	30
3	MATERIAL E MÉTODOS	34
	3.1. Local experimental	34
	3.2. Delineamento experimental	35
	3.3. Preparação dos corpos de prova	35
	3.4. Resistência à compressão simples	38
	3.5. Capacidade de absorção de água, índice de vazios, massa específica da amostra seca e massa específica da amostra saturada	40
	3.6. Ensaio de desempenho térmico	41
	3.7. Segunda etapa: construções das colmeias	42
	3.8. Inspeção das colônias	44
	3.9. Pesagem das melgueiras das colônias do experimento	45
	3.10. Coleta de dados das variáveis climáticas	46
	3.11. Análise dos dados	47
4	Resultados e discussão	49
	4.1. Resistência à compressão axial	49
	4.2. Colmeias	51
	4.3. Capacidade de absorção, índice de vazio, massa específica	52
	4.4. Condutividade térmica das placas experimentais	55
	4.5. Fatores climáticos e as interações destes com as colmeias	58
	4.6. Adaptabilidade das abelhas às colmeias	61
5	Conclusão	64

1. INTRODUÇÃO

A apicultura é uma atividade agropecuária de criação de abelhas, de extrema importância porque esses insetos participam do processo de polinização das flores, garantindo emprego e renda ao agricultor rural. O Brasil é um dos maiores produtores de mel do mundo, sendo que em 2016 foram produzidas 39,6 mil toneladas de mel, nos mais diversos estados brasileiros (IBGE, 2018). Na produção apícola, a maioria das colmeias utilizadas é do modelo Langstroth, fabricadas com madeira, material de alto custo dentro da atividade, em razão da durabilidade exigida e das condições a que ficam expostas, as madeiras ideais para a fabricação das colmeias são consideradas nobres, com alto valor comercial.

Na construção das colmeias podem-se utilizar materiais alternativos, destacando-se entre estes o concreto, encontrando-se na natureza enxames instalados em construções artificiais, em buracos de parede de alvenaria, em postes, manilhas, forros de casa e embaixo de pontes, indicando que são materiais atrativos para a nidificação (implantação) e desenvolvimento dos enxames. Para melhorar as condições térmicas do concreto simples na construção de colmeias, este pode ser associado a outros materiais utilizados na construção civil, como a argila expandida e o isopor, podendo estes materiais atuarem como proteção contra a incidência dos raios solares, são bons isolantes térmicos, apresentando baixa massa específica, acarretando também diminuição do peso da colmeia, além de possuir baixo custo.

Fatores ambientais como o vento, insolação, temperatura e umidade relativa do ar podem atuar sobre o comportamento, desenvolvimento, produção e qualidade dos produtos das colônias de abelhas, sendo estes animais adaptados a diferentes tipos de ambientes e materiais, devido à capacidade de utilizar mecanismos para prevenir o resfriamento ou aquecimento interno da colmeia, mas para isto há um gasto excessivo de tempo e energia, em detrimento do desenvolvimento da colmeia e da produção, portanto na construção das colmeias deve-se dar preferência a materiais que mantenham a temperatura da colmeia

estável, sejam duráveis, resistentes, propiciem melhores condições de conforto e bem estar para as abelhas e não interfiram na produção e qualidade dos produtos.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo geral

Analisar as propriedades físicas, mecânicas e térmicas de concretos com diferentes percentagens de argila expandida e poliestireno expandido (isopor), na fabricação de colmeias modelo Langstroth com vistas à adaptabilidade e produção de abelhas *Apis mellifera*.

1.1.2. Objetivos específicos

- Determinar e analisar as propriedades físico mecânicas dos corpos de prova com os seguintes materiais: T1 - concreto simples; T2 - concreto leve com 50% de isopor; T3 - 100% de isopor; T4 - concreto leve com 50% de argila expandida e T5 - 100% de argila expandida.
- Avaliar a condutividade térmica de placas construídas com os diferentes materiais.
- Analisar o desenvolvimento das colônias e produção de mel nas diferentes composições dos materiais compostos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Concreto

Anualmente são consumidos 11 bilhões de toneladas de concreto, gerando segundo a Federación Iberoamericana de Hormigón Premesclado, um consumo médio de 1,9 toneladas por habitante ao ano, sendo o material estrutural mais utilizado nas construções, ficando abaixo somente da água (Pedroso, 2009). Nas centrais dosadoras brasileiras o concreto para o mercado gira em torno de 30 milhões de metros cúbicos (Pedroso, 2009) e, comparado a outros materiais de engenharia, sua produção requer menor consumo de energia (Marques et al., 2017), pois o cimento ao ser hidratado pela água, em um processo exotérmico, forma uma pasta resistente e aderente aos fragmentos de agregados naturais (pedra e areia), formando um bloco monolítico.

O concreto tem características de versatilidade (facilidade na produção e manejo, por ser uma substância plástica que pode ser moldada facilmente), possui alta durabilidade, economia e é resistente à água, sendo um composto que consiste em meio contendo aglomerante, no qual estão mergulhadas partículas de agregados (Gomes et al., 2015). O aglomerante mais utilizado no Brasil é o cimento Portland e, suas partículas de agregados são divididas em dois grupos: o dos agregados graúdos (britas e pedras) e os agregados miúdos (areia) e, para completar a formação do concreto é adicionado água (Couto et al., 2013).

A NBR 7211 (ABNT, 2009) define: “agregado miúdo é quando os grãos passam por uma peneira de malha 4,75mm, já o agregado graúdo é quando os grãos ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75mm”. Também podem ser adicionados ao concreto os aditivos que modificam algumas de suas características, facilitando a aplicação e melhorando a trabalhabilidade do mesmo (Mehta e Monteiro, 2008).

O concreto, devido seu alto custo, pode ser substituído por um material equivalente, desde que seja compatível com a resistência e qualidades exigidas para o concreto leve, o que é conseguido através da diminuição das partículas dos agregados, de modo que as partículas pequenas possam encher os vazios existentes entre as partículas maiores (Rossignolo, 2009). Cada partícula de agregado deve ficar totalmente envolvida por cimento e água, e não por vazios e/ou pelo ar incorporado ao concreto. A quantidade de materiais que são adicionados ao concreto é conhecida como dosagem ou traço, podendo-se obter concretos com características especiais, ao acrescentar à mistura materiais como: aditivos, argila expandida, isopor, vermiculita, agregados sintéticos, pigmentos, fibras ou outros tipos de adições (Evangelista et al., 2010). Cada material a ser utilizado no traço deve ser analisado previamente, a fim de se verificar a qualidade e se obter os dados necessários a elaboração da dosagem ideal (Rossignolo, 2009).

A massa específica do concreto é de $2,250 \text{ g cm}^{-3}$ com exceção dos concretos leves e dos concretos especialmente pesados, aos 28 dias os concretos são dosados para apresentar resistência mínima à compressão (f_c) que varia de 150 kgf cm^{-2} a 450 kgf cm^{-2} , já os concretos simples têm sua massa específica variando entre 2,3 a $2,5 \text{ g cm}^{-3}$ os concretos leves chegam a atingir massa específica próximas a $0,5 \text{ g cm}^{-3}$ e são conhecidos pelo seu reduzido peso específico e pela elevada capacidade de isolamento acústico e térmico. A resistência do concreto é afetada diretamente pela diminuição da densidade (Bezerra, 2002).

Os concretos celulares são os mais utilizados, produzidos com concretos leves e agregados leves, sua aplicação atende as exigências específicas das obras, sendo utilizado no revestimento de lajes, construção de blocos, envelopamento de tubulações, assim como isolamentos acústicos e térmicos.

O concreto leve é obtido a partir da substituição do agregado graúdo por um agregado de menor densidade como argila expandida, isopor, vermiculita e outros que apresentem alta

porosidade e elevada absorção de água, propriedades que se assemelhem à dos agregados reciclados de resíduos de construção, porém, os agregados reciclados diferem quanto à composição, podendo apresentar menor resistência a esforços, à abrasão e possuem um formato mais irregular (Gomes, 2015). O uso de concretos leves pode acarretar numa maior produtividade em construções pré-fabricadas, pois o transporte das peças se torna mais rápido, reduzindo o custo final da construção (Rossignolo, 2009).

2.2 Argila expandida

A argila expandida tem um formato arredondado, de esferas de cerâmicas leves, possuindo uma estrutura interna formada por uma espuma cerâmica com microporos, sendo revestida por uma rígida e resistente casca (Beline et al., 2015). A argila expandida é obtida através do aquecimento de algumas variedades de argila, sob temperaturas de 1.200°C, sendo classificada granulometricamente em grande, médio, fino e restolho e, ao se aproximar dessa temperatura algumas substâncias desses materiais se unem, resultando numa massa viscosa, outras substâncias se decompõem quimicamente e liberam gases que se juntam à essa massa sintetizada, expandindo-a até em sete vezes o seu volume inicial e os gases que ficaram presos dentro da argila, por causa da fase líquida que está envolvendo suas partículas. A porosidade se mantém até o resfriamento, dessa forma a massa unitária do material resultante torna-se menor que antes do aquecimento e, estes podem ser utilizados como agregados graúdos na construção de concretos leves com um menor peso nas estruturas (Beline et al., 2015). A argila expandida é em média 60% mais leve que o agregado convencional (brita) (Moravia et al., 2006).

É economicamente viável utilizar argila expandida como agregado graúdo na fabricação de concreto, pois reduz a massa específica e minimiza os carregamentos atuantes das estruturas (Neville, 2016). O uso da argila expandida e da sílica ativa na construção de

concreto, ocasiona redução da densidade e resistência mecânica, porém ocorre uma melhoria no desempenho térmico (Angelin et al., 2017).

Em trabalhos realizados com argila expandida na construção de concretos leves, constatou-se que a partir do aumento da concentração de argila expandida, ocorreu redução da massa específica, variando entre 1,216 a 2,364 g cm⁻³ e, conseqüentemente, uma redução da condutividade térmica do concreto, variando entre 0,54 e 1,80 m⁻¹ k⁻¹ (Sacht et al., 2010).

A granulometria do agregado, o fator água e cimento exercem influência na trabalhabilidade dos concretos e, levando-se em consideração essa relação, quanto menor for a granulometria do agregado, maior será a quantidade de água necessária para cobrir totalmente os grãos do material, formando uma película de água responsável por uma boa trabalhabilidade (Mehta e Monteiro, 2008).

A argila expandida por apresentar uma estrutura porosa nos seus grãos, torna-se responsável pela alta absorção, o que pode reduzir a sua trabalhabilidade. Parte da água utilizada na hidratação do cimento é absorvida por este agregado, reduzindo a resistência mecânica do concreto. Para solucionar tal problema é recomendável a saturação do agregado, uma pré-umidificação e a correção do teor de água utilizado na dosagem do traço do concreto. (Moravia et al., 2006). A argila expandida é formada pelos elementos químicos: alumínio, ferro e silício. Durante sua formação adquire fases amorfas, e quando utilizada na constituição do concreto leve pode ocorrer uma queda na resistência à compressão axial em comparação à concretos sem argila (Angelin, et al., 2017).

2.3 Isopor

A NBR 16866 (ABNT, 2000) define: o poliestireno expandido (EPS) ou isopor, é um plástico celular rígido, oriundo da polimerização do estireno em água e, como agente expensor para a transformação em isopor, emprega-se o pentano, um hidrocarboneto que se deteriora rapidamente pela reação fotoquímica gerada pelos raios solares, sem comprometer o ambiente.

O isopor no início de sua produção teve uma baixa utilização na construção civil, porém, com o surgimento do concreto leve em 1968, que tinha em sua composição o isopor, esse ganhou avanço, propiciando construções com peso reduzido, sem perder resistência e com um menor custo, aumentando a utilização nas construções de forros de lajes, através da substituição do “tijolo lajota” pelo isopor, o que proporciona melhor isolamento térmico e acústico das estruturas, além da redução do peso total (Catoia, 2012).

