

MESTRADO INTEGRADO

ARQUITECTURA

Aplicação da técnica abóbada núbia num projeto de escola rural no Senegal

Uma análise prática sobre como construir com qualidade, acessível e baixo impacte ambiental.

Leonardo Gabriel Grogg

M
2022



Leonardo Gabriel Grogg

Aplicação da técnica abóbada núbia num projeto de escola rural no Senegal



M.FAUP 2022

Aplicação da técnica abóbada Núbia num projeto de escola rural no Senegal

Leonardo Gabriel Grogg

FACULDADE DE ARQUITETURA





11 de novembro | 11h00 | Sala TE 4.3

Leonardo Gabriel Grogg

APLICAÇÃO DA TÉCNICA ABÓBADA NÚBIA NUM PROJETO DE ESCOLA RURAL NO SENEGAL.

Uma análise prática sobre como construir com qualidade, acessível e baixo impacte ambiental.

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Rui Manuel Vieira Passos Maelha.

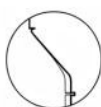
Arguente: Prof.^a Doutora Maria Clara de Carvalho Pimenta do Vale

Orientador: Prof. Doutor André Miguel Guimarães dos Santos

Classificação:

Esta dissertação teve a classificação de 18 (dezoito) valores.

U.PORTO



FACULDADE DE ARQUITECTURA
UNIVERSIDADE DO PORTO

APLICAÇÃO DA TÉCNICA ABÓBADA NÚBIA NUM PROJETO DE ESCOLA RURAL NO SENEGAL

Uma análise prática sobre como construir com qualidade, acessível e baixo impacto ambiental.

Dissertação de Mestrado Integrado em Arquitetura apresentado à Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto sob a orientação do Professor Doutor André Miguel Guimarães dos Santos

Leonardo Gabriel Grogg
Porto, 2022

nota à edição:

A presente dissertação segue o novo Acordo Ortográfico. As citações transcritas em português referentes a edições de língua não portuguesa foram sujeitas a uma tradução livre.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Professor Doutor André Santos pela compreensão e disposição em ajudar no bom desenvolvimento da tese.

Ao Centro de Engenharia e Desenvolvimento (CEiiA) por me instigar no desenvolvimento de um biodispositivos de sequestro de carbono.

Aos meus caros amigos do mundo que me acompanham de perto ou longe, em todos os momentos, com um especial reconhecimento a parceria de Iane, Michele e Endi.

Aos meus pais e irmãos pelo afeto, incentivo e apoio incondicional, sempre acreditando no meu trabalho.

À minha namorada Alice pelo amor e companheirismo, junto em todas as etapas do projeto.

Agradeço e deixo essa tese em homenagem à minha querida avó Susanna que tanto me ensinou sobre as questões políticas, socioeconómicas e climáticas, sempre discutindo os desafios do mundo.

RESUMO

Considerando o contexto do Senegal de escassez de infraestrutura básica escolar, a tendência da construção civil e a realidade climática atual, a presente dissertação é uma reflexão sobre o modelo atual arquitetônico e as persistentes falhas nas práticas convencionais.

O trabalho se apropria de uma técnica tradicional: abóbada Núbia e busca analisar seus benefícios na construção educacional no país. Salientando a efetividade construtiva, acessibilidade financeira, o conforto ambiental e a redução das emissões de gases de efeito estufa. O objeto de estudo foi desenvolvido sob concurso público, resultando na Escola Rural Walaa que oportunizou-se como base para essas análises.

Constata-se comparativamente com as construções convencionais, bons resultados, porém pondera-se uma margem de melhora desejável no uso da abóbada Núbia com betão armado. Além da necessidade de integrar o projeto ao meio ambiente a fim de disponibilizar recursos de baixa pegada e potencializar o sequestro de gás carbônico. Isso permite uma arquitetura alinhada às demandas contemporâneas que responda a universalização da educação e descarbonização.

Palavras-chave: Arquitetura; Abóbada; Conforto; Escola; Sustentável.

ABSTRACT

Senegal has a precarious basic school infrastructure, and considering its civil constructions tendencies and climate reality, this dissertation reflects on the current architectural model and the flaws that remain in the traditional practices.

The work is based on the Nubian vaults traditional technique to analyze its benefits in Senegal's educational construction. Emphasizing the constructive efficiency, financial viability, environmental comfort, and reduction of greenhouse gas emissions. The study object was developed in a public tender, resulting in the Rural School Walaa, used as a basis for these analyses.

This method shows improvements when compared to conventional constructions, but there is a margin for upgrading the use of Nubian arches with reinforced concrete. The project is integrated to environmental questions aiming to shorten the carbon emissions and carbon footprint, as well as enhancing the carbon dioxide sequestration. This allows an architecture aligned with contemporary demands regarding the generalization of education and decarbonization.

Keywords: Architecture; Vault; Comfort; School; Sustainable.

SUMÁRIO

Introdução.....	7
Objeto	7
Objetivos	8
Metodologia.....	8
Estrutura	9
Capítulo 1 CONTEXTO DO SENEGAL	11
1.1 A educação rural.....	11
1.2 A construção civil.....	13
1.3 O clima e ambiente	16
1.3.1 O clima	16
1.3.2 As mudanças climáticas	17
1.3.3 O impacte ecológico	19
Capítulo 2 ABÓBADA NÚBIA	21
2.1 Informações gerais.....	21
2.1.1 Técnica construtiva	23
2.1.2 Contextualização no Senegal	30
2.2 Casos de estudo	31
2.2.1 Escola de Déguembéré.....	32
2.2.2 Escola de Kodith	35
2.2.3 Escola Bendiolo de Ndioum	39
2.2.4 Conclusão dos estudos de caso	43
Capítulo 3 ESCOLA RURAL NO SENEGAL.....	45
3.1 Informações gerais.....	45
3.1.1 Contexto.....	45
3.1.2 Proposta nova escola Kafountine	47
3.2 Estruturação projetual	51
3.2.1 Implantação e orientação	51
3.2.2 O módulo	55
3.2.3 A ventilação dos módulos	60
3.2.4 A proteção térmica do módulo.....	63
3.2.5 Utilização de recursos naturais	65
3.3 Logística ecológica e financeira	69
3.3.1 Emissões de Gases de Efeito Estufa	69

3.3.2 Absorção de gás carbônico	72
3.3.3 Viabilidade econômica	74
Considerações finais.....	79
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
ÍNDICE DE IMAGENS	89
ANEXOS.....	91
Edital do concurso público.....	91
Objeto de estudo	105
Complemento projetual.....	108
Logística do objeto de estudo.....	121
Área total de construção	121
Valor do projeto	123
Emissões gases de efeito estufa.....	133
Sequestro CO ₂	139

Introdução

O contexto atual é precário para os jovens Senegaleses, muitos não têm acesso a condições dignas de escolarização, acarretando em um prejuízo ao desenvolvimento futuro do país. A posterioridade é igualmente ameaçada pelo sistema económico de uso intensivo dos recursos naturais¹. Nesse cenário, a arquitetura tem função fundamental na mudança nos métodos construtivos. Tal transformação precisa alcançar a descarbonização, uma melhor integração aos recursos locais, uma fácil execução, conforto ambiental a preços acessíveis.

Com base nestas convicções, o presente trabalho tem como intuito tratar das questões que facilitem a conceção de escolas rurais no Senegal e proporcionem recomendações gerais para novos projetos. Para tal, analisou-se primeiramente o contexto socioeconómico e geoclimático da região e estudos de casos que apresentaram propostas relacionadas. Em seguida, tem-se uma análise projetual da proposta de uma escola a ser construída para quatrocentos alunos no Senegal. Nesta etapa, discute-se o nível de aplicabilidade arquitetónica da técnica de abóbada Núbica com auxílio de estrutura em betão armado, pois, tem-se que essa técnica é normalmente praticada na autopromoção popular, sem a participação de arquiteto, apenas com a simples reprodução das tradições. Assim, o estudo do modo construtivo e de suas obras institucionais já realizadas estabeleceram as bases para a criação de uma nova solução de sala de aula apresentada em concurso.

Objeto

Tendo-se que é possível pensar arquitetura de qualidade que disponha de um baixo impacto ecológico, mas um alto impacto social, a presente tese adotou como objeto de estudo a proposta de projeto dá uma escola no Senegal. O projeto foi apresentado pelo autor e equipa no concurso público *The Earth School Competition, Secondary School in Kafountine*, em 2021, lançado no dia 15 de novembro de 2021, por iniciativa da ONG Kakolum através da parceria com a *Archstroming Architecture Competitions*.

Segundo o edital do concurso (vide anexo), o projeto arquitetónico será uma escola para 400 alunos, localizada na aldeia costeira de Kafountine, construída a partir de técnicas de

¹ WWF; BANQUE AFRIQUE DE DÉVELOPPEMENT - Rapport sur l’empreinté écologique de l’Afrique, Infrastructures vertes sur la sécurité écologique en Afrique. Tunis : [s.n.] (p. 58)

terra crua. Seguindo estes parâmetros, a proposta tem como partido arquitetónico a técnica da abóbada unida a estratégias projetais de conforto térmico com baixo impacto ambiental. Entende-se que estas características garantem a este projeto as condições ideais para ser tido como objeto de estudo para a análise proposta nesta tese.

Objetivos

A presente tese busca discutir criticamente como a arquitetura pode se aliar às técnicas vernaculares tradicionais para estabelecer espaços que sejam positivos em termos de usabilidade, economia e sustentabilidade. O principal objetivo desta análise é impulsionar a transformação na arquitetura do Senegal, demonstrando os potenciais e limites da construção em abóbada Núbia e incorporar os elementos naturais na equação, pois, tal técnica busca uma aplicação e integração no território e destaca a arquitetura como vetor de mudança e inclusão social. Como objetivo secundário, busca-se alcançar, por meio da construção, a valorização e melhoria nas condições atuais dos jovens estudantes Senegaleses. Como citado anteriormente, o projeto desenvolvido sustenta uma análise e reflexão que procuram responder a certas questões como:

- De que forma suprir a carência em infraestrutura básica?
- Como a arquitetura pode revalorizar materiais locais e sua percepção social?
- Qual é o custo financeiro da arquitetura não convencional (Abóbada Núbia)?
- Como a forma e implantação aumentam o conforto ambiental?
- Qual impacto ambiental na construção com abóbada Núbia e betão armado?
- Como a vegetação beneficia o conforto ambiental, possibilita uma atividade económica e mitiga as emissões de gases a efeito estufa?
- De que forma construir e produzir com baixa pegada ecológica?

Metodologia

A construção da tese parte de uma abordagem generalista até a análise de um módulo de sala de aula. Primeiramente, com a intenção de se perceber as necessidades e potenciais do projeto criado, se contextualiza o Senegal, a partir do seu sistema educativo, o direcionamento do modelo económico e sua construção civil, além das características naturais geoclimáticas e os impactos ambientais recentes devido às atividades humanas.

Em seguida, estuda-se o método construtivo da abóbada Núbia em obras institucionais executadas no país, doravante estudos de caso. A coleta de informações a respeito desses casos é diminuta (devido a pouca divulgação técnica dos projetos pelas ONG's responsáveis) dificultando um maior aprofundamento. Entretanto, a partir dessas escolas é possível ver uma evolução nas soluções permitindo responder às normas educacionais em vigor e obter as dimensões usuais dos elementos estruturais.

Complementarmente, a escola rural desenvolvida no quadro do concurso público permitiu analisar a função da composição e forma arquitetônica em relação ao conforto ambiental e serviu de objeto de estudo para calcular:

- A emissão de gases de efeito estufa na construção e manutenção, que permitem ter uma percepção do valor energético incorporado em cada elemento construtivo com base em valores de estudos internacionais, devido a falta de referências nacionais.
- A absorção de gás carbônico, cujo cálculo foi baseado no potencial máximo de sequestro das novas plantas introduzidas e os valores foram obtidos a partir da base de dados de um software de última geração.
- O orçamento com o valor dos elementos construtivos e custo da mão de obra, que foi baseado em dados de uma plataforma Senegalesa de análise de preços de elementos e serviços na construção civil.

Estrutura

O trabalho é composto por uma estrutura tripartida que proporciona uma abordagem independente, porém, complementar. Permite-se assim, uma compreensão mais ampla do objeto de estudo e uma potencialização das questões levantadas anteriormente.

O primeiro capítulo, **Contexto do Senegal**, organiza-se em três subcapítulos: a educação rural, a construção civil e o clima e ambiente. Esse conjunto estimula a percepção dos problemas existentes e a necessidade de mudanças na forma de se projetar, elaborando construções em conformidade com as especificidades e desafios locais.

O segundo capítulo, **Abóbada Núbia**, tem-se dois subcapítulos: informações gerais e análise de casos de estudo. Na primeira, se exemplifica as noções básicas da técnica tradicional até o seu uso normalizado para construção atual. Enquanto nos casos de estudos, procura-se mostrar os três principais tipos de soluções de sala de aula presentes no Senegal.

O terceiro capítulo, **Escola Rural no Senegal**, organiza-se em três subcapítulos: informações gerais, estruturação projetual e logística dos elementos constituintes. Apresenta-se aqui o projeto desenvolvido no concurso e permite-se reflexões a partir dos estudos e análises do aspeto financeiro e ambiental.

Por fim, em **Considerações Finais**, recapitula-se os potenciais e limitações essenciais desta investigação e as conclusões sobre as mesmas.

Em **Anexo**, encontra-se o resultado do projeto apresentado no concurso público usado como objeto de estudo, os cálculos detalhados dos elementos constituintes do projeto e o edital do concurso *The Earth School Competition, Secondary School in Kafountine*.

Capítulo 1 | CONTEXTO DO SENEGAL

1.1 A educação rural

É fato que a educação é primordial para a vida de qualquer ser humano, contudo, atualmente, a situação da rede de infraestrutura escolar está abaixo do necessário para milhões de jovens no mundo, prejudicando fortemente o sistema público de ensino. Segundo o Instituto de Estatística da UNESCO (UIS), em 2018, 258 milhões de crianças, adolescentes e jovens estavam fora da escola, ou seja, cerca de um sexto da população mundial de crianças em idade escolar (6 a 17 anos). Na África subsaariana esses números chegam a cerca de 61 milhões de crianças e adolescentes privado da escola primária e secundária, o que torna esta região com a pior acessibilidade ao sistema escolar formal².

No contexto da República do Senegal, um estudo da agência dos Estados Unidos para o desenvolvimento internacional, realizado em 2016, aponta que entre os 4 milhões de jovens de 6 a 16 anos que o país possui, mais de 300 mil saíram das escolas (desescolarizados), enquanto quase 1,2 milhões de jovens nunca frequentaram. Soma-se, assim, uma parcela de quase 1,5 milhões de crianças à margem do sistema educativo. Em 2019, a média de escolaridade no país era de 3,2 anos, 15 anos a menos que a média apresentada pelos países membros da OCDE (de 17,2 anos segundo o índice OCDE Better Life)³. Por esta razão, no último relatório do programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento⁴, o Senegal foi classificado como um país de baixo desenvolvimento humano e apresenta um sério problema no acesso à educação.

O relatório da USAID de 2017 explica a baixa escolaridade, em parte, por uma oferta insuficiente de salas de aula e até da falta completa de escolas em algumas regiões. A situação é mais grave nas regiões rurais, sendo que mais da metade dos jovens de dezoito anos ou menos viverem em meio rural. Essa precariedade da rede escolar rural é visível em sua arquitetura, pois, em sua maioria são estruturas provisórias sem equipamentos básicos

² UNESCO - New Methodology Shows that 258 Million Children, Adolescents and Youth Are Out of School [Em linha], atual. 2019. [Consult. 25 dez. 2021]. Disponível em WWW:<URL:<<https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/new-methodology-shows-258-million-children-adolescents-and-youth-are-out-school.pdf>>>.

³ BARRY, Michael; SLIFER-MBACKE, Louis - Etude nationale sur les enfants et les jeunes hors du système éducatif au Senegal (2017)

⁴ OCDE - OCDE Better Life Index - Education [Em linha] [Consult. 25 dez. 2021]. Disponível em WWW:<URL:<<https://www.oecdbetterlifeindex.org/pt/quesitos/education-pt/>>.

/pt-br/175180-o-que-sao-mudancas-climaticas>.

adequados. Soma-se a isso, a escassez de infraestrutura básica, por exemplo, 66% das escolas não têm acesso à eletricidade e 22% à água potável⁵ e 26% não dispõem de sanitários. Tal situação gera uma imagem negativa da escola, dificulta a manutenção dos estudantes, reduz sua atratividade e acentua a evasão escolar.



Figura 1 Escola maternal em Saint-Louis, Senegal.

Uma das principais consequências da falta de escolas em zonas rurais é a longa distância da escola ao domicílio. Cerca de 20% das escolas rurais são de difícil acesso, enquanto em áreas urbanas, o número desce para 4%. Esse desequilíbrio do sistema educativo entre o rural e urbano reflete-se na quantidade de salas de aula, infraestruturas básicas, quantidade de professores e nos números dos jovens não escolarizados: 49,2% em zona rural contra 16,8% em área urbana⁶. O que, por sua vez, reflete em uma baixa qualificação da população, com 49,7% das mulheres e 43,9% dos homens sem nenhum nível de instrução⁷.

A partir desta circunstância, podemos constatar a necessidade de se priorizar as zonas rurais, nas quais reside a maior parte da população e apresenta os piores índices de escolaridade. A importância de um projeto arquitetónico de qualidade é relevante na atração e estímulo dos jovens Senegaleses a permanecer e completar seus percursos escolares. Contudo, para aumentar a oferta de escolas rurais de qualidade é preciso transpassar o desafio de alcançar um alto nível de conforto com baixo orçamento. Em outras palavras, uma arquitetura economicamente e ambientalmente sustentável, estando

⁵ PNUD - Rapport sur le développement humain 2020. Élargir l'horizon des populations et de la planète : le développement humain et l'Anthropocène Note d'information à l'intention des pays concernant le Rapport sur le développement humain. Senegal : [s.n.]

⁶ UNESCO - New Methodology Shows that 258 Million Children, Adolescents and Youth Are Out of School [Em linha], atual. 2019. [Consult. 25 dez. 2021]. Disponível em WWW:<URL:<https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/new-methodology-shows-258-million-children-adolescents-and-youth-are-out-school.pdf>>.

⁷ DIOP, Allé Nar; FAYE, Mbaye; SENE, Papa Ibrahima Sylmang - Situation économique et sociale du Sénégal 2017-2018. Dakar : [s.n.] (p. 04).

adequada à realidade financeira do país e aproveitando os recursos técnicos e materiais locais.

Como resposta a esta questão, levanta-se aqui uma das possíveis estratégias para conceber essas estruturas com qualidade é a conceção de projetos bioclimáticos e modulares. Esta proposta responde a uma necessidade de conforto ambiental de baixo custo e a possibilidade de extensão capaz de absorver o aumento populacional constante. Além disso, é possível saciar as necessidades elétrica e hídrica a partir das energias alternativas, com os métodos de captação e potabilização da água, e implementação de latrina seca e fossa séptica. Por fim, vale considerar que o reuso e a otimização dos materiais construtivos, mão de obra e técnicas locais, podem permitir uma maior integração do elemento arquitetónico novo e a comunidade na qual ele se insere.

1.2 A construção civil

Para que seja possível propor uma arquitetura coerente ao seu contexto, é preciso antes debater sobre as formas de construir no Senegal. Sabe-se que, atualmente, a construção civil no país é estruturada maioritariamente pela autopromoção em detrimento da autoconstrução⁸. Essas duas práticas, que dominam o mercado interno, principalmente em zona rural, conseguem, um custo de fabricação muito competitivo, o que possibilita a inovação necessária para se adaptar às realidades socioeconómicas locais. Estimula-se, assim, uma construção civil que explora técnicas e materiais de construção não convencionais, mesclando desde materiais locais, industriais, reuso ou reciclagem⁹.

De modo geral pode-se dizer que, atualmente, o Senegal tem uma construção civil que mescla as técnicas tradicionais de arquitetura vernacular com a indústria nacional. Há uma variedade de soluções e métodos construtivos, entretanto, nota-se um contraste entre as áreas urbanas com predominância em elementos industriais e as áreas rurais com destaque a elementos naturais. A análise do Censo Geral da População, Habitação, Agricultura e

⁸ A diferença entre esses métodos de organização construtiva resume-se em que o cliente na autoconstrução participa do canteiro de obras com sua mão de obra, e enquanto na autopromoção, o cliente gerência a obra (fornecimento de materiais, o projeto do edifício, o recrutamento de artesãos e o monitoramento do local). **JARNO, Bruno** - Étude portant sur la technologie Voûte Nubienne comme modèle de construction. Dakar : [s.n.] (p. 16).

⁹ **DEJEANT, Florie; GARNIER, Philippe; JOFFROY, Thierry** - Matériaux locaux, matériaux d'avenir: Ressources locales pour des villes et territoires durables en Afrique [Em linha], atual. 2021. [Consult. 24 set. 2022]. Disponível em

WWW:<URL:<https://www.researchgate.net/publication/353508207_Materiaux_locaux_materiaux_d_avenir_Ressources_locales_pour_des_villes_et_territoires_durables_en_Afrique>. (p. 38).

Pecuária de 2013, liderado pela Agência Nacional de Estatísticas e Demografia (ANSD), permite a compreensão deste cenário construtivo do país a partir do diagnóstico dos materiais e elementos usados. É possível visualizar, com base nos gráficos abaixo (Gráficos 1, 2 e 3) que a situação varia conforme a região do país, influenciadas pelo desenvolvimento e disponibilidade dos recursos¹⁰. Entretanto, é notável que as práticas construtivas dos centros urbanos possuem uma influência significativa nas tendências nacionais. Percebe-se também que nos últimos anos, houve um crescimento do uso de coberturas industriais (zinco, chapas onduladas ou deck de aço e lajes de betão armado) enquanto há uma redução nas coberturas tradicionais (fibra vegetal).

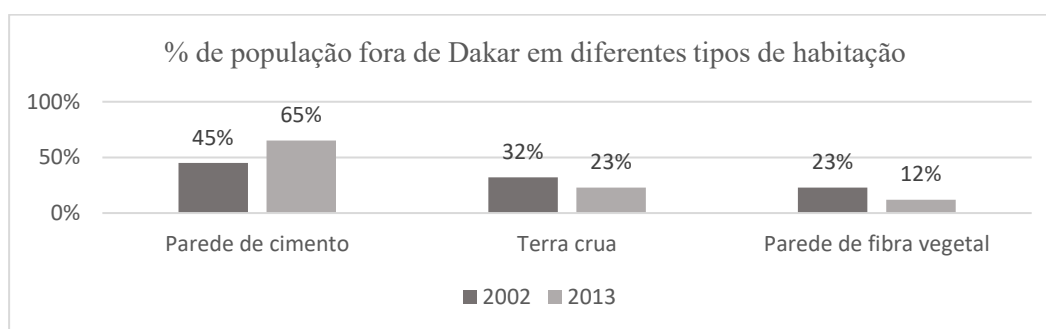


Gráfico 1 Percentagem de população fora de Dakar em diferentes tipos de habitação.

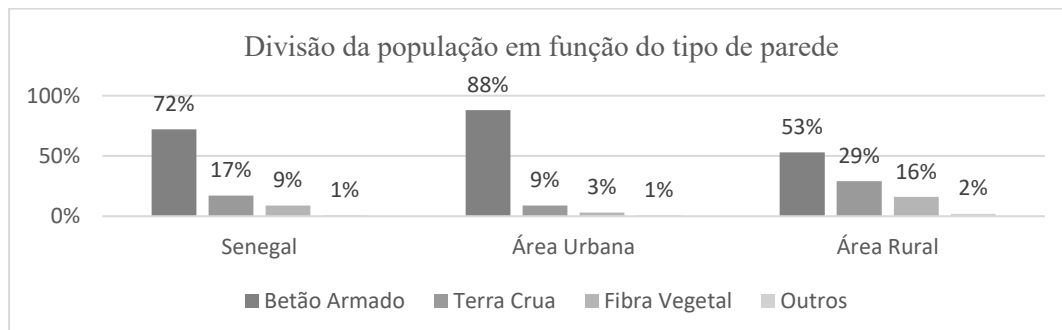


Gráfico 2 Divisão da população em função do tipo de parede.

¹⁰ DEJEANT, Florie; GARNIER, Philippe; JOFFROY, Thierry - Matériaux locaux, matériaux d'avenir: Ressources locales pour des villes et territoires durables en Afrique [Em linha], atual. 2021. [Consult. 24 set. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://www.researchgate.net/publication/353508207_Materiaux_locaux_materiaux_d'avenir_Ressources_locales_pour_des_villes_et_territoires_durables_en_Afrique>. (p. 38).

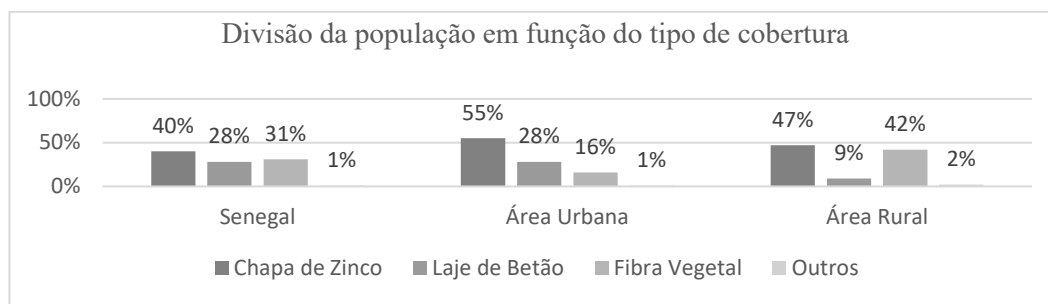


Gráfico 3 Divisão da população em função do tipo de cobertura.

Historicamente, as técnicas construtivas tenderam a se adaptar e modificar para atender as demandas de conforto. Dentre estas, a arquitetura vernacular, baseada em materiais naturais, conseguiu adaptar-se às diferentes demandas de conforto socioambiental ao longo tempo, apesar de confrontada com os desafios geoclimáticos e a limitação de materiais artificiais¹¹. A partir da revolução industrial, contudo, novos materiais de construção foram se popularizando, como o ferro fundido, estruturas de vidro, betão armado e aço, o que facilitou a velocidade de construção demanda pelo acelerado crescimento populacional, além de se responder a escassez de materiais naturais locais.

Todavia, a industrialização da construção civil no país impulsionou a desvalorização nacional dos materiais tradicionais locais, antes muito utilizados, como terra, pedra e tijolo cozido. Segundo o engenheiro Doudou Dème: *Continuamos a seguir uma lógica que não é nossa, de produzir edifícios que não se adaptam aos nossos climas, sem sequer imaginar que é possível construir com os nossos próprios materiais. Achamos que não será moderno*¹². Esse pensamento estimulou os Senegaleses a construir com materiais industriais no estilo *ocidental* mesmo que esses sejam mais caros, desconfortáveis e destrutivos.

Esta análise dos materiais construtivos usados no Senegal permite entender as possibilidades atuais da produção do setor construtivo quanto a quantidade e disponibilidade dos recursos, suas aplicações e seus desafios. Sabe-se que a economia do país é muito atrelada ao modelo de exploração das matérias-primas e posterior industrialização, e que a tendência é de um constante crescimento deste modelo. Contudo, para as realidades contemporâneas, esta situação é inadaptada. Tal modelo impacta diretamente e indiretamente na destruição das florestas, praias, pedreiras, além de exigir

¹¹ Materiais naturais como pedra madeira e terra e materiais artificiais como agramassa de cal e betão.

¹² FROCHAUX, Marc - (Re)lan-cer la fi-lière terre au Sé-né-gal [Em linha], atual. 2022. [Consult. 24 jul. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://www.espazium.ch/fr/actualites/relancer-la-filiere-terre-au-senegal>.

um alto consumo energético na produção dos elementos industriais, tendo como consequência desastres ecológicos de alto impacto e um alto custo ambiental¹³.

1.3 O clima e ambiente

1.3.1 O clima

O Senegal localiza-se na região do Sahel, na faixa meridional do Saara e com um clima variado, tanto do norte em comparação ao sul e entre o litoral e interior do país. Entretanto, o clima é predominantemente desértico, árido e quente ou semidesértico, semiárido quente, com especificidade de um clima tropical de savana, clima de savana, na parte sudoeste¹⁴. A variação de temperatura não se altera muito no decorrer do ano, as médias mensais são superiores a 18 °C todos os meses do ano. Mas as diferenças térmicas são mais predominantes e contrastadas entre o interior e a região costeira. Quanto mais se distancia do litoral, mais as temperaturas médias e máximas se acentuam¹⁵.

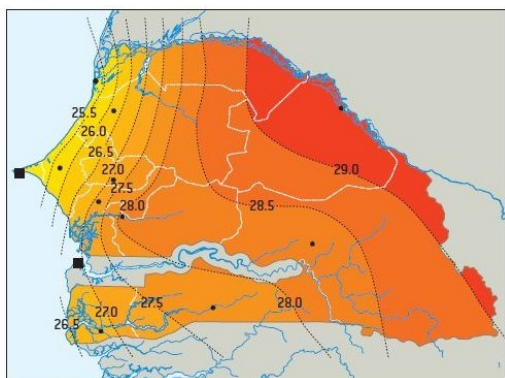


Figura 2 Disposição espacial das temperaturas médias no Senegal (C°).

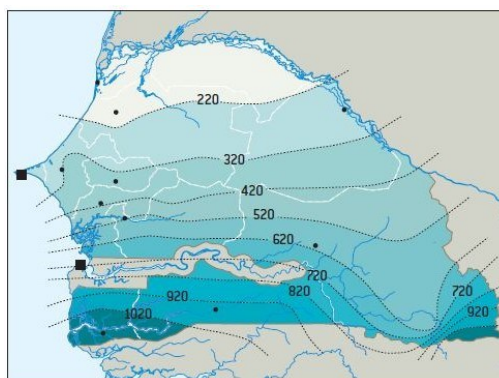


Figura 3 Precipitações anuais médias no período 1971-1990 (mm/ano).

Ao longo do ano, há duas estações principais que marcam o clima do país: a chuvosa e a de estiagem. A estação de chuva, de junho a outubro, com aumento de precipitações em todo país, sendo no norte, por um período mais curto e, no sul, por um período mais prolongado e mais abundante. Entretanto, as precipitações são bastante inconstantes ao

¹³ A indústria da construção civil nacional tem o potencial de atender parte significativa do setor, com a extração de areia, pedras, fibra vegetal, terra, madeira, além da fabricação de cimento, aço, betão, cal, agregados, azulejo e telhas em fibrocimento, zinco, aluzinco e alumínio. Desta forma, aos materiais importados se resumiriam principalmente aos acessórios eletrônicos, sanitários, alumínio e produtos derivados de alumínio, as cerâmicas, o vidro, os produtos de vidro e a madeira e seus derivados. **CISSE, Oumar** - PROFIL DU SECTEUR DU LOGEMENT AU SÉNÉGAL. Nairobi : ONU, 2012. (p. 03).