O isopor obteve uma posição estável na construção de edifícios por possuir características de isolamento, leveza, resistência, facilidade de trabalhar e baixo custo. É utilizado nas camadas internas de paredes, em detalhes decorativos de fachadas, na fabricação de concretos leve e na construção de estradas (Oliveira, 2013).

Compósitos cimentícios apresentando resistência à compressão de 10 a 25Mpa e massa específica entre 0,8 a 1,8 g cm⁻³, foram obtidos segundo Chen e Liu (2004), a partir de adições de isopor na faixa de 25 a 55% em volume. Tang et al. (2008) em pesquisa de campo, adicionaram isopor nas quantidades de 20 e 60% de volume e, em função da concentração do isopor da mistura, relataram diminuição na densidade e resistência mecânica deste material. As retrações em longo prazo dos compósitos, também são dependentes da fração volumétrica do isopor e do seu tempo de cura (Le Roy et al., 2005). O tamanho das partículas de poliestireno expandido (isopor) adicionadas (diâmetro variando entre 1,3 e 6,0 mm) são variadas (Le Roy et al., 2005) e, ao diminuir-se seu diâmetro, aumentava-se a resistência compressiva do compósito (Laukaitis et al., 2005).

Simulações de um compósito cimentício com adição de isopor podem ser realizadas através de testes de compressão, comprovando que o efeito no tamanho da partícula de isopor na resistência à compressão é causado aleatoriamente na distribuição das partículas na matriz. Miled et al. (2007) em pesquisa com compósitos cimentícios e adição de esferas de isopor de diâmetro variado (1; 2,5 e 6,5mm), observaram que o tamanho das partículas é mais representativo em compósitos com baixa porosidade, tornando-se insignificante em compósitos de alta porosidade, exibindo macroporosidades entre 10 - 50%.

A taxa de secagem nos compósitos não difusivos (esferas de vidro e grãos de areia) diminuem com o aumento da fração volumétrica dos agregados, enquanto que nos compósitos com isopor, a taxa de secagem sobe em função do aumento de sua fração volumétrica (Bisschop e Van Mier, 2008). Compósitos cimentícios com adição de isopor apresentam menor absorção de água do que o concreto normal (Strecker et al., 2014).

Em pesquisas realizadas com isopor, avaliando o isolamento térmico em blocos de concretos, Gonçalves & Vasconcelos, 2019, obtiveram nos horários de maior temperatura do dia, um bom isolamento com esse material, pois a temperatura interna da estrutura permaneceu abaixo da externa, comprovando que os blocos de isopor (poliestireno expandido reciclado) promovem um bom isolamento térmico.

2.4 Colmeias com materiais alternativos

Lorenzo Lorraine Langstroth analisando o comportamento das abelhas em 1852, observou que elas depositavam própolis nos espaços inferiores a 4,7mm e construíam favos de mel e cria em espaços superiores a 9,5mm, medidas estas que foram denominados de "espaço abelha" e, com estas informações criou a colmeia Langstroth, cujas características

são as considerações do “espaço abelha” (espaço interno entre os favos) e a facilidade em manipular as peças internas (quadros de cria e quadros de melgueiras). O maior avanço da apicultura deu-se após o reconhecimento das colmeias Langstroth em função da facilidade de manejo e da consideração das necessidades biológicas das abelhas, sendo o modelo indicado pela Confederação Brasileira de Apicultura (Couto, 2006).

Na apicultura industrial o material mais utilizado na construção das colmeias é a madeira, apresentando bom isolamento térmico, manutenção da temperatura interna da colmeia e resistência às variações ambientais, propiciando abrigo adequado para as abelhas e, estas condições físicas auxiliam as abelhas a manterem a homeostase térmica da colônia. Existem outros materiais que podem ser empregados na construção das colmeias, por exemplo: o concreto, que é um material de baixo custo e fácil aquisição em comparação a madeira e pode ser fabricado tanto isoladamente quanto agregado a compósitos, como: fibra de vidro, isopor, argila expandida, vermiculita expandida, E.V.A. (Etileno Acetato de Vinila) e outros.

A aceitação das abelhas aos ninhos produzidos com concreto ocorre de forma natural, mas o peso dos ninhos dificulta o manejo e transporte das colmeias, em contrapartida, ocorre aumento no tempo de duração do uso dessas caixas de ninhos (Celestino et al., 2014). A caixa de ninho de cimento por ser uma parte que se manipula menos que a melgueira, reduz os custos e aumenta a durabilidade, sendo para os apicultores um fator relevante no custo-benefício das colmeias. Lorenzon et al. (2004) constataram que colmeias construídas com argamassa de cimento e vermiculita expandida, com traço de 1:4, apresentaram fragilidade em sua estrutura, ocorrendo fissuras em determinadas partes da colmeia, como: tampa e borda superior do ninho, na qual o apicultor precisa manejar constantemente e exercer uma força maior para realizar a abertura da tampa da colmeia e iniciar a revisão das colônias de abelhas.

De acordo com Lorenzo, 2004 mesmo com uma condutividade térmica superior à da madeira, a vermiculita na argamassa transfere sua propriedade isolante para a caixa, permitindo a estabilidade da temperatura interna, uma vez que esse material responde lentamente às oscilações de temperatura e umidade do ambiente, mostrando que a colmeia alternativa de vermiculita proporciona um ambiente favorável ao desenvolvimento do enxame, pois apresenta um ambiente de baixa oscilação térmica. A resistência a altas temperaturas é essencial para a manutenção de colônias de abelhas em abrigos, energia segura para a homeostase, vital para sua sobrevivência.

As colmeias Lansgtroth construídas com concreto leve de resíduo de E.V.A., podem substituir as colmeias de madeira, proporcionando um ambiente favorável para as abelhas, com temperatura de aproximadamente 35°C (Cavalcanti Filho et al., 2010). O efeito de colmeias construídas com argamassa de cimento-vermiculita foi avaliado em comparação às colmeias de madeira, quanto às condições ambientais internas e o desempenho produtivo de abelhas africanizadas, encontrando-se que a capacidade delas termorregularem o ambiente. Os resultados com temperatura interna média de 34,5 graus mostraram a capacidade das abelhas em termorregularem, seja em dias frios, quentes ou amenos, apresentando ainda boa postura e produção, tanto em colmeias de concreto como madeira, indicando o uso das colmeias de concreto (Lorenzon et al., 2004).

Nos trabalhos desenvolvidos por Celestino, 2014, foi observado que a temperatura e a umidade interna em colmeias de concreto não influenciaram na agressividade das abelhas, porém estas variáveis tiveram maior correlação com a agressividade das abelhas do que nas colmeias de madeira, mas não sendo suficientes para mostrar que um material de fabricação de colmeias é melhor ou pior que o outro. As análises caracterizam as abelhas como normalmente defensivas, mostrando que a defensividade pode ser influência do grau de

africanização e do local de instalação do apiário e que fatores genéticos têm grande influência na determinação da defensividade das abelhas.

2.5 Apicultura brasileira

Na década de 1950 foi introduzida no Brasil uma espécie de abelha africana (*Apis mellifera scutellata*) e, por falha no manejo, estas acabaram se multiplicando, disseminando-se rapidamente na natureza, no qual cruzaram com espécies europeias e alteraram as suas características, resultando nas atuais abelhas africanizadas. Apesar dos problemas iniciais, Buainain e Batalha (2007) relatam que essas abelhas elevaram a produtividade de mel, mas seu manejo é muito complicado, devido sua agressividade.

Estudos realizados de 1995 a 2015 constataram uma maior produção de mel no ano de 2011 com 41.575 toneladas, nos anos que se sucederam 2012 a 2015 houve uma queda brusca na produção de mel, devido ao grande período de estiagem ocorrido na região nordeste do país, o que representou uma queda de 9% entre o ano de 2011 e 2015 (ABEMEL, 2017).

A apicultura brasileira é uma atividade agropecuária sustentável, que respeita o ambiente, propiciando fixação do homem ao meio rural, diminuindo o êxodo rural através da geração de emprego e renda, sendo desenvolvida praticamente em todos os estados brasileiros, produzindo tanto mel como os demais produtos apícolas, sejam eles: geleia real, pólen, própolis, atividades de polinização e outros (Santos e Ribeiro, 2009).

Um apicultor com produção média, explora em torno de 150 a 1.500 colmeias e geralmente trabalha também em outras atividades, o acúmulo de tarefas ocasiona a necessidade de contratação de mais apicultores para aumentar a mão de obra temporária e permanente, já o grande produtor explora entre 1.500 e 2.500 colmeias. (Buainain e Batalha, 2007).

Desde o ano 2000 houve um considerável aumento na produção de mel em todo o Brasil. A região Nordeste teve uma produção de 3.748.108 quilos em 2000 para 16.911.251 quilos em 2011, um aumento de 351,19% na produção. O Sul, recebeu o título de região mais produtora de mel, conseguindo manter essa posição de 1974 até 2010, quando foi ultrapassada pelo Nordeste em 2011 (Balbino et al., 2015).

Segundo dados apresentados pelo IBGE (2009), sobre a evolução da produção de mel nos estados do Nordeste, a Paraíba ocupou o sétimo lugar, analisando estes resultados percebe-se uma evolução da apicultura no estado, pois a mesma em 1999 teve uma produção de 17,1 toneladas e em 2009 apresentou uma produção de 272 toneladas, tendo nestes 10 anos uma taxa de crescimento de 1.491% em sua produção de mel, o que comprova que a apicultura no estado é uma atividade em constante crescimento e com grande potencial.

Apesar da adaptação das abelhas (*Apis mellifera*) às condições climáticas do semiárido brasileiro, a apicultura assim como as demais atividades agropecuárias, sofrem com a escassez das chuvas. A seca ocorrida em 2012, seguida por mais quatro anos de chuvas irregulares e abaixo da média, provocou elevada redução na produção de mel da região. A prolongada estiagem ocasionou também elevada perda de enxames, abandono das colmeias e morte das abelhas, não somente pela falta de alimentação, mas também por causa das altas temperaturas sem o devido sombreamento. Além das perdas na produção de mel, a falta de chuva atingiu também as demais atividades agropecuárias desenvolvidas pelos apicultores (Vidal, 2017).

Entre 2006 e 2011, o Nordeste contribuiu com mais de 33,0% da produção nacional de mel, chegando a ser o responsável por 40,5% em 2011. Porém, a exemplo da maioria das atividades agropecuárias, a apicultura é susceptível a fatores climáticos adversos, com isso a participação da região nordeste caiu 22,7% por causa da falta de florada, em períodos secos, diminuindo assim sua produção nacional (Vidal, 2017).

De acordo com os dados do IBGE (2017), em 2013 o consumo de mel no Brasil foi de 0,09kg/pessoa/ano enquanto os países como Nova Zelândia, por exemplo, foi de 2,02kg/pessoa/ano e nos Estados Unidos que é o principal destino do mel brasileiro, foi de 0,67kg/pessoa/ano, logo o consumo de mel no Brasil situou-se nessa época, entre os menores do mundo. Portanto, existe um vasto mercado interno ainda em crescimento, pois grande parte da população brasileira consome mel apenas como medicamento, sendo este um dos principais motivos que explicam o baixo consumo do produto no país.

Em 2014, o Brasil ocupou a nona posição na produção mundial de mel, porém responde apenas por 3% das exportações globais do produto, ficando o Brasil reconhecidamente como um dos países exportadores de mel de alta qualidade e de mel orgânico, este por sua vez possui um alto valor agregado (Vidal, 2017).

2.6. Clima

Com o intuito de compreender e encontrar soluções para conter o aquecimento global que poderá ameaçar a vida de vários organismos presentes em ambientes naturais ou mantidos pelo homem, as abelhas foram consideradas boas indicadoras para o processo de aquecimento global, visto que são animais sensíveis às mudanças climáticas. (Gonçalves et al., 2010).

A abelha vem sofrendo forte pressão de diversos fatores como os desmatamentos, que destroem suas fontes de alimento (néctar e pólen), como os locais de abrigo; o uso indiscriminado de inseticidas e pesticidas em decorrência do aumento de doenças e pragas nas lavouras, e o aquecimento global que agravam ainda mais o desenvolvimento destes insetos. Existem constantes preocupações com o desaparecimento de grande número desses

insetos em diversos países, em virtude da sua importante função como polinizador das culturas agrícolas e dos ambientes naturais (Gonçalves et al., 2010).

Apesar das abelhas possuírem a capacidade de adaptação a ambientes diversos, as mudanças nas condições climáticas podem gerar mortalidade às colônias na fase adulta e, as abelhas suportam as variações térmicas, porém as crias são bastante sensíveis às pequenas mudanças na temperatura do ninho. Para que as abelhas se desenvolvam normalmente, a temperatura da área do ninho deve estar entre 33 e 36°C e, acima desta faixa, podem sofrer alterações na sua metamorfose, prejudicando o seu desenvolvimento, ou até mesmo causando a morte. Em temperaturas acima de 40°C, favos contendo mel podem amolecer e até quebrar, prejudicando a produção final (Shaw et al., 2011).

Temperaturas elevadas no interior da colônia podem colocar em risco o desenvolvimento populacional e o armazenamento dos alimentos e, diante disso, as abelhas executam atividades como medidas para evitar o superaquecimento. As operárias promovem a evaporação de gotículas de água, espalhadas nos favos ou expostas nas suas próprias línguas (Freitas et al., 2007), por isso, é importante as fontes de água serem próximas da colônia.

Com o intuito de diminuir a temperatura interna da colmeia, algumas abelhas saem da colônia, formando um aglomerado do lado de fora, para reduzir a produção de calor em seu interior e facilitar a ventilação e, essas atividades geram um gasto energético extra para a colônia, que demanda tempo e recursos para o controle da temperatura, fazendo com que as abelhas deixem de realizar outras atividades como coleta e armazenamento de néctar e pólen (Lopes et al., 2011).

Em situações de estresse térmico, essa série de medidas de termorregulação das abelhas garante a sobrevivência, porém, em alguns casos, existem dificuldades para executar estes mecanismos, por exemplo, quando a água se encontra escassa, a colmeia encontra-se fraca, com poucas abelhas, isso irá dificultar o controle da temperatura. Nesses casos pode

acontecer a enxameação (abandono de enxame), mudança de toda a colônia de um local para outro, na qual deixam aquele local inapropriado, devido às condições desfavoráveis e, o enxame sai à procura de um novo lugar, para o reestabelecimento de seu ninho (Lopes et al., 2011). Esta situação é indesejável para os apicultores por apresentar prejuízo na produção, pois terão que adquirir novos enxames através da captura ou compra, repondo os que foram embora. Os apiários que enfrentam esta situação têm sua capacidade produtiva comprometida, visto que as abelhas estão ocupadas com a manutenção da temperatura e não com a coleta de néctar e pólen.

Fatores climáticos como a umidade relativa do ar, radiação solar, precipitação e velocidade do vento são fundamentais para o desenvolvimento das colônias de abelhas. Considera-se importante o monitoramento dessas variáveis e a avaliação de sua influência sobre abelhas, para que se possam estudar os impactos que essas mudanças podem provocar nesses insetos, e com isso promover possíveis ações que possam minimizar esses efeitos (Côrrea Fernandes et al., 2003).

O excesso de umidade dentro e fora da colmeia pode causar a proliferação de fungos nos favos e o desgaste das caixas do apiário. A insolação e sombreamento devem ser adequados e suficientes para que em determinadas horas do dia o apiário receba certa quantidade de luz solar e em outras horas tenha sombra, devendo-se procurar locais com sombreamento suficiente para inibir as altas temperaturas, evitando-se o prejuízo à qualidade do mel e o desenvolvimento das crias (Corrêa Fernandes et al., 2003).

2.7. Termorregulação

É um termo utilizado no controle de temperatura de um conjunto de sistemas ou organismos vivos. O sucesso ecológico de insetos sociais depende, entre outros fatores, da capacidade de regular a temperatura dentro da colmeia e, através de ações comportamentais as abelhas podem manter a normalidade as condições internas da colmeia (Domingos, 2014). As abelhas regulam a temperatura do ninho dentro de limites específicos, normalmente em intervalos pequenos e, mesmo em condições adversas, elas mantem a temperatura da colônia dentro do intervalo de 33 a 36°C, média de 34,5°C (Jones & Oldroyd, 2007).

Se as temperaturas do ninho não são mantidas dentro dos limites específicos da espécie, pode haver consequências indesejáveis que afetam o comportamento das abelhas e sua produção e, a falta de controle da termorregulação de uma colônia pode levar ao comportamento enxameatório das abelhas, através do abandono (Tautz et al., 2003; Jones et al., 2007).

O controle da temperatura dentro da colônia é importante para o sucesso do desenvolvimento das crias e, conseqüentemente, a sobrevivência de toda a colônia. Além de afetar as características morfológicas e a sobrevivência das crias, as temperaturas quando inadequadas para a espécie, podem afetar outros fatores fisiológicos dos indivíduos e gerar consequências indesejáveis na vida adulta (Tautz et al., 2003; Jones et al., 2007).

Na parte interna da área do ninho existem abelhas que coordenam as atividades de termorregulação para que a temperatura do ninho se mantenha sempre estável e, a quantidade de abelhas envolvidas no aquecimento ou arrefecimento pode aumentar ou diminuir de acordo com a temperatura do ninho. Tautz et al. (2003) citam que em *Apis mellifera* as maiores quantidades de alimento depositados em células na área de cria originaram indivíduos mais resistentes ao ambiente, mesmo em condições desfavoráveis, porém, se as abelhas sofrerem durante seu desenvolvimento alguma alteração através da temperatura,

estas podem acarretar malefícios para a colônia, originando indivíduos com deformação no corpo, alta mortalidade na colônia e indivíduos que não conseguirão desempenhar eficientemente as funções realizadas no ninho (Tautz et al., 2003).

Os insetos sociais evoluíram e conseguiram regular a temperatura do ninho através de uma série de mecanismos que variam a partir da seleção do local no ninho. Para otimizar a temperatura interna, pode ocorrer um simples comportamento, como a translocação das crias para outras regiões do ninho, onde as temperaturas estejam mais favoráveis. Existem mecanismos desenvolvidos pelas abelhas a fim de modificar a temperatura do ninho, através de atividades físicas de suas asas, promovendo a ventilação que amenizará o calor (Heinrich & Esch, 1994) e, através do transporte de gotas de água para dentro da colmeia, reduzindo a temperatura do ambiente interno da colônia. Os controles dos graus da temperatura na colônia são bastante variados, sendo as abelhas melíferas consideradas excelentes termorreguladoras.

A seleção do local, nidificação, orientação e a arquitetura do ninho são mecanismos utilizados pelos insetos sociais para regular o microclima da sua área de ninho e, estes mecanismos fornecem um “amortecedor” entre a temperatura ambiente e a temperatura interna, podendo afetar o trabalho das operárias significativamente na regulação da temperatura da área de ninho. Se os processos comportamentais e fisiológicos das abelhas em resposta ao estresse térmico não forem eficientes, a abelha deixará de desenvolver suas atividades dentro da colmeia e desviará as atenções e trabalhos para o controle da homeotermia, o que pode resultar em uma queda nos desempenhos produtivos e reprodutivos das colônias.

A seleção do local do ninho desempenha papel importante na capacidade das colônias em manterem as temperaturas dessas áreas estáveis e, entre os critérios na escolha do local da área de cria e o ninho destacam-se a proteção física contra perturbações ambientais e por microclimas que mantenham uma temperatura relativamente estável, ou seja, quando a

abelha escolhe o local para construir seus ninhos ela irá priorizar ambientes mais favoráveis. Logo, sistemas de criação racional de abelhas, incluem em seu manejo, estratégias que favoreçam o controle interno da temperatura, como a direção e o sombreamento das instalações. Almeida (2008) constatou em zonas semiáridas do nordeste brasileiro (Caatinga), que as abelhas africanizadas expostas sob o sol abandonaram as colmeias ao atingir a temperatura interna de 41°C e, para evitar enxameações, recomendam aos apicultores que mantenham suas colônias em lugares protegidos, à sombra e com água potável disponível.

Ao atingir a temperatura de 41°C no interior das colmeias, mesmo que estejam na presença das crias e da rainha, as abelhas têm o comportamento de abandonar a colônia e, além desses mecanismos primários, Domingos (2014) afirma que as abelhas são capazes de promover o aquecimento em baixas temperaturas, ou arrefecimento em altas temperaturas. Todos os mecanismos envolvidos no controle da temperatura são coordenados pela colônia, a fim de manter a temperatura do ninho o mais próximo do ideal.

Em baixas temperaturas, as abelhas tendem a se agrupar e desenvolvem mecanismos capazes de manter a temperatura do ninho estável, formando agrupamento em torno da área do ninho, gerando calor metabólico (Jones & Oldroyd, 2007), através de sua rápida contração e liberação de seus músculos torácicos de voos (Kronenberg & Heller, 1982).

Quanto menor a temperatura maior esse agrupamento e, as abelhas agrupadas assumem posição de forma a unir os seus pêlos torácicos, aumentando o isolamento térmico de cada camada e, esse agrupamento é formado por abelhas voltadas para a parte central do grupo, ocorrendo um revezamento entre as abelhas que se localizam na área mais externa e as que ficam mais ao centro (Jones & Oldroyd, 2007).

As presenças de alvéolos vazios também formam câmaras contendo ar parado, sendo considerado um bom isolante e, se ainda assim a temperatura continuar baixando, as abelhas

passam a produzir calor através das vibrações dos músculos do tórax, necessitando consumir uma maior quantidade de mel para suprir as necessidades calóricas do corpo através do bombeamento do sangue do tórax para o abdômen e cabeça, distribuindo o calor acumulado da ingestão para o ambiente (Carvalho, 2009). Kleinhenz et al. (2003) citam que as abelhas também vibravam os músculos no interior da colmeia, promovendo o aquecimento da área interna da colônia, nos ninhos, nas larvas e pupas em desenvolvimento.

As abelhas movimentam suas asas para promover o arrefecimento do ninho em condições de altas temperaturas, permitindo uma renovação de ar no local, podendo ser renovado frequentemente, essa corrente de ar além de esfriar a colmeia, auxilia na evaporação da umidade do néctar transformando-o em mel. Essa circulação de ar ocorre devido algumas frestas ou entradas na colmeia, onde o ar é aspirado por uma entrada e expelido pela outra.

O resfriamento por evaporação é outra estratégia utilizada pelas abelhas, na qual operárias ao coletarem água, distribuem em gotículas por toda a área das crias, de forma a amenizar a temperatura, reduzindo o calor através de sua evaporação, isso ocorre porque são necessários aproximadamente 2.400kj de energia térmica para transformar 1,0g de água do estado líquido para vapor (Domingos, 2014). Além disso, as abelhas podem formar o que é conhecido no popular como “barbas” ou acúmulo de abelhas na parte de fora do alvado (entrada), posicionando-se na frente da entrada, evitando liberar o calor metabólico dentro da colônia, mantendo a temperatura mais próxima do adequado.

3. MATERIAS E MÉTODOS

3.1. Local do experimento

O experimento foi realizado em duas etapas: a primeira etapa, correspondente ao ensaio dos materiais, foi realizada no Laboratório de Estudos de Materiais do Departamento de Edificações do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia - IFPB, *Campus* Picuí, Paraíba, Brasil e, a segunda etapa, referente à construção e análise das colmeias no campo experimental, foi conduzida no apiário do sítio Carrascal, município de Picuí, PB, localizado nas coordenadas 6°29'21,2''S 36°19'46.9''W, no período de outubro à dezembro de 2019.