¹⁴ **KOTTEK, Markus et al.** - World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*. (2006). (pp.259-263).

¹⁵ **JOFFROY, Thierry et al.** - Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal. Grenoble : [s.n.] (p. 12).

longo de um ano. No restante do período, há a estação sem-chuva, de novembro a maio, no qual, o país se torna muito seco. Este fenômeno é atenuado nas regiões costeiras que conseguem manter uma humidade relativa elevada, no ar ambiente por conta do mar. Em relação a ventilação, há três massas de ar principais, os quais, a circulação é facilitada, por uma topografia predominantemente plana, que determinam as condições climáticas do país¹⁶.

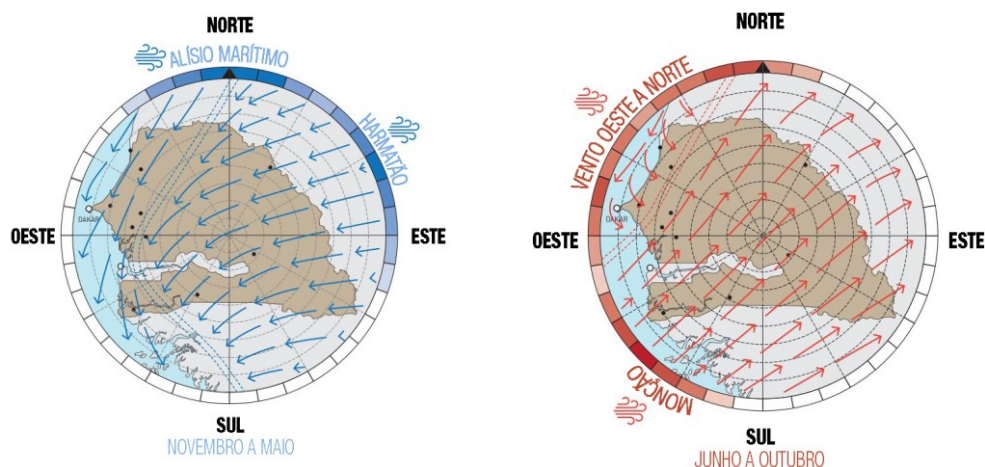


Figura 4 Direção dos ventos predominantes no Senegal.

1.3.2 As mudanças climáticas

Sabe-se que as mudanças climáticas¹⁷, decorrente das emissões globais de Gases de Efeito Estufa (GEE) passaram de 36 GtCO_{2eq.} em 2000 para 51 GtCO_{2eq.} em 2018¹⁸. No Senegal, também se registou um aumento das emissões totais de GEE nas últimas duas décadas¹⁹. Dentro desse cenário, o setor da construção civil mundial é responsável por 21% das emissões globais de GEE²⁰, no Senegal apesar deste setor ser um dos mais dinâmicos

¹⁶ O vento alísio marítimo de direção norte, nordeste a norte noroeste, que sopra constantemente humidade e traz um frescor hibernal. Sua zona de influência é principalmente no litoral e acaba perdendo força ao sul. O alísio é forte de novembro a maio. O vento harmatão, sopra da direção norte-este a este-nordeste, sendo fresco à noite e quente durante o dia. Geralmente, transporta poeira e areia fina do deserto do Saara. Influenciando principalmente o interior do país. Já a monção, vento sazonal, que sopra do Sudeste traz a chuva ao litoral e perde força no interior do país. Sendo extremamente influente no sul do Senegal. **JOFFROY, Thierry et al.** - *Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal*. Grenoble : [s.n.] (p. 12).

¹⁷ As mudanças climáticas são transformações a longo prazo nos padrões de temperatura e clima do nosso planeta. Desde 1800, a atividade humana com as emissões de GEE são os principais responsáveis por tal mudança: **ONU** - O que são as mudanças climáticas? [Em linha], atual. 2022. [Consult. 26 jul. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://brasil.un.org>.

¹⁸ **CRIPPA, Monica et al.** - GHG emissions of all world countries - 2021 Report, EUR 30831 EN. Luxembourg : [s.n.]

¹⁹ Aumento de emissões de GEE de 13,42 MtCO_{2eq.} no ano 2000 para 25,32 MtCO_{2eq.} em 2018. Se considerarmos apenas o CO₂, foram emitidos 10 MtCO₂ em 2020. **CRIPPA, Monica et al.** - GHG emissions of all world countries - 2021 Report, EUR 30831 EN.

²⁰ Dentro desse setor, 57% das emissões de GEE dos edifícios foram emissões indiretas de CO₂ através da geração de eletricidade e aclimação do ambiente; 24% foram emissões diretas de CO₂ produzidas no local e

da economia do país²¹, esse aporta diretamente com 4,5% das emissões do país (sem contar com as contribuições no consumo indireto na utilização)²². Porém a tendência é de aumento nesse setor e nos demais: de habitação, geração de energia, transporte e outras indústrias registaram um aumento de 41% nos últimos dez anos, o que tem dificultado a redução de emissões pretendida pelo país²³.

Diante desses fatos, para atingir a neutralidade carbônica pretendida é preciso que a arquitetura também disponha a preocupação com esta problemática em todas as suas fases. Desde projeto, a construção, utilização, absorção e fim de vida²⁴.

É importante ressaltar que, contrariamente a outras regiões do mundo, na África em geral, se emite principalmente no momento da construção, com a importação e produção de materiais com forte energia incorporada (como cimento, aço, tijolos queimados)²⁵. Por esse motivo, se faz necessário uma ênfase na eficiência nos materiais, com soluções como a redução do peso das estruturas ou substituição de materiais convencionais por alternativas de baixo carbono, além de priorizar materiais locais, com fabricações eficientes, reutilização e recuperação, tentando minimizar seu impacto na construção e estendendo ao máximo a vida útil. No Senegal, diferentemente dos países desenvolvidos, os materiais de construção já são o principal desafio²⁶.

18% foram da produção de cimento e aço usado para construção. Retirando as emissões de halocarbono, CH₄ e N₂O e considerando apenas as emissões de CO₂ a construção civil em 2019 representou 31% do total global emissões de CO₂. O uso de energia em edifícios residenciais e não residenciais contribuiu com 50% e 32% respectivamente, enquanto as emissões incorporadas contribuíram com 18% para as emissões globais de CO₂ dos edifícios. **SKEA, Jim et al.** - Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change - WORKING GROUP III CONTRIBUTION TO THE IPCC SIXTH ASSESSMENT REPORT

²¹ Construção civil se mantém importante apesar da redução na contribuição ao PIB nos últimos anos. **CRIPPA, Monica et al.** - GHG emissions of all world countries - 2021 Report, EUR 30831 EN. Luxembourg : [s.n.]

²² O consumo de utilização representa 28,89% das emissões de GEE, 23,3% deriva da geração de calor para cozimento (por meio da queima de carvão de madeira) e 14,9% da eletricidade.

²³ Aumento de 14 897 Gg CO₂eq em 2010 para 21 028 Gg CO₂eq em 2020.

²⁴ **INTERNATIONAL ENERGY AGENCY** - Material efficiency in clean energy [Em linha], atual. 2019. [Consult. 3 ago. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://www.iea.org/reports/material-efficiency-in-clean-energy-transitions>.

²⁵ Mesmo diante da crescente demanda por refrigeração dos edifícios, que com o tempo, deve aumentar consideravelmente as emissões de gases a efeito estufa, na fase de utilização dos edifícios (GEE) O continente africano ainda representa uma pequena parcela das emissões globais. **DEJEANT, Florie; GARNIER, Philippe; JOFFROY, Thierry** - Matériaux locaux, matériaux d'avenir: Ressources locales pour des villes et territoires durables en Afrique [Em linha], atual. 2021. [Consult. 24 set. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://www.researchgate.net/publication/353508207_Materiaux_locaux_materiaux_d'avenir_Ressources_locales_pour_des_villes_et_territoires_durables_en_Afrique>. (p. 42).

²⁶ Nos países desenvolvidos a fase de utilização ainda é principal preocupação que só será revertida para a construção quando as preformas energéticas, com energias renováveis ou equipamentos de baixo consumo energéticos forem surgindo, atrelados as técnicas construtivas de alta proteção térmica. Que permitirão que a fase de utilização perderá em emissões de GEE produzida no setor da construção civil e consequentemente a participação das emissões incorporadas da produção de materiais aumentará. **MUNDACA, Luis; ÜRGES-VORSATZ, Diana; WILSON, Charlie** - Demand-side approaches for limiting global warming to 1.5 °C. *Energy Efficiency*. (2019). (pp343-362)

Sabendo-se que técnicas construtivas que se adequem ao clima e temperatura local permitem prevenir o futuro consumo de energia para refrigeração artificial mesmo que a edificação tenha excelentes performances energéticas, é adequado reduzir ao máximo as emissões potenciais da fase de utilização. Portanto, o desenvolvimento de um projeto deve conter estratégias Bioclimáticas visando um alto conforto²⁷.

Somado a estas medidas construtivas, é benéfico que o setor da construção seja associado a absorção biológica das emissões, introduzindo mais cobertura vegetal nos projetos. Porém, observa-se uma tendência inversa: as florestas estão diminuindo em conjunto com sua capacidade de sequestro de CO_{2eq}.²⁸. Infelizmente, nota-se que sem associar essa capacidade natural de purificar o ar e absorver emissões excedentes é pouco provável que o país alcance uma neutralidade nas emissões de GEE. A inclusão de árvores como programa de base nos projetos arquitetônicos é fundamental para reverter tal situação.

1.3.3 O impacto ecológico

As mudanças climáticas, decorrente dessas emissões, é um fenómeno mundial que atinge a todos independentemente da região geográfica no globo. Entretanto conforme o desenvolvimento do seu país, os efeitos danosos são ressentidos assimetricamente conforme o nível de preparo nas infraestruturas de resiliência, deixando os países em desenvolvimento ainda mais vulneráveis às catástrofes naturais. Sobre esta problemática há inúmeros desafios a se enfrentar a curto, médio e longo prazo no Senegal. Estudos apontam que em 2025 haverá uma situação de maior vulnerabilidade devido à redução de mais metade da disponibilidade de água doce por habitante. Até 2030 haverá uma redução em 30% das precipitações, um aumento das temperaturas médias e do nível do mar. A aceleração dos efeitos das alterações climáticas nos países do Sahel coloca cada vez mais a questão da resiliência da população a estes desafios²⁹.

²⁷ “Estratégias Bioclimáticas são alternativas ou soluções que influenciam a edificação, assim como, o seu processo e sistema construtivo, a forma, os materiais e os componentes construtivos.” HARADA, Magali - Estratégias Bioclimáticas [Em linha] [Consult. 22 ago. 2022]. Disponível em WWW:<URL:http://bioclimatismo.com.br/arquitetura-bioclimatica/estrategias-bioclimaticas/#:~:text=Estratégias Bioclimáticas são alternativas ou,materiais e os componentes construtivos.>.

²⁸ No Senegal, as florestas, estão reduzindo sua capacidade de sequestrar, passando de 10528 tCO_{2eq} em 2000, para 7729 tCO_{2eq} em 2020. MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA PROTECTION DE LA NATURE - Deuxieme communication national du Sénégal - Convention Cadre des Nations-Unies sur les changements Climatiques. Dakar : [s.n.] (p. 49).

²⁹ A redução de água doce por habitante de 4.500 m³ para cerca de 2.000 m³ por ano. Aumento das temperaturas médias de +1,1 a 1,8 °C e aumento do nível do mar de 1,4 mm por ano. HOTT, Amadou - Document de Stratégie Conjointe EU - Sénégal 2018-2023 (révisé pour 2021-2023). Dakar : [s.n.] (p. 20 e 21).



Figura 5 Desmatamento destruindo fauna e tornando a terra árida. Kafountine, Senegal.

Percebe-se que o país tem diversos desafios ambientais identificados, e a atividade humana vêm os agravar. A urbanização, desmatamento, superexploração de produtos florestais madeireiros, práticas agrícolas intensivistas, a extração de matéria-prima incêndios florestais estão contribuindo para a redução da cobertura vegetal³⁰, salinização e acidificação dos solos, degradação físico-biológico da terra (34% da área total), desertificadas áreas, destruição dos ecossistemas, reduzindo as espécies. A gestão dos resíduos domésticos, industriais e químicos, assim como a falta de saneamento básico contamina os solos. Outro desafio é a preservação dos mais de 700 Km de costa marítima que sofre do impacto direto da elevação do nível do mar, acentuando a erosão costeira, destruindo a infraestruturas, salinização dos recursos hídricos³¹. O aumento do mar representa um risco a autossuficiência alimentar do país, que em 2019 já tinha 94% de terras agrícolas de sequeiro e com a infiltração salina nas terras agrícolas, o risco é de perder 66% do total de terra aráveis³².

As consequências do aquecimento global, estão contribuindo igualmente para o aumento do consumo energético para o resfriamento nos edifícios que consequentemente levará a um aumento de produção de emissões de GEE. O consumo elétrico dos aparelhos de ventilação e climatização estão representando 20% do consumo elétrico do país³³ e a estimativa é de nefasto aumento com a instalação de novos aparelhos de resfriamento³⁴, que irão continuar a prejudicar os esforços na luta climática.

³⁰ **MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA PROTECTION DE LA NATURE** - Deuxieme communication national du Sénégal - Convention Cadre des Nations-Unies sur les changements Climatiques. Dakar : [s.n.] (p. 34).

³¹ **MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA PROTECTION DE LA NATURE** - Deuxieme communication national du Sénégal - Convention Cadre des Nations-Unies sur les changements Climatiques. Dakar : [s.n.] (p. 34).

³² **HOTT, Amadou** - Document de Stratégie Conjointe EU - Sénégal 2018-2023 (révisé pour 2021-2023). Dakar : [s.n.] (p. 20 e 21)

³³ **SOW, Elhadji Mansour et al.** - Bâtiment et energie. Paris. 2021).

³⁴ A instalação de aparelhos de resfriamento com aumento de 14% no período de 2020 a 2039 e de 45% entre 2040 e 2050. **OUEDRAOGO, Bachir Ismael** - Climate change, renewable energy and population impact on future energy demand for Burkina Faso built environment. [S.l.] : University of Manchester, 2012

Capítulo 2 | ABÓBADA NÚBIA

2.1 Informações gerais

A abóbada Núbia é um método construtivo de coberturas abobadadas com tijolo cru e ausência de cimbragem na execução, desenvolvido a mais de 3 mil anos na Núbia, na atual região do Alto Egito³⁵. A técnica de construção, evidenciada por arqueólogos, permitiu fornecer a civilização faraônica, uma inovação tecnológica que cobrisse grandes volumes, executado rapidamente e com economia de materiais³⁶. Historicamente desconhecido de outras regiões africanas, a técnica foi revivida na década de 40 pelo arquiteto egípcio Hassan Fathy, que tentou criar uma vila inteira como esta técnica nas margens do rio Nilo³⁷. A ONG *Development Workshop* identificou esse procedimento, nos anos 80, por ter um alto potencial para responder aos graves problemas de falta de infraestrutura e habitação das populações da África saheliana e sub-saheliana. O conceito técnico das abóbadas consolidou-se a partir de 1998 com a *Association Voûte Nubienne* (AVN) que simplificou, normatizou e adaptou para popularizar e facilitar a construção e a divulgação. A metodologia foi revista a fim de permitir a utilização em locais de fortes precipitações pluviais sazonais, como nas regiões sahelianas e sub-sahelianas³⁸. No seu esforço de propagação da técnica a AVN desenvolveu um manual detalhado com os conceitos da técnica para os profissionais da construção civil. Desde o ano 2000, a técnica da abóbada Núbia permitiu desenvolver um mercado de construção sustentável, acessível, confortável e adaptado às mudanças climáticas. Possibilitou criar empregos em coerência com as tradições e as questões ecológicas, permitindo reforçar a formação e dinamismo das economias locais.

³⁵ **LA VOÛTE NUBIENNE** - Le concept technique - La Voûte Nubienne [Em linha] [Consult. 12 jul. 2022]. Disponível em WWW:<URL:<https://www.lavoutenubienne.org/-le-concept-technique>>.

³⁶ **MONNIER, Franck** - La voûte « nubienne » à l'époque pharaonique (conception et construction). *GM*. 247:2015) 72–84.

³⁷ A vila nunca foi realizada, mas sua abordagem foi documentada no seu livro *Architecture for the Poor*, que criou um novo interesse na técnica. **LEWIS, Jori** - The Future of Mud [Em linha], atual. 2022. [Consult. 31 jul. 2022]. Disponível em WWW:<URL:<https://www.theatlantic.com/science/archive/2022/07/senegal-dakar-construction-mud-architecture/661405/>>.

³⁸ **JARNO, Bruno** - Étude portant sur la technologie Voûte Nubienne comme modèle de construction. Paris : [s.n.] (p. 17).



Figura 6 Sôtões construídos em abóbada Núbia. 1300 a.C. Templo de Ramesseum, Egito.

No último relatório da associação, de 2019-2020 o método construtivo iniciado em Boromo, no Burkina Faso estendeu-se por mais de 1369 locais espalhados em 6 países do Oeste da África³⁹, tendo 25 divulgadores da técnica na região, assim como 949 profissionais especializados atuando e construindo mais de 4.250 obras. Promovendo um desenvolvimento local com um alto crescimento⁴⁰ e ainda permitindo um potencial de economia em emissões de GEE⁴¹.

Os preços da construção têm variações significativas conforme a disponibilidade dos recursos, mão de obra e a realidade económica das regiões. A AVN criou uma estimativa conforme os diferentes perfis de clientes: clientes privados de área rural, clientes privados, obras públicas ou comunitárias. O custo estimado para um edifício público é de 120 a 190 euros o metro quadrado, podendo ser reduzido em 40% do valor, com o aporte de mão de obra voluntária não qualificada e materiais locais. Comparativamente, o custo da edificação em abóbada Núbia é de 20 a 30% mais barato que um edifício em blocos de cimento e telhado em chapa metálica, e 30 a 45% mais barato que um edifício em bloco de cimento e laje de betão. Somado a isso, pode-se contabilizar as potenciais economias ligadas a energia, devido aos benefícios de conforto térmico⁴².

³⁹ Mali, Senegal, Gana, Benim, Mauritânia e Burkina Faso.

⁴⁰ Crescimento médio nos últimos 10 anos de 21% anual. Totalizando 143.200 m² de área executada e beneficiando 44.200 pessoas.

⁴¹ 117.300 tCO_{2eq}. emissões de GEE a menos. **LA VOÛTE NUBIENNE** - Rapport d'activité saison 2019-2020 (p. 07).

⁴² **LA VOÛTE NUBIENNE** - Estimatifs des coûts de construction Voûte Nubienne selon les différentes typologies de client. [s.d.].

2.1.1 Técnica construtiva

O método é interessante pela sua facilidade de execução, sem demandar equipamentos, competências ou materiais complexos. A técnica egípcia se referia exclusivamente a cobertura em abóbada, entretanto, muito por conta da AVN, atualmente, quando se refere a abóbada Núbia, se inclui, para além da cobertura, os outros elementos da construção: Paredes, fundações, escadas, aberturas, impermeabilizantes e revestimentos, englobando um método completo de construção.



Figura 7 Peneirando o solo.



Figura 8 Produção de blocos de banco.

A matéria-prima base da técnica é a terra crua (sem cozimento)⁴³, utilizada para o fabrico de argamassa e do banco (tijolo cru). A preparação desses elementos prevê a extração e peneiração do solo, o que reduz a presença de matéria orgânica e agregado rochoso para, em seguida, ser embebida em água e pisoteada, no mínimo 24 horas antes de ser usada. Isso permite a absorção da humidade, além de haver a possibilidade de se usar uma manta de plástico para evitar que a terra seque. Quanto mais a terra for pisoteada melhor ficará a pasta de terra maleável. A argamassa terá quantidades de acréscimo de água variada conforme o tipo de utilização. Já o banco é obtido após a pasta de terra crua ser posta em moldes paralelepípedicos, geralmente de madeira, e secado ao sol.

⁴³ SILVA, Cláudia Gonçalves Thaumaturgo Da - Conceitos e preconceitos relativos às construções em terra crua. Rio de Janeiro : Fundação Oswaldo Cruz. Escola Nacional de Saúde Pública Ser, 2000. (p. 08).

Usualmente fabrica-se duas dimensões de blocos de banco com funções distintas: o maior para a parede e o menor para a abóbada⁴⁴. O processo de secagem ao sol precisa de uma organização prévia, preparando um espaço com solo plano para aplicação da terra crua em moldes. Nessa etapa, após compactação da terra nos moldes e alisamento da superfície é preciso “arranhar” delicadamente com os dedos para permitir uma melhor aderência no momento de aplicação da argamassa entre os blocos⁴⁵. Após o tempo de secagem, esses são removidos dos moldes, raspados e limpos antes de passar por um controle de resistência. Os blocos grandes, são dispostos acima de dois outros, separados por 30 cm para que uma pessoa (de peso médio) suba e teste a resistência, caso não houver rutura, o lote produzido será aprovado⁴⁶.



Figura 9 Construção da cobertura em abóbada Núbia.

A cobertura se assemelha a volumetria da abóbada de berço, ou seja, cilíndrica, mas diverge na técnica de construção, pois usa-se apenas bancos paralelepípedos, calcados e articulados com argamassa e cacos, sem tijolos cortados ou moldados em forma de aduelas⁴⁷. Os bancos da cobertura são leves e rugosos devido aos arranhões feitos, o que ajuda a manter uma boa superfície de contato e reduzir o risco de queda na aplicação destes. Esta técnica permite o aumento na velocidade na execução, pois não é preciso esperar que

⁴⁴ O banco de parede precisa de 4 dias para secar devido às suas maiores dimensões 38x17x15 cm, enquanto o banco aplicado na abóbada precisa de apenas 2 dias para secar, pois suas menores dimensões são de apenas 25x15x5cm. Entretanto, o banco de abóbada necessita de uma terra de melhor qualidade e com maior trabalho prévio. **HARDY, Mathieu** - Manuel du maçon nubien - Règles professionnelles du Concept Technique Voûte Nubienne. 2. ed. Bordeaux : La Voûte Nubienne, 2018. (p. 10,12 e 15).

⁴⁵ **SPENCER, A. Jeffrey**. - Brick architecture in Ancient Egypt. Warminster : Aris and Phillips, 1979. ISBN 0856681288. (p. 142).

⁴⁶ **HARDY, Mathieu** - Manuel du maçon nubien - Règles professionnelles du Concept Technique Voûte Nubienne. 2. ed. Bordeaux : La Voûte Nubienne, 2018. (p. 10,12 e 15).

⁴⁷ **MONNIER, Franck** - La voûte « nubienne » à l'époque pharaonique (conception et construction). GM. 247:2015) 72-84.

a argamassa seque para a estrutura se autoestabilizar⁴⁸. A construção da abóbada é realizada em seções inclinadas, ancoradas em uma parede transversal e tendo seu arranque em duas estruturas paralelas longitudinais, vigas de betão ou paredes de banco. Há dois métodos para o início da seção: com a primeira seção a formar um arco de meia-volta na vertical, e as seguintes inclinam-se gradualmente por juntas mais grossas na base; ou já se inicia com as seções inclinadas e a argamassa vai preenchendo verticalmente. Nos dois métodos os arcos de bancos são formados sucessivamente, cada um apoiado no anterior e intercalando os blocos, construindo a abóbada até a parede transversal do outro extremo⁴⁹.

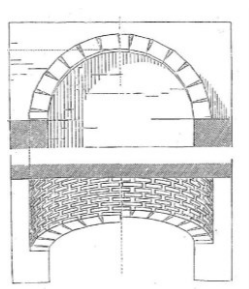


Figura 10 Vista frontal e superior da abóbada Núbica.

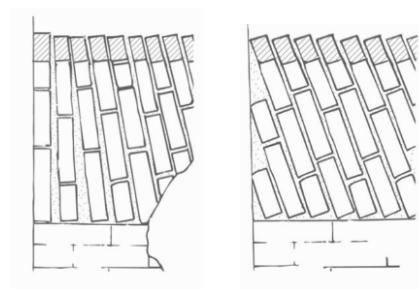


Figura 11 Dois métodos de início de seção da abóbada Núbica.

Como não há necessidade de cimbragem no processo, há uma redução do consumo de materiais de suporte. Contudo, para manter a equidistância do arco instala-se um cabo no centro da parede transversal e na altura da estrutura de apoio dos arcos, assim, com o uso de um segundo cabo com a metade do diâmetro do arco é possível verificar as distâncias (figuras 12 e 13). Após a conclusão da abóbada é preciso constituir dois contrafortes no

⁴⁸ GOYON, Jean Claude. *et al.* - La construction pharaonique du moyen empire à l'époque gréco-romaine : contexte et principes technologiques. Paris : Picard, 2004. ISBN 2708405039. (p. 125-130).

⁴⁹ CHOISY, Auguste - L'Art de bâtir chez les Egyptiens. (1904). (p. 46-47).

extradorso do arco, suportados pelas estruturas laterais até nivelar e constituir uma laje praticamente plana e com potencial para construção de um segundo pavimento (figura 6).

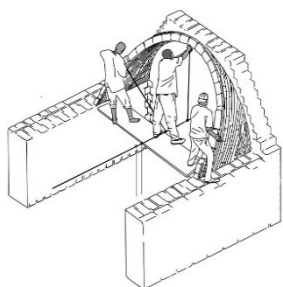


Figura 12 Seções iniciais de arcos.

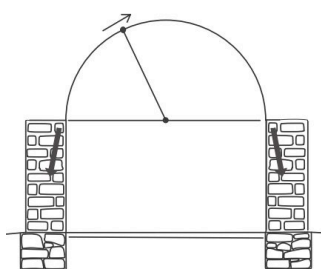


Figura 13 Cabo guia controle do raio do arco.

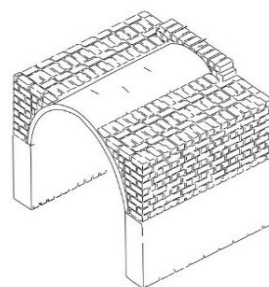


Figura 14 Contrafortes no extradorso do arco.

As paredes são constituídas por blocos grandes de banco, que podem ter diferentes dimensões dependendo das suas funções e da disposição no qual os bancos tiverem sido assentados⁵⁰. Nas paredes transversais, a parede é levemente inclinada (1 cm) para dentro a partir da altura da estrutura de apoio dos arcos. A disposição dos blocos deve ser invertida de uma fiada para outra, tendo cuidado no encontro de paredes; pode ser necessário usar blocos com $\frac{3}{4}$ da dimensão usual (28,5x17x15cm) para manter uma paginação adequada⁵¹.

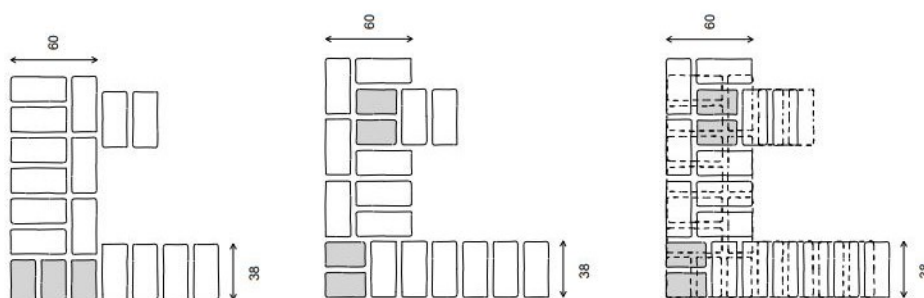


Figura 15 Modelos de paginações com fiadas consecutivas variadas.

As fundações acompanham as paredes, tendo 10 cm a mais de espessuras. Ou seja, se uma parede estrutural longitudinal tiver 80 cm, a fundação terá 90 cm de espessura e sua profundidade varia conforme o tipo de solo⁵². As fundações mais usuais são: pedras locais

⁵⁰ As paredes longitudinais que suportam as cargas estruturais da cobertura variam entre 60 a 80 cm de espessura, enquanto que as paredes transversais, onde pousa o arco da cobertura, podem ser reduzidas a apenas 38 cm e as paredes de divisórias internas à 17 cm.

⁵¹ A composição das paredes se deve não só aos bancos, mas igualmente às argamassas, com juntas verticais de 4 cm e horizontais de 2 cm.

⁵² A profundidade da fundação têm entre 40 a 80 cm em parede estrutural e 30 em paredes divisórias internas.

selvagens, preenchidas com pedras e terra, ou por terra molhada e mesclada a 20% de pedras e compactada com pilão, ou reforçada com betão⁵³.



Figura 16 Fundações em pedra selvagem.



Figura 17 Paredes em blocos de banco.

As escadas são ancoradas às paredes externas, idealmente construídas no mesmo momento, mas caso seja construído a posteriori será necessário cavar pontos de ancoragem para que a escada fique presa ao edifício. O bloco de parede é utilizado na estrutura e só é reforçado nos degraus para previne desgastes de uso⁵⁴.

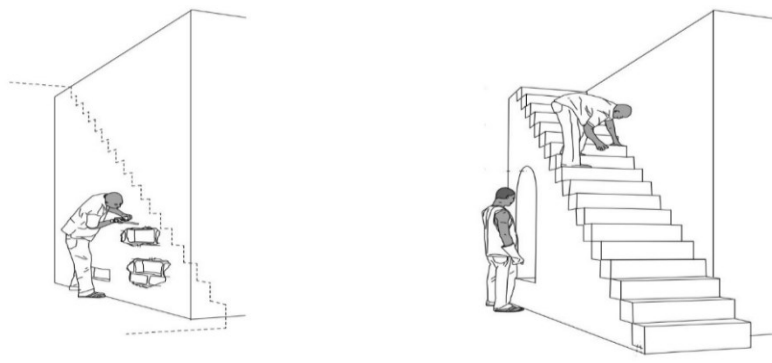


Figura 18 Acréscimo de escada em edificação existente.

Os revestimentos recomendados pela AVN são os tradicionais, sendo imperativo seu uso na parte externa da edificação enquanto internamente há flexibilidade do tipo a ser usado. A cobertura, com um revestimento de terra de qualidade, bem executado e com rápida evacuação das águas pluviais consegue resistir a áreas de forte chuva⁵⁵. Porém é

⁵³ LA VOÛTE NUBIENNE - Rapport d'activité saison 2018-2019 (p. 27 -37).

⁵⁴ Idem, (p. 77).

⁵⁵ NORTON, John; TUNLEY, Peter - Vulgarisation de la construction de voutes et coupoles au sahel. Niamey : [s.n.]. (p. 50).

recomendada um acabamento de terra com betume junto com uma manta impermeabilizante⁵⁶. Essa manta é que garante uma segurança na resistência a intempéries⁵⁷.



Figura 19 Instalação de uma manta impermeabilizante.



Figura 20 Construção de beiral com sistema de evacuação das águas.