Figura 1. Localização do sítio Carrascal.

Na primeira etapa, para a construção dos corpos de prova, foram utilizados areia, brita com granulometria de 9,5mm, cimento Portland CII Z-32, água, argila expandida e isopor.

A areia utilizada no preparo do concreto foi peneirada, utilizando-se a peneira número 4 (abertura 4,8 mm), a argila expandida e o isopor tiveram granulometria de 9,5mm, e a água utilizada foi extraída de poço artesiano do IFPB, *Campus Picuí*.

3.2. Delineamento experimental

O experimento, na primeira etapa, referente aos corpos de provas, foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com cinco tratamentos T1: concreto simples, traço 1:3:2, cimento, areia e brita; T2: concreto leve com 50% de isopor, traço 1:3:(1:1) de cimento, areia e (50% de brita e 50% de isopor); T3: concreto leve com 100% de isopor, traço de 1:3:2 de cimento, areia e isopor; T4: concreto leve com 50% de argila expandida, traço 1:3:(1:1) de cimento, areia e (50% de brita e 50% de argila expandida); T5: concreto leve com 100% de argila expandida, com traço 1:3:2, de cimento, areia e argila expandida, e dez repetições para cada análise.

Na segunda etapa, o experimento foi realizado em delineamento em blocos casualizados, com colmeias de concretos construídos com os mesmos tratamentos da primeira etapa e seis repetições de cada tratamento.

3.3. Preparação dos corpos de prova

Para análise dos materiais, foram construídos 150 corpos de prova, sendo 30 exemplares de cada tratamento. As dosagens dos concretos em todos os tratamentos foram feitas em betoneira, de forma a garantir uma melhor homogeneização da massa de concreto (Figura 2).



Figura 2. Betoneira utilizada na mistura do concreto.

Foi adicionada água, usando a relação água/aglomerante 0,55 até a obtenção de uma trabalhabilidade semelhante ao concreto simples, para determinação do teor ideal de água. Foi obtida a amostra dos tratamentos e determinado o seu abatimento através do ensaio de Abatimento do Tronco de Cone (*Slump. Test*) segundo a norma NBR-NM 67 (1998) (Figura 03).



Figura 3. Ensaio de Abatimento do Tronco de Cone (*Slump. Test*).

As análises dos materiais foram realizadas em corpos de prova cilíndricos, com dimensões de 10cm de diâmetro e 20cm de altura, segundo a ABNT-NBR 5738 (2015) (Figura 4). Dos 30 corpos de prova utilizados, 20 foram utilizados para testes de resistência à compressão simples e 10 para testes de absorção de água, índices de vazios, massa específica da amostra seca e massa específica da amostra saturada.



Figura 4. Corpos de prova cilíndricos

Antes do preenchimento das fôrmas do corpo de prova, foi aplicada uma fina camada de desmoldante nas faces internas das fôrmas, para diminuir aderência dos materiais à parede do corpo de prova, facilitando sua retirada. Foi verificado seu fechamento e vedação para evitar o extravasamento do material.

O procedimento de adensamento foi manual. Para isso, usou-se uma haste de adensamento de aço cilíndrico com superfície lisa de $16,0 \pm 0,2$ mm de diâmetro e 600mm a 800mm de comprimento, tendo um dos seus pontos extremos em forma semiesférica, com diâmetro igual ao da haste. Foram colocadas dentro das fôrmas do corpo de prova: três camadas da amostra com o mesmo volume, sendo nivelado antes de iniciar o adensamento de cada camada, em seguida foram aplicados 25 golpes em cada camada da amostra, os golpes foram distribuídos uniformemente em toda seção. A primeira camada foi atravessada

pela haste em toda a sua altura; nas demais camadas (segunda e terceira) a haste atingiu 20mm da camada inferior.

A terceira e última camada foi moldada com excesso de concreto, evitando o posterior preenchimento do cilindro, estando de acordo com a norma ABNT-NBR 5738 (2015). Após o adensamento de cada camada, foram aplicados golpes na face externa lateral da fôrma dos corpos de prova, para fechar os espaços vazios, em seguida far-se-á o rasamento da superfície, utilizando uma colher de pedreiro, eliminando o material em excesso.

As fôrmas dos corpos de prova foram colocadas sobre uma superfície plana, protegida de vibrações e de intempéries por 24h, em seguida os corpos de prova foram desmoldados, identificados e armazenados em tanque de cura, de acordo com a NBR 9479 (2006). Para o nivelamento da face superior e inferior dos corpos de prova, foi preparado uma pasta de água e cimento. Os corpos de prova após a moldagem foram ensaiados no 7º dia e no 28º dia.

3.3. Resistência à compressão simples

Os ensaios de resistência à compressão simples foram realizados em uma prensa hidráulica, manual, com especificações de 1TON = 50,92kgf/cm², Classe A ABNT, marca FAMABRAS®, obedecendo-se ao procedimento descrito pela NBR 5739 (2018) (Figura 5). Os corpos de prova tiveram a relação altura/diâmetro com máxima de 2,02 e foram mantidos em cura úmida até o momento do ensaio, podendo ser retirado para a preparação das suas bases (nivelamento). Foi determinada a média de duas medidas ortogonais do diâmetro do corpo de prova, na metade da sua altura, com precisão de 0,1mm. Foi determinada também a altura do corpo de prova no eixo longitudinal, incluindo o capeamento.



Figura 5. Prensa hidráulica

O corpo de prova foi apoiado no prato inferior da prensa, centrado e com o topo de moldagem para cima, onde foi aplicado o carregamento contínuo e sem choques, na velocidade entre 0,30 + 0,60MPa/segundo, até a sua ruptura, sendo calculado a resistência à compressão (f_c) com três algarismos significativos, através da fórmula:

$$f_c = \frac{4 \times F}{\pi \times D^2} \text{MPa}$$

Onde:

f_c = resistência à compressão, em Mega Pascals (MPa);

F = força máxima, em N;

D = diâmetro do corpo-de-prova, em milímetros.

3.4. Capacidade de absorção de água, índice de vazios, massa específica da amostra seca e massa específica da amostra saturada.

Os ensaios dos corpos de prova foram realizados utilizando-se a NBR 9778 (2005). As amostras foram secas em estufa na temperatura de $105 \pm 5^\circ\text{C}$, por um período de 72h. Após a retirada das amostras da estufa, estas foram colocadas em dessecadores para que ocorra o resfriamento das amostras ao ar seco, à temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$. Após a secagem e resfriamento, foi determinada a massa da amostra seca (M_s), em gramas.

A amostra permaneceu imersa em água à temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$, durante 72 horas. Depois de saturada, a amostra foi colocada em um recipiente cheio de água e progressivamente foi levada à ebulição e mantida por 5 horas, repondo a água que evaporava; após este procedimento a amostra foi esfriada naturalmente até $23 \pm 2^\circ\text{C}$, onde se determinou a massa da amostra imersa em água, na balança hidrostática (M_i) em gramas. A amostra foi seca utilizando-se um pano úmido e determinada a massa da amostra saturada (M_{sat}) em gramas.

Foi calculada a absorção de água (A) através da equação, com duas casas decimais:

$$A = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \times 100\%$$

Onde:

- M_{sat} = massa da amostra saturada em água após imersão e fervura
- M_s = massa da amostra seca em estufa

Foi calculado o índice de vazios (I_v), através da equação abaixo, com duas casas decimais.

$$I_v = \frac{M_{sat} - M_s}{M_{sat} - M_i} \times 100\%$$

Onde:

- M_i = massa da amostra saturada imersa em água após fervura.

Foi calculada a massa específica da amostra seca (P_s), através da equação abaixo, com duas casas decimais:

$$P_s = \frac{M_s}{M_{sat} - M_i} (g / cm^3)$$

Foi calculada a massa específica da amostra saturada após fervura (P_{sat}), através da equação abaixo, com duas casas decimais:

$$P_s = \frac{M_{sat}}{M_{sat} - M_i} (g / cm^3)$$

3.5. Ensaio de desempenho térmico

Para a análise do desempenho térmico, foram construídas cinco placas de cada tratamento proposto, medindo 52 x 24 x 2cm, de comprimento, largura e espessura, respectivamente. As placas foram aquecidas a uma temperatura de 60°C com o auxílio de uma resistência elétrica, durante 30 minutos, com a resistência a uma distância de 21cm. Foi fixado no centro de cada face da placa, um termopar tipo T cobre constantan fixado a um Datalogger CR 1000, no qual se obteve as medições das temperaturas nas duas faces da placa.

Para o cálculo das propriedades térmicas, foi utilizado à temperatura nas duas faces das placas de concreto simples, concreto leve com argila expandida, e concreto leve com

isopor. O valor da condutividade térmica de cada material foi definido, aplicando-se a própria definição da Lei de Fourier.

3.6. Segunda etapa: construções das colmeias

Foram construídas 30 colmeias modelo Langstroth, com os tratamentos: T1 - 6 colmeias de concreto simples (controle) com traço (1:3:2) de cimento, areia e brita; T2 - 6 colmeias de concreto leve com 50% de isopor com traço 1:3:(1:1) de cimento, areia e (50% de brita e 50% de isopor); T3 - 6 colmeias de 100% de isopor com traço de 1:3:2 de cimento, areia e isopor; T4 - 6 colmeias de 50% de argila expandida com traço 1:3:(1:1) de cimento, areia e (50% de brita e 50% de argila expandida); T5 - 6 colmeias de 100% de argila expandida no traço 1:3:2, com cimento, areia e argila expandida.

Na construção das colmeias, apenas as partes correspondentes aos ninhos, tampas e fundo, foram dos materiais referentes aos tratamentos, sendo as melgueiras, os quadros dos ninhos e das melgueiras construídos com madeira Pinus para facilitar o manejo (Figura 6).



Figura 6. Colmeia de concreto

Para construção dos ninhos foi utilizado uma fôrma metálica de chapa nº: 18, construída especificamente para moldar o material cimentante no formato de um ninho da colmeia modelo Langstroth (Figura 07). Para a construção das tampas e dos fundos das colmeias foram utilizadas duas fôrmas de aço com as dimensões internas de 52cm x 43cm x 2cm para as tampas, e as dimensões internas de 64 x 43 x 2cm para os fundos.



Figura 7. Fôrma de ninho pré-moldada.

O preparo do concreto foi em betoneira e após a homogeneização do concreto o mesmo foi depositado nas fôrmas do ninho pré-moldado, tampa e fundo, que tiveram nas faces internas uma fina camada de desmoldante, as fôrmas ficaram sobre uma mesa vibratória para completar a compactação do concreto. Após 24 horas, os ninhos, tampas e fundos foram retirados das fôrmas e colocados em local sombreado durante 28 dias, para completar a cura do concreto.

3.7. Inspeção das colônias

As colmeias foram identificadas com marcações numéricas escritas na parte lateral do ninho e foram colonizadas com enxames de abelhas africanizadas *Apis mellifera*, pertencentes ao apiário Carrascal, onde tiveram populações uniformes e mesma quantidade dos quadros de crias. As melgueiras foram adicionadas à medida que foi necessário, em condições alimentares as mais idênticas possíveis, e durante todo o experimento as colônias não foram alimentadas artificialmente. Próximo ao apiário experimental foi disponibilizado água potável para o consumo “ad libitum” das abelhas.

As colmeias foram instaladas em local arborizado que proporcionaram um sombreamento parcial, com um distanciamento de 2 metros entre as colmeias e 4 metros entre as 3 fileiras, no qual continham 10 colmeias cada, as mesmas estavam à 100 metros do açude da propriedade, que servia de fonte de água para as abelhas (Figura 8).



Figura 8. Colmeias instaladas.