Uma das maiores vantagens dessa solução é que os materiais predominantemente utilizados na construção são de fácil acesso. A terra não estabilizada, extraída localmente, permite um custo financeiro e de consumo energético muito baixo, além de permitir sua reutilização após o seu fim de vida, criando uma circularidade interessante. A água é um recurso igualmente de baixo impacto ambiental, entretanto, é uma matéria-prima complexa de estocar no canteiro de obra e demanda uma logística temporal, influenciada pelos períodos sazonais da região, sendo necessário planejar corretamente as fases do canteiro de obra para não prejudicar a construção.

⁵⁶ Revestimentos tradicionais são a base de terra ou os estabilizados com betume; areia com cimento; terra com cal ou areia com cal. As paredes internas e abóbadas não necessitam de um revestimento. **LA VOÛTE NUBIENNE** - Rapport d'activité saison 2018-2019 (p. 99-105).

⁵⁷ **LA VOÛTE NUBIENNE** - Rapport d'activité saison 2018-2019 (p. 50-57).



Figura 21 Pórtico de betão armado em construção de abóbadas Núbia.

Quanto aos espaços internos, os vãos máximos obtidos pelas abóbadas são de 3,3 m por 8 m o que reduz as possibilidades espaciais internas, por isto há estruturas adicionais de betão armada que criam pórticos fixados em fundações de sapatas isoladas, que permitem criar espaços amplos. Essas estruturas são facilmente executadas no local, e tem um custo acessível, o que favorece o seu desenvolvimento⁵⁸.



Figura 22 Construção de cobertura em abóbada Núbia pousada em vigas de betão.

⁵⁸ **HARDY, Mathieu** - Manuel du maçon nubien - Règles professionnelles du Concept Technique Voûte Nubienne. 2. ed. Bordeaux : La Voûte Nubienne, 2018. (p. 22).

2.1.2 Contextualização no Senegal

As primeiras edificações com esse método construtivo no Senegal surgiram em 2007, porém, graças a presença da *Association Voûte Nubienne* (AVN) em 2010, a divulgação e construção começaram efetivamente a se estruturar⁵⁹.



Figura 23 Maison des Yvelines em Ourossogui, Senegal.

Entre 2010 e 2020 foram construídas 109 obras com 35 profissionais especializados no país⁶⁰. Em 2019 foram 9 obras construídas com 974 m², beneficiando 578 pessoas e potencialmente economizando 799 tCO_{2eq}.⁶¹ Na ocasião da 23ª conferência da ONU pela mudança climática, na cidade de Bonn, Alemanha em 2017, um edifício de escritórios e residências de voluntários da *Yvelines coopération internationale et développement* (YCID) do Senegal, recebeu, via a AVN, o prêmio internacional de construção baixo carbono, reconhecendo a importância da técnica para alcançar os objetivos climáticos⁶².

⁵⁹ As atividades no país são principalmente voltadas para o setor público, através de comunidades, coletividades locais, associações e ONG's, que demandam construções voltadas aos serviços, enquanto a clientela privada demanda habitações. A média de área construída das edificações de serviço é de 97m² enquanto a de habitações é de 72m². JARNO, Bruno - Étude portant sur la technologie Voûte Nubienne comme modèle de construction. Paris : [s.n.]

⁶⁰ LA VOÛTE NUBIENNE - Rapport d'activité saison 2019-2020. (p. 46).

⁶¹ *Idem*. (p. 49).

⁶² ASSEMBLÉE DES DÉPARTEMENTS DE FRANCE - La Maison des Yvelines récompensée à la COP23 [Em linha], atual. 2018. [Consult. 7 ago. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://www.departements.fr/maison-yvelines-recompensee-a-cop23/>.

2.2 Casos de estudo

As informações sobre edificações educacionais elaboradas com a técnica construtiva de abóbadas Núbias no interior do Senegal são escassas e de difícil acesso. Esta situação é derivada dos próprios processos informais, usando-se da autopromoção e autoconstrução sem auxílio técnico. Por vezes, são coordenados por associações que compensam a incapacidade do poder público em suprir as necessidades, tanto na construção quanto na formação de mão de obra. As recomendações construtivas derivam das práticas testadas pelas associações, que conseguem financiamento via fundações internacionais, e divulgam seu método construtivo que é apenas replicado. Nota-se uma dificuldade em identificar se houve envolvimento de arquitetos na reflexão desses projetos, o que certamente ganhariam em qualidade, adaptabilidade e inovações. Na seção abaixo são analisadas, a partir de exemplos locais, as três soluções mais comuns de infraestrutura escolar construídas com a técnica: as salas de alfabetização, a sala de aula única e as salas de aula duplas. O propósito dessa análise é registrar os benefícios, potenciais e limitações dessas construções, para se ter uma base prática que oriente o desenvolvimento do projeto.

Os três projetos estudados se localizam na região de Saint-Louis, no departamento de Podor, ao longo do vale do rio Senegal. Os desafios climáticos e ambientais ligados à construção civil são sérios e as técnicas convencionais de construção reforçam essas problemáticas e se demonstram inadequadas para o contexto saheliano⁶³. A região é oportuna para começar a desenvolver a técnica da abóbada Núbia por não precisar de um cuidado tão acentuado em relação à erosão da sua estrutura. O clima local é dividido em duas estações, de julho a setembro de chuvas, com 21 dias de precipitações, e uma estação seca de outubro a junho. O maior desafio está na regulação da temperatura ambiente interna das edificações, já que a região tem uma temperatura moderada o ano inteiro, com a média máxima em 33°C em outubro e a média mínima de 21°C em janeiro. Por esta razão é recomendável usar-se das propriedades isolantes das paredes e cobertura de terra, e proteger da incidência solar. De novembro a junho o vento natural é forte, entretanto de julho a outubro é preciso ter uma estrutura bem concebida para favorecer a renovação de ar, pois neste período os ventos são mais fracos, apesar de predominante vir do norte em boa parte do ano. Nesse cenário, a parede espessa de terra tem vantagem igualmente na

⁶³ LE PARTENARIAT - Rapport d'activités 2020. Saint Louis : [s.n.] (p. 34)

regulação interna da humidade, ponto interessante já que essa varia consideravelmente pelo ano, tendo um pico em junho a 95% e a mínima de 29% em fevereiro⁶⁴.

Nota-se a partir das análises o quão complexo é o acréscimo de melhorias a partir de estratégias de inclusão de novos tipos de estruturas auxiliares sem impactes no valor financeiro e na energia incorporada. Sendo importante ressaltar que, apesar de no contexto atual ser impraticável se construir com neutralidade carbónica, é possível se mitigar ao se avaliar as intervenções pertinentes que possibilitem uma melhoria significativa no conforto dos utilizadores. Ressalta-se que tais mudanças precisam se atentar ao contexto e limitações ambientais e socioeconómicas do local.

2.2.1 Escola de Déguembéré

Salas de alfabetização – Escola de Déguembéré – comuna de Fanaye, Dep. De Podor.



Figura 24 Vista externa da escola de Déguembéré.

A escola de Déguembéré, construída entre 2014 e 2015⁶⁵, é um edifício compacto em forma de paralelepípedo⁶⁶, que dispõe de duas salas de alfabetização. O conjunto tem uma área total de 60 m² projetado para 40 alunos, disposto em duas salas geminadas, sem corredor, com capacidade de grupos de 20 crianças. As salas de aula possuem área útil de 23,8 m² e dimensões reduzidas⁶⁷, o que dificulta que haja uma flexibilidade nas atividades internas para outros usos (figura 25). Entre as classes há uma porta interna, de 80 cm de largura, que limita a interligação e efeito de ventilação cruzada. Percebe-se que esta

⁶⁴ JOFFROY, Thierry *et al.* - Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal. Grenoble : [s.n.]. (p. 69-71)

⁶⁵ Construída entre 1º de setembro 2014 a 31 agosto 2015. DUPUIS, Fanny *et al.* - Production 2014-2015, programme Senegal, Rapport fin de saison. Ganges : [s.n.] (p. 01)

⁶⁶ Dimensões do edifício: 8,4 m x 10,25 m x 3,85 m de altura.

⁶⁷ LA VOÛTE NUBIENNE - Salles d'alpha. (2020). (p. 02).

abertura exígua inviabiliza uma dinâmica educacional conjunta entre as turmas, não resolve a renovação de ar necessária e interfere na acústica entre os ambientes educativos.

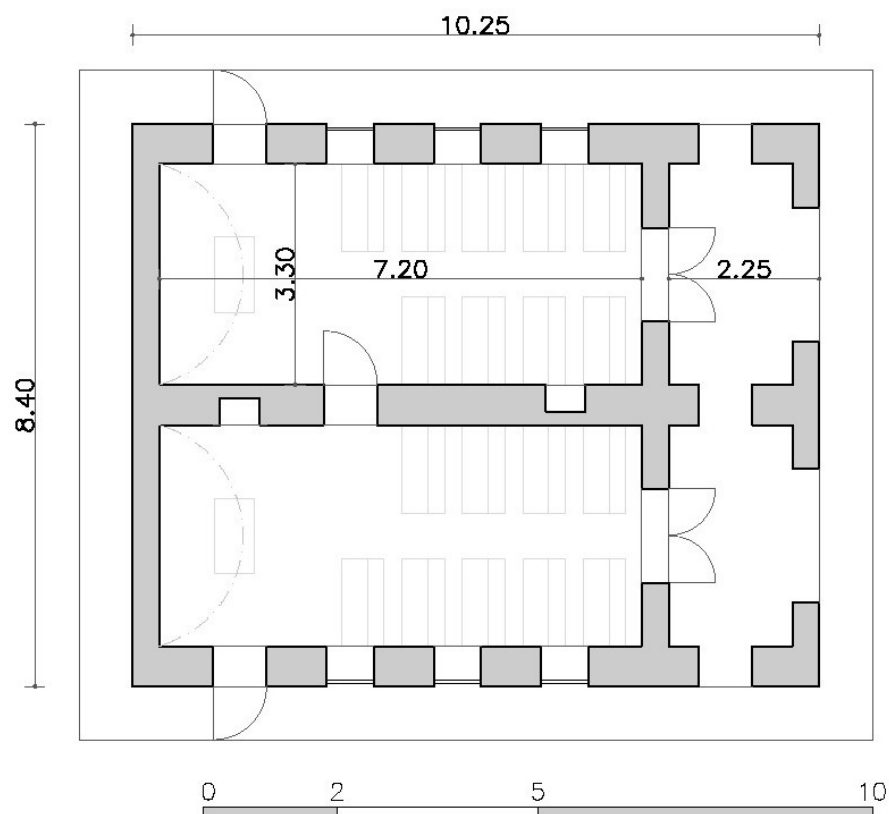


Figura 25 Planta baixa da escola de Déguembéré.

As duas salas têm, respectivamente, pequenas varandas que funcionam como antessalas, as quais são o principal acesso dos alunos, enquanto o acesso secundário na lateral, são utilizados pelos professores. Nos alçados laterais há 3 janelas e uma porta do professor, com estrutura arqueada e esquadrias com persianas metálicas⁶⁸. Essas aberturas criam uma porosidade⁶⁹ de 13%, o que não responde ao mínimo necessário de 25% e, conseqüentemente, demandaria o uso de ventiladores ou ar-condicionado compensando essa escolha projetual. Contudo, a escola não teria condições financeiras e estruturais para suportar o uso desses equipamentos. Quanto à questão do conforto lumíneo, que também está relacionado a aberturas, nota-se que não há iluminação natural suficiente no projeto

⁶⁸ As dimensões são de 70 cm x 120 cm para as janelas e de 80 cm x 210 cm para os professores.

⁶⁹ percentagem de área aberta em relação a área total do alçado.

para o bom funcionamento das atividades pedagógicas. Todas essas questões demonstram que há fragilidades do uso exclusivo da estrutura arqueada.

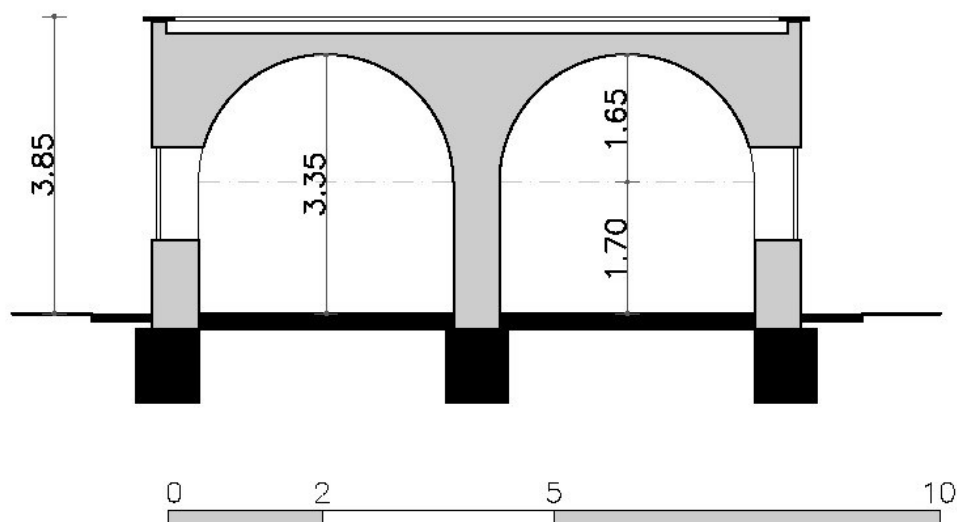


Figura 26 Corte perpendicular aos arcos da escola de Déguembéré.

Em contrapartida, a disposição do cilindro da abóbada no eixo da aula proporciona uma boa acústica e generosa altura que dá sensação agradável na contemplação do espaço (figura 26). Os arranques dos arcos são pousados em paredes de 60 cm, espessura essa benéfica na proteção térmica necessária no contexto geoclimático. A parede central, compartilhada entre as duas salas de aula, permite a redução na quantidade de materiais utilizados, reduzindo o custo do projeto. A escola de Déguembéré não possui estrutura auxiliar; sua fundação é composta por pedras e a estrutura foi feita em terra crua (blocos de banco). Isto gera uma economia potencial de CO_{2eq.} emitidos⁷⁰ e um custo por m² da obra de 65.760 FCFA/m² e um valor total de 2.009.125 FCFA⁷¹, preço extremamente acessível⁷². Trabalhando uma nova configuração, com aberturas maiores e dispostas paralelamente, melhorando seu conforto, esse modelo de escola poderia ser uma solução interessante devido ao seu custo. Entretanto, devido às normas nacionais, suas dimensões

⁷⁰ Dado a sua baixa energia incorporada em comparação aos materiais utilizados nas edificações convencionais comumente construídas no Senegal. Materiais utilizados nas edificações convencionais: blocos de cimento, tijolo cozido, chapas de zinco, entre outros.

⁷¹ O Franc CFA (FCFA) é a moeda local do Senegal, a sua taxa de conversão é de 1 FCFA para 0,0015 Euro. **BOURSORAMA** - Convertisseur FRANC CFA (BCEAO) / EURO (XOF / EUR) [Em linha], atual. 2022. [Consult. 17 set. 2022]. Disponível em

WWW:<URL:https://www.boursorama.com/bourse/devises/convertisseur-devises/franccfa%28bceao%29-euro>. O custo da escola de Déguembéré por m² é 98 EUR /m² e o valor total é de 3013 EUR.

⁷² **LA VOÛTE NUBIENNE; LE PARTENARIAT** - Typologie de bâtiments en Voûte Nubiennau Sénégal. Ourossogui. 2020). (p. 08).

só atendem ao período de alfabetização, pois em etapas educacionais posteriores os espaços mínimos são significativamente maiores.



Figura 27 Vista interna de uma sala de aula da escola de Déguembéré.



Figura 28 Vista externa da escola de Déguembéré.

Outro ponto importante a se notar é que apesar do baixo índice pluviométrico da região o projeto adotou medidas anti erosão, usando soleiras e revestimento das paredes em cimento, pingadeira em betão armado e um revestimento de terra com betume para a cobertura. As calhas metálicas, que permitem escoar a água da cobertura, estão posicionadas acima da entrada principal e não tem nenhum sistema de armazenamento ou canalização. Contudo, esta solução não é a mais adequada, pois pode criar acúmulos de água e degradação o acesso a sala além de desperdiçar água, um recurso valioso, que poderia ser reaproveitada⁷³.

2.2.2 Escola de Kodith

Sala de aula - Escola de Kodith – Dep. de Podor



Figura 29 Vista externa da escola de Kodith.

⁷³ LA VOÛTE NUBIENNE; LE PARTENARIAT - Livret de présentation des solutions techniques Voûtes Nubiennes sur le secteur de l'éducation. Thiès. 2016). (p. 17).

A escola de Kodith contou com a coordenação da associação *Le partenariat* e apoio do Programa de Acesso à Água e Saneamento nas Escolas (PAEMS) e da Agência Francesa do Desenvolvimento (AFD) para sua construção. O financiamento foi efetuado pelas fundações Eiffage, Eiffage Senegal e *Frères d'esperance* que possuem diversos projetos na formação de estruturas escolares e divulgação da técnica construtiva em abóbada Núbia no departamento de Podor⁷⁴.



Figura 30 Vista em betão armado em vista no processo de construção da escola de Kodith.



Figura 31 Vista interna da sala de aula da escola de Kodith.

O destaque no projeto é a construção de abóbada Núbia com uma estrutura auxiliar em betão armado (figura 30). Essa solução é de tal importância que na inauguração da nova sala de aula, em novembro de 2014, o suprefeito Ibrahima Ndiaye destacou o feito da construção, a integração entre as técnicas construtiva e o benefício desta para criar oportunidades aos jovens Senegaleses aprenderem com os trabalhadores burquinenses ou malianos⁷⁵.

O valor total desta obra foi significativamente superior em comparação a escola de Déguembéré, sendo de 5.384.360 FCFA na sua totalidade a um custo de 91.260 FCFA/m²⁷⁶. O investimento necessário para ter a estrutura em betão armada é aproximadamente 1/3 superior a construção estruturada exclusivamente em banco, porém, permitiu-se aumentar as possibilidades para a edificação e atender adequadamente a área útil total mínima exigida por norma para sala de aula pós alfabetização⁷⁷, que as restrições estruturais impostas pela técnica tradicional não permitiam. Por esta razão, usou-se estrutura auxiliar

⁷⁴ **EIFFAGE** - Eiffage 2013, Rapport Annuel. Asnières-sur-Seine : [s.n.] (p. 147).

⁷⁵ **NDAR INFO** - Construction en Voûte Nubienne: une maternité et une salle de classe inaugurées à Podor. [Em linha], atual. 2014. [Consult. 19 ago. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://www.ndarinfo.com/CONSTRUCTION-EN-VOUTE-NUBIENNE-une-maternite-et-une-salle-de-classe-inaugurees-a-Podor_a11078.html>.

⁷⁶ O valor total da sala em euro é 8076 EUR e o custo por m² de 137 EUR /m². **LA VOÛTE NUBIENNE; LE PARTENARIAT** - Typologie de bâtiments en Voûte Nubiennau Sénégal. Ourossogui. 2020). (p. 07).

⁷⁷ **ONG KAKOLUM** - Archstorming - Earth School Competition - Secondary School in Kafountine, Senegal. Kafountine : Archstorming, 2021. (p. 07).

de betão armado com pilares e viga que formam dois pórticos⁷⁸. Desta forma, as classes ficaram livres de paredes estruturais de banco e, com isso, as dimensões internas aumentam criando 59,15 m² de área útil total (figura 32)⁷⁹. Os pórticos foram colocados na transversal, criando-se um ritmo de duas vigas com 2,18 m de altura, onde repousam a sequência de três abóbadas. Essa solução resolve a questão espacial, porém, tem limitações visuais e, principalmente, acústicas, entre a frente e o fundo da sala.

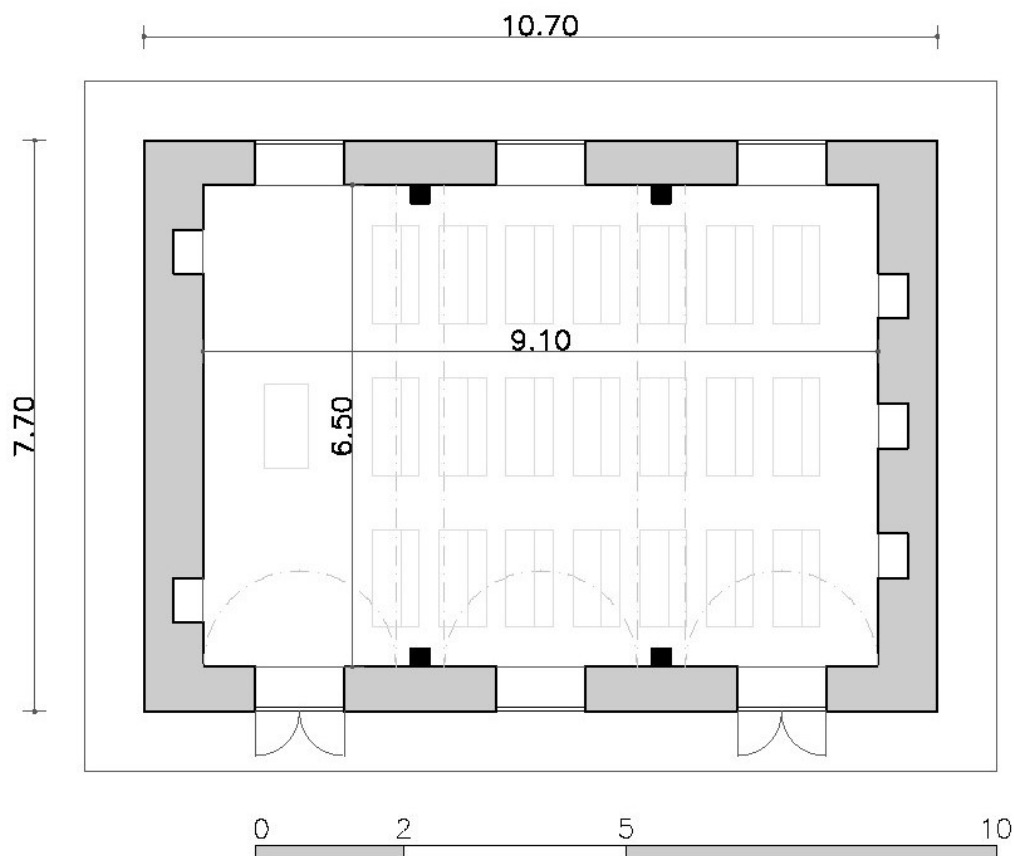


Figura 32 Planta baixa da sala de aula da escola de Kodith.

Todavia, esta configuração em módulo único, isolado de outras construções, concebido com aberturas nos dois alçados longitudinais e com vão livre, cria um espaço internamente contínuo e entrega benefícios consideráveis. O primeiro é uma iluminação natural prolongada ao longo do dia e, segundo, uma verdadeira ventilação cruzada. Porém, quando se analisa a porosidade dos dois alçados, a situação não é satisfatória. Apesar de ter no total

⁷⁸ Estrutura auxiliar composta por fundações em sapatas de 145 cm x 140 cm, pilares de 25 cm x 25 cm e vigas em T invertida de 65 cm x 60 cm.

⁷⁹ LA VOÛTE NUBIENNE - Salle de classe Voûte Nubienne - Beton Armé (VN-BA). 2016).

5 janelas, 1 porta e 18 dutos de ventilação (6 por abóbada para saída do ar quente), a porosidade média dos alçados é de apenas 11%, o que não é suficiente para uma ventilação adequada⁸⁰.

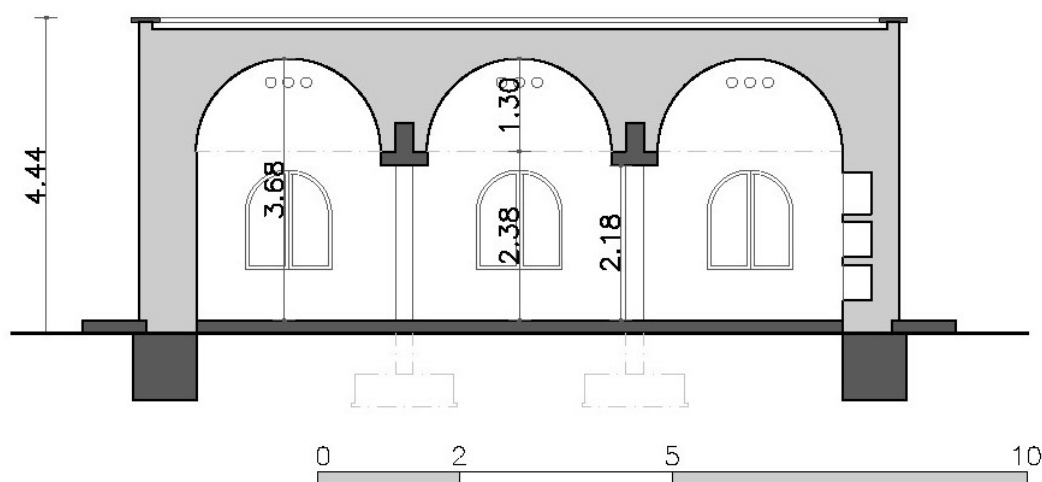


Figura 33 Corte longitudinal da sala de aula escola de Kodith.

Em relação a soluções anti erosão, as respostas foram as mesmas que na escola Déguembéré. O grande diferencial está no acréscimo da estrutura em betão armado, que continua a ser uma resposta com um material acessível e simples de se executar. A solução da associação das técnicas é benéfica e viabiliza o uso da abóbada Núbia nas normas atuais do Senegal. Entretanto, a pegada ecológica aumenta por consequência da energia incorporada ao betão estrutural, sem conseguir de facto entregar um conforto ambiental apropriado aos utilizadores.

⁸⁰ As dimensões das aberturas são de 120 cm x 140 cm para as janelas, de 120 cm x 212 cm para porta e diâmetro de 15 cm para os dutos de ventilação. Na alçada principal há uma porta de acesso e duas janelas o que dá uma porosidade de 12% e a alçada paralela a essa há três janelas o que dá uma porosidade de 10%.

2.2.3 Escola Bendiolol de Ndioum

Salas de aula - Escola Bendiolol de Ndioum – Dep. De Podor, comuna de Ndioum



Figura 34 Vista externa da escola Bendiolol de Ndioum.

A Associação de Suporte às Ações de Prevenção e Educação em África (ASAPEA), criada em 2011, organiza ações de acesso à informação e intercâmbios culturais, além de promover ações educativas em todos os países africanos, seguindo os preceitos dos objetivos milênio, fixadas pela ONU em 2000⁷³. Em parceria com o departamento francês Yvelines e o departamento Senegalês do Podor, a associação financiou um edifício novo para salas de aula. A fim de realizar o projeto, participaram do projeto VN Fouta, coordenado pela AVN, *Le partenariat* e da *Maison des Yvelines* (de Ourossogui).

A escola primária de Bendiolol enfrentava sérios problemas de escolarização por conta da precariedade na infraestrutura. Antes, abrigava 110 alunos divididos em duas turmas de 55 alunos, que frequentavam 2 abrigos temporários, construídos com caules de junco e velhas chapas de zinco. Esses espaços não garantiam um ambiente propício aos estudos, expondo as crianças a situações de vulnerabilidade climática. Para garantir a igualdade de oportunidades a todos os jovens e o acesso a uma escola de qualidade, os dois abrigos foram substituídos pela construção de um edifício com dupla sala de aula, usando a técnica da abóbada Núbia⁸¹.

⁸¹ ETENDART, Agnès; NOGUES, Chantal - Nos Actions, ASAPEA [Em linha], atual. 2022. [Consult. 18 ago. 2022]. Disponível em WWW:<URL:<http://asaapea.fr/>>.

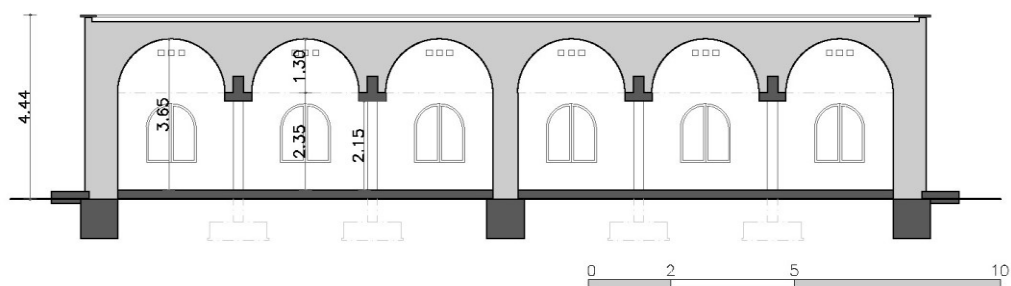


Figura 35 Corte longitudinal da escola Bendiolol de Ndioum.

O projeto buscou conscientizar a comunidade sobre a sustentabilidade, adaptabilidade e preservação dos ecossistemas. Para isto, buscou-se construir com mão de obra e materiais locais. A terra, pedra e água foram extraídas perto do sítio de implantação, reduzindo seu impacto ambiental e minimizando os custos⁸². A massa necessária para construção em terra crua é vultosa e, comparativamente aos abrigos temporários que eram altamente vulneráveis às intempéries, tais construções dão um caráter de robustez à escola. Mesmo com o investimento em uma estrutura em betão armado, o valor total continua baixo, sendo de 11.000.000 FCFA tendo um custo de 93.605 FCFA/m²⁸³.

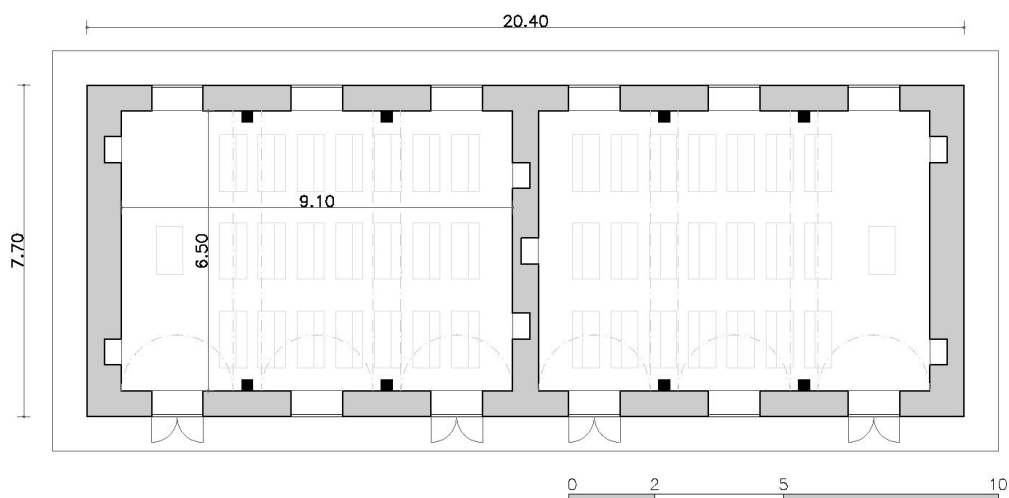


Figura 36 Planta baixa escola Bendiolol de Ndioum.

O conjunto das duas salas cria um edifício alongado, sem a presença de elementos intermediários entre o externo e interno, assim como a varanda da Escola de Déguembéré. Tal qual nas escolas anteriores, há um cuidado para prevenção da erosão e, inclusive, a soleira de cimento também funciona como delimitador da presença do módulo, auxiliando

⁸² ETENDART, Agnès; NOGUES, Chantal - Nos Actions, ASAPEA [Em linha], atual. 2022. [Consult. 18 ago. 2022]. Disponível em WWW:<URL:http://asapea.fr/>.

⁸³ O valor total foi de 16500 euros tendo um custo de 140,40 EUR /m²

a proteção na base das paredes contra a ação da chuva. Outra questão pertinente é o direcionamento das sete calhas metálicas na direção oposta às entradas, evitando o risco de molhar os utilizadores, porém, sem um mecanismo de recuperação da água, desperdiçando um recurso útil para a manutenção da escola.



Figura 37 Vista interna da sala de aula da escola Bendiolol de Ndioum.

Todas as paredes são em banco com boa espessura conferindo uma excelente inércia térmica, pois, restringe a diferença térmica interna em relação ao ambiente⁸⁴. No contexto climático de Podor isso significa um aumento no conforto, entretanto, como visto nos casos anteriores, esta escola também não tem uma porosidade suficiente para ventilar-se naturalmente, pois, a média de porosidade é de aproximadamente 12% quando as janelas e portas estão abertas, o que mostra os limites das aberturas arqueadas⁸⁵. Contudo, estas aberturas possuem intervalos regulares que criam um belo ritmo nos alçados, ao ordenar o conjunto e formar uma identidade visual. As classes têm cada uma 2 portas, 4 janelas e 18 dutos de ventilação, com as mesmas dimensões de Kodith, dispostas simetricamente, e a configuração do espaço dispõe de aberturas frente a frente. Nota-se que mesmo com boa implantação da edificação e uma disposição que favoreça uma ventilação cruzada, outras

⁸⁴ Paredes com espessura de 60 cm, com exceção das duas empenas das extremidades que têm 80 cm.

⁸⁵ Na alçada principal há duas portas de acesso e uma janelas o que dá uma porosidade de 14% e a alçada paralela a essa há três janelas o que dá uma porosidade de 10%.

soluções devem ser pensadas para alcançar 25% ou mais de porosidade⁷⁷ e garantir a ventilação natural adequada, pois, a maioria das escolas rurais no país não possuem eletricidade para instalação de ventilação mecânica⁸⁶.

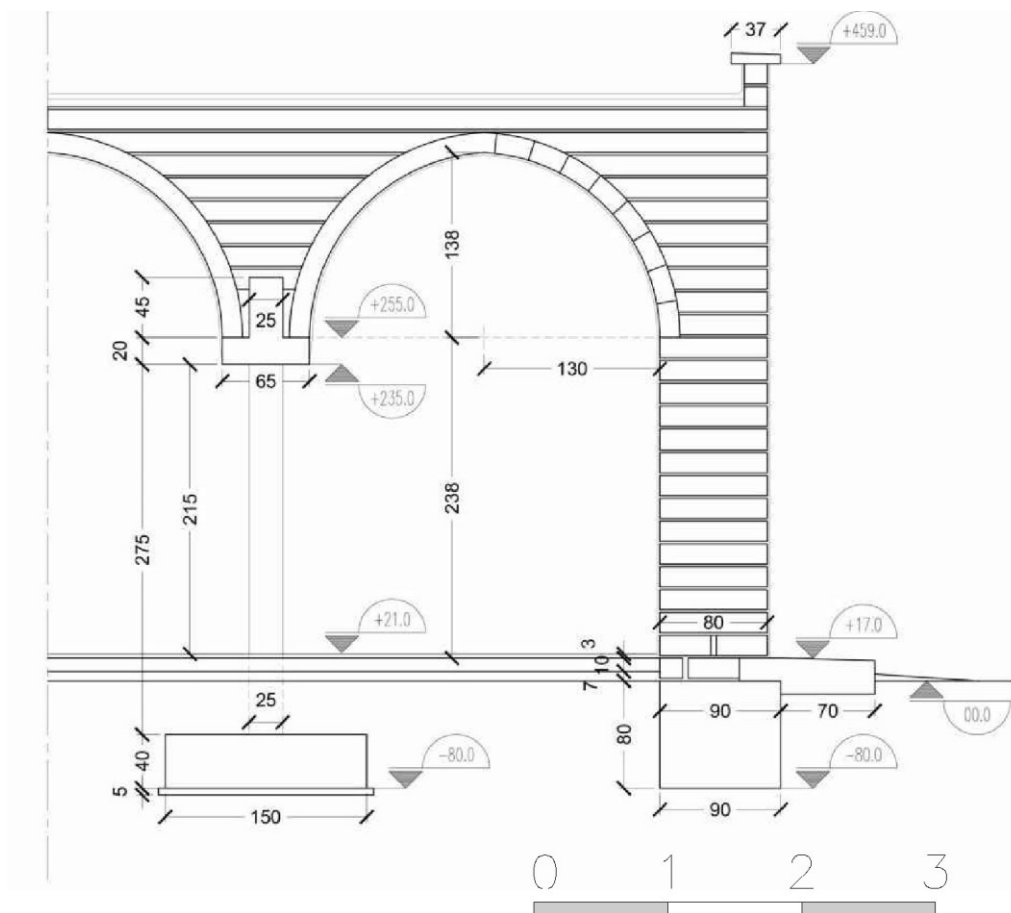


Figura 38 Corte pela empena com detalhe do arco em abóbada Núbia e da viga de betão armado.

Neste projeto, assim como na Escola de Kodith, foi utilizada acrescentada uma estrutura de possibilitando uma área útil de 59,15 m² ⁸⁷. O fato das salas estarem geminadas e compartilharem uma parede interna poderia permitir uma conexão direta para favorecer interações entre salas, porém caso isso fosse feito haveria interferência na acústica ao favorecer a difusão de ruído de uma sala para outra.

⁸⁶ A porosidade de uma alçada corresponde à percentagem de superfície de abertura em relação à superfície total da alçada. É expresso em %. Esta porosidade constitui um parâmetro essencial do potencial de ventilação de um edifício. Tipicamente, no caso de um edifício que procura por ventilação, será procurada uma porosidade total superior a 25%. JOFFROY, Thierry *et al.* - Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal. Grenoble : [s.n.] (p. 52).

⁸⁷ Estrutura auxiliar de betão armado com 4 pórticos pousados em 8 fundações com sapatas isoladas de betão armado, de 150 cm x 150 cm x 40 cm.

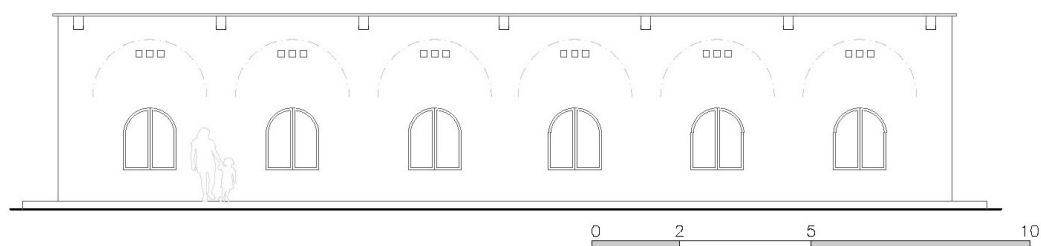


Figura 39 Alçado da escola Bendiolol de Ndioum.

2.2.4 Conclusão dos estudos de caso

Na técnica tradicional o método para se vencer os vãos era usar estruturas curvas, com arcos ou abóbada, contudo, conforme a necessidade em adaptar essa técnica e aumentar os vãos para conseguir maior área útil interna passou-se a usar peças lineares. Nos casos de estudos visto, a falta de ventilação e iluminação natural se devem pelas estreitas aberturas, cuja solução envolveria mudar a estrutura interna e rever o sistema das janelas arqueadas. Arquitetonicamente, o tipo de aberturas remete às construções tradicionais e uma mudança com auxílio de estruturas lineares poderia trazer uma linguagem contemporânea às construções em abóbada aumentando sua atratividade perante os jovens, assim como o seu conforto interno.

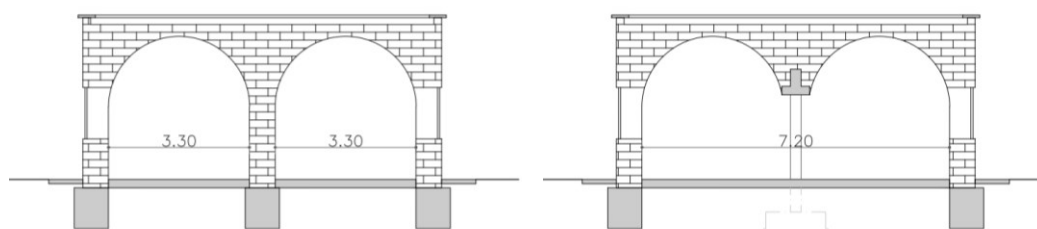


Figura 40 Esquema comparativo entre construções apenas de terra com projeto de terra e estrutura de betão armado.

Atualmente, para vencer os vãos usam-se peças estruturais betão armado submetidas a flexão pousada nos pilares, por serem acessíveis técnica e economicamente. Isto é notável em todas essas escolas de abóbada com betão, contudo, o aumento de peças desse material tem uma consequência na pegada ecológica que o uso exclusivo do banco, como na escola de Déguembéré, não tem. Essa diferença reduz o objetivo de neutralidade carbónica da edificação, mesmo que essa emita muito menos $\text{CO}_{2\text{eq}}$ em comparação às edificações convencionais do Senegal, em blocos de cimento e telhados em zinco.

Capítulo 3 | ESCOLA RURAL NO SENEGAL

3.1 Informações gerais

3.1.1 Contexto

O projeto da Escola Rural Walaa foi desenvolvido no âmbito do concurso público promovido pela ONG Kakolum em conjunto com *Archstorming Architecture Competitions*, tendo como premissa a elaboração de um projeto de escola em terra crua. A ONG procura, dentro das suas iniciativas, a participação e cooperação dos beneficiários a fim de realizar empreendimentos que sejam úteis, viáveis, integráveis, sustentáveis e perenes. O objetivo é garantir construções que aumentem a qualidade de vida das comunidades, visando não apenas o imediato, mas que permitam uma mudança a longo prazo. O nome Kakolum resume os pilares da organização, pois significa, em Diola, *a pegada deixada ao caminhar sobre a terra*⁸⁸.

Após a inscrição ao concurso, os organizadores forneceram as informações necessárias para o desenvolvimento do projeto⁸⁹ e a partir disto demandou-se a submissão, no dia 16 de março 2022, de dois painéis de formato A1 e uma descrição com 400 palavras. O processo de avaliação foi dividido em 4 etapas, no qual o projeto que será apresentado a seguir chegou até a terceira rodada, ficando apenas uma etapa antes da escolha das propostas finalistas. A equipa formada para a elaboração do projeto foi composta por Leonardo Grogg, Michele Amorim e Endi Marley, que buscaram seguir os preceitos do edital com um projeto que atende aos requisitos do programa, da técnica de construção, dos materiais e da sustentabilidade. Além de considerar o clima da região, a modularidade, o faseamento construtivo e o baixo custo.

⁸⁸ O Diola é o idioma maioritário da região de Ziguinchor (Senegal), usada pela ONG Kakolum nos seus conceitos fundamentais. Essa concebeu quatro pilares condutores: 1-Agricultura sustentável e segurança alimentar: o objetivo é que o trabalho agrícola da população local proporcione uma fonte estável de renda para as suas famílias e garanta a sua segurança alimentar; 2- Conservação ambiental: sensibilizar a população local, bem como desenvolver projetos inovadores de reciclagem; 3- Defesa, promoção e garantia dos direitos da mulher: através do acesso à informação, programas e projetos; 4- Água, saneamento e infraestruturas: reabilitação e construção de escolas, centros de saúde, assim como acesso à água e saneamento. **ONG KAKOLUM** - Archstorming - Earth School Competition - Secondary School in Kafountine, Senegal. Kafountine : Archstorming, 2021. (p. 04).

⁸⁹ Enviaram um dossier digital com documentos: imagens, vídeos, arquivos dwg (com o terreno e a localização das árvores), edital e dois orçamentos escolas construídas (uma com técnica em super adobe e telhado de zinco com custo total de 77.824,28 FCFA /m² ou 116,74 EUR/m². Outra com blocos de cimento e telhado de zinco com custo total de 125.466,67 FCFA /m² ou 188,2 EUR/m²). **ONG KAKOLUM** - Archstorming - Earth School Competition - Secondary School in Kafountine, Senegal. Kafountine : Archstorming, 2021

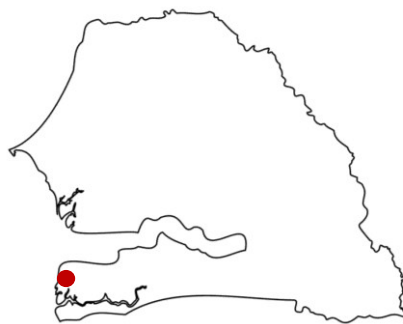


Figura 41 Localização de Kafountine (ponto vermelho) no mapa esquemático do Senegal.

O projeto localiza-se no município de Kafountine, Ziguinchor, sudoeste do Senegal, região privilegiada por ter a proximidade com o rio Casamansa (ao norte) e o Oceano Atlântico (ao oeste) o que favoreceu tradicionalmente a pesca e cultivo de arroz. Entretanto, os motores económicos modificaram-se e atualmente aproveita-se das praias e campos para o ecoturismo e o desenvolvimento de importantes infraestruturas portuárias. Tais condições promoveram uma forte migração ajudando no rápido crescimento populacional, levando ao município ter uma estimativa de 37.790 habitantes em 2021.

Apesar do dinamismo económico, as infraestruturas escolares não acompanharam o ritmo e predomina-se escolas de baixa qualidade, normalmente compostas por estruturas temporárias feitas de palha, lama ou restos de alumínio, nas quais os alunos se sentam no chão e os professores raramente têm uma secretária ou cadeira⁹⁰. No *Plano de Desenvolvimento Municipal* (PDM) de Kafountine, de 2021, foi concluído que as escolas sofrem de deterioração⁹¹ ou insuficiência de salas de aula, e que o forte crescimento demográfico das crianças entre 12 e 16 anos está acentuando a carência de vagas nas escolas⁹². O relatório aponta que o município precisa construir 33 novas salas de aula e reabilitar outras 24, porém, a falta de investimento e as atuais restrições orçamentárias se tornaram grandes obstáculos que impactam na degradação da atratividade do ensino para os jovens da região⁹³.

No que diz respeito ao ensino médio, há apenas uma escola no município⁹⁴ concebida para atender adequadamente 600 alunos, mas que atualmente é frequentada por mais de

⁹⁰ **ONG KAKOLUM** - Archstorming - Earth School Competition - Secondary School in Kafountine, Senegal. Kafountine : Archstorming, 2021. (p. 03).

⁹¹ A baixa infraestrutura das escolas atinge até no acesso básico, os municípios têm 9 escolas na região que não têm acesso à água. *Idem*, (p. 06).

⁹² *Idem, ibidem*.

⁹³ **COMMUNE DE KAFOUNTINE** - Plan de Développement Communal de Kafountine 2021-2025. Kafountine : [s.n.] (p. 26).

⁹⁴ **COMMUNE DE KAFOUNTINE** - Plan de Développement Communal de Kafountine 2021-2025. Kafountine : [s.n.]. (p. 24).

1.000⁹⁵. Essa superlotação acentua os problemas já existentes que são o déficit em segurança, espaços exteriores, sanitários, sala de aula, material didático, mobiliário, água, eletricidade e internet⁹⁶. Entretanto, no terreno atual em que esta escola se localiza, não há espaço que permita uma expansão com novas unidades de sala de aula.

Por este motivo, a ONG Kakolum propõe a construção de uma segunda escola, de ensino médio, que preencha as lacunas existentes e atenda à crescente demanda de escolarização da região. Escolhendo um terreno na periferia norte de Kafountine, a meio caminho da cidade vizinha de Diannah, para a nova escola. A estrutura visa atender ambas as cidades e incorporar os 400 alunos excedentes⁹⁷.

A partir desses parâmetros, a proposta de projeto da Escola Walaa, apresentada para o concurso, alinha a conceção arquitetónica contemporânea com a técnica da abóbada Núbia e a gestão dos recursos locais para alcançar um projeto socio-financeiramente e ecologicamente responsável, que permita responder ao desafio de construir novas infraestruturas educacionais no meio rural.

3.1.2 Proposta nova escola Kafountine

Há um provérbio africano que diz que é preciso *uma aldeia inteira para educar uma criança*⁹⁸. Portanto, construir espaços educativos é um desafio para além da tipologia formal construtiva, pois, é necessário que, por meio do ambiente construído, este espaço seja lúdico e promova na sua vivência os princípios pedagógicos da escola. As escolas rurais geralmente possuem um forte vínculo com sua comunidade, cujos esforços e dedicação são muitas vezes a força motriz por trás deles. Assim, a escola tem um papel ativo na sociedade, e deve estar integrada a ela. Seguindo este princípio, o projeto da escola Walaa é pensado como uma aldeia, inserida e conectada com a paisagem de Kafountine, em vez de enclausurar o espaço em uma unidade construída. Cria-se, assim, um diálogo com o entorno, o que permite a interação e convida a população a cooperar e participar no processo educativo.

⁹⁵ **ONG KAKOLUM** - Archstorming - Earth School Competition - Secondary School in Kafountine, Senegal. Kafountine : Archstorming, 2021. (p. 06).

⁹⁶ **COMMUNE DE KAFOUNTINE** - Plan de Développement Communal de Kafountine 2021-2025. Kafountine: [s.n.]. (p. 26).

⁹⁷ A nova escola ficará a 4 km do centro de Kafountine e a 4,5 km da cidade de Diannah. **ONG KAKOLUM** - Archstorming - Earth School Competition - Secondary School in Kafountine, Senegal. Kafountine : Archstorming, 2021. (p. 06).

⁹⁸ **IVÓNIA, Joana** - Uma escola chamada cidade [Em linha], atual. 2017. [Consult. 22 set. 2022]. Disponível em WWW:<URL:<<https://www.ua.pt/pt/noticias/0/50510>>. >.



Figura 42 Fotografias do terreno da nova escola em Kafountine, Senegal.

O desenho arquitetônico dos espaços educativos procurou estabelecer uma composição dinâmica através do ambiente construído, no qual há a criação de um entorno com uma atmosfera lúdica que ensina em sua vivência os princípios educacionais no conjunto da escola. Portanto, a forma arquitetônica não está apenas integrada espacialmente com a paisagem, como também aos princípios pedagógicos, pois, tem como base a linha de pensamento do projeto de sustentabilidade da ONG Kakolum e a missão de autonomia agrícola. Os limites entre as salas de aula e os campos de cultivo são tênues, despertando o interesse e interação das crianças e professores, a fim de desenvolver os seus conhecimentos desde cedo.



Figura 43 Vista do pátio coberto a esquerda e módulos escolares à direita e ao fundo da Escola Rural Walaa.

A sustentabilidade é abordada não apenas na escolha de materiais e sistemas construtivos, mas também no conhecimento compartilhado dentro da comunidade. A escola está viva, pois, assim como a natureza, ela estará em constante expansão e transformação. Sua paisagem se modifica com os ciclos de plantio, colheita e estações. Sua

edificação se expande em todos os eixos e sua materialidade nasce no próprio terreno, sendo mantida também com materiais locais. Permite-se, assim, uma vivência prática da sustentabilidade e consciência ambiental. Os elementos naturais como o sol, vento e vegetação, assim como os materiais locais de produção como a terra, a madeira e a água, são trabalhados com técnicas construtivas simples e tradicionais, a fim de produzir uma arquitetura de qualidade e respeitosa ao meio ambiente. O projeto se apropria de soluções de design passivo, reutilização de água, fossas sépticas e a produção local de materiais de construção, com a intenção de difundir um sistema construtivo acessível e de baixo impacto que possa ser replicado em outros contextos. Desta maneira, a Escola Walaa promoverá a conscientização da força da autonomia da comunidade.

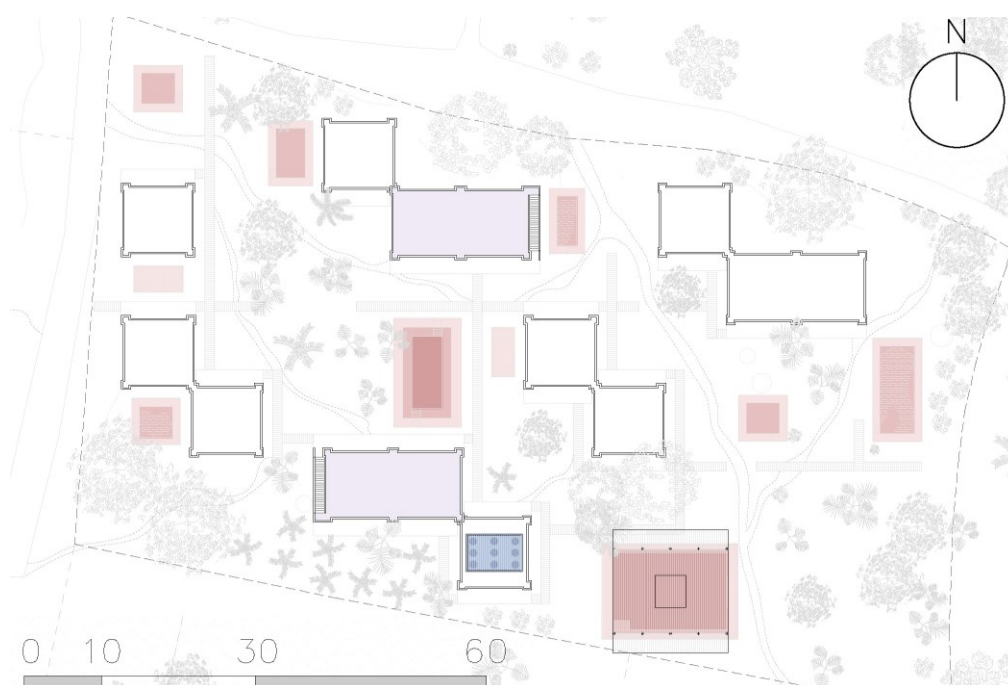


Figura 44 Planta de cobertura: Roxo coberturas acessíveis; Azul reservatórios de água e vermelho pontos de extração de terra.

O terreno ao qual se desenvolveu o projeto é plano, entretanto, a gestão dos recursos locais permitiu criar uma variedade de níveis. A partir do solo extraído localmente foi gerado planuras rebaixadas destinadas a lazer ou cultivo e a construção dos módulos, o que possibilitou o aproveitamento das coberturas como mirante e área técnica. A multiplicidade de alturas instiga os alunos a enxergarem o mundo por diferentes ângulos colocando o espaço projetado como vetor de aprendizagem.

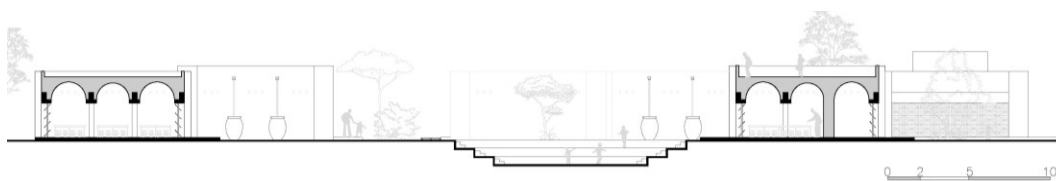


Figura 45 Corte transversal ilustrando os diferentes níveis do projeto.

O programa completo exigido em edital para a nova escola de ensino médio é atender aos 400 alunos em 10 salas de aula e estruturas complementares como um espaço multiuso com refeitório, área administrativa, sanitários, um pátio coberto e um pátio aberto⁹⁹.

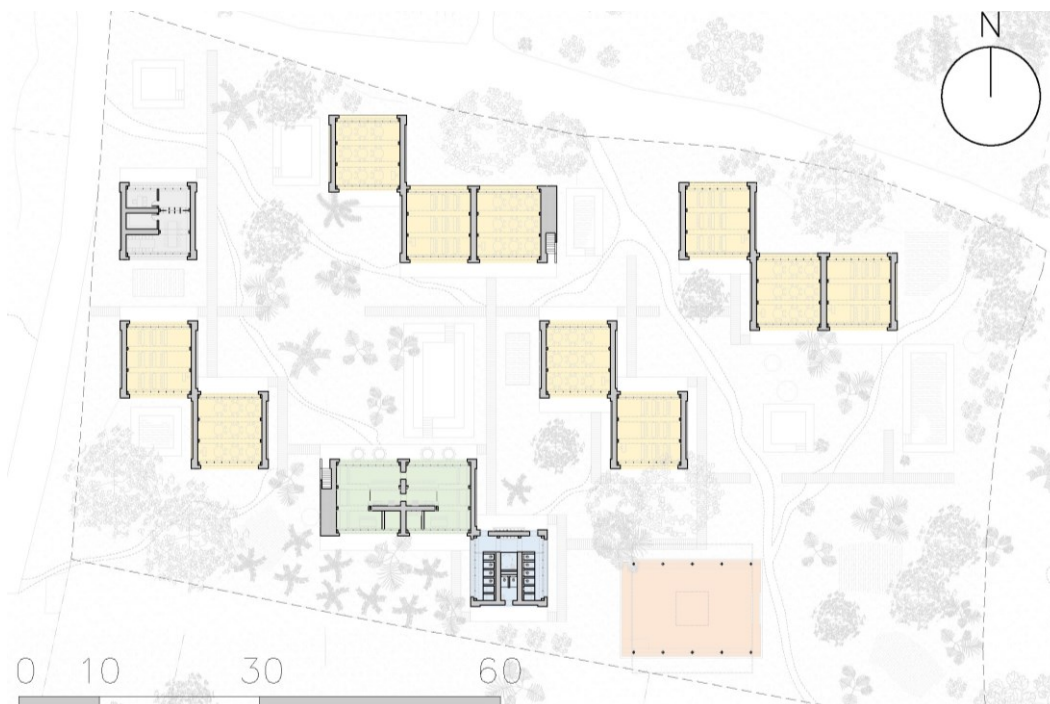


Figura 46 Planta baixa: Cinza está a área administrativa; Amarelo as salas de aula; Verde o espaço multiuso; Azul a casa de banho e laranja pátio coberto.

Em termos construtivos, os módulos que compõem a escola são construídos em abóbada Núbia e betão armado, e o pátio coberto em bambu com cobertura de zinco. Para as salas de aula, pensou-se em duas soluções: as salas de aula em diagonal, que contribuem para a rugosidade do vento; e as salas de aula geminadas, que otimizam o uso de materiais com o compartilhamento da parede estrutural interna. Conforme a construção da escola for

⁹⁹ A faixa etária dos estudantes é de 12 a 17 anos. As salas de aula têm área mínima de 63m² para atender 40 alunos cada. O espaço multiuso é recomendado entre 100m² a 200m², servindo de refeitório ou local de eventos. A área administrativa será dividida em dois espaços, sendo o escritório do diretor e uma sala para 15 a 20 professores. O sanitário precisará de 10 cubículos, 2 para adultos e 8 para crianças. O pátio coberto precisará de uma área mínima de 100m². **ONG KAKOLUM** - Archstorming - Earth School Competition - Secondary School in Kafountine, Senegal. Kafountine : Archstorming, 2021. (p. 07 e 08).

progredindo, as duas soluções vão se fundindo criando conjuntos de três módulos (parte em diagonal e parte geminada). O módulo da área administrativa segue a mesma estrutura das salas de aula, porém, com acréscimo de divisórias internas, enquanto o espaço multiuso é composto por dois módulos, e a casa de banho tem paredes internas estruturais que permitem reduzir a quantidade de betão armado usado.

3.2 Estruturação projetual

3.2.1 Implantação e orientação

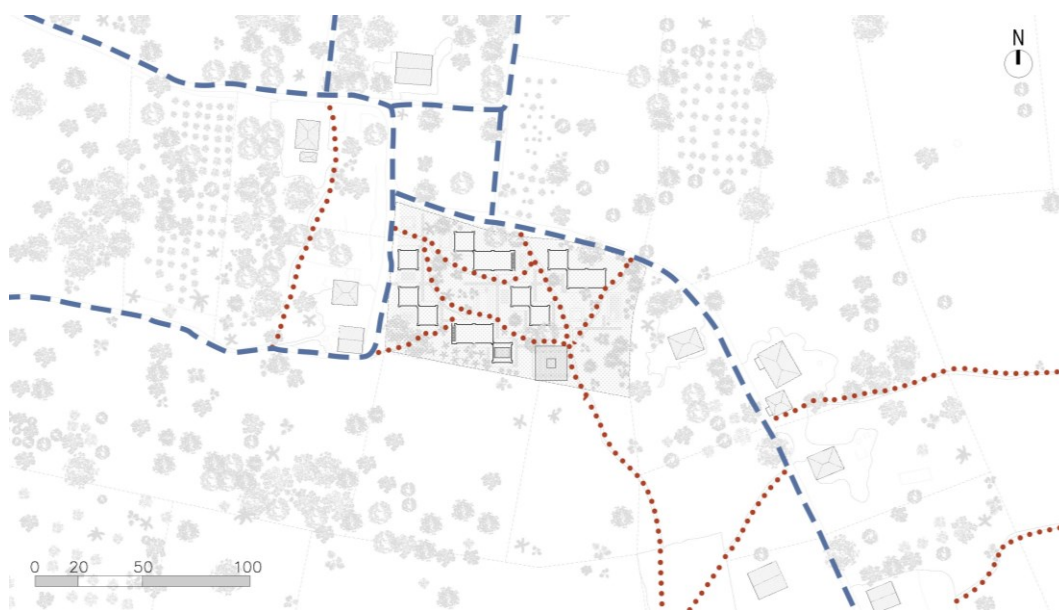


Figura 47 Implantação da escola e seu entorno imediato. Cinza - terreno, azul - estradas de acesso e vermelho trilhas informais.

O projeto situa-se em meio rural com entorno de poucas edificações e infraestruturas simples. Seu principal acesso é a partir de uma estrada de terra que passa ao lado norte do lote⁹⁹. O terreno tem topografia plana, vegetação rasteira, algumas palmeiras e moringas espalhadas, além de trilhas informais de passagens. A estratégia de inserção para permitir que se preservasse o património vegetal e imaterial foi a criação de uma regra de composição: uma grade guia, de 8,6 m x 8,6 m, para disposição das novas estruturas.

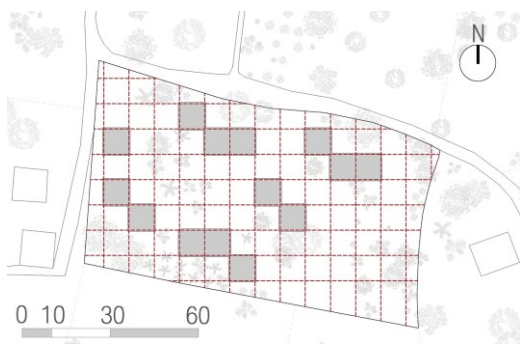


Figura 48 Vermelho uma grade guia de 8,6 m x 8,6 m.