As inspeções das colmeias foram feitas a cada 10 dias, durante 3 meses, (outubro a dezembro), registrando-se o número de quadros com crias, número de quadros com alimento, presença de rainha, presença de postura, presença de realeiras, avaliação do

tamanho populacional (códigos de 0 a 4), presença de doença, florada e registro de enxameação por abandono ou enxameação reprodutiva. Para analisar o tamanho da população das colmeias se estabeleceu um código de 0 a 4 sendo 0 = sem abelhas, 1 = população fraca, 2 = população média, 3 = população forte, 4 = população ótima.

A cada 10 dias foram contados todos os alvéolos de todos os favos da colmeia através da metodologia adaptada de Al-Tikrity (1975). A adaptação consistiu de fotografias de todos os favos de sobreposição de uma imagem com redes virtuais, para obedecer a proporcionalidade de 4cm², independentemente da distância ou da situação em que as fotos foram tiradas em cada fase do experimento. A contagem dos alvéolos foi realizada usando o programa OdoPlus, no qual foi realizada a contagem dos cliques do mouse, onde a cada clique, um alvéolo é contabilizado. No final da contagem, o número de alvéolos contabilizado foi dividido por quatorze, sendo que cada quadrado da imagem contém em média quatorze alvéolos. O número encontrado após esta divisão foi posteriormente multiplicado por quatro, gerando a área total de favos de crias abertas, crias operculadas (fechadas), néctar e pólen. Durante o experimento todas as colônias que enxamearam (por abandono) foram registradas e devidamente substituídas.

3.8. Pesagens das melgueiras das colônias do experimento

Para a estimativa da produção de mel, as melgueiras das colmeias foram pesadas diretamente no campo, quando as mesmas estiveram aptas a serem coletadas. Para o cálculo do desenvolvimento da produção de mel, uma melgueira com todos os seus quadros foram pesados, dessa forma definiu-se a tara. Os dados gerados foram devidamente anotados no banco de dados, com o número das colmeias, número da pesagem da melgueira, data da pesagem e dados do desenvolvimento. A coleta do mel foi realizada somente no fim do

experimento (dezembro 2019), em média 90 dias, no qual foi coletado somente os quadros de melgueiras que tinham no mínimo 90% dos favos operculados (fechados).

3.9. Coletas de dados das variáveis climáticas

Para determinar a temperatura e umidade relativa do ar no ambiente interno das 30 colmeias, foram usados sensores de temperatura e umidade, que operam em uma escala de temperatura recorde de 0 a 50°C e 20 a 90% de umidade relativa, com precisão de $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $\pm 5\%$, respectivamente, conectados a Arduínos Placa Uno R3 (Figura 09). O equipamento foi anteriormente programado para gravar os dados de temperatura e umidade, a cada hora do dia; a gravação de dados começou na manhã seguinte à instalação dos dispositivos das colônias.

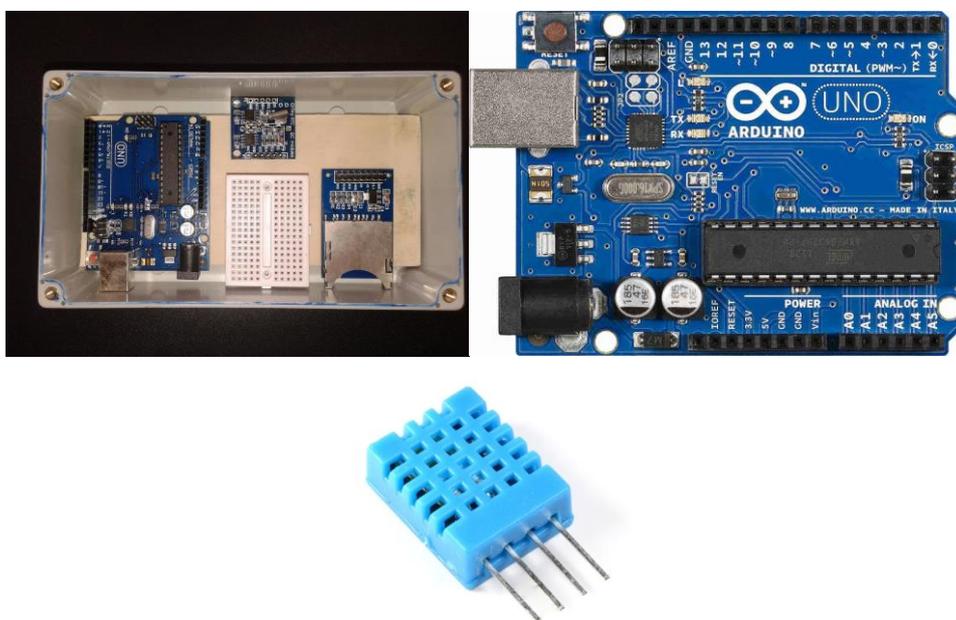


Figura 9: Dataloggers (Arduínos Placa Uno R3, RTC, SDCARD, DHT 11).

Os dados armazenados nos Dataloggers das colônias foram coletados a cada período de 10 dias, tempo que podem ocorrer as seguintes etapas do ciclo de vida das abelhas: postura (2 - 3 dias) de incubação de ovos, desenvolvimento de larvas não operculadas (4 a 8 dias), de pupas (9 a 20 dias) e o surgimento de abelhas adultas (20 ou 21 dias) (Ramos e Carvalho, 2007). A gaiola contendo o sensor DHT11 foi inserida e instalada dentro da colmeia, entre os quadros, na área central do ninho da colônia das abelhas (Figura 10). Após a inserção, a colmeia foi rapidamente fechada e essa metodologia foi repetida para todas as colmeias de cada tratamento.

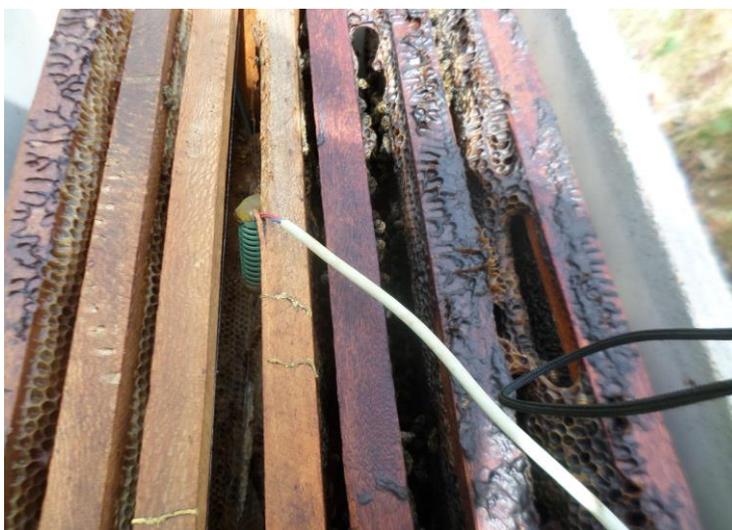


Figura 10: Gaiola contendo o sensor DHT11 inserida dentro da colmeia.

Foram colocados na área experimental, na mesma altura em que as colmeias se encontravam (50cm do solo), 2 sensores DHT11 ligados ao Datalogger, o qual coletou as variáveis climáticas de temperatura e umidade relativa do ar.

3.10. Análises dos dados

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância com aplicação do teste F a 1 e 5% de probabilidade de erro, e para as médias que foram significativas foi aplicado o

teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Foi realizada Análise de Correlação de Person entre as condições climáticas internas e externas (temperatura e umidade relativa do ar) com as variáveis: número de quadros com crias, área de crias e avaliação do tamanho populacional, considerando a significância de $P < 0,05$ pelo teste “t”. Todas as análises foram processadas utilizando o software estatístico R -DEVELOPMENT CORE TEAM (2010).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Resistência à compressão axial

Houve diferença significativa a 1% de probabilidade na resistência à compressão axial dos corpos de prova entre os tratamentos e períodos analisados (Tabela 1).

Tabela 1. Resumo da análise de variância referente à resistência à compressão axial (RES) dos corpos de prova em todos os tratamentos.

Fonte de variação	GL	RES
Tratamentos	4	306,8300**
Períodos (dias)	1	1.095,610000**
Tratamentos vs períodos	4	47,841250**
Resíduos	45	1,642778
Coeficiente de Variação		8,62

**Significativos a 1% de probabilidade de erro.

Houve interações significativas a 1% de probabilidade na resistência à compressão axial, capacidade de absorção, índice de vazios, massa específica seca e saturada dos corpos de prova com substituição da brita no concreto, por isopor e argila expandida (Tabela 2).

Tabela 2. Análise de variância relativa à resistência à compressão axial (RES), capacidade de absorção hídrica (ABS), índice de vazios (IV), massa específica seca (ME) e massa específica saturada (MESAT) de corpos de prova com diferentes materiais.

Fonte de variação	GL	RES	ABS	IV	ME	MESAT
Tratamentos	4	306,8300**	101,4347**	277,657**	0,23439**	0,19977**
Resíduos	45	2,013333	1,094145	2,670464	0,001404	0,000987
Coeficiente de variação		8,62	13,76	12,15	2,09	1,63

**Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F

A resistência à compressão axial dos corpos de prova em todos os tratamentos foi mais elevada no tempo de cura de 28 dias, demonstrando que esse maior espaço de tempo elevou a reação entre os compósitos, sendo as maiores resistências à compressão nos corpos de prova com concreto simples e concreto com 50% de argila e tempo de cura mais elevado e, a menor resistência no concreto com 100% de isopor e tempo de cura de 7 dias (Tabela 3). A utilização de concreto leve (sem brita) e 50% de argila, a resistência à compressão (19,90 Mpa) aos 28 dias de cura pode ser considerada resistente e, os concretos com argila (50 e 100%) podem ser recomendadas como concreto leve estrutural, por apresentaram resistência à compressão axial acima de 17,02Mpa, que é o valor mínimo considerado pela norma ACI - 213 R-87, determinado para concreto estrutural.

Com a elevação da substituição da brita por isopor ou argila, ocorreu redução da resistência dos concretos, possivelmente em razão da existência de zonas de má coesão, que contribuíram para o aumento de vazios, principalmente com uso de 100% de isopor, onde constatou-se resistência à compressão aos 28 dias de 8,10MPa, redução de 63,7% quando comparada à resistência oferecida pelo material confeccionado com concreto simples. A menor resistência à compressão axial ocorreu quando a brita foi totalmente substituída pelo isopor e, isto se explica provavelmente pelo menor empacotamento granular, apresentando vazios e descontinuidades no concreto.

Tabela 3. Resistência à compressão axial (MPa) dos corpos de prova com isopor e argila na composição do concreto em função do tempo de cura.

Concreto	Tempo de cura (dias)	
	7	28
Simple	15,60±0,52aB	22,30±1,64aA
50% de isopor	8,00±0,82cB	14,20±1,93dA
100% de isopor	5,11±0,60dB	8,10±1,66eA
50% de argila	12,55±2,12bB	20,00±0,00bA
100% de argila	8,20±0,79cB	17,80±0,92cA
Valor de P		
Concreto	<.0001	
Tempo de cura	<.0001	
Concreto*tempo de cura	<.0001	

*Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

O aumento na percentagem dos agregados leves no concreto promove reduções nas suas resistências (Angelin et al., 2017) e a substituição volumétrica a partir de 10% da brita pelo isopor reciclado provoca queda da resistência à compressão axial (Gonçalves, 2019).

4.2. Colmeias

Foi observada baixa resistência à compressão dos corpos de prova com a utilização de concreto sem brita e 50% e 100% de isopor, após a construção das colmeias, no qual foi comprovado que o material se tornou quebradiço, pois partes das colmeias tiveram alta fragilidade, principalmente nas tampas e fundos, onde foram detectadas algumas fissuras, constatadas menores resistências, o que torna este material não recomendado para sua construção (Figura 11).



Figura 11: Tampas quebradiças.

4.3. Capacidade de absorção, índice de vazio, massa específica.

Observaram-se, na substituição total da brita por argila expandida, os valores mais elevados de absorção de água, índice de vazio, massa específica seca e saturada dos corpos de prova e, com a substituição total da brita por argila expandida ocorreram os maiores valores de absorção de água (11,61%), enquanto os menores valores (2,90%) foram constatados no concreto simples, mesma tendência observada no índice de vazio. As variações apresentaram diferença estatística ($P < 0,05$) em função dos tratamentos. (Tabela 4).