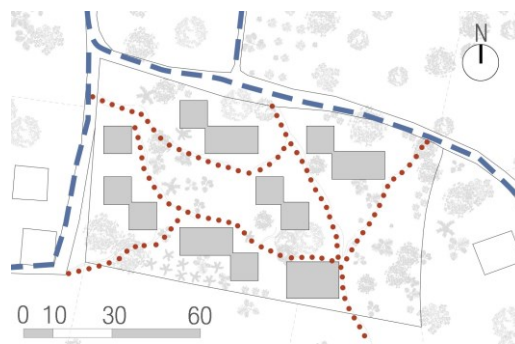


Figura 49 Azul são as estradas públicas e em vermelho as trilhas informais pré-existentes.

Seguindo a regra, construiu-se módulos independentes nas áreas desocupadas, mantendo proporções similares ao entorno através da implantação e gabarito baixo, a fim de se integrar com as construções locais. Aproveitando-se das características do meio rural, no qual, não há barreiras rígidas entre as propriedades, não se restringe o conjunto com cercas e muros, pelo contrário, permite-se que seja aberto ao público e que se conserve a ampla conectividade em qualquer direção, preservando seu caráter original de local de passagem. A intenção é recriar a atmosfera de aldeia africana como sendo um espaço de vivência e encontros, fomentada por suas dinâmicas espaciais. A disposição interna no terreno, permite que cada módulo tenha acesso imediato a um espaço vegetalizado, solução adequada de um ponto de vista pedagógico e técnico. Isto porque, primeiramente, permite-se a integração entre as atividades educacionais e produtivas (agrícola); e, em segundo, por potencializar os benefícios ambientais, com redução da temperatura, liberação de umidade e absorção de CO_{2eq}. Conclui-se, assim, que a implantação da escola respeita e potencializa as características encontradas no sítio.



Figura 50 Vista de uma planura rebaixada em primeiro plano e ao fundo os módulos do espaço multiuso.

Quanto a implementação do projeto, foi previsto no edital do concurso que a construção seria em 5 fases. Esta estratégia permite responder questões técnicas, financeiras e ambientais. A concepção de módulos semelhantes possibilita: reduzir o custo dos elementos arquitetônicos, aprimorar as técnicas usadas, manter uma equipe pequena de construtores com poucos equipamentos usados simultaneamente e viabiliza desenvolver materiais base *in-loco*, como a terra crua ou o plantio de árvore. Outro motivo para o faseamento da obra é o período de chuvas, entre junho e outubro, que empata a construção em terra.

A primeira fase permitirá os serviços básicos da escola, seguida pelo acréscimo de mais duas salas de aula a cada nova fase. Desta forma, ao longo de cada etapa, o espaço arquitetônico do conjunto irá se configurar e transformar de acordo com a adição dos módulos e das vegetações introduzidas. Almeja-se, assim, uma simbiose entre a arquitetura e a natureza, que enfatize tal conexão e favoreça a consciência ambiental dos jovens da comunidade.



Figura 51 Primeira fase do projeto. Serviços básicos: Cinza - área administrativa; Amarelo - salas de aula; Verde- espaço multiuso; Azul - casa de banho e laranja - pátio coberto.

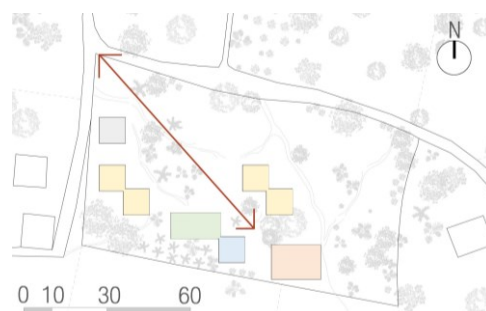


Figura 52 Segunda fase do projeto, acréscimo de duas salas de aula em diagonal.

Na primeira fase tem-se uma composição no qual o programa básico da escola se concentra em um núcleo, pois, o objetivo é estimular a convivência e encontro entre os alunos. Neste primeiro momento optou-se por posicionar o módulo da administração a noroeste do terreno, onde se encontra o acesso principal da estrada de terra. Desta maneira, cria-se um ponto de destaque na paisagem que guia o pedestre em direção a escola. Já na segunda fase, a construção de dois novos módulos permite ligar as construções da primeira fase e definir um eixo principal de desenvolvimento. Esse eixo reaproveita a existência dos caminhos informais, mantendo a circulação entre o acesso das estradas públicas e os lotes privados ao sul da escola. Na terceira fase, constrói-se duas novas salas de aula geminadas que arrematam o conjunto e enclausuram parte do terreno, criando um pátio interno, onde se encontra a maior planura rebaixada de lazer da escola. Na quarta fase, expande-se a

escola para o este do terreno e é desenvolvido um segundo eixo de circulação. Por fim, na quinta fase, tem-se o acréscimo de dois módulos de sala de aula que se unem às salas geminadas e criam um conjunto de três módulos compactos, desenhando uma *frente urbana* na estrada que passa ao norte do terreno.



Figura 53 Terceira fase do projeto, acréscimo de duas salas de aula geminadas.

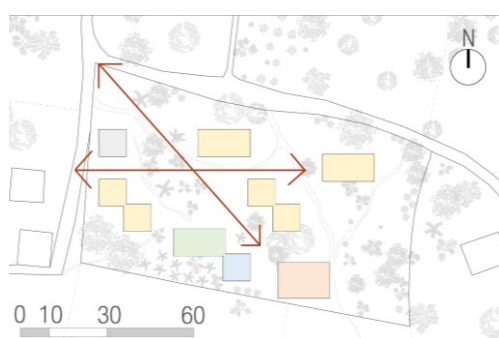


Figura 54 Quarta fase do projeto, acréscimo de duas salas de aula geminadas.



Figura 55 Quinta fase do projeto, acréscimo de duas salas de aula formando um conjunto diagonal/geminada.

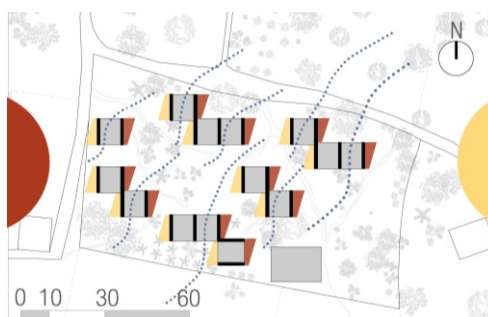


Figura 56 A radiação solar: 40% absorvida na cobertura e 34% nas paredes este/oeste. Os ventos dominantes são nordeste, norte e sudoeste.

A orientação das edificações segue uma abordagem bioclimática, com o objetivo de reduzir a exposição do envelope dos módulos ao sol, mas garantir uma boa exposição aos ventos dominantes e favorecer uma ventilação natural¹⁰⁰. Por conta do contexto climático e a orientação solar, observa-se que para minimizar as radiações solares é preciso proteger, prioritariamente, os alçados este, oeste e a cobertura¹⁰¹. A primeira estratégia é a construção de empenas espessas de terra crua que fornecem um bom isolamento térmico; a segunda é aumentar a massa vegetal no terreno, a fim de aumentar a área de sombreamento natural.

¹⁰⁰ JOFFROY, Thierry *et al.* - Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal. Grenoble : [s.n.] (p. 32).

¹⁰¹ Orientações este e oeste: apresentam maiores exposições às insolações e consequentemente têm maiores quantidades absorções de energia.

Sobre a ventilação natural, tem-se que os ventos dominantes vêm do nordeste, norte e sudoeste, então, para maximizar seu proveito, a primeira estratégia é favorecer as aberturas nessas direções, e a segunda é aumentar a porosidade dos alçados. Por fim, dispõe-se de aberturas nas edificações que permitem circulação cruzada e implanta-se os módulos de forma que haja o direcionamento do vento ao interior das edificações.

3.2.2 O módulo

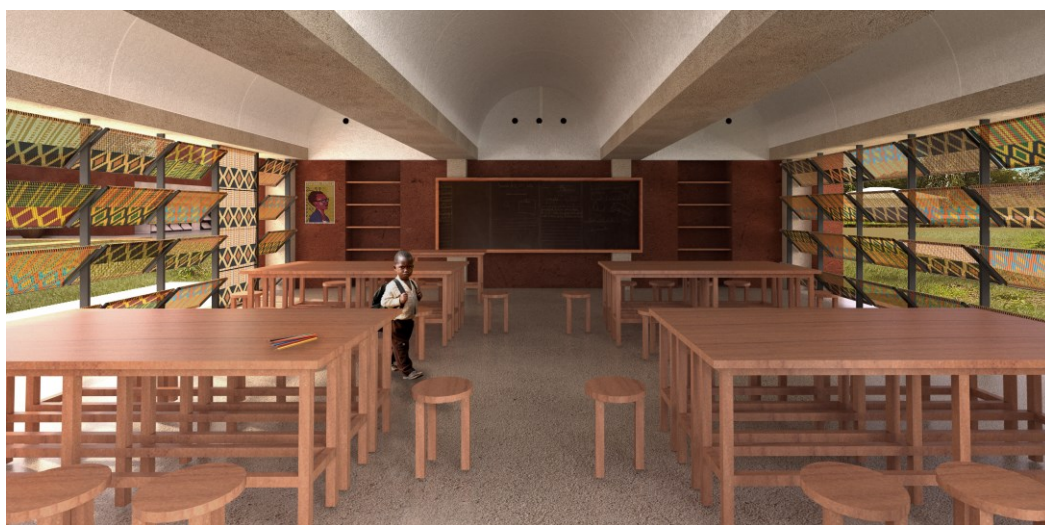


Figura 57 Vista interna da sala de aula.

Devido a necessidade urgente na expansão da oferta de salas de aula no país, a atenção maior da proposta foi direcionada para as edificações dedicadas para este uso. Desenvolveu-se dois conjuntos bases de salas de aula dupla: dois módulos dispostos em diagonal ou geminado. As paredes são de terra crua de 80 cm, construídas no eixo norte-sul e pensadas para proteger da radiação solar direta (este-oeste) e dos ruídos gerados de uma sala para outra.

As salas estão todas no nível do terreno, tendo grandes aberturas (norte-sul) com painéis basculantes¹⁰² que permitem um controle da quantidade de iluminação e ventilação natural. Outra vantagem é que estas esquadrias podem ser facilmente removíveis, o que oferece a possibilidade de expansão das atividades pedagógicas, tanto internas como externas, aproximando o contato dos alunos com a natureza. Para conseguir tais aberturas foi preciso acrescentar mais dois pórticos de betão armado aos dois alçados, tornando desnecessário o

¹⁰² Esses são compostos por uma moldura de chapa metálica de 1x3cm que fixa um tradicional trançado senegalês de material reciclado, criando uma composição de cor e textura nas fachadas. Além de criar um elemento lúdico, essa solução é de baixo custo e fomenta a economia local.

uso de janelas arqueadas. Desta maneira, libera-se o alçado de qualquer elemento estrutural e garante-se ao edifício uma linguagem visual limpa e contemporânea.

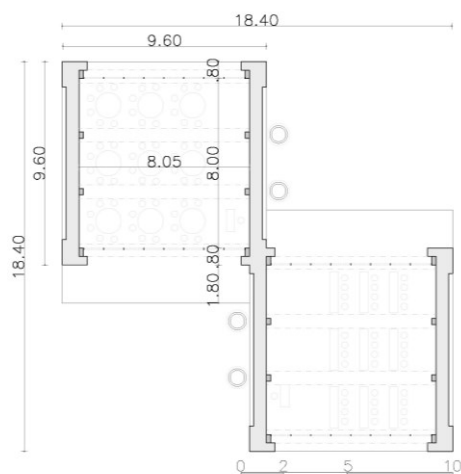


Figura 58 Planta baixa de dois módulos em diagonal.

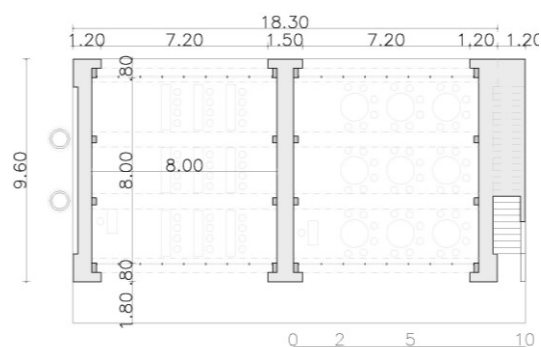


Figura 59 Planta baixa de dois módulos geminados com o acréscimo de escada para acesso à cobertura.

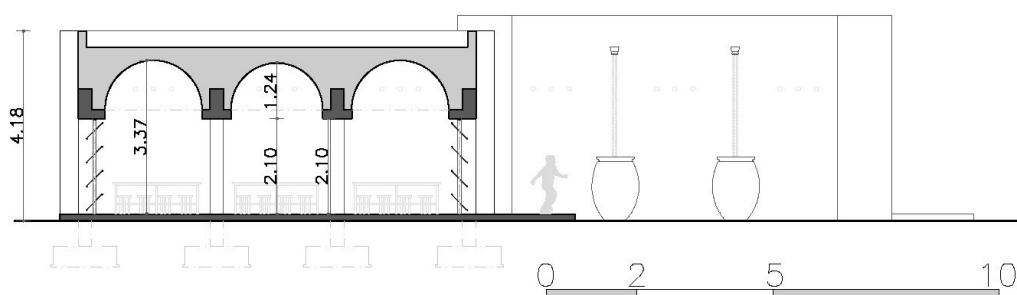


Figura 60 Corte perpendicular ao eixo da abóbada Núbia em um conjunto em diagonal

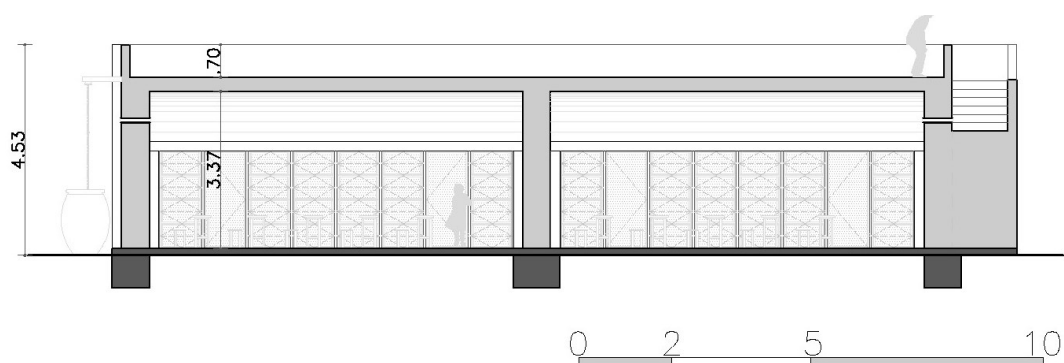


Figura 61 Corte paralelo ao eixo da abóbada Núbia em um conjunto geminado.

O módulo¹⁰³ tem uma área de implantação de 92 m² e uma área útil interna de 70 m². Esta redução da área interna em relação a área de implantação ocorre devido à composição da estrutura complementar, composta por 4 pórticos, que vencem um vão de 8 m, pousados em sapatas isoladas. Tem-se dois tipos de estruturas: as internas com vigas em T invertido e as externas (a flanco do alçado) com vigas em L. Essas são dispostas perpendicularmente às paredes de banco que, em conjunto com o piso, contribuem para o contraventamento da estrutura. Quanto à estrutura principal, tem-se as abóbadas de Núbia que pousam nas vigas e se encostam nas paredes laterais. A direção dos eixos dessas é perpendicular ao quadro de aula, o que oferece boa visibilidade e evita de ter uma barreira acústica, além de atenuar o potencial desconforto da baixa altura das vigas (2,1 m). A amplitude do espaço permite adaptar facilmente para atender diversos programas escolares e consegue responder perfeitamente às exigências normativas de áreas mínimas para serem salas de aula no Senegal¹⁰⁴.

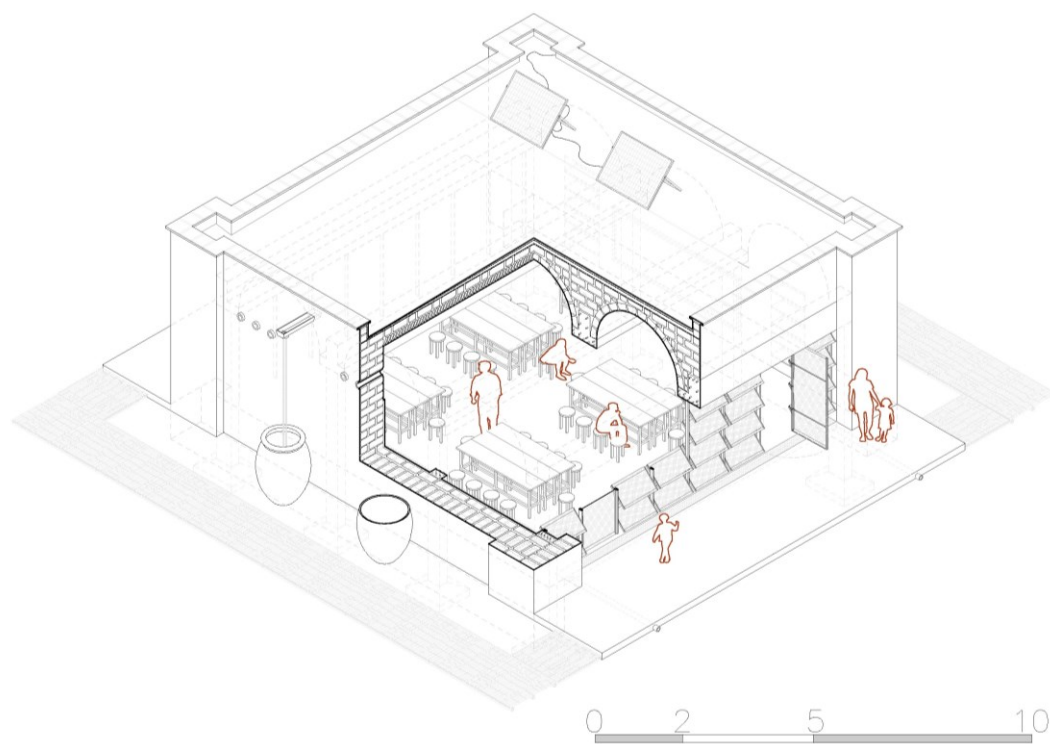


Figura 62 Isométrica com corte do módulo de sala de aula.

¹⁰³ Cada módulo tem dimensões de 9,6 m por 9,6 m e altura de 4 m.

¹⁰⁴ Sala de aula (pós alfabetização) no Senegal: área mínima de 63m² para 40 alunos. ONG Kakolume. (15 de Novembro de 2021). www.archstorming.com. Fonte: Archstorming - Earth School Competition - Secondary School in Kafountine, Senegal. (p. 07).

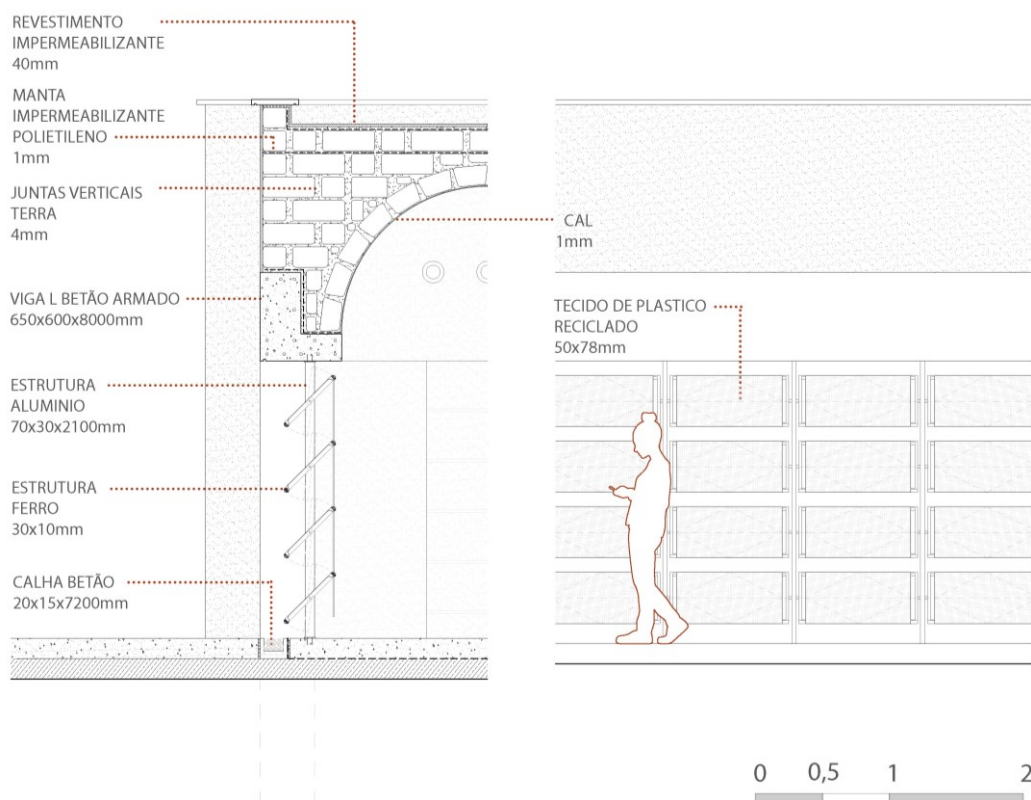


Figura 63 Corte e alçado paralelo as aberturas do módulo.

O módulo tem estratégias anti erosão reforçada: um revestimento de terra, areia e betume nas paredes externas; e na cobertura, uma mistura de terra, areia, brita e betume em complemento a uma manta impermeabilizante de polietileno. Após os períodos de chuva, é necessário se verificar os revestimentos, além disso, estima-se que a cada 15 anos é preciso uma manutenção total desses. Entretanto, algumas partes, como o parapeito, tem menor necessidade de manutenção devido à presença de um cinturão de pingadeira de betão armado.

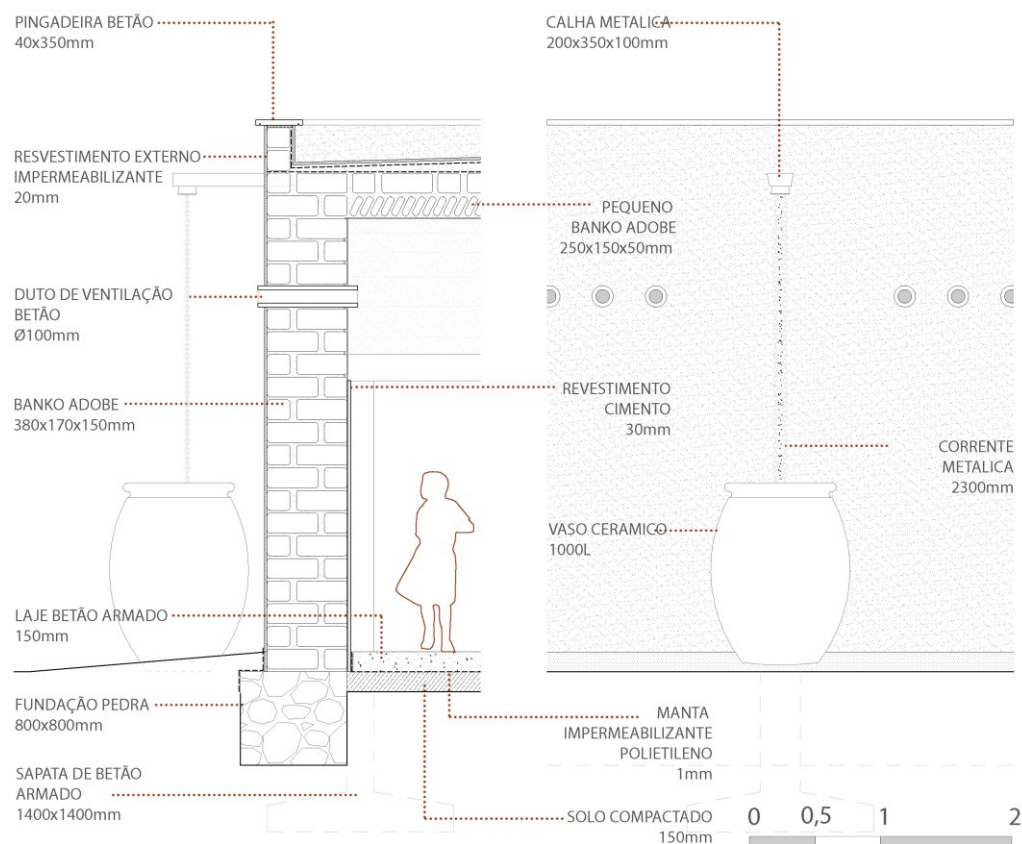


Figura 64 Corte e alçado paralelo a empena do módulo.

A fim de proteger a parte interna do módulo de temporais, há uma estrutura metálica com painéis basculantes compostos com um tecido de plásticos reciclados, que barram a chuva e direciona essa para uma calha de cimento, que divide a laje do piso interna da externa. O módulo conta com duas calhas metálicas que redirecionam o acúmulo pluvial coletado no teto e direciona para dois vasos cerâmicos de 1.000 litros cada. Esta água pode ser reaproveitada na rega do cultivo. Além disso, as paredes de banco têm fundações em pedra e uma soleira de terra com leve declive para não permitir o acúmulo de humidade.

Em resumo, tem-se que a forma arquitetónica encontrada tanto individualmente quanto em conjunto consegue responder às demandas do concurso e cria edifícios atrativos. Somando a isso, tem-se que as melhorias no conforto ambiental conseguem compensar o investimento feito no acréscimo de dois novos pórticos.

3.2.3 A ventilação dos módulos



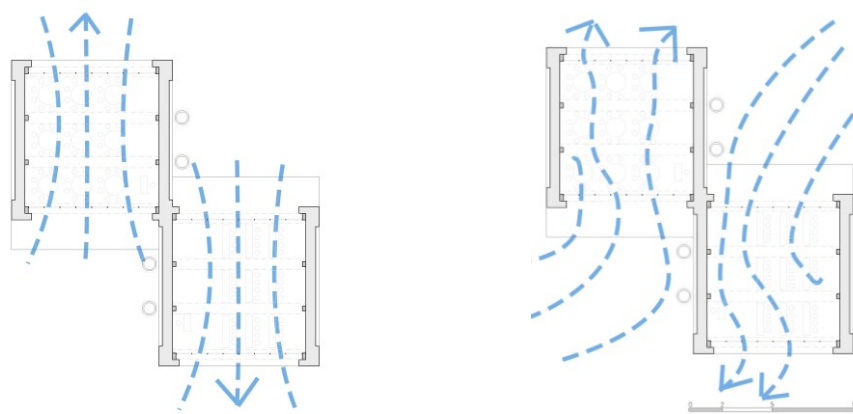
Figura 65 Vista da composição dos módulos.

A região do Ziguinchor tem ventilação natural constante, porém, com direções variadas conforme o período do ano. De novembro a fevereiro, os ventos dominantes vêm do continente, são mais secos e provêm principalmente do nordeste, norte e este. Enquanto de março a outubro, os ventos vêm do oceano atlântico e consequentemente são mais húmidos, com a predominância das direções do sudoeste e oeste¹⁰⁵. O vento tem suas vantagens e desvantagens. Em certos períodos do ano, existem fortes ventanias acompanhadas de chuvas que merecem a devida atenção. Em relação ao clima, Kafountine, do tipo Sahel, é marcado por duas principais estações: a chuvosa, de junho a outubro, com clima muito quente e húmido; e a seca, de novembro a maio, na qual, chove entre 0 e 4 mm por mês as temperaturas são mais amenas. Ou seja, tem-se uma grande variação da média de humidade anual que reflete também em uma amplitude térmica anual de 18°C. Todas essas características climáticas serviram de base para o desenho do projeto, além de considerar-se também as diretrizes do zoneamento climático no país no âmbito do *Programa Nacional para a Redução de Emissões de GEE através da Eficiência Energética no setor da construção* (PNEEB), estabelecido pela *Associação do Senegal para Padronização* (ASN)¹⁰⁶.

¹⁰⁵ JOFFROY, Thierry et al. - Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal. Grenoble : [s.n.] (p. 81).

¹⁰⁶ Este primeiro zoneamento climático visa agrupar diferentes zonas homogêneas que possuem características climáticas semelhantes, a fim de ser capaz de aplicar estudos ou regulamentos de forma efetiva e específica a cada zona. Este zoneamento leva em consideração os diferentes aspectos climáticos: precipitação, temperatura, humidade, insolação e cobertura de nuvens. Assim o território foi dividido em 5 zonas climáticas homogêneas

Sabe-se que localmente há um crescente descontentamento com os usuais telhados metálicos que se mostram inconvenientes devido a falta de isolamento acústico e principalmente ao risco recorrente da pressão exercida na estrutura que acarreta ocasionalmente nas ruturas das coberturas, sendo arrancados e levados aos ares¹⁰⁷. Assim, a construção de uma cobertura de terra se torna uma alternativa que garante segurança e conforto à estrutura, sem precisar se preocupar com os fortes ventos. Ao contrário, partiu-se do princípio de aproveitar-se da ventilação natural, como uma das estratégias para o conforto térmico e potenciar a economia energética. Por isso, a implantação dos módulos é pensada para criar espaços vazios e corredores de vento que promovem uma generosa permeabilidade da ventilação pela escola, assim como uma rugosidade entre os módulos adjacentes que potencializam o efeito canalizador do ar¹⁰⁸.



Fluxo de ar incidindo perpendicular à abertura

Fluxo de ar incidindo oblíquo à abertura

Figura 66 Incidência do ar e sua distribuição interna.

Os módulos são abertos na direção norte e sul, e optou-se por conjuntos implantados em diagonal, para favorecer a entrada dos ventos nordeste e sudoeste, o que permite que os ventos este ou oeste sejam reorientados em direção aos espaços internos, graças às empenas do módulo adjacente. A entrada do ar de forma oblíqua nas salas de aula, reduz a velocidade

cujas fronteiras seguem o traçado dos departamentos. SOW, E., GASSAMA, D., DIAGNE, M., & SECK, A. (06 de 2021). Bâtiment et energie. Analyse du Secteur du bâtiment au Sénégal. Paris, França: Programme for Energy Efficiency in Buildings (PEEB).

¹⁰⁷ OOTRAVAUX - Prix d'une couverture en zinc: avantages, inconvénients, tarifs [Em linha] [Consult. 20 jun. 2022]. Disponível em WWW:<URL:<https://www.ootravaux.fr/construction-renovation/toiture/couverture/toiture-zinc/couverture-zinc-et-a-quel-prix.html>>.

¹⁰⁸ TRINDADE DA SILVA, Fabiana; SCARIONE, Patrícia; ENGEL DE ALVAREZ, Cristina - A influência da rugosidade e porosidade da tipologia urbana na ventilação em área litorânea e a percepção de conforto do transeunte. Em *XIV ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*. Juiz de Fora : [s.n.]

do vento, mas permite uma maior área de ventilação, por consequência da turbulência gerada¹⁰⁹.

A escola foi projetada para ter uma contribuição adequada de ventilação natural, permitindo a renovação essencial do ar interno por um ar novo o que é vital para saúde, o que reduz os custos em saúde pública¹¹⁰ ao se preservar a higiene dos alunos e evitar patologias nas edificações. Pois, sabe-se que apesar das construções em terra não gerarem mofo¹¹¹, é necessária uma ventilação permanente para que haja a redução dos riscos de acúmulos de poluentes, como o CO₂, Compostos Orgânicos Voláteis (COV), humidade, vírus e mofo, em um contexto de clima quente e húmido. Isto também contribui para a evacuação do calor acumulado pela absorção de irradiação solar na estrutura e gerado pelas atividades internas exercidas pelos alunos. Garante-se, assim, o conforto aos estudantes que são diretamente impactados, pois, o ar que em contato com o corpo permite uma perda do calor corporal por convecção e pela evaporação do suor¹¹². Além de uma boa ventilação natural pode prevenir um potencial consumo energético proveniente de um sistema de resfriamento mecânico complicado de se instalar num contexto de fragilidade económica¹¹³.

O módulo, com seu vão livre e grande abertura em pórtico, foi pensado para ter uma alta porosidade, sendo de aproximadamente 55% muito superior a porosidade mínima de 25% para uma ventilação adequada nas edificações da região¹¹⁴. Assim, se espera que a partir da constância dos ventos que a configuração espacial favorece, a ventilação cruzada permita um alto potencial de circulação do ar no interior dos módulos. Além disso, o projeto tem um sistema de regulação manual composto por uma malha de pequenas esquadrias pivotantes que permitem adequar a quantidade dos ventos conforme a necessidade.

¹⁰⁹ **GIVONI, Baruch.** - Climate considerations in building and urban design. New York : Van Nostrand Reinhold, 1998. ISBN 978-0-471-29177-0.

¹¹⁰ **MACNAUGHTON, Piers et al.** - Economic, Environmental and Health Implications of Enhanced Ventilation in Office Buildings. *International journal of environmental research and public health*. (p. 12).

¹¹¹ **STRINGUETO, Kátia; BIS, Keila** - Adobe, matéria-prima tão antiga, pode ser alternativa para o futuro [Em linha], atual. 2016. [Consult. 20 jun. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://casa.abril.com.br/casas-apartamentos/adobe-materia-prima-tao-antiga-pode-ser-alternativa-para-o-futuro/>.

¹¹² A energia evacuada por litro de água evaporado da pele é de cerca de 640Wh. **JOFFROY, Thierry et al.** - Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal. Grenoble : [s.n.] (p. 27).

¹¹³ **AZMI, W. H. et al.** - Potential of nanorefrigerant and nanolubricant on energy saving in refrigeration system – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. . ISSN 1364-0321. 69:2017) 415–428. doi: 10.1016/J.RSER.2016.11.207.

¹¹⁴ Porosidade é a percentagem de área aberta em relação a área total da alçada. **JOFFROY, Thierry et al.** - Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal. Grenoble : [s.n.] (p. 52).

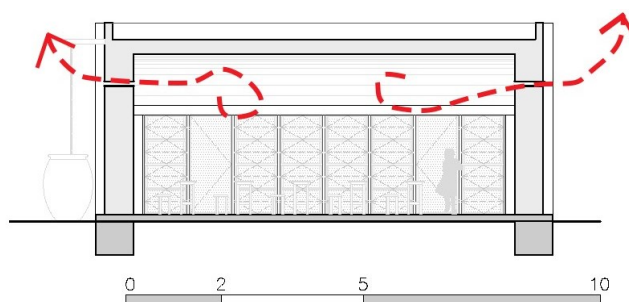


Figura 67 Corte de um módulo indicando o efeito chaminé.

Os ganhos de calor, devido a ação do sol, os quais o módulo está submetido, ocasionam a elevação de temperatura do ar contido no seu interior. O ar aquecido torna-se menos denso e com uma tendência natural a subir¹¹⁵, acumula-se na altura do intradorso da abóbada. Portanto, para que seja devidamente evacuado, há 9 dutos de ventilação nas respectivas paredes, que permitem a saída desse ar quente acumulado no teto e criando um efeito chaminé.

3.2.4 A proteção térmica do módulo

Procurou-se a partir dos materiais, da técnica construtiva, da forma arquitetônica e da implantação para resolver a proteção térmica. O maior desafio se encontra na forte incidência solar que o Senegal apresenta no decorrer do ano. A média da insolação global horizontal mínima em um dia, é de 3,7 kW/m² no mês de agosto, tendo seu máximo, no mês de abril, no qual, se eleva a 6,7 kWh/m²¹¹⁶. A energia recebida pela radiação solar não é homogênea em toda a edificação em função da sua orientação e tempo de exposição, pois, quando o sol atinge a parede de um edifício, parte da radiação é refletida, a outra parte é absorvida pela parede.

¹¹⁵ SOUZA RODRIGUES, Luciano - Ventilação natural induzida pela ação combinada do vento e da temperatura em edificações. [S.l.] : Universidade Federal de Ouro Preto, 2008. (p. 13).

¹¹⁶ JOFFROY, Thierry *et al.* - Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal. Grenoble : [s.n.]. (p. 81).

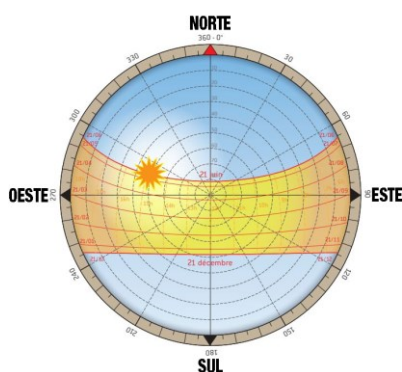


Figura 68 Carta solar.

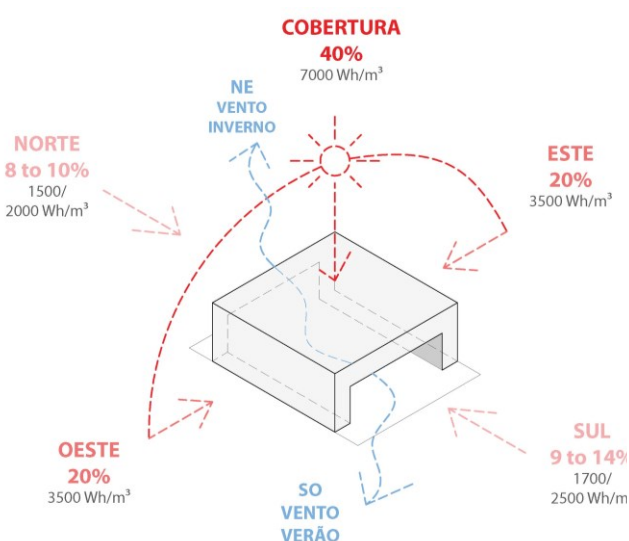


Figura 69 Esquema dos ventos predominantes e incidência solar.

Uma das vantagens das construções dos módulos com a técnica da abóbada Núbia é da alta inércia térmica, sendo esta a capacidade de armazenar e liberar energia em sua estrutura. Em outras palavras, um edifício com alta inércia térmica tem uma baixa difusividade e a efusividade relativamente alta, o que lhe garante uma pequena variação térmica interna. Isto porque a onda de calor, transmitida de fora para dentro através das paredes, sofre um certo amortecimento, uma mudança de fase, que é duas vezes superior do que em uma construção de alvenaria¹¹⁷.

A inércia do edifício em terra proporcionada pela elevada espessura das paredes caracteriza-se assim por uma forte atenuação das variações de temperatura no interior do edifício¹¹⁸. De dezembro a abril há uma amplitude térmica entre o dia e a noite que justificam a conceção de paredes e lajes com uma boa inércia térmica que permitem dissipar a onda de calor que está penetrando na edificação no curso do dia, e permite proteger dos picos de calor¹¹⁹. As paredes estruturais do projeto são de 60 cm a 80 cm de espessura e uma cobertura de 40 cm a 140 cm. As estruturas dos módulos foram pensadas para proteger e atenuar 80% da radiação solar absorvida, priorizando a construção das paredes externas a este e oeste e adotando uma cobertura igualmente espessa e em terra crua que permitem uma alta inércia térmica. Os módulos são preparados para potencialmente haver a

¹¹⁷ HAZOUME, Madiana - Confort Thermique des batiments en Voûte Nubienne. Nantes : ICAM, 2013. (p. 21).

¹¹⁸ JARNO, Bruno - Étude portant sur la technologie Voûte Nubienne comme modèle de construction. Paris : [s.n.]. (p. 51).

¹¹⁹ JOFFROY, Thierry *et al.* - Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal. Grenoble : [s.n.]. (p. 83).

instalação de painéis solares que criariam um teto duplo sombreado e ventilado, o que acrescentaria mais proteção térmica na cobertura. Os alçados norte e sul foram intencionalmente liberados de paredes espessas de banco e substituídos por esquadrias reguláveis, que criam um painel de *brise-soleil*, permitindo a circulação do ar e até 14% de incidência solar direta internamente.

A mudança de fase de 12 horas nas construções em abóbada Núbia, permitem que o pico de calor diurno só atinja o interior do edifício à noite, que é bastante atenuado. A amplitude de temperatura é muito amortecida nos módulos, tornando as temperaturas das paredes quase constantes ao longo do dia. A diferença máxima de temperatura entre o exterior e o interior é maior no edifício em abóbada Núbia do que no edifício de alvenaria, 5,2°C em janeiro e 4°C em abril. O recorte do pico de temperatura exterior é um importante fator de conforto térmico porque as diferenças de temperatura no interior de um edifício são geralmente uma fonte de desconforto.

Comparativamente, tem-se que o conforto ambiental em construções convencionais, como alvenaria com telhado de zinco, cria ambientes inadaptados ao clima local. Por exemplo, a temperatura é relativamente pouco amortecida no edifício de alvenaria que passa por uma mudança de fase de 6 horas, o que causa um aquecimento das edificações já no período da tarde. Em relação a cobertura, a chapa metálica tem uma condutividade térmica 70 vezes superior à da terra crua, o que acentua o calor interno e causa temperaturas médias internas mais altas que as temperaturas médias externas¹²⁰. Demonstra-se assim, a virtude e potencial da construção em terra para manter um ambiente agradável independentemente do período do ano.

3.2.5 Utilização de recursos naturais

A falta de infraestrutura no país exige a construção rápida que nem sempre utiliza os melhores materiais ou técnicas. Entretanto, a médio e longo prazo, se faz necessário a gestão dos recursos locais para uma arquitetura mais acessível e com menor impacto ambiental, pois, é preciso gerir adequadamente os recursos para a continuar o crescimento das infraestruturas do país. Em contrapartida, a construção civil e seu modelo extrativista e industrial impulsionada pelo constante crescimento populacional, pode levar o país a uma

¹²⁰ Condutividade térmica da chapa metálica de 70 W/m.°C contra 1 para terra crua. HAZOUME, Madiana - Confort Thermique des batiments en Voute Nubienne. Nantes : ICAM, 2013. (p. 21).

degradação ecológica extrema caso não haja uma mudança nos materiais utilizados nas novas edificações.

No contexto do município de Kafountine, onde esse aumento demográfico cria a necessidade constante em mais equipamentos educacionais, a terra é um material ideal para construção civil por ser acessível e abundante no país, que têm 80% de sua superfície coberto de laterita, um tipo de solo facilmente aplicável na construção. Sabe-se que a arquitetura de terra envolve diferentes técnicas modernas e antigas de construção¹²¹, por exemplo, no Senegal, a terra crua foi utilizada por gerações para pequenas casas e celeiros, prédios e mesquitas imponentes. Entretanto, seu uso foi reduzido no período pós-colonial das décadas de 60 e 70 com a ascensão do betão¹²², e, atualmente, há uma tendência nacional de diminuição na sua utilização¹²³. Contudo, na região do projeto, a técnica ainda permanece bem difundida, com mais de 60% das paredes construídas em banco, permitindo concluir que esta técnica é de conhecimento popular. Vale ressaltar também que a exploração da terra permite encurtar o transporte, conter o gasto energético na fabricação e é facilmente reutilizável, pois é um material de fácil circularidade, que pode ser dissolvida novamente ao solo após o uso na construção.

Diante desses fatos, o concurso proposto pela ONG Kakolum teve como premissa a revalorização desse material simples ao demonstrar localmente que o uso de terra na arquitetura pode lhe conferir uma qualidade estética, térmica e acústica, além de ser sustentável. Seguindo estes princípios, pensou-se ao propor a Escola Rural Walaa em se retirar do próprio lote a totalidade da terra necessária para execução da obra, que tem uma área total de 7.565 m². Entretanto, ao considerar o fator de empolamento de 25% da terra comum húmida ou seca¹²⁴ o volume de terra solta necessário seria superior a 2.100 m³ o que criaria inúmeras escavações que não se adequariam com as outras demandas do projeto. Foram necessários mais de 1.700 m³ de terra compactada, que foi possível suprir metade da demanda com a extração no terreno e o restante será comprado na região¹²⁵. Usou-se a extração da terra para compor os espaços externos da escola criando espaços rebaixados,

¹²¹ Existem dois modos de fabricação; o seco, no qual, a terra é compactada, e o húmido, no qual, a terra é moldada, extrudada ou empilhada. Nos mais diversos processos é possível o acréscimo de aditivos (cimento ou cal) ou adição (material orgânico fibroso ou agregados rochosos). MOREL, J. C.; CHAREF, R. - What are the barriers affecting the use of earth as a modern construction material in the context of circular economy? IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*. (p. 02)

¹²² LEWIS, Jori - The Future of Mud [Em linha], atual. 2022. [Consult. 31 jul. 2022]. Disponível em WWW:.

¹²³ JARNO, Bruno - Étude portant sur la technologie Voûte Nubienne comme modèle de construction. Paris : [s.n.]. (p. 11).

¹²⁴ Solos argilo-siltosos com areia. RICARDO, Hélio; CATALANI, Guilherme - Manual Prático de Escavação. Terraplenagem e Escavação de Rocha 3. ed. São Paulo : Pini, 2008.

¹²⁵ A extração no terreno se deu em 10 locais totalizando uma área de 668m².

desde praças com arquibancadas a planuras de cultivo, além de espaços de lazer, produção e até gestão hídrica. No caso de intempéries, podem redirecionar o excesso de água nas cavidades e facilitar sua absorção no solo, recarregando o lençol freático e o poço artesanal local.

A ONG Kakolum prevê a redução do impacto ambiental e financeiro através de uma *escola verde*. Criar um projeto que além de respeitar e integrar as árvores existentes no terreno, permitiria novos espaços verdes com o plantio de mais espécies. Privilegiando a diversificação dos tipos de plantações e espécies adaptadas ao clima local, a fim de garantir uma maior produção, resiliência às mudanças climáticas e reduzir o risco de perdas totais nas colheitas e economizar na quantidade de regas necessárias. A Associação Juvenil de Kafountine estará integrada ao projeto e será responsável em cuidar e cultivar a produção, a intenção é que haja frutas e hortaliças o ano inteiro e que 50% dos lucros das vendas da colheita irão para a manutenção da escola. Na demanda da associação, está previsto o plantio de moringa, bananeiras, mamoeiros, cajueiros, maracujazeiros e mangueiras e o projeto prever incluir a produção de hortaliças para consumo e bambu para construção¹²⁶.



Figura 70 Implantação das novas espécies.

A implantação das novas espécies organizou-se conforme o porte e altura máxima de cada espécie, o plantio de moringa, mamoeiros, que atinge 10 m a 12 m e cajueiros que variam entre 12 m e 15 m de altura¹²⁷. Localizaram-se principalmente na diagonal oposta

¹²⁶ ONG KAKOLUM - Archstorming - Earth School Competition - Secondary School in Kafountine, Senegal. Kafountine : Archstorming, 2021. (p. 10).

¹²⁷ FERRARI GUALBERTO, André et al. - Características, propriedades e potencialidades da moringa (*Moringa oleifera* Lam.): Aspectos agroecológicos. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*. ISSN 1981-8203. 9:5 (2014) 19–25.

aos módulos adjacentes. Enquanto, as bananeiras contribuem para um sistema sustentável de tratamento de águas negras, por esses motivos, foram dispostas próximas dos sanitários e refeitório. Já os maracujazeiros estão nas empenas dos edifícios apoiados em uma estrutura de madeira criando uma segunda pele protetora solar aos módulos. E as mangueiras, que podem atingir de 30 m a 40 m estão em áreas mais extensas de lazer, essas servem como espaço de encontro e aconchego aos alunos nos intervalos, criando simbolicamente marcos centrais na estruturação do espaço externo¹²⁸. A produção de hortaliças, serão cultivadas nas cavidades criadas pela extração da terra.

Atualmente, há um crescente aumento da demanda por madeira o que eleva os custos e inclusive favorece o intenso desmatamento legal e ilegal da região de Casamansa¹²⁹. O projeto prevê a médio e longo prazo, a produção de bambu que servirá para manutenção e construção de equipamentos futuros da escola, suprimindo a escassez de madeira local. O racionamento e a produção desse recurso apresentam-se como uma possibilidade de democratizar seu acesso às comunidades locais. O ciclo de colheita do bambu é de 3 a 6 anos¹³⁰ e permitiria a construção do pátio coberto, dos caminhos de circulação da escola e as estruturas para o desenvolvimento dos maracujazeiros.

Para além da produção, a vegetação integrada à escola, atua de forma benéfica sobre o conforto dos utilizadores. A proteção solar em conjunto a vegetação foi pensada principalmente pelas árvores de médio e grande porte, as quais, aplica-se uma distância de segurança mínima para evitar danificações as fundações e reduzir qualquer acidente em cima das edificações. Algumas árvores de forte densidade de folhagem conseguem reduzir a radiação solar de 60% a 90%, o que permite uma boa proteção solar nas empenas e cobertura dos módulos¹³¹. As mangueiras, por exemplo, produzem uma atenuação de temperatura de 0,5°C a 2°C entre a sombra e o sol¹³². O solo não mineralizado e impermeabilizado reduz os efeitos de ilhas de calor e reduz a quantidade de raios solares refletidos para o interior das edificações, regulando e refrescando a atmosfera circundante

¹²⁸ Mangueiras de até 30 m a 40 de altura. CIRAD, Filhor; BASSIN, Martin - Connaissance du fonctionnement des manguiers (M indica L.) de cultivar 'Lirfa' : effet du défouillage sur la croissance et la production. Clemont-Fernand. 2002); GOULHOT, Christina - Le manguier : intérêt pour la phytothérapie. *Sciences Pharmaceutiques*. 1996). (p.16).

¹²⁹ SOLLY, Boubacar *et al.* - Dynamique de la déforestation en zone frontalière au nord de la Haute-Casamance (Sénégal). *Migration, environnement, risque côtier, énotourisme, gouvernance*. ISSN 1760-8546. 257 (2020) 21–35.

¹³⁰ LENGEN, Johan Van. - Manual do arquitecto descalço. Santa Maria : Dinalivro, 2010.

¹³¹ JOFFROY, Thierry *et al.* - Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal. Grenoble : [s.n.]. (p. 34).

¹³² PÉREZ, Claudia - MICROCLIMA E CONFORTO TÉRMICO PROPORCIONADO POR CINCO ESPÉCIES DE ÁRVORES URBANAS DO MUNICÍPIO DE GURUPI, TO. [S.l.] Universidade Federal de Tocantins, 2017

com a evapotranspiração das plantas. A implantação da vegetação não foi pensada para canalizar ou cortar o vento, mas o resultado desta auxilia na proteção contra areia transportados pelo vento, poeira e poluição. A estratégia de vegetalização, preservando e densificando o entorno, foi essencial para o conforto dos espaços internos e externos.

A gestão dos recursos naturais do terreno ao longo do tempo contribuem para criar uma arquitetura responsável e favorece no alcance dos objetivos de conforto ambiental, neutralidade carbônica e financeiramente viável. Aproveitando-se corretamente dos elementos esses oferecem grandes benefícios desde áreas sombreadas, a altas taxas de absorções de gases a efeito estufa, boas produções de frutas e madeira para construção. A escola que valoriza o solo e as espécies têm um melhor equilíbrio com seu meio, podendo ter durante seu ciclo de utilização, o seu impacto na construção compensado e no final do ciclo de vida, uma fácil circularidade dos seus materiais.

3.3 Logística ecológica e financeira

3.3.1 Emissões de Gases de Efeito Estufa

Estimar as emissões de GEE para as fases construtivas desse projeto permitiu entender quais elementos construtivos são mais ou menos responsáveis pelas emissões, o que permitiu identificar quais seriam as melhorias futuras que minimizem os impactos ambientais e, possivelmente, atingir a neutralidade carbônica.

Sabe-se que a matriz energética e a indústria da construção civil influenciam os níveis de emissões em cada país, contudo, devida a falta de informações sobre Senegal, o cálculo da taxa de contribuição dos materiais usados na obra para emissão GEE, utilizou-se referências de estudos internacionais de Universidades da China¹³³, Dinamarca¹³⁴, Qatar¹³⁵ e Singapura¹³⁶. Após a coleta de dados das emissões, multiplicou-se pelo volume ou kg de

¹³³ A emissão do bambu é de -45,83 kg CO_{2eq}/m³. GU, Lei *et al.* - Carbon Footprint Analysis of Bamboo Scrimber Flooring—Implications for Carbon Sequestration of Bamboo Forests and Its Products. *Forests* 2019, Vol. 10, Page 51.

¹³⁴ CINARK - A pirâmide de material de construção [Em linha], atual. 2019. [Consult. 30 ago. 2022]. Disponível em WWW:<URL:<https://www.materialepyramiden.dk/>>.

¹³⁵ As emissões de CO_{2eq} para o polietileno são estimadas em 1,48 kg CO_{2eq} por unidade kg de polímero. ALSABRI, Amzan; TAHIR, Furqan; AL-GHAMDI, Sami G. - Life-Cycle Assessment of Polypropylene Production in the Gulf Cooperation Council (GCC) Region. *Polymers*. 2021). doi: 10.3390/polym13213793. (p. 04).

¹³⁶ 1 kg de policarbonato produz 5,58 kg de CO_{2eq}. KUA, Harn Wei; LU, Yujie - Environmental impacts of substituting tempered glass with polycarbonate in construction – An attributional and consequential life cycle perspective. *Journal of Cleaner Production*.(2016). (p. 08).

cada elemento construtivo, sendo estes: terra crua e betão armado. O primeiro é um material com baixa incorporação de carbono, pois, mesmo após o transporte e o fabrico em moldes continua sendo 25 vezes menos impactante que o betão (gráfico 4). Este fato justifica o quão interessante a terra pode ser para construção civil que busca ser mais sustentável.

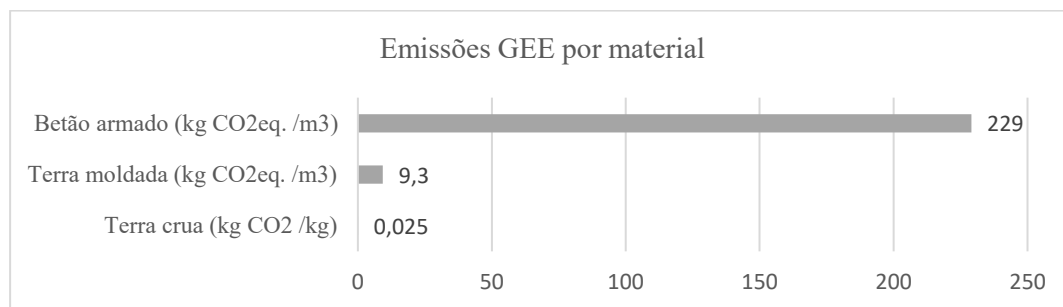


Gráfico 4 Emissões de GEE por material.

Calculou-se que cada módulo da sala de aula da escola Walaa emite 7,75 toneladas de CO₂eq., portanto, o conjunto de módulo pode atingir uma média de 84,23 kg de CO₂eq./m². Comparativamente, o impacto é maior do que os edifícios construídos apenas em abóbada Núbia apresentados nos casos de estudo, sendo superior também às construções usuais em abóbada Núbia e betão armado. Todavia, em comparação as construções com paredes em blocos de cimentos e telhados em chapa metálica ou de telhados em laje de betão, a solução proposta se apresenta vantajosa por ter índices visivelmente inferiores (gráfico 5).

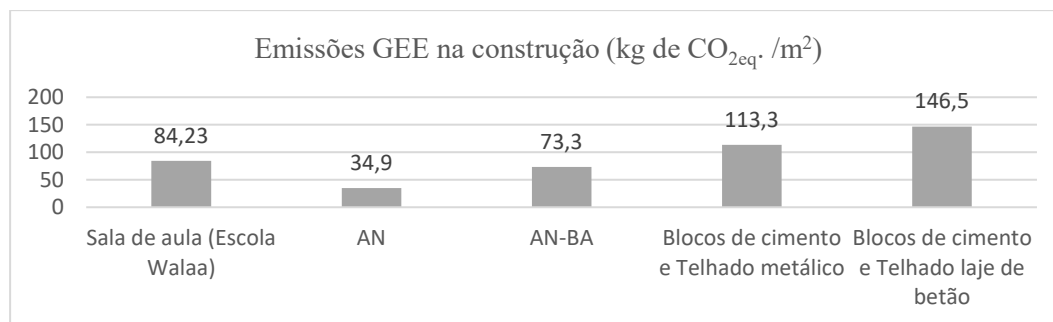


Gráfico 5 Emissões de GEE na construção

Observa-se que a nova forma proposta de sala de aula, com duas faces inteiramente abertas, permite reduzir a quantidade de material para sua manutenção, o que aumenta a eficácia período de utilização reduzindo as emissões GEE. Nos 30 anos iniciais da edificação em abóbada nubiana, a manutenção pode ser feita com a recolocação dos revestimentos externos (a cada 15 anos) e internos (a cada 20 anos). Por isso, a emissão média dos módulos construídos pode chegar a apenas 9,63 kg de CO₂eq./m², ou seja, muito abaixo de outros métodos construtivos acima citados, que têm uma média geral de 31,57

kg de CO_{2eq.} /m² (gráfico 6). Em resumo, há a possibilidade de se economizar até 820 kg de CO_{2eq.} /m² no ciclo de vida de 30 anos só por ter sido construído em abóbada Núbia em vez de uma construção convencional de cimento e betão¹³⁷.

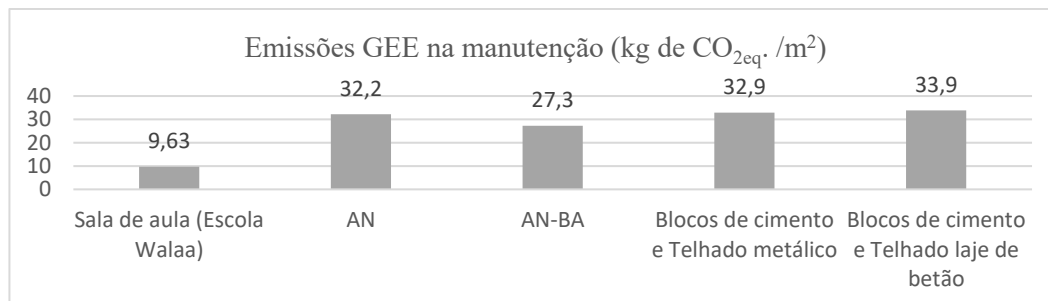


Gráfico 6 Emissões GEE na manutenção - abóbada Núbia (AN), betão armado (BA).

Apesar dos números serem positivamente baixos, a emissão poderia ser menor se as salas não tivessem estruturas com betão armado, contudo, esta escolha permite que as salas de aula se tornem mais amplas, com vãos generosos. Aproximadamente 75% das emissões GEE do projeto derivam de elementos de betão ou betão armado: 25% das fundações, 23% das vigas e pilares e 17% do piso. Então, pode-se concluir que, apensar o método utilizado foi pensado por questões de custo e disponibilidade de mão de obra especializada, no aspeto ambiental, seria desejável que as vigas, pilares e o piso de laje fossem de elementos neutros ou negativos em emissões de carbono (como a madeira e pedra), alcançando um potencial médio de 50 kg de CO_{2eq.} /m².

No projeto apresentado da Escola Rural Walaa as emissões totais são de 109,72 toneladas CO_{2eq.} para a construção do conjunto que atenderá 400 alunos e 20 professores, estando longe da neutralidade carbónica. Ao comparar a média anual de emissões/habitante no Senegal (1,55 toneladas de CO_{2eq.})¹³⁸, o impacto ambiental da construção é ínfimo com 0,26 ton CO_{2eq.} por utilizador e aproximadamente 1 kg CO_{2eq.} por utilizador na manutenção.

A partir da análise, pode-se destacar quão importante é pensar uma arquitetura que priorize os materiais locais de baixa energia, como a terra, pedra e madeira, pois esses materiais poderão auxiliar para reduzir o potencial de aquecimento global das edificações futuras e alcançar o objetivo de sustentabilidade com mínimo de emissões GEE. Entretanto,

¹³⁷ A avaliação global da economia potencial em CO₂ eq. no ciclo de vida de 30 anos de uma edificação em abóbada Núbiana em comparação a uma estrutura blocos de cimento e laje de betão é imenso: 136 kg de CO₂ eq. / m² economizados na fase de construção e manutenção e até 684 kg de CO₂ eq. / m² economizados na fase de utilização de energia de resfriamento (ventilação ou climatização). LA VOÛTE NUBIENNE - Rapport, D'activité, 2014 - 2015. (p. 36).

¹³⁸ As emissões de GEE por habitante no Senegal são de 1,55 toneladas CO_{2eq} em 2018, enquanto as emissões de carbono representam apenas 0,65 toneladas CO₂ por habitante em 2019. CRIPPA, Monica *et al.* - GHG emissions of all world countries - 2021 Report, EUR 30831 EN. Luxembourg : [s.n.]

vale ressaltar a necessidade de se ponderar sobre esta questão para não diminuir os recursos locais, ou seja, é necessária uma boa gestão na extração de grandes volumes e no tempo de plantio das árvores.

3.3.2 Absorção de gás carbônico

A escola *verde* disponibiliza produtos (frutas e madeiras) e também desempenha um serviço ambiental de mitigação dos efeitos das mudanças climáticas. As atuais limitações técnicas, sociais e económicas não permitem um projeto de construção totalmente neutro em emissões de carbono. Por isso, o sequestro de carbono¹³⁹ e seu armazenamento na vida útil das plantas¹⁴⁰ será necessário para compensar os impactos na fase de construção e utilização.