Tabela 4. Capacidade de absorção de água, índice de vazio, massa específica seca, massa específica saturada do corpo de prova de concreto com substituição de isopor e argila.

Concreto	Absorção (%)	Índice de vazio (%)	Massa específica seca (g/cm^3)	Massa específica saturada (g/cm^3)
Simples	2,90±0,46d	5,92±0,67d	1,97±0,01a	2,03±0,01b
50% de isopor	7,58±2,05c	13,34±3,25c	1,75±0,04b	1,88±0,02c
100% de isopor	6,93±0,59c	11,33±0,88c	1,63±0,02c	1,75±0,02d
50% de argila	8,97±0,76b	17,28±1,16b	1,93±0,06a	2,10±0,06a
100% de argila	11,61±0,36 ^a	19,38±0,48a	1,68±0,01c	1,86±0,01c
Valor de P	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001

Letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A capacidade de absorção hídrica e o índice de vazio dos corpos de prova com uso de concreto sem brita e com 100% de argila, apresentaram os maiores valores médios, superiores em 330,3% e 227,4%, respectivamente, aos ocorridos nos corpos de prova confeccionadas com concreto simples. Quando comparados com o uso de corpos de prova confeccionadas com concreto leve com 50% de argila, a superioridade da capacidade de absorção de água e do índice de vazio dos corpos feitos com concreto e 100% de argila expandida foram, respectivamente, de 29,4% e 12,2%. De acordo com Santos (2009) ao se adicionar água ao concreto, parte dela entra nos poros dos agregados e acaba dificultando o desenvolvimento da resistência.

Concretos produzidos com argila expandida apresentam baixa massa específica e proporcionalmente elevados teores de absorção de água, quando comparados com concretos produzidos com brita, e isto pode ser devido a elementos expansivos utilizados no processo produtivo deste agregado.

Os maiores valores médios de capacidade de absorção de água com o maior percentual de argila em sua composição (concreto com 100% de argila), são explicados pelo maior volume de espaços vazios e, conseqüentemente, pela maior porosidade aparente, que traduz a existência de poros e/ou cavidades intercomunicantes, o que resulta na maior absorção e, provavelmente, menor resistência físico-mecânica (Baêta, 2004). Já a elevação dos índices de vazios nos corpos de prova confeccionados com a mesma condição de material, decorre da maior quantidade de agregados leves na mistura e, conseqüentemente, da maior microporosidade.

Se observaram diferenças significativas ($P < 0,05$) entre os valores médios de massa específica seca entre os corpos de prova confeccionados com concreto simples ($1,97 \text{ g cm}^{-3}$) e concreto com 50% de argila ($1,93 \text{ g cm}^{-3}$), entretanto os valores médios de massa específica

saturada foram mais elevados quando se utilizou concreto com 50% de argila expandida ($2,10\text{g cm}^{-3}$) e menores com o uso de concreto sem brita e com 100% de isopor ($1,75\text{g cm}^{-3}$).

A absorção de água no concreto com 100% de argila expandida, pode alterar desfavoravelmente as propriedades do concreto no estado endurecido, causando diminuição da massa específica e da resistência à compressão.

A redução da massa específica no concreto leve de argila expandida e concreto leve de isopor, é a principal característica que viabiliza a utilização destes nas construções, pois com a redução da massa específica diminui-se os esforços na estrutura e facilita o seu transporte durante a construção (Moncada, 2019).

A massa específica dos concretos com argila e de isopor, produzida nesse experimento, foi abaixo de 2g cm^3 o que os caracteriza como concretos leves. À medida que o volume do agregado leve na mistura aumenta, ou a massa específica dos concretos diminuem, as resistências mecânicas diminuem (Chen e Liu, 2004)

4.4. Condutividade térmica das placas experimentais

O resumo da análise de variância indica efeitos significativos, a 1% de probabilidade pelo teste F, na condutividade térmica dos materiais utilizados na confecção das placas resultantes da substituição da brita, no traço do concreto por isopor e argila expandida (Tabela 5).

Tabela 5. Resumo da análise de variância de condutividade térmica de placas confeccionadas com diferentes materiais.

Fonte de variação	GL	COND
Tratamentos	4	0,29263600**
Resíduos	45	0,00908600
Coeficiente de variação		9,52

**Significativos a 1% de probabilidade de erro.

As condutividades térmicas das placas apresentaram efeito estatístico ($P < 0,05$), onde as placas com concreto simples ($1,25 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$) e concreto leve com 50% de argila expandida ($1,18 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$) foram mais elevados ($P < 0,05$) e, a substituição da brita no concreto por isopor ($0,64 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$) e argila expandida como agregados ($1,04 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$) reduziram a condutividade térmica nas placas em 48,8% e 16,8%, respectivamente (Tabela 6) e, isso ocorreu devido os materiais utilizados, argila e isopor, possuem menor condutividade térmica em comparação a brita, tais materiais quando incorporados em um concreto reduz significativamente a condutividade do mesmo, tornando assim o concreto menos condutivo.

Percebe-se que a utilização da argila e do isopor na composição do concreto convencional reduz a condutividade térmica das placas, com as substituições da brita no concreto pelos agregados citados é concordante com os resultados apresentados por Monte et al. (2014).

Tabela 6. Condutividade térmica das colmeias de concreto fabricadas com diferentes composições de isopor e argila expandida.

Concreto	Condutividade térmica ($\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$)
Simples	$1,25 \pm 0,05a$
50% de isopor	$0,90 \pm 0,12c$
100% de isopor	$0,64 \pm 0,09d$
50% de argila	$1,18 \pm 0,04ab$
100% de argila	$1,04 \pm 0,13bc$
Valor de P	$< .0001$

Letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A condutividade térmica depende de vários fatores, entre eles a massa específica seca, que quanto menor for, mais baixa será a condutividade, em razão do ar aprisionado na estrutura celular dos agregados leves, fazendo com que a transferência e a absorção de calor sejam reduzidas, e tal fato pode ser constatado quando se substitui a brita por argila expandida

ou isopor, ocorrendo redução na massa específica do concreto e, conseqüentemente, um decréscimo da condutividade térmica (Sacht et al., 2010; Angelin et al., 2017).

Uma das características do isopor é ser material isolante, possuindo baixa condutividade por conter ar em seu interior, dificultando a passagem do calor (Soares, 2014). O isopor por possuir propriedades consideráveis em sua estrutura, 98% do ar, baixa massa específica, ser leve e ter boa resistência, pode ser considerado um bom isolante térmico (Borges et al., 2017).

Houve relação direta entre a condutividade e a massa específica seca (Tabela 2), isto é, quanto menor a massa específica menor a condutividade térmica. Sacht (2010) e Angelin (2017) citam que a diminuição dos valores de massa específica, devido à substituição de brita por argila expandida, ocorre decréscimo da condutividade térmica, em razão do ar aprisionado na estrutura celular dos agregados leves, fazendo com que a transferência e a absorção de calor sejam reduzidas (Angelin, 2017).

As temperaturas internas das colmeias, independentemente da composição do concreto, permaneceram dentro da faixa de temperatura ideal para as abelhas que é de 33 a 36°C (Jones & Oldroyd, 2007) (Figura 12), mesmo quando ocorreram variações na temperatura externa, em decorrência dos períodos do dia (noturno e diurno) e de precipitações pluviométricas ocorridas durante o período experimental. Pode-se perceber com isso que as abelhas mantiveram a termorregulação interna das colmeias em todos os tratamentos.

O isolamento térmico em uma colmeia é essencial para um bom desenvolvimento da colônia, pois altas temperaturas em seu interior, podem colocar em risco todo o desenvolvimento populacional e seus alimentos armazenados, evitando que as abelhas comecem a tomar medidas preventivas causados pelo superaquecimento com gasto

energético para os insetos, como a evaporação da água nos favos de cria ou suas atividades de batimento das asas e exposição das línguas das abelhas (Freitas et al., 2007).

Os mecanismos de aquecimento ou resfriamento interno da colmeia gera um gasto energético extra para a colônia, que emprega tempo e recursos para manutenção da temperatura, logo, essas abelhas deixam de realizar atividades como a coleta de alimentos (néctar e pólen) (Lopes et al., 2011).

Para que haja um bom desenvolvimento das abelhas na fase adulta, a área do ninho deve ser mantida em temperaturas entre 33 a 35°C (Domingos et al. 2014), visto que temperaturas acima desta faixa prejudicam o desenvolvimento larval e sua metamorfose. Além disso, em temperaturas acima de 40°C, os favos de cera cheios de mel começam a amolecer e podem quebrar (Shaw et al., 2011).

4.5. Fatores climáticos e as interações destes com as colmeias

A temperatura interna das colmeias, independentemente da composição do concreto, permaneceu dentro da faixa de temperatura ideal para as abelhas, que deve estar entre 32 a 36°C (Domingos et al., 2014), mesmo quando ocorreram quedas na temperatura externa em decorrência de precipitações pluviométricas ocorridas, principalmente entre os 60 a 90 dias (Figura 12).

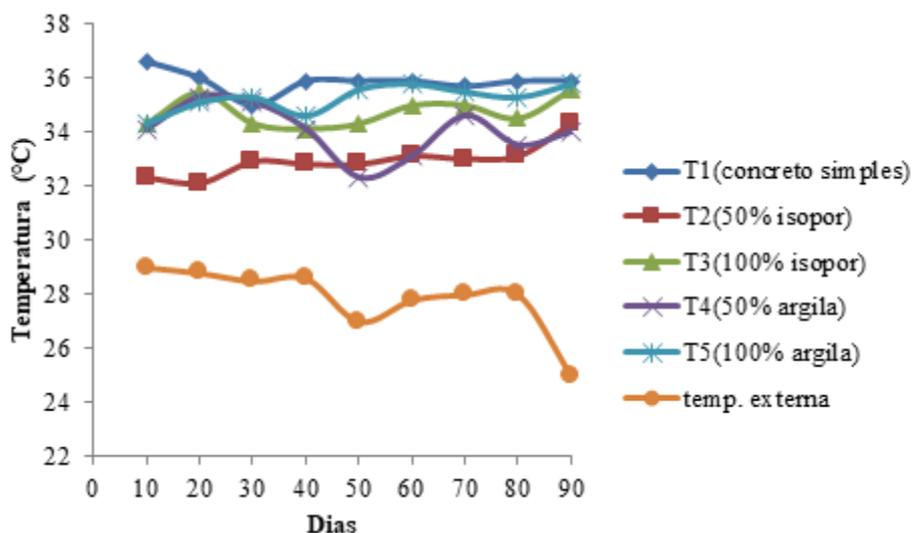


Figura 12. Contraste entre a temperatura interna das colmeias e temperatura do ar externa.

Ao contrário da temperatura no interior da colmeia, a umidade variou de acordo com a umidade relativa do ar externa, sendo que o teor de umidade do ambiente externo foi superior ao observado no interior das colmeias, independentemente da composição do concreto e, no interior das colmeias até 50 dias, a umidade ficou entre 33 a 45%, no período de 50 a 90 dias as médias de umidade variaram entre 36 a 50%, sendo que as colmeias de concreto simples tiveram umidade acima destes valores (63% de umidade aos 90 dias) (Figura 13).

A umidade interna da colmeia acima de 40% pode prejudicar o amadurecimento do mel e, se a época chuvosa coincidir com a alta produção de néctar, a umidade do ar e a saturação interna da colmeia, pode demandar acréscimo de tempo para iniciar a colheita, reduzindo sua produção, mesmo em épocas de floradas (Moritz e Southwick, 1992).