A absorção das plantas varia com o passar do tempo, pois quanto maior a árvore, maior é a área de folhagem para o sequestro dos gases e poluentes. Cada espécie tem suas características genéticas e diferenças no ritmo de crescimento, árvores de floresta quente e húmida têm um sequestro médio de 163,14 kg de CO_{2eq}. ao longo de seus primeiros 20 anos¹⁴¹.

A configuração do cultivo teve como prioridade questões de pedagogia, proteção térmica, produção agrícola e construtiva para em seguida se avaliar o sequestro de carbono. Para o cálculo, foi quantificado o número de árvores por espécie e pesquisou-se seus potenciais máximos naturais respectivos¹⁴². Em alguns casos, por conta do espaço ou da lógica produtiva, não será possível deixar a árvore se desenvolver até seu potencial máximo e assim sofrerá podas. Por esse motivo, em alguns sítios do projeto nos quais se identificou essa necessidade, projetou-se o impacto das intervenções na redução dos seus potenciais máximos naturais.

¹³⁹ Capacidade de remoção de gás carbônico da atmosfera LAL, R. - Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*. (2004) (pp.1623–1627)

¹⁴⁰ Armazenamento na biomassa das plantas. CABEZA, Luisa F. *et al.* - Embodied energy and embodied carbon of structural building materials: Worldwide progress and barriers through literature map analysis. *Energy and Buildings*. (2021)

¹⁴¹ INSTITUTO TOTUM; ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA LUIZ DE QUEIROZ - Uma árvore da Mata Atlântica chega a tirar 163 kg de CO₂ da atmosfera. São Paulo. 2013).

¹⁴² Potenciais máximos naturais das seguintes características: Altura total, altura do início da copa, diâmetro da copa, diâmetro do tronco e exposição solar pote distância calcular seu potencial futuro em absorção.

A ferramenta I-Tree Eco¹⁴³ foi usada para analisar a absorção futura de carbono a partir das médias de medida de cada espécie introduzida¹⁴⁴ e das características climáticas¹⁴⁵. Não foram consideradas as árvores nativas existentes no terreno por falta de informação. Mas a partir das novas espécies foram obtidos excelentes valores no sequestro potencial: 9,3 ton CO₂ por ano. Esta quantidade será menor no período de crescimento das espécies, mas ao alcançar a maturidade, permitirá que, em 12 anos, se anule a quantidade de gás emitido durante a construção. O projeto planta 356 novas árvores por uma área de 2.560 m², sendo 1 árvore a cada 7,19 m² e média de 26,23 kg CO₂ de absorção.

A função primária das espécies leva a grandes diferenças na eficácia de absorção por área. Calculou-se para a mangueira um sequestro potencial máximo alto, porém devido a sua função social de encontro (sombreando parte dos pátios) ocupará uma extensa área 114 m², que cria uma média de absorção baixa por área. Enquanto o bambu, que será plantado para produção, tem uma eficiência maior, com sequestro potencial máximo similar, mas numa área de 4,25 m² o que permite um rendimento 32 vezes superior (gráficos 7 e 8).

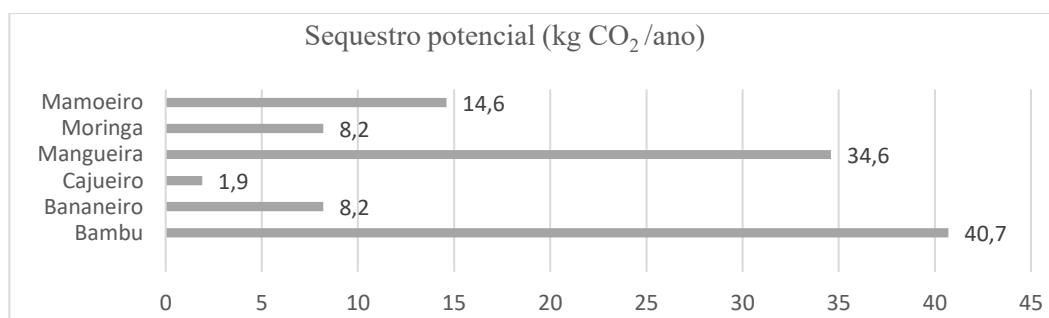


Gráfico 7 Sequestro potencial de gás carbônico por espécie.

¹⁴³ “O i-Tree é um conjunto de software de última geração revisado por pares do USDA Forest Service que fornece ferramentas de análise e avaliação de benefícios florestais urbanos e rurais. As ferramentas i-Tree podem ajudar a fortalecer o manejo florestal e os esforços de advocacia, quantificando a estrutura florestal e os benefícios ambientais que as árvores proporcionam.” **I-TREE** - i-Tree delivers current, peer-reviewed tree benefits estimation science from the USDA Forest Service to all types of users with free tools and support. [Em linha], atual. 2022. [Consult. 20 ago. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://www.itreetools.org/>.

¹⁴⁴ Dentre as espécies novas introduzidas apenas o maracujazeiro não tivemos resultados por falta de dados na plataforma i-Tree.

¹⁴⁵ Aplicou-se em condições climáticas similares ao local do projeto, seguindo os tipos climáticos de Köppen-Geiger.

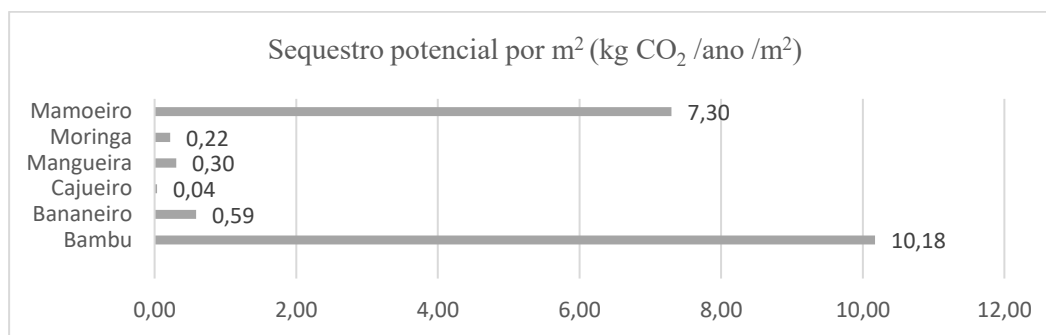


Gráfico 8 Sequestro potencial de gás carbônico por área plantada.

A junção das árvores no projeto proporciona uma redução das emissões de gases de efeito estufa. Seja pela atuação direta ou indireta das espécies, que melhoram a proteção térmica¹⁴⁶ e fornecem matéria-prima local sem necessidade de emissões via transporte.

3.3.3 Viabilidade econômica

A ONG Kakolum visa iniciar os trabalhos pedagógicos antes do término da infraestrutura, e planea a construção em cinco etapas para permitir no decorrer do projeto, arrecadar donativos para financiar a escola¹⁴⁷.

A escola será desenvolvida com duas técnicas construtivas: módulos em abóbada Núbia com estrutura em betão armado e o pátio coberto em estrutura de bambu e chapas de zinco. A equipa para tal construção é composta por 8 profissionais: 1 arquiteto de obra, 1 trabalhador nível C4, 2 de nível C3, 1 de nível C2 e 3 de nível C1¹⁴⁸. Devido aos baixos salários na construção civil do país, o custo da mão de obra soma apenas 15% do projeto. A estimativa orçamentária foi elaborada com dados da plataforma: *Gerador de preços de construção Senegal*¹⁴⁹. O valor total do projeto é de 103,9 milhões de FCFA, divididos entre o preço dos materiais de construção (88,6 milhões de FCFA) e o custo da mão de obra (15,4 milhões de FCFA)¹⁵⁰, que permitem construir uma área total de 1.506 m².

¹⁴⁶ A proteção térmica reduz o potencial consumo energético de resfriamento mecânico o que economiza emissões de gases a efeito estufa.

¹⁴⁷ ONG KAKOLUM - Archstorming - Earth School Competition - Secondary School in Kafountine, Senegal. Kafountine : Archstorming, 2021. (p. 10).

¹⁴⁸ Na construção civil do Senegal há várias categorias dividida em níveis: O nível C1 (aprendiz iniciante), nível C2 (aprendiz experiente), nível C3 (pedreiro experiente na construção em AN-BA) e nível C4 (especialista e gestor de obras em AN-BA). DUPUIS, Fanny *et al.* - Production 2014-2015, programme Senegal, Rapport fin de saison. Ganges : [s.n.]. (p. 44-45)

¹⁴⁹ CYPE INGENIEROS S.A. - Générateur de prix de la construction, Sénégal [Em linha] [Consult. 31 ago. 2022]. Disponível em WWW:<URL:http://www.senegal.prix-construction.info/>.

¹⁵⁰ O valor total é de 159 mil euros. Divididos entre os materiais de construção por 135 mil euros e o custo da mão de obra por 23 mil euros.

A primeira fase será a mais consequente em área construída dividido em 6 conjuntos: Área administrativa (92 m²), duas salas de aula (184 m²), espaço multiuso (187 m²), casa de banho (92 m²), sistema sanitário e o pátio coberto (220 m²). Prevê-se a duração de 9 meses para esta fase, sendo os 2 primeiros meses no preparo do terreno e extração da terra (construindo os espaços rebaixados e o poço artesiano), para nos próximos 6 meses, construir o equivalente a um módulo por mês¹⁵¹ e assim concluir todas as estruturas em terra e apenas deixar a construção do pátio coberto para o último mês, que não terá risco de ser impactado pelas precipitações possíveis. As fases seguintes são compostas pelo acréscimo de dois novos módulos de sala de aula e melhoria na capacidade do sistema sanitário da casa de banho existente. Essas novas salas serão construídas conforme a necessidade e disponibilidade financeira da ONG. Cada fase levará 2 meses de construção e precisará ser executada no período sem chuva, de novembro a maio (gráficos 9 e 10).

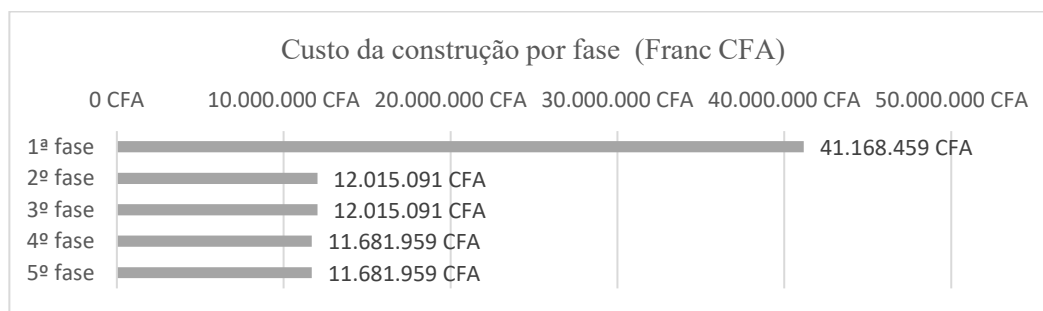


Gráfico 9 Custo da construção por fase (FCFA)¹⁵².

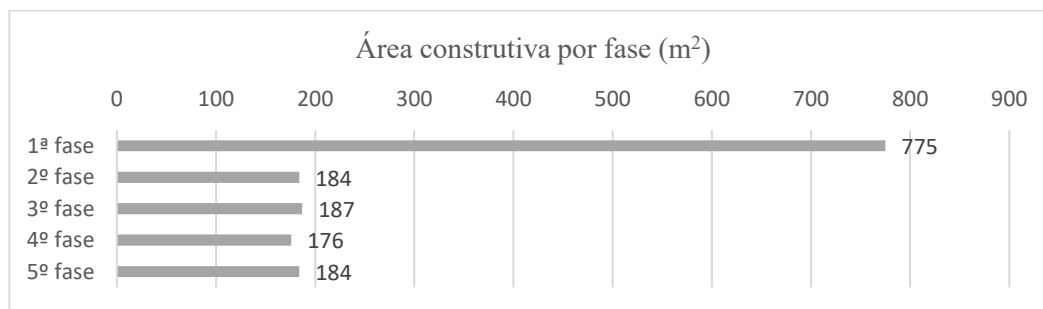


Gráfico 10 Área construtiva por fase (m²).

Os módulos em abóbada Núbia têm um valor total de aproximadamente 5,7 milhões de FCFA alcançando um excelente custo por m² da obra (62 044 FCFA /m²)¹⁵³, porém ao

¹⁵¹ 15 dias de trabalho para 50m² área útil. **TERAO; WILD TREES** - Programme d'Efficacité Energétique du Bâtiment au Sénégal, Développement du marché des éco-matériaux locaux dans le bâtiment au Sénégal. (p. 05).

¹⁵² O valor da primeira fase é de 63 mil euros.

¹⁵³ Os módulos têm um valor total de 8,56 mil euros e custo por m² da obra 93 EUR /m².

separar o orçamento por elementos percebemos quais precisam de maior investimento comparativamente a outros (gráfico 11)¹⁵⁴.

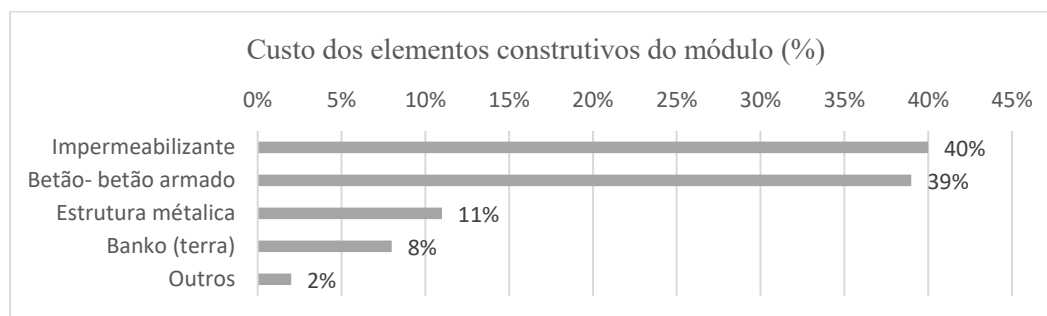


Gráfico 11 Custo dos elementos construtivos do módulo (%).

Os materiais impermeabilizantes são os mesmos que a *Associação Voûte Nubienne* costuma empregar e têm a vantagem de serem extremamente práticos e rápidos em sua aplicação, entretanto apresentam um custo elevado. As fibras vegetais¹⁵⁵ poderiam ser um substituto interessante nas coberturas com custos mais modestos e uma boa capacidade de proteção pluvial, precisando apenas de simples adaptações no projeto.

A situação atual para os elementos em betão armado é mais complexa, e a madeira que poderia ser um substituto parcial interessante, apresenta preços médios a elevados¹⁵⁶ o que têm pressionando seu corte clandestino, sendo um risco ecológico na região do projeto¹⁵⁷. A alternativa futura é do plantio de bambu local que permitiria vender para próxima expansão da infraestrutura escolar de Kafountine e assim integrá-lo a técnica de abóbada Núbia tentando reduzir o uso de betão armado, a madeira sendo usada para estrutura de vigas e pilares e esquadrias.

¹⁵⁴ Os valores aproximados para os elementos: Proteção impermeabilizante 2,3 milhões de FCFA; Betão e betão armado 2,2 milhões de FCFA; estrutura metálica da esquadria 0,6 milhões de FCFA e terra 0,45 milhões de FCFA.

¹⁵⁵ As fibras vegetais têm preços moderados e encontram-se com uma forte disponibilidade no mercado. Na construção civil é muito aplicado nas coberturas, divisórias, tetos falsos, paredes, blocos comprimidos ou composto, isolante acústico e térmico. A palha encontra-se principalmente na parte oriental do Senegal, cobrindo uma superfície de 5077000 hectares e os typhas se concentram na foz dos rios. Apesar dessa extensa produção, a pressão para a alimentação animal reduz a sua disponibilidade a construção. **BERTHOME, Ahmed; SILVESTRE, Eric; YAO KOUAME, Claude** - Matériaux locaux et éco architecture au Sénégal - état de lieux et perspectives dans le cadre d'une transition verte. Genève: [s.n.]. (p. 46 e 48).

¹⁵⁶ Idem, (p. 46 a 50).

¹⁵⁷ O governo do Senegal percebeu o risco ecológico e a partir de 2002 proibiu a exploração de algumas espécies e desde então está classificando áreas de preservação. A exploração clandestina é particularmente destrutiva no sul, nas regiões de Ziguinchor, Kolda e Tambacounda. O ex-ministro da ecologia e proteção da natureza, Haïdar El Ali, chegou a declarar que "Se nada for feito, se tornará um deserto". **FAYE, Birame** - FICHE D'INFO - Sénégal : la contribution du bois à l'économie [Em linha], atual. 2018. [Consult. 24 jul. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://africacheck.org/fr/fact-checks/fiches-dinformation/fiche-dinfo-senegal-la-contribution-du-bois-leconomie>.

A terra é sem dúvida um material extremamente barato e acessível, sendo uma grande vantagem para o orçamento da construção. O preço calculado poderia ser ainda menor, pois o custo dos blocos de banco no mercado está em torno de 35 FCFA a 15 FCFA dependendo do tamanho¹⁵⁸, mas como 50% da terra será extraída no terreno, seria possível seu fabrico local por um preço menor¹⁵⁹.

A falta de infraestrutura educacional no país exige a construção rápida e nem sempre se utilizará os melhores materiais ou técnicas. Entretanto, a médio e longo prazo, é necessário a gestão dos recursos locais para uma arquitetura com menor impacto ambiental e com um custo mais competitivo. É preciso estruturar os recursos futuros para garantir o contínuo desenvolvimento dos projetos no país passando pela logística dos solos ao plantio de árvores construtivas e garantir um preço acessível a arquitetura de qualidade.

¹⁵⁸ 20 dias de trabalho para 70m2 área útil. **TERAO; WILD TREES** - Programme d'Efficacité Energétique du Bâtiment au Sénégal, Développement du marché des éco-matériaux locaux dans le bâtiment au Sénégal. (p. 05).

¹⁵⁹ Uma equipa de 6 pessoas produz 800 blocos por dia.

Considerações finais

O Senegal está em constante crescimento populacional, demandando um aumento construtivo permanente de toda infraestrutura. Tal situação afeta de forma direta a educação, onde muitos jovens estão fora do sistema nacional por falta de infraestrutura básica ou falta de atratividade dos institutos existentes. Devido a pouca capacidade económica, essas escolas são em geral construídas em estruturas temporárias. Quando o poder público consegue meios financeiros adequados para a produção de edifícios permanentes, desenvolve-se em prioridade estruturas em cimento e telhas de zinco. Elementos baseados em um modelo socioeconómico ocidental de transformação (com acréscimo de energia incorporada) dos recursos naturais extraídos. Apesar deste modelo não se demonstrar sustentável ecologicamente e financeiramente, ainda são edifícios que despertam o desejo dos Senegaleses. Para mudar esta situação é preciso revalorizar e conscientizar da existência de outras técnicas construtivas que permitam mitigar os problemas apresentados.

O objetivo fundamental para o país é que o público e o privado construam mais, melhor e com menos, para que as construções de qualidade, se popularizem e permitam uma melhora palpável. Para isso, as soluções técnicas precisam ser condizentes ao conhecimento e recursos locais. Além da função do poder público de catalisar a sociedade na transformação da percepção do conceito de modernidade, influenciando a construção nacional. Tal mudança deve permitir a melhoria na qualidade das edificações, facilitar universalidade do acesso à educação e a redução dos impactes ecológicos visando a neutralidade carbónica.

Para a mudança progressiva é preciso um planeamento completo das novas infraestruturas com uma arquitetura responsável ao longo do tempo. Isto implica em repensar desde a fase de projeto, a construção e utilização, assim como introduzir a absorção dos gases a efeito estufa e a circularidade dos elementos no fim de vida das edificações. Existem diversas possibilidades construtivas e a tese analisa uma opção acessível, a solução tradicional da abóbada Núbia, que historicamente inovou, proporcionando cobrir grandes volumes, sendo executado de modo rápido e com uma economia em materiais. No contexto atual, a técnica modificou-se e incorporou estruturas

auxiliares de betão armado adaptando-se às exigências espaciais contemporâneas e condições geoclimáticas mais diversas.

No Senegal, há três soluções arquitetónicas escolares construídas em abóbada Núbia: as salas de alfabetização em terra e as salas únicas e as salas de aula dupla em terra e betão armado. Nessas três, o envoltório da edificação é em blocos de banco tendo aberturas arqueadas muito restritas que limitam sua ventilação e iluminação natural e apresentam uma linguagem tectónica muito comum. O projeto apresentado ao concurso público permitiu propor a partir de elementos fabricados no local, uma sala de aula contemporânea. Com dois alçados livres, transformando o módulo em um grande pórtico de abóbadas Núbia e concedendo área interna ampla. Isso favoriza uma boa permeabilidade espacial do interno ao externo, integrando o espaço pedagógico à paisagem. O módulo da classe caracteriza uma nova solução, que conforme a sua configuração no espaço em conjunto aos módulos adjacentes (postos em diagonal ou geminados), apresenta vantagens variadas. Os módulos em diagonal criam uma rugosidade ao vento e potencializam a ventilação natural, já os geminados permitem uma redução em materiais utilizados. A procura por uma técnica acessível, de fácil execução e em sua maioria de terra crua levou ao método revisitado de abóbada Núbia com betão armado. Comparando a outras práticas construtivas convencionais, essa se mostra vantajosa: sendo mais ecológica e económica, fácil de construir e manter. O módulo proposto aprimora o resultado em conforto ambiental, espaço amplo e flexível, integra-se ao entorno e tem uma estética atrativa.

Entretanto, ao analisar a técnica em si, percebemos que há uma margem de melhora, principalmente inovando na substituição potencial do betão armado. Esse representa apenas 15,5% do volume total dos elementos construtivos, mas soma 39% do orçamento e 75% das emissões de gases de efeito estufa. A madeira é uma alternativa promissora na substituição da estrutura em betão armado em futuras edificações, por resolver a questão estrutural e manter um balanço carbónico positivo. A procura internacional pela madeira de construção é tão alta que no sul do Senegal, há um intenso desmatamento ilegal para exportação que vêm causando sérios problemas ambientais e reduzindo ano após ano o potencial de sequestro de CO_{2eq} das florestas. Em relação à construção, essas situações têm pressionado os preços da matéria-prima a níveis inaceitáveis para a realidade económica local. Para mudar esta conjuntura e viabilizar as construções em abóbada Núbia com estruturas em madeira, é preciso planejar os insumos ao longo do tempo, por enquanto não é viável usar esse material e por isso o projeto apresentado ao concurso se conteve em uma abordagem mais realista e utilizou o betão.

O projeto da Escola Rural Walaa evoluirá com o ciclo de uso da instituição. Parte da terra a ser usada na obra será retirada progressivamente no solo do terreno, a implantação dos módulos está em harmonia com as árvores existentes e o plantio futuro. As espécies novas introduzidas serão para o cultivo de frutas, hortaliças e madeira, justamente no intuito de baratear o custo da matéria-prima e fornecer uma fonte de subsistência. Conforme as árvores crescem suas copas frondosas permitirão uma melhor proteção térmica e um controle da humidade. Além de propiciar a absorção de quantidade considerável de gás carbónico que contribui na neutralidade da obra.

A arquitetura nacional deve seguir uma abordagem mais sustentável do desenvolvimento para obter benefícios em termos de segurança ecológica, bem-estar humano e de competitividade. As mudanças atuais influenciam nos avanços e opções futuras, permitindo o Senegal manter sua pegada ecológica global baixa sem, no entanto, impedir de criar mais prosperidade socioeconómicas para todos. O processo de melhoria do Senegal passa por mudanças estruturais e sistémicas, construindo uma sociedade com mais oportunidades, lutando contra a exclusão social, o analfabetismo, dando acesso à infraestrutura educacional de qualidade que motive a permanência escolar e reduza as diferenças entre a cidade e meio rural. O projeto da Escola Rural Walaa, busca trazer uma solução realizável que responda às ambições da nova Parceria para o Desenvolvimento Sustentado de África (NEPAD) (2001), assim como dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (2030). A construção proposta pretende favorecer uma educação de qualidade, inovação na indústria construtiva, criar edifícios mais sustentáveis, fomentar uma economia local, agir em conformidade com os anseios climáticos mundiais, proteger a vida terrestre e promover justiça social. O estudo, popularização e aprimoramento da técnica da abóbada Núbia com auxílio de outra estrutura poderá permitir um salto no desenvolvimento sustentável do país, construindo mais, melhor com menos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Concurso

GROGG, Leonardo; AMORIM, Michele; MARLEY, Endi - Walaa - The Earth School Competition. Kafountine. 2022).

ONG KAKOLUM - Archstorming - Earth School Competition - Secondary School in Kafountine, Senegal. Kafountine : Archstorming, 2021

Estudos

ALSABRI, Amzan; TAHIR, Furqan; AL-GHAMDI, Sami G. - Life-Cycle Assessment of Polypropylene Production in the Gulf Cooperation Council (GCC) Region. *Polymers*. 2021). doi: 10.3390/polym13213793. **APIX S.A.** - Fiches Techniques. Dakar : [s.n.]

BARRY, Michael; SLIFER-MBACKE, Louis - Etude nationale sur les enfants et les jeunes horsdu système éducatif au Senegal

BERTHOME, Ahmed; SILVESTRE, Eric; YAO KOUAME, Claude - Matériaux locaux et éco architecture au Sénégal - état de lieux et perspectives dans le cadre d'une transition verte. Genève : [s.n.]

CIRAD, Filhor; BASSIN, Martin - Connaissance du fonctionnement des manguiers (M indica L.) de cultivar 'Lirfa' : effet du défouillage sur la croissance et la production. Clermont-Ferrand. 2002).

COMMUNE DE KAFOUNTINE - Plan de Développement Communal de Kafountine 2021-2025. Kafountine : [s.n.]

DIOP, Allé Nar *et al.* - Situation économique et sociale du Senegal 2019. Dakar : [s.n.]

DIOP, Allé Nar; FAYE, Mbaye; SENE, Papa Ibrahima Sylmang - Situation économique et sociale du Sénégal 2017-2018. Dakar : [s.n.]

HOTT, Amadou - Document de Stratégie Conjointe EU - Sénégal 2018-2023 (révisé pour 2021-2023). Dakar : [s.n.]

INSTITUTO TOTUM; ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA LUIZ DE QUEIROZ - Uma árvore da Mata Atlântica chega a tirar 163 kg de CO2 da atmosfera. São Paulo. 2013).

JARNO, Bruno - Étude portant sur la technologie Voûte Nubienne comme modèle de construction. Dakar : [s.n.]

JARNO, Bruno - Étude portant sur la technologie Voûte Nubienne comme modèle de construction. Paris : [s.n.]

JOFFROY, Thierry *et al.* - Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal. Grenoble : [s.n.]

LA VOÛTE NUBIENNE - Estimatifs des coûts de construction Voûte Nubienne selon les différentes typologies de client. [s.d.].

LA VOÛTE NUBIENNE - Salle de classe Voûte Nubienne - Béton Armé (VN-BA). 2016).

LA VOÛTE NUBIENNE - Double salle de classe Voûte Nubienne - Béton Armé (VN-BA). 2018).

LA VOÛTE NUBIENNE - Salles d'alpha. 2020).

LA VOÛTE NUBIENNE; LE PARTENARIAT - Livret de présentation des solutions techniques Voûtes Nubienne sur le secteur de l'éducation. Thiès. 2016).

LA VOÛTE NUBIENNE; LE PARTENARIAT - Typologie de bâtiments en Voûte Nubiennneau Sénégal. Ourossogui. 2020).

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA PROTECTION DE LA NATURE - Deuxieme communication national du Sénégal - Convention Cadre des Nations-Unies sur les changements Climatiques. Dakar : [s.n.]

NDIAYE, Mamadou - Dynamiques des territoires ruraux au Sénégal: Culture de l'espèce Anacardium occidentale linnaeus et stratégies de lutte contre la pauvreté dans les Départements de Foundiougne (Commune de Diossong) et Ziguinchor. [S.l.] : Université Gaston Berger Saint-Louis (Sénégal), 12 Dez. 2020

NORTON, John; TUNLEY, Peter - Vulgarisation de la consctruction de voutes et coupoles au sahel. Niamey : [s.n.]

OUEDRAOGO, Bachir Ismael - Climate change, renewable energy and population impact on future energy demand for Burkina Faso built environment. [S.l.] : University of Manchester, 2012

PÉREZ, Claudia - MICROCLIMA E CONFORTO TÉRMICO PROPORCIONADO POR CINCO ESPÉCIES DE ÁRVORES URBANAS DO MUNICÍPIO DE GURUPI, TO. | Request PDF. [S.l.] : Universidade Federal de Tocantins, 2017

SILVA, Cláudia Gonçalves Thaumaturgo Da - Conceitos e preconceitos relativos às construções em terra crua. Rio de Janeiro : Fundação Oswaldo Cruz. Escola Nacional de Saúde Pública Ser, 2000

SOLENER, Mohamed - Les bases de la bonne conception thermique. Em Changement climatique et énergie. Atelier sur l'efficacité énergétique dans le bâtiment en zone tropical. Dakar : *Changement climatique et énergie*, 2013

SOUZA RODRIGUES, Luciano - Ventilação natural induzida pela ação combinada do vento e da temperatura em edificações. [S.l.] : Universidade Federal de Ouro Preto, 2008

SOW, Elhadji Mansour *et al.* - Bâtiment et energie. Paris. 2021).

TERAO; WILD TREES - Programme d'Efficacité Énergétique du Bâtiment au Sénégal, Développement du marché des éco-matériaux locaux dans le bâtiment au Sénégal

TRINDADE DA SILVA, Fabiana; SCARIONE, Patrícia; ENGEL DE ALVAREZ, Cristina - A influência da rugosidade e porosidade da tipologia urbana na ventilação em área litorânea e a percepção de conforto do transeunte. Em *XIV ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*. Juiz de Fora : [s.n.]

Relatórios

CRIPPA, Monica *et al.* - GHG emissions of all world countries - 2021 Report, EUR 30831 EN. Luxembourg : [s.n.]

DUPUIS, Fanny *et al.* - Production 2014-2015, programme Senegal, Rapport fin de saison. Ganges : [s.n.]

EIFFAGE - Eiffage 2013, Rapport Annuel. Asnières-sur-Seine : [s.n.]

HUMEAU, Philippe *et al.* - Synthèse régionale des études et rapports nationaux sur les enfants et adolescents en dehors de l'école Afrique de l'Ouest et du Centre. - [s.n.] : UNICEF, 2021.

HUMPHREY, Sarah - Rapport sur l'empreinte écologique de l'Afrique, Infrastructures vertes pour la sécurité écologique en Afrique. Tunis : [s.n.]

KAYASHIMA, Noah - Rapport de l'étude préparatoire pour le projet de construction de salles de classe pour l'enseignement moyen dans les régions de Louga et de Kaolack en république du Sénégal

LA VOÛTE NUBIENNE - Rapport, D'activité, 2014 - 2015

LA VOÛTE NUBIENNE - Rapport d'activité saison 2018-2019

LA VOÛTE NUBIENNE - Rapport d'activité saison 2019-2020

LE PARTENARIAT - Rapport d'activités 2020. Saint Louis : [s.n.]