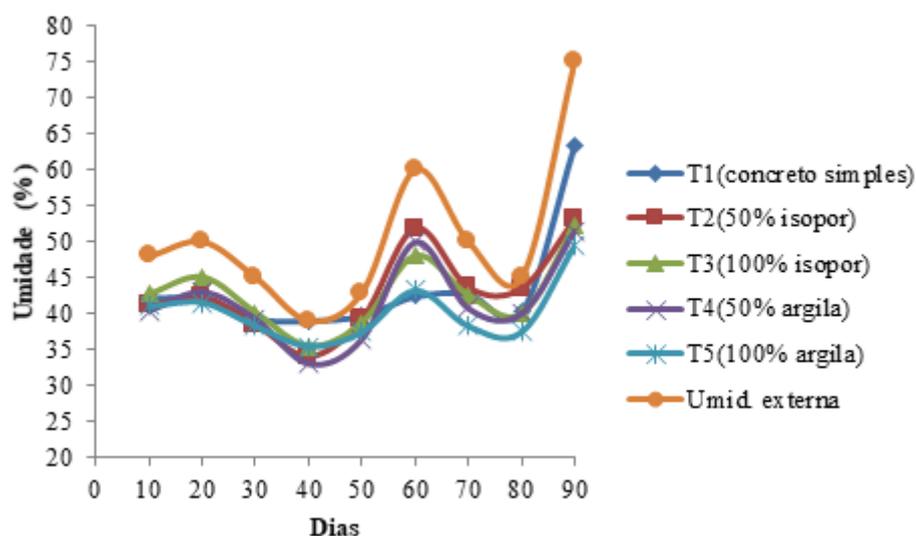


Figura 13. Médias da umidade interna das colmeias e do ambiente externo.

Houve correlação entre a umidade relativa do ar externo e a umidade interna das colmeias ($R= 0,80$), indicando que o aumento da umidade atmosférica contribui para a elevação da umidade no interior das colmeias (Tabela 7). Verifica-se, também, correlação da temperatura interna com o número de quadros com crias, demonstrando que a manutenção da temperatura dentro da colmeia no intervalo de $33 - 36^{\circ}\text{C}$ contribui para o aumento de crias das abelhas. Houve correlação entre a temperatura externa e umidade interna das colmeias ($R= - 0,40$), demonstrando que a elevação da temperatura externa contribui para a diminuição da umidade interna das colmeias.

Houve correlação negativa entre condutividade e número de quadros com crias, ($- 0,44$), demonstrando que quanto maior a condutividade menor o número de quadros com crias, o que também foi constatado na correlação entre condutividade e área de cria, onde quanto maior a condutividade menor a área de cria. Houve correlação da condutividade com a temperatura interna demonstrando que quanto maior a condutividade maior será a temperatura interna da colmeia.

Tabela 7. Correlação entre dados climáticos externos, produção e ambiente interno da colmeia.

Variáveis	Número de quadros com cria	Área com crias (cm ²)	Umidade interna (%)	Temperatura interna (C°)
Temperatura externa (C°)	-0,24**	-0,10 ^{NS}	-0,40**	-0,13*
Umidade externa (%)	0,13*	-0,02 ^{NS}	0,80**	0,15*
Temperatura interna (C°)	0,57**	0,44**	0,07 ^{NS}	-
Umidade interna (%)	-0,04 ^{NS}	-0,07 ^{NS}	-	-
Condutividade (W.m ⁻¹ k ⁻¹)	-0,44*	-0,41*	-0,01 ^{NS}	0,43*

*Significativa a 5%; **Significativa a 1%; ^{NS} não significativo.

Ao se analisar os dados de correlação entre condutividade, número de quadros com crias, áreas com crias e temperatura interna da colmeia, observou-se que os tratamentos que tiveram menor condutividade apresentaram maior número de crias e quadros de crias e conseqüentemente maior produção de mel, isso devido às colônias estarem em um ambiente mais favorável para seu desenvolvimento.

O comportamento e o desenvolvimento das colônias sofrem influências das variáveis ambientais internas, tais como temperatura e umidade e, para um bom desenvolvimento das crias na área do ninho, a temperatura deve ser mantida em torno de 33 a 36°C (Domingos et al., 2014).

A termorregulação das colmeias é um fator importante para o desenvolvimento e sobrevivência das colônias, que sofrem influências das variáveis ambientais internas e, em condições ambientais inadequadas as características morfológicas e a sobrevivência das crias podem ser afetadas, prejudicando as abelhas na vida adulta e sua produção (Brasil et al., 2013; Domingos et al., 2014)

4.6. Adaptabilidade das abelhas às colmeias

No interior das colmeias constatou-se a presença da rainha em todos os tratamentos, através de postura e da visualização da mesma em meio aos favos da colmeia, identificando-se a presença de realeiras nos favos dos tratamentos T2 (50% isopor), T4 (50% argila) e T5 (100% argila), aos 60 dias de inspeção e, tal situação pode ter ocorrido devido às colônias apresentarem condições favoráveis a divisão do enxame. Não foi registrado enxameação por abandono, mas provavelmente ocorreram enxameação reprodutiva nos tratamentos T2 (50% isopor), T4 (50% argila) e T5 (100% argila), devido a presença de realeiras, o que indica a intenção de enxamear. Os principais problemas de enxameação por abandono estão nas condições ambientais do interior da colmeia, a ocorrência de pragas e falta de alimentos (Holanda Neto et al., 2015). Todos os tratamentos tiveram produção de mel maduro (teor de umidade em torno de 14%), visto que a coleta de dado foi realizada no final do experimento.

O tipo de material utilizado na confecção das colmeias exerceu efeito significativo ($P < 0,05$) no número de quadros de crias e na produção de mel, não afetando ($P > 0,05$) o tamanho da população (Tabela 8). A produção de mel para a época, segundo semestre do ano no semiárido brasileiro é satisfatória, pois em muitos locais há ausência de produção, demonstrando que as colmeias estavam ativas e em condições favoráveis de desenvolvimento.

Tabela 8. Resumo da análise de variância da influência de diferentes materiais na confecção de colmeias sobre o número de quadros com crias (NQC), tamanho da população (TPOPU) e produção de mel (PROD).

Fonte de variação	GL	NQC	TPOPU	PROD
Tratamentos	4	5,46666667**	1,13333333 ^{NS}	7,43583333*
Blocos	5	1,52000000 ^{NS}	0,32000000 ^{NS}	2,45600000 ^{NS}
Resíduos	20	0,88666667	0,35333333	2,12883333
Coeficiente de variação		14,71	24,77	27,02

**Significativos a 1% de probabilidade de erro. ^{NS} = não significativo.

Com exceção do tamanho da população de abelhas, o tipo de material utilizado na confecção das colmeias exerceu efeitos significativos ($P < 0,05$) no número de quadros de crias e produção de mel (Tabela 9).

Tabela 9. Número de quadros com crias de abelhas, tamanho da população e produção de mel das colmeias fabricadas com diferentes composições.

Tratamentos	Número de quadros com cria	Tamanho da população	Produção de mel (kg/colmeia)
Concreto simples (T1)	5,67cb	1,83a	3,52b
Concreto com 50% isopor (T2)	7,00ab	2,83a	6,27a
Concreto com 100% isopor (T3) *	6,33ab	2,33a	5,38ab
Concreto com 50% argila (T4)	5,33c	2,17a	5,67ab
Concreto com 100% argila (T5) *	7,67ab	2,83a	6,17a
DMS	1,63	1,02	2,52

*Concreto sem brita. **Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. DMS=Diferença Mínima Significativa.

O menor número de quadros com crias de abelhas foi observado nas colmeias de concreto com 50% de argila expandida (5,33) e o uso de 100% de argila expandida (T5), 50% de isopor (T2) ou 100% de isopor (T3) em substituição à brita, não afetaram o desempenho das colmeias quanto ao número de quadros com crias, variando de forma absoluta de 6,33 a 7,67.

Os valores médios de tamanho da população das abelhas não diferiram entre os tratamentos e, as colmeias no início do experimento encontravam-se homogêneas, mantendo

esta população estável. A produção de mel das colmeias com concreto simples (3,52kg) foi menor que a produção das colmeias com concreto com 50% de isopor e 100% de argila e, esta redução pode ser devido ao período em que aconteceu a coleta de mel nas colmeias, onde os teores de umidade interna da colmeia estavam elevados (Figura 13), o que prejudica a maturação do mel, que deve ter sua umidade em torno de 18% para serem operculados. Como foi coletado somente quadros que se encontravam com no mínimo 90% dos seus alvéolos operculados, este tratamento teve redução na sua produção.

Devido às condições da composição do concreto simples, por possuir maior condutividade térmica, as abelhas tiveram uma maior dificuldade nas regulações das temperaturas internas das colmeias, o que proporcionou maior gasto energético e maior demanda de consumo de reserva de alimento, resultando numa redução do mel coletado (Tabela 9). Kronenger & Helle (1982) citam que a amplitude do ritmo metabólico das abelhas diminui à medida que a temperatura do ar aumenta. Tautz et al. (2003) citam que abelhas mantidas em baixas temperaturas na fase de pupa, tem menor desempenho de suas atividades na fase adulta.

As abelhas rainhas tendem a ter uma redução significativa na sua postura com a elevação de sua idade, fato que estimula a substituição por uma nova rainha e, no tratamento com concreto simples observou-se grande quantidade de realeiras, o que reforça a hipótese da tentativa de substituição de uma abelha rainha velha por uma abelha rainha nova (Winston, 2003).

5. CONCLUSÕES

O aumento da porcentagem de substituição dos materiais: isopor e argila expandida, promoveram reduções na resistência à compressão axial e, a argila ficou dentro dos parâmetros da norma ACI - 213 R - 87 com um mínimo de 17,2 MPA, ocorrendo aumento da absorção e dos índices de vazios com as devidas substituições e redução na massa específica seca.

Com a substituição dos agregados leves no concreto, ocorreu uma redução na condutividade térmica, principalmente nos tratamentos com isopor.

As colmeias apresentaram temperatura interna de 33 a 36°C, o que proporcionou bom desenvolvimento em tamanho populacional, número de quadros com crias, ocasionando armazenamento de mel, mesmo em época de escassez de floradas.

O tratamento mais recomendado é o de 100% argila, por manter a temperatura dentro da faixa ideal (32 a 36°C), boa resistência, alto número de crias, tamanho populacional e uma boa produção de mel em comparação aos demais tratamentos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABEMEL - Associação Brasileira de Exportação de Mel - Cuba, G. Setor apícola brasileiro em números - Inteligência Comercial, outubro., 2017. Disponível em: http://www.conap.coop.br/wp-content/uploads/2017/01/INTELIG%C3%8ANCIA-COMERCIAL-ABEMEL_DEZEMBRO-CONSOLIDADO.pdf Acessado em: 10 de junho de 2019.
- Almeida, G. F. Fatores que interferem no comportamento enxameatório de abelhas africanizadas. Tese (Doutorado em Ciências) - Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, 2008.
- AL-Tikrity, W. S.; Benton, A.W.; Hillman, R. C.; Clarke, W. W. Jr. The relationship between the amount of unsealed brood in honeybee colonies and their pollen collection. *Journal Apicultural Research*, v. 11, p. 9 - 12, 1975.
- Angelin, A. F.; Lintz, R. C. C.; Gachet-Barbosa, L. A. Uso da argila expandida e sílica ativa no melhoramento dos desempenhos mecânicos, físicos e térmicos de concretos leves estruturais. *Matéria*, v. 22, 2017.
- Baêta, R. M. Caracterização petrográfica, faciológica e tecnológica das rochas ornamentais do complexo alcalino de Tunas/PR. 2004, 100 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.
- Balbino, V. A.; Binotto, E; Siqueira, E. S. Apicultura e responsabilidade social: desafios da produção e dificuldades em adotar práticas social e ambientalmente social e ambientalmente responsáveis. *Read*, v. 81, n. 2, p. 348 - 37, 2015.
- Beline, E. L.; Angelotti, A. M.; Coelho, T. M.; Santos, B. Substituição dos agregados graúdos do concreto por materiais alternativos na fabricação de elementos não estruturais em concreto leve. *In: Encontro de Engenharia e Produção Agroindustrial, IX, 2015, Campos Mourão. Anais.*

- Bezerra, A. J. V. Utilização do resíduo da indústria de calçados (EVA - Etileno Acetato de Vinila) como agregado leve na produção de blocos vazados de concreto para alvenaria sem função estrutural. 2002, Dissertação (Mestrado), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2002.
- Bisschop, J.; Van Mier, J. G. M. Effect of aggregates and microcracks on the drying rate of cementitious composites. *Cements and Concrete Research*, v. 38, n. 2 p. 1190 - 1196, 2008.
- Borges, É.; Gonçalves, Junior, E. L.; Almeida, I. M. F. Isopedra, suas características físicas ante ao EPS - Poliestireno expandido. *Revista Científica de Ciências Aplicadas - FAIP*, v. 4, n. 7, 2017.
- Brasil, D. F.; Guimarães, M. de O.; Barbosa Filho, J. A. D.; Freitas, B. M. Internal ambience of bee colonies submitted to strengthening management by adding broods. *Engenharia Agrícola*, v. 34, n. 5, p. 902 - 909, 2013.
- Buainain, A. M.; Batalha, M. O. (coordenadores). *Cadeia produtiva de flores e mel*. Brasília: IICA: MAPA/SPA, v. 9, 2007.
- Cavalcanti Filho, O.; Soares, E. A.; Camerini, N. L.; Leal, A. F. Avaliação térmica do compósito cimento-resíduo de EVA (Etileno Acetato de Vinila) na construção de colmeias Langstroth. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, v. 5 n. 3, p. 1 - 4, 2010.
- Catoia, T. Concreto ultraleve estrutural com pérolas em EPS: caracterização do material e estudo de sua aplicação em lajes. 2012. 154 f. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.
- Carvalho, M. D. F. Temperatura da superfície corpórea e perda de calor por convecção em abelhas (*Apis mellifera*) em uma região semi-árida. 2009. 47 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2009.

- Celestino, V. Q.; Maracajá, P. B.; Silveira, D. C.; Farias, C. A. S.; Silva, R. A.; Olinto, F. A.; Sousa, J. da S. Aceitação e avaliação da defensividade de abelhas *Apis mellifera* L. africanizadas, associada ao tipo de material na fabricação da colmeia. *Agropecuária Científica no Semiárido*, v. 10, n. 3, p. 18 - 25, 2014.
- Chen, B.; Liu, J. Properties of lightweight expanded polystyrene concrete reinforced with steel fiber. *Cement and Concrete Research*, v. 34, p. 1259 - 1263, 2004.
- Corrêa Fernandes; Pinheiro, M. Produção de Mel. 2003. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mel/SPMel/index.htm> >. Acesso em: 3 de outubro de 2019.
- Couto, J. A. S., Carminatti, R. L., Nunes, R. L. A., Moura, R. C. A. Concreto com material de construção. *Cadernos de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas*, v. 1, n. 17, p. 49 - 58, 2013.
- Couto, R. H. N.; Couto, L. A. Apicultura: manejo e produtos. Jaboticabal. FUNEP, 191 p. 2006.
- Domingos, H. G. T.; Gonçalves, L. S. Termorregulação de abelhas com ênfase em *Apis mellifera*. *Acta Veterinaria Brasilica*, v. 8, n. 3, p. 151 - 154, 2014.
- Gonçalves, P.; Vasconcelos, R. Avaliação térmica, física e mecânica de blocos de concreto com poliestireno expandido reciclado. *Ambiente Construído*, v. 19, n. 4, p. 249-269, 2019.
- Gonçalves, L. S.; De Jong, D. & Gramacho, K. P. A expansão da apicultura e da tecnologia apícola no nordeste brasileiro com especial destaque para o Rio Grande do Norte. *Mensagem Doce*, v. 3, p.7-15, 2010.
- Gomes, P. C. C.; Alencar, T. F. F.; Silva, N. V.; Moraes, K. A. M.; Angulo, S. C. Obtenção de concreto leve utilizando agregados reciclados. *Ambiente Construído*, v. 15, n. 3, p. 31 - 46, 2015.

- Evangelista, P. P. A.; Costa, D. B.; Zanta, V. M., Alternativa sustentável para destinação de resíduos de construção classe A: sistemática para reciclagem em canteiros de obras. *Ambiente Construído*, v. 10, n. 3, p. 23 - 40, 2010.
- Freitas, B. M.; Souza, R. M. & Bonfim, I. G. A. Absconding and migratory behaviors of feral Africanized honey bees (*Apis mellifera*) colonies in Ne. Brasil. *Acta Sci. Biological Sci*, v. 29, n. 4, p. 381 - 385, 2007.
- Heinrich, B. & Esch, H. Thermooregulation in bees. *American Scvientist*, v. 82, p. 164 - 170, 1994.
- Holanda-Neto, J. P.; Paiva, C. S.; Melo, S. B. de; Paiva, A. C. C.; Maracajá, P. C.; Silva, A. F.; Pereira, D. S. Comportamento de abandono de abelhas africanizadas em apiários durante a entressafra, na região do Alto Oeste Potiguar, Brasil. *Agropecuária Científica no Semiárido*, v. 11, n. 2, p. 77-85, 2015.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA -. Comunicação Social. Produção Pecuária Municipal, 2009.
- Jones, J. C.; Oldroyd, B. P. Nest thermoregulation in social insects. *Advances in Insect Physiology*, v. 33, p. 153 - 191, 2007.
- Kleinhenz, M.; Bujok, B.; Fuchs, S.; Tautz, J. Hot bees in empty broodnest cells: heating from within. *J. Exp. Biologia*. n. 206, p. 4217 - 4231, 2003.
- Kronenberg, F., Heller, H. C. Colonial thermoregulation in honey bees (*Apis mellifera*). *J. Comp. Physiol*, v. 148, p. 65 - 76, 1982.
- Laukaitis, A., Zurauskas, R., Keriene, J. The efect of foam polystyrene granules on cement composite properties. *Cement & Concrete Composities*, v. 27, p. 41 - 47, 2005.
- Le Roy, R.; Parant, E.; Boulay, C. Taking in account the inclusions' size in lightweight concrete compressive strength prediction. *Cement and Concrete Research*, v. 35, p.770 - 775, 2005.

- Lopes, M. T. R.; Barbosa, A. L.; Vieira Neto, J. M.; Pereira, F. M.; Camargo, R. C. R.; Ribeiro, V. Q.; Souza, B. A., Alternativas de sombreamento para apiários. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 41, n. 3, p. 299 - 305, 2011.
- Lorenzon, M. C. A.; Cidreira, R. G.; Rodrigues, E. H. V.; Dornelles, M. S.; Pereira Jr. G. Langstroth hive construction with cement-vermiculite *Sci. Agric.*, v. 61, n. 6, p.573-578, 2004.
- Marques, C. T.; Gomes, B. M. F.; Brandli, L. L. Consumo de água e energia em canteiros de obra: um estudo de caso do diagnóstico a ações visando à sustentabilidade. *Ambiente Construído*, v. 17, n. 4, p. 79 - 90, 2017.
- Mehta, P. K.; Monteiro, P. J. M. *Concreto: Microestrutura Propriedades e Materiais*. 3ª ed. São Paulo: Pini, 2008.
- Miled, K; Sab, K.; Le Roy, R. Particle size effect on EPS lightweight concrete compressive strength: experimental investigation and modeling. *Mechanics of Materials*. v. 39, p. 222 - 240, 2007.
- Moravia, W. G.; Oliveira, C. A. S., Gumieri.; Vasconcelos, W. L., Caracterização microestrutural da argila expandida para aplicação como agregado em concreto estrutural *Cerâmica* v. 52, p. 193 - 199, 2006.
- Moritz, R. F. A; Southwick, E. E. *Bees as superorganisms: an evolutionary reality*. New York: Springer-Verlag, 1992. 395 p.
- Monte, F. L.; Bamonte, P.; Gambarova, P. G. Physical and mechanical properties of heat-damage structural concrete containing expanded polystyrene synthesized particles. *Fire and Materials*, v. 39, p. 58 - 71, 2014.
- Moncada, J. E. C. M.; Flor, L. D. S; Silva, V. A; Pacheco, J. S. Estudo da adição de argila expandida e EPS como agregados na elaboração de concreto leve. *Revista Teccen*. 2019 Jan/Jun; 12 (1): 02 - 07.

- Neville, A. M. Propriedades do concreto. 5 ed. São Paulo: Bookman, 2016.
- Oliveira, L. S. Reaproveitamento de resíduos de poliestireno expandido (isopor) em compósitos cimentícios. 2013, Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São João Del-Rei, São João Del-Rei, 2013.
- Pedroso, F. L. Concreto: As origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. *Concreto & Construções: Ibracon*, v. 37, n. 53, 2009.
- Ramos, J. M.; Carvalho, N. C. Estudo morfológico e biológico das fases de desenvolvimento de *Apis mellifera*. *Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal*, v. 6, n. 10, 2007.
- R Core Team. R: A Language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2010.
- Rossignolo, J. A. Concreto leve estrutural: produção, propriedades, microestrutura e aplicações. 1. Ed. São Paulo, 2009.
- Sacht, H. M.; Rossignolo, J. A.; Santos. W. N. Avaliação da condutividade térmica de concretos leves com argila expandida. *Revista Matéria*, v. 15, n. 1, p. 031 - 039, 2010
- Santos, C. S. dos; Ribeiro, A. de S., Apicultura uma alternativa do desenvolvimento sustentável. *Revista Verde*, v. 4, n. 3, p. 01 - 06, 2009.
- Seeley, T. D. Ecologia da abelha: um estudo de adaptação na vida social. 256 p. Porto Alegre: Paixão, 2006.
- Shaw, J. A.; Nugent, P. W.; Johnson, J.; Bromenshenk, J. J.; Henderson, C. B.; Debnam, S. "Long-wave infrared imaging for non-invasive beehive population assessment. *Optics Express*, v. 19, p. 399 - 408, 2011.

Soares, F. A. M. Incorporação de partículas de poliestireno expandido e resina epóxi em compósito cimentício. 2014, Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São João Del-Rei. São João Del-Rei, 2014.

Strecker, K.; Silva, C. A. Panzera, T. H. Fabricação e caracterização de compósitos a base de cimento com incorporação de poliestireno expandido (isopor). *Cerâmica*, v. 60, n. 354, 2014.

Tang, W. C.; Lo, Y.; Nadeem, A. Mechanical and drying shrinkage properties of structural graded polystyrene aggregate concrete. *Cement and Concrete Composites*, v. 30, p. 403 - 409, 2008.

Tautz, J., Maier, S., Groh, C., Rössler, W.; Brockmann, A. Behavioral performance in adult honey bees is influenced by the temperature experienced during their pupal development. *PNAS*. v. 100, n. 12, p. 7343 - 7347, 2003.

Vidal, M. de F. Desempenho da apicultura Nordestina em anos de estiagem; Banco do Nordeste; Caderno Setorial ETENE, v. 2, n.11, 2017.

Winston, M. L. A biologia da abelha. Editora Magister: Porto Alegre. 276 p. 2003.

_____.NBR 16866 - Isopor - Poliestireno Expandido - EPS - Determinação das propriedades - Métodos de Ensaio, 2000.

_____.NBR 5738 - Moldagem e cura de corpo de prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Rio de Janeiro, 2015.

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

_____.NBR 7211 - Agregados para concreto - Especificação. NBR 7211: 2009. São Paulo: ABNT, 2009.

_____.NBR 9479 - Argamassa e concreto - Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2006.

_____.NBR 9778 - Argamassa e concreto endurecidos. Determinação da absorção de água por imersão. Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005

_____.NBR NM 67 - Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.