NDIAYA, Samba *et al.* - Deuxième enquête de suivi de la pauvreté au Sénégal (ESP-II 2011) : rapport défini. Dakar : [s.n.]

OMS; UNICEF - Eau potable, assainissement et hygiène en milieu scolaire : Rapport sur la situation de référence au niveau mondial en 2018. New York : [s.n.]

SKEA, Jim *et al.* - Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change - WORKING GROUP III CONTRIBUTION TO THE IPCC SIXTH ASSESSMENT REPORT

PNUD - Rapport sur le développement humain 2020. Élargir l'horizon des populations et de la planète : le développement humain et l'Anthropocène Note d'information à l'intention des pays concernant le Rapport sur le développement humain. Senegal : [s.n.]

URBAN FOREST EFFECTS - Ecosystem Analysis Escola Rural Walaa. Porto : [s.n.]

WWF; BANQUE AFRIQUE DE DÉVELOPPEMENT - Rapport sur l'empreinte écologique de l'Afrique, Infrastructures vertes sur la sécurité écologique en Afrique. Tunis : [s.n.]

Livros

BEYELER, Mariette - Métamorphose. Transformer sa maison au fil de la vie. Presses Po ed. Lausanne : [s.n.]. ISBN 2889150607.

CHOISY, Auguste - L'Art de bâtir chez les Egyptiens. (1904).

CISSÉ, Oumar - PROFIL DU SECTEUR DU LOGEMENT AU SÉNÉGAL. Nairobi : ONU, 2012

GAUZIN-MÜLLER, Dominique - L'architecture écologique. Paris : Le Moniteur, 2001. ISBN 2281191370.

GHYOOT, Michael. *et al.* - Déconstruction et réemploi : Comment faire circuler les éléments de construction. Lausanne : [s.n.]. ISBN 2889152391.

GIVONI, Baruch. - Climate considerations in building and urban design. New York : Van Nostrand Reinhold, 1998. ISBN 978-0-471-29177-0.

GOYON, Jean Claude. *et al.* - La construction pharaonique du moyen empire à l'époque gréco-romaine : contexte et principes technologiques. Paris : Picard, 2004. ISBN 2708405039.

HARDY, Mathieu - Manuel du maçon nubien - Règles professionnelles du Concept Technique Voûte Nubienne. 2. ed. Bordeaux : La Voûte Nubienne, 2018

HAZOUME, Madiana - Confort Thermique des batiments en Voute Nubienne. Nantes : ICAM, 2013

LATORRACA, Giancarlo. - João Filgueiras Lima, Lelé. Lisboa : Editorial Blau, 2000. ISBN 9728311494.

LENGEN, Johan Van. - Manual do arquitecto descalço. Santa Maria : Dinalivro, 2010. ISBN 9789725765654.

LIMA, João Filgueiras - Escola transitória: modelo rural. Brasília : Ministério da Educação e Cultura, 1984

LIMA, João Filgueiras; MENEZES, Cynara - O que é ser arquiteto : memórias profissionais de Lelé, João Filgueiras Lima. Rio de Janeiro : Editora Record, 2004. ISBN 8501067601.

MAJALE, Michael *et al.* - Affordable Land and Housing in Africa | UN-Habitat. Nairobi : UN-HABITAT, 2012. ISBN 9789211323702.

MAJGAARD, Kirsten; MINGAT, Alain - Education in Sub-Saharan Africa : A Comparative Analysis. Washington : Washington, DC: World Bank, 2012. ISBN 978-0-8213-8889-1.

PEREIRA, Italma Simões.; GUEDES, Manuel Correia. - Arquitectura sustentável na Guiné-Bissau : manual de boas práticas. [S.l.] : CPLP-Comunidade dos Países de Língua Portuguesa, 2011. ISBN 9899717800.

RICARDO, Hélio; CATALANI, Guilherme - Manual Prático de Escavação. Terraplenagem e Escavação de Rocha | Amazon.com.br. 3. ed. São Paulo : Pini, 2008. ISBN 978-8572661959.

SPENCER, A. Jeffrey. - Brick architecture in Ancient Egypt. Warminster : Aris and Phillips, 1979. ISBN 0856681288.

THEUNYNCK, Serge - School Construction Strategies for Universal Primary Education in Africa : Should Communities Be Empowered to Build their Schools? Washington : World Bank, 2009. ISBN 978-0-8213-7720-8.

Artigos

- AZMI, W. H. *et al.*** - Potential of nanorefrigerant and nanolubricant on energy saving in refrigeration system – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. . ISSN 1364-0321. 69:2017) 415–428. doi: 10.1016/J.RSER.2016.11.207.
- CABEZA, Luisa F. *et al.*** - Embodied energy and embodied carbon of structural building materials: Worldwide progress and barriers through literature map analysis. *Energy and Buildings*. . ISSN 0378-7788. 231:2021) 110612. doi: 10.1016/J.ENBUILD.2020.110612.
- CESARACCIO, Marcella *et al.*** - Impact des activités humaines sur la dynamique littorale : prélèvements de sables sur le site de Pointe Sarène, Sénégal / Impact of sand extractions on coastal dynamics (Sarène Point beach, Senegal). *Géomorphologie : relief, processus, environnement*. . ISSN 1266-5304. 10:1 (2004) 55–63. doi: 10.3406/MORFO.2004.1199.
- FERRARI GUALBERTO, André *et al.*** - Características, propriedades e potencialidades da moringa (*Moringa oleifera* Lam.): Aspectos agroecológicos. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*. . ISSN 1981-8203. 9:5 (2014) 19–25.
- GOULHOT, Christina** - Le manguier : intérêt pour la phytothérapie. *Sciences Pharmaceutiques*. 1996).
- GU, Lei *et al.*** - Carbon Footprint Analysis of Bamboo Scrimber Flooring—Implications for Carbon Sequestration of Bamboo Forests and Its Products. *Forests* 2019, Vol. 10, Page 51. . ISSN 1999-4907. 10:1 (2019) 51. doi: 10.3390/F10010051.
- KOTTEK, Markus *et al.*** - World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*. . ISSN 09412948. 15:3 (2006) 259–263. doi: 10.1127/0941-2948/2006/0130.
- KUA, Harn Wei; LU, Yujie** - Environmental impacts of substituting tempered glass with polycarbonate in construction – An attributional and consequential life cycle perspective. *Journal of Cleaner Production*. . ISSN 09596526. 137:2016) 910–921. doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2016.07.171.
- LAL, R.** - Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*. . ISSN 00368075. 304:5677 (2004) 1623–1627. doi: 10.1126/SCIENCE.1097396/SUPPL_FILE/LAL.SOM.PDF.
- MACNAUGHTON, Piers *et al.*** - Economic, Environmental and Health Implications of Enhanced Ventilation in Office Buildings. *International journal of environmental research and public health*. . ISSN 1660-4601. 12:11 (2015) 14709–14722. doi: 10.3390/IJERPH121114709.
- MONNIER, Franck** - La voûte « nubienne » à l'époque pharaonique (conception et construction). *GM*. 247:2015) 72–84.
- MOREL, J. C. *et al.*** - Building houses with local materials: Means to drastically reduce the environmental impact of construction. *Build. Environ*. . ISSN 03601323. 36:10 (2001) 1119. doi: 10.1016/s0360-1323(00)00054-8.
- MOREL, J. C.; CHAREF, R.** - What are the barriers affecting the use of earth as a modern construction material in the context of circular economy? *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. . ISSN 1755-1315. 225:1 (2019) 012053. doi: 10.1088/1755-1315/225/1/012053.
- MUNDACA, Luis; ÜRGE-VORSATZ, Diana; WILSON, Charlie** - Demand-side approaches for limiting global warming to 1.5 °C. *Energy Efficiency*. . ISSN 15706478. 12:2 (2019) 343–362. doi: 10.1007/S12053-018-9722-9/TABLES/1.
- SOLLY, Boubacar *et al.*** - Dynamique de la déforestation en zone frontalière au nord de la Haute-Casamance (Sénégal). *Migration, environnement, risque côtier, œnotourisme, gouvernance*. . ISSN 1760-8546. 257 (2020) 21–35. doi: 10.4000/NOROIS.10480.

Páginas Web

- ASSEMBLÉE DES DÉPARTEMENTS DE FRANCE** - La Maison des Yvelines récompensée à la COP23 [Em linha], atual. 2018. [Consult. 7 ago. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://www.departements.fr/maison-yvelines-recompensee-a-cop23/>.
- AU SENEGAL** - Au Sénégal, la construction est de plus en plus locale [Em linha], atual. 2021. [Consult. 24 jul. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://www.au-Senegal.com/au-Senegal-la-construction-est-de-plus-en-plus-locale,16139.html?lang=fr>.
- BOURSORAMA** - Convertisseur FRANC CFA (BCEAO) / EURO (XOF / EUR) [Em linha], atual. 2022. [Consult. 17 set. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://www.boursorama.com/bourse/devises/convertisseur-devises/franccfa%28bceao%29-euro>.
- CHAVEAU, Loïc** - La voute nubienne, une méthode de construction en terre pour l'Afrique [Em linha], atual. 2018. [Consult. 22 set. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://www.sciencesetavenir.fr/nature-environnement/climat/la-voute-nubienne-une-methode-de-construction-en-terre-pour-l-afrique_125506>.
- CINARK** - A pirâmide de material de construção [Em linha], atual. 2019. [Consult. 30 ago. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://www.materialepyramiden.dk/>.
- CYPE INGENIEROS S.A.** - Générateur de prix de la construction, Sénégal [Em linha] [Consult. 31 ago. 2022]. Disponível em WWW:<URL:http://www.Senegal.prix-construction.info/>.
- DEJEANT, Florie; GARNIER, Philippe; JOFFROY, Thierry** - Matériaux locaux, matériaux d'avenir: Ressources locales pour des villes et territoires durables en Afrique [Em linha], atual. 2021. [Consult. 24 set. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://www.researchgate.net/publication/353508207_Materiaux_locaux_materiaux_d_avenir_Ressources_locales_pour_des_villes_et_territoires_durables_en_Afrique>
- ETENDART, Agnès; NOGUES, Chantal** - Nos Actions, ASAPEA [Em linha], atual. 2022. [Consult. 18 ago. 2022]. Disponível em WWW:<URL:http://asapea.fr/>.
- FAYE, Birame** - FICHE D'INFO - Sénégal : la contribution du bois à l'économie [Em linha], atual. 2018. [Consult. 24 jul. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://africacheck.org/fr/fact-checks/fiches-dinformation/fiche-dinfo-Senegal-la-contribution-du-bois-leconomie>.
- FICOU, Moctar** - Un rapport de l'UNEP accable le Sénégal dans l'exploitation du sable marin [Em linha], atual. 2022. [Consult. 19 jul. 2022]. Disponível em WWW:<URL:www.vivafrik.com/2022/04/26/un-rapport-de-lunep-accable-le-Senegal-dans-l'exploitation-du-sable-marin-a45574.html>.
- FRESSANGE, Julien** - Economie et insertion: ASAPEA [Em linha] [Consult. 19 ago. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://www.yvelines.fr/fiche/asapea/>.
- FROCHAUX, Marc** - (Re)lan-cer la fi-lière terre au Sé-né-gal [Em linha], atual. 2022. [Consult. 24 jul. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://www.espazium.ch/fr/actualites/relancer-la-filiere-terre-au-Senegal>.
- GUEYE, Amadou** - La première base industrielle de carreaux céramique au Sénégal installée à Sindia [Em linha], atual. 2020. [Consult. 24 jul. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://www.Senegal-export.com/la-premiere-base-industrielle-de-carreaux-ceramique-au.html>.
- HARADA, Magali** - Estratégias Bioclimáticas [Em linha] [Consult. 22 ago. 2022]. Disponível em WWW:<URL:http://bioclimatismo.com.br/arquitetura-bioclimatica/estrategias-bioclimaticas/#:~:text=Estratégias Bioclimáticas são alternativas ou,materiais e os componentes construtivos.>.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY** - Material efficiency in clean energy [Em linha], atual. 2019. [Consult. 3 ago. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://www.iea.org/reports/material-efficiency-in-clean-energy-transitions>.
- I-TREE** - i-Tree delivers current, peer-reviewed tree benefits estimation science from the USDA Forest Service to all types of users with free tools and support. [Em linha], atual. 2022. [Consult. 20 ago. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://www.itreetools.org/>.
- IVÓNIA, Joana** - Uma escola chamada cidade [Em linha], atual. 2017. [Consult. 22 set. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://www.ua.pt/pt/noticias/0/50510>.

LA VOÛTE NUBIENNE - Le concept technique - La Voûte Nubienne [Em linha] [Consult. 12 jul. 2022]. Disponível em WWW:<URL:<https://www.lavoutenubienne.org/-le-concept-technique>>.

LEWIS, Jori - The Future of Mud [Em linha], atual. 2022. [Consult. 31 jul. 2022]. Disponível em WWW:<URL:<https://www.theatlantic.com/science/archive/2022/07/Senegal-dakar-construction-mud-architecture/661405/>>.

NDAR INFO - Construction en Voûte Nubienne: une maternité et une salle de classe inaugurées à Podor. [Em linha], atual. 2014. [Consult. 19 ago. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://www.ndarinfo.com/CONSTRUCTION-EN-VOUTE-NUBIENNE-une-maternite-et-une-salle-de-classe-inaugurees-a-Podor_al1078.html>.

OCDE - OCDE Better Life Index - Education [Em linha] [Consult. 25 dez. 2021]. Disponível em WWW:<URL:<https://www.oecdbetterlifeindex.org/pt/quesitos/education-pt/>>.
/pt-br/175180-o-que-sao-mudancas-climaticas>.

ONU - O que são as mudanças climáticas? [Em linha], atual. 2022. [Consult. 26 jul. 2022]. Disponível em WWW:<URL:<https://brasil.un.org>

OOTRAVAUX - Prix d'une couverture en zinc: avantages, inconvénients, tarifs [Em linha] [Consult. 20 jun. 2022]. Disponível em WWW:<URL:<https://www.ootravaux.fr/construction-renovation/toiture/couverture/toiture-zinc/couverture-zinc-et-a-quel-prix.html>>.

RASSOUL, Eva - Sometra Producteur de fer à béton local [Em linha], atual. 2017. [Consult. 24 jul. 2022]. Disponível em WWW:<URL:<https://www.Senegal-export.com/dakar-et-le-Senegal-ressemble-a-126.html>>.

STRINGUETO, Kátia; BIS, Keila - Adobe, matéria-prima tão antiga, pode ser alternativa para o futuro [Em linha], atual. 2016. [Consult. 20 jun. 2022]. Disponível em WWW:<URL:<https://casa.abril.com.br/casas-apartamentos/adobe-materia-prima-ao-antiga-pode-ser-alternativa-para-o-futuro/>>.

TPSF - TRAVAUX PUBLICS SANS FRONTIÈRES - Le sable au Sénégal, les enjeux d'une ressource qui se tarit [Em linha], atual. 2022. [Consult. 23 jul. 2022]. Disponível em WWW:<URL:<https://www.carenews.com/tpsf-travaux-publics-sans-frontieres/news/le-sable-au-Senegal-les-enjeux-d-une-ressource-qui-se>>.

UNESCO - New Methodology Shows that 258 Million Children, Adolescents and Youth Are Out of School [Em linha], atual. 2019. [Consult. 25 dez. 2021]. Disponível em WWW:<URL:<https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/new-methodology-shows-258-million-children-adolescents-and-youth-are-out-school.pdf>>.

ÍNDICE DE IMAGENS

Capítulo 1 | Contexto do Senegal

Figura 1 – Disponível em WWW: <<https://padem.org/cause/Senegal-construction-dune-ecole-maternelle-dune-ecole-primaire-et-dun-college-a-saint-louis/>>.

Figura 2, 3, 4 - **JOFFROY, Thierry et al.** - Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal. Grenoble : [s.n.], p. 11 e 12.

Figura 5 – Disponível em WWW: <<https://www.au-Senegal.com/a-kafoountine-la-deforestation-inquiete,11123.html?lang=fr/>>.

Gráficos 1,2,3 - **JARNO, Bruno** - Étude portant sur la technologie Voûte Nubienne comme modèle de construction. Paris : [s.n.]

Capítulo 2 | Abóbadas Nubianas

Figura 6 - **JOFFROY, Thierry** – Conservation des greniers du Ramesseum, Thèbes (Louxor), Egypte. CRAterre ; MAFTO. 2017 : p. 14.

Figura 7 – Disponível em WWW: <https://www.francetvinfo.fr/monde/afrique/environnement-africain/et-si-la-terre-rouge-remplacait-le-beton-gris-au-Senegal_4647939.html?fbclid=IwAR0tq2QT4zIsEVNnguRjy5iHX9P8OyEtNxSilecV0QiW2xv7P14jKNXbVKu8/>.

Figura 8 - Disponível em WWW: <<https://maison-monde.com/technique-voute-nubienne/>>.

Figura 9 - Disponível em WWW:<[URL:https://www.sciencesetavenir.fr/nature-environnement/climat/la-voute-nubienne-une-methode-de-construction-en-terre-pour-l-afrique_125506](https://www.sciencesetavenir.fr/nature-environnement/climat/la-voute-nubienne-une-methode-de-construction-en-terre-pour-l-afrique_125506)>.

Figura 10 - **MONNIER, Franck** - La voûte « nubienne » à l'époque pharaonique (conception et construction). *GM*. 247:2015 72–84.

Figura 11, 12, 13, 14, 15 - **LA VOÛTE NUBIENNE** - Rapport d'activité saison 2018-2019.

Figura 16, 17 - **LA VOÛTE NUBIENNE** – Une solution technique pour des constructions bioclimatiques adaptées en Afrique. Disponível em WWW: <<https://fr.slideshare.net/PatrickTanz/voute-nubienne-pour-des-batiments-adaptes-au-sahel/>>.

Figura 18 - **LA VOÛTE NUBIENNE** - Rapport d'activité saison 2018-2019.

Figura 19, 20 - **LA VOÛTE NUBIENNE** – Une solution technique pour des constructions bioclimatiques adaptées en Afrique. Disponível em WWW: <<https://fr.slideshare.net/PatrickTanz/voute-nubienne-pour-des-batiments-adaptes-au-sahel/>>.

Figura 21, 22 - Rede social Facebook: La maison des Yvelines.

Figura 23 – Disponível em WWW:<[URL:https://www.departements.fr/maison-yvelines-recompensee-a-cop23/](https://www.departements.fr/maison-yvelines-recompensee-a-cop23/)>.

Figura 24 – **LA VOÛTE NUBIENNE** - Rapport, D'activité, 2014 – 2015.

Figura 25, 26 - Redesenhos a partir de **LA VOÛTE NUBIENNE; LE PARTENARIAT** - Typologie de bâtiments en Voûte Nubiennau Sénégal. Ourossogui. 2020.

Figura 27 – **LA VOÛTE NUBIENNE; LE PARTENARIAT** - Typologie de bâtiments en Voûte Nubiennau Sénégal. Ourossogui. 2020.

Figura 28 - **LA VOÛTE NUBIENNE; LE PARTENARIAT** - Livret de présentation des solutions techniques Voûtes Nubiennes sur le secteur de l'éducation. Thiès. 2016, p.29.

Figura 29 - **LA VOÛTE NUBIENNE; LE PARTENARIAT** - Typologie de bâtiments en Voûte Nubiennau Sénégal. Ourossogui. 2020.

Figura 30 - **JARNO, Bruno** - Étude portant sur la technologie Voûte Nubienne comme modèle de construction. Paris : [s.n.].

Figura 31 – **LA VOÛTE NUBIENNE; LE PARTENARIAT** - Livret de présentation des solutions techniques Voûtes Nubiennes sur le secteur de l'éducation. Thiès. 2016, p. 08.

Figura 32, 33 – Redesenhos a partir de **LA VOÛTE NUBIENNE** - Salle de classe Voûte Nubienne - Beton Armé (VN-BA). 2016.

Figura 34 - **LA VOÛTE NUBIENNE; LE PARTENARIAT** - Typologie de bâtiments en Voûte Nubiennneau Sénégal. Ourosogui. 2020, p. 06.

Figura 35, 36 – Redesenhos a partir de **LA VOÛTE NUBIENNE** - Double salle de classe Voûte Nubienne - Beton Armé (VN-BA). 2018.

Figura 37 - **LA VOÛTE NUBIENNE; LE PARTENARIAT** - Typologie de bâtiments en Voûte Nubiennneau Sénégal. Ourosogui. 2020.

Figura 38 - **LA VOÛTE NUBIENNE** - Double salle de classe Voûte Nubienne - Beton Armé (VN-BA). 2018.

Figura 39 - Redesenho a partir de **LA VOÛTE NUBIENNE** - Double salle de classe Voûte Nubienne - Beton Armé (VN-BA). 2018.

Figura 40 – Desenho de autoria própria.

Capítulo 3 | Escola Rural no Senegal

Figura 41 - Desenho de autoria própria.

Figura 42 - Fotografias recebida no quadro do concurso. ONG KAKOLUM - Archstorming - Earth School Competition - Secondary School in Kafountine, Senegal. Kafountine : Archstorming, 2021

Figura 43 - **GROGG, Leonardo; AMORIM, Michele; MARLEY, Endi** - Walaa - The Earth School Competition. Kafountine. 2022.

Figuras 44, 45, 46, 47, 48, 49 - Desenhos de autoria própria.

Figura 50 - **GROGG, Leonardo; AMORIM, Michele; MARLEY, Endi** - Walaa - The Earth School Competition. Kafountine. 2022.

Figuras 51, 52, 53, 54, 55, 56 - Desenhos de autoria própria.

Figura 57 - **GROGG, Leonardo; AMORIM, Michele; MARLEY, Endi** - Walaa - The Earth School Competition. Kafountine. 2022.

Figuras 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64 - Desenhos de autoria própria.

Figura 65 - **GROGG, Leonardo; AMORIM, Michele; MARLEY, Endi** - Walaa - The Earth School Competition. Kafountine. 2022.

Figura 66 - **GIVONI, Baruch**. - Climate considerations in building and urban design. New York : Van Nostrand Reinhold, 1998.

Figuras 67 - Desenho de autoria própria.

Figura 68 - **JOFFROY, Thierry et al.** - Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal. Grenoble : [s.n.], p. 12.

Figura 69, 70 - Desenho de autoria própria.

Gráfico 4 - **CABEZA, Luisa F. et al.** - Embodied energy and embodied carbon of structural building materials: Worldwide progress and barriers through literature map analysis. *Energy and Buildings*.; **CINARK** - A pirâmide de material de construção [Em linha], atual. 2019. [Consult. 30 ago. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://www.materialepyramiden.dk/>.

Gráficos 5,6 - **JARNO, Bruno** - Étude portant sur la technologie Voûte Nubienne comme modèle de construction. Dakar : [s.n.]

Gráficos 7, 8 - **URBAN FOREST EFFECTS** - Ecosystem Analysis Escola Rural Walaa. Porto : [s.n.]

Gráficos 9, 10, 11 - Gráficos de autoria própria.

ANEXOS

Editais do concurso público

O concurso público: *The Earth School Competition, Secondary School in Kafoutine*, Senegal, lançado em 2021, por iniciativa da ONG Kakolum com a *Archstroming Architecture Competitions*. O Edital serviu de referência base para a elaboração do objeto de estudo: A Escola Rural de Walaa no Senegal.

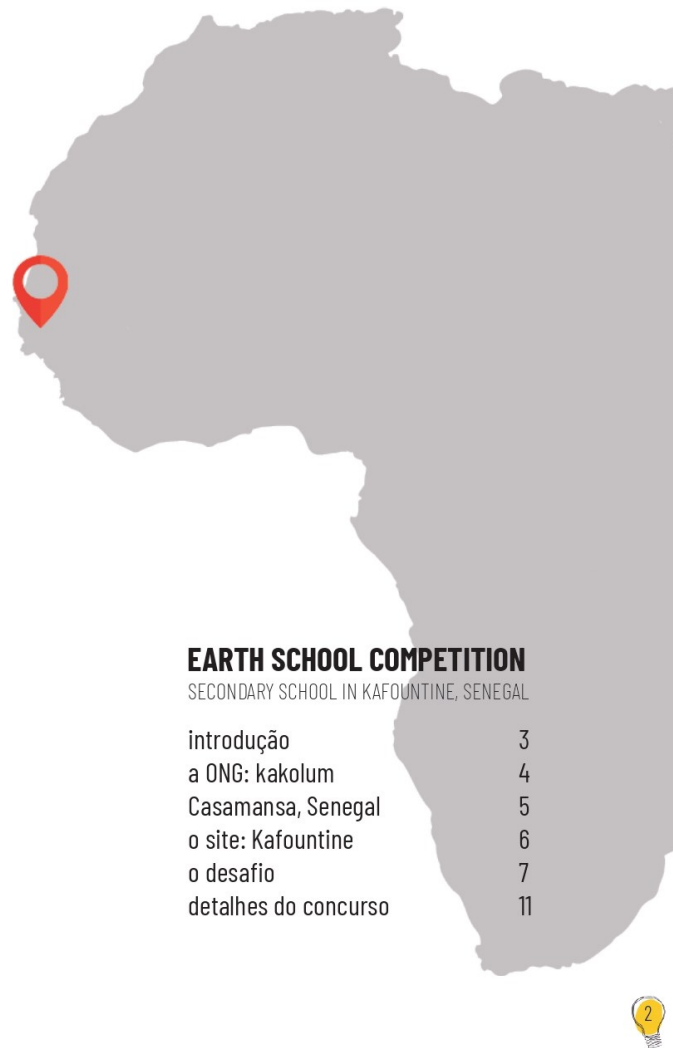
THE EARTH SCHOOL COMPETITION

SECONDARY SCHOOL IN KAFOUNTINE, SENEGAL

10.000€ + CONSTRUCCIÓN



um concurso de
 **ARCHSTORMING**
ARCHITECTURE COMPETITIONS
em colaboração com
 **KAKOLUM**





INTRODUÇÃO

“É preciso uma aldeia inteira para educar uma criança”, diz um conhecido provérbio africano. E agora estas aldeias precisam de escolas. O Senegal compreendeu plenamente as questões levantadas pela educação, com um governo que aloca uma média de 24% da despesa pública nesse setor. No entanto, apesar dos progressos no acesso das crianças à escola, apenas 6 em cada 10 alunos

conseguem completar o ensino primário, menos de 5 vão para o ensino médio e apenas 3 a completam.

Enquanto recursos públicos substanciais são gastos em educação, eles mal cobrem as necessidades operacionais básicas. A capacidade também não está aumentando o suficiente. A equidade e a qualidade da educação também são ainda inadequadas.

Neste contexto, **a Archstorming está lançando um novo concurso em parceria com a ONG Kakolum.** Vamos viajar para Casamansa, uma região no Senegal marcada por um conflito de identidade que começou

há mais de 30 anos e continua até hoje. Esta região, situada entre a Gâmbia e a Guiné-Bissau, enfrenta vários desafios, um dos quais é a falta de salas de aula para as crianças do ensino primário e médio.

As escolas em Casamansa são estruturas temporárias, na sua maioria feitas de palha, lama ou restos de alumínio, nas quais os alunos se sentam no chão e os professores raramente têm uma secretária ou cadeira.

Este concurso buscará projetos para uma nova escola para 400 alunos a ser construída na aldeia costeira de Kafountine.





A ONG: KAKOLUM

Kakolum significa em Diola - a língua majoritária da região de Ziguinchor no sul do Senegal - *a pegada deixada ao caminhar sobre a terra*. Este nome reflete um dos pilares da ONG: assegurar que as ações empreendidas deixem uma marca e permanecem sustentáveis uma vez iniciadas, assegurando que as comunidades locais possam garantir a sua continuidade ao longo do tempo.

A Kakolum é uma ONG nascida do contato estreito e permanente com as comunidades com as quais trabalha. Ela tem uma cooperação responsável na qual os beneficiários dos projetos têm o papel principal na forma como executam as ações e no seu significado, atribuindo um papel especial às mulheres participantes.

Os quatro pilares fundamentais sobre os quais a Kakolum trabalha são:

- **Agricultura sustentável e segurança alimentar:** o objetivo é que o trabalho agrícola da população local proporcione uma fonte

estável de renda para as suas famílias e garanta a sua segurança alimentar.

- **Conservação ambiental:** sensibilizar a população local, bem como desenvolver projetos inovadores de reciclagem.
- **Defesa, promoção e garantia dos direitos da mulher:** através do acesso à informação, programas e projetos.
- **Água, saneamento e infraestruturas:** reabilitação e construção de escolas, centros de saúde, assim como acesso à água e saneamento.





CASAMANSA, SENEGAL

A Kakolum trabalha em **Casamansa**, uma região do Senegal localizada a sul da Gâmbia, ao longo do rio Casamansa. A região goza de chuvas abundantes, e os cursos inferiores fluviais do rio Casamansa estão cobertos de vegetação densa: os mangais, as palmeiras de óleo e as palmeiras de rafia predominam. O arroz, o algodão e o milho são cultivados ali também. A Casamansa mantém uma

identidade distinta que a diferencia da parte norte do Senegal. O grupo étnico majoritário em Casamansa é o Diola (87%), ao contrário do resto do país, onde os Wolof são majoritários.

Mais especificamente, a ONG está localizada em **Kafountine**, uma aldeia banhada a oeste pelo Oceano Atlântico que regista um rápido crescimento populacional devido ao seu porto de pesca - o maior da região - o que gera um grande movimento migratório. **Apesar de ter uma população de 17.000 habitantes, neste momento existe apenas uma escola de ensino médio.** É por isso que é urgente

melhorar a infraestrutura atual.

A aldeia vive tradicionalmente da pesca e do cultivo do arroz, mas o turismo desenvolve-se rapidamente graças às suas belas praias e à construção de campos de ecoturismo.

O clima é do tipo Sahel, caracterizado por uma estação seca de Novembro a Maio, alternando com uma estação chuvosa de Junho a Outubro. É uma das regiões mais chuvosas do Senegal. Apesar disto, não há inundações. Durante a estação seca, as temperaturas são mais amenas (entre 22 e 30°C). Na estação das chuvas, o clima é muito quente e úmido.





O SITE: KAFOUNTINE

Segundo o Plano de Desenvolvimento Municipal de Kafountine, elaborado em 2020, há **falta de vagas na escola** devido ao aumento demográfico das crianças entre 12 e 16 anos e à deterioração e escassez de salas de aula. O documento conclui que 33 salas de aula devem ser construídas em Kafountine, outras 24 devem ser reabilitadas e que há nove escolas na região que não têm acesso à

água. A maioria dos alunos em idade escolar do município vem de famílias que vivem de atividades agrícolas e de pesca e têm baixa renda.

Apesar de uma população de cerca de 17.000 habitantes, existe apenas **uma escola de ensino médio na aldeia**. Esta escola é frequentada atualmente por mais de 1.000 alunos, embora a infraestrutura não satisfaça as condições adequadas para acomodar mais de 600. Faltam-lhes medidas de segurança e recursos suficientes (espaços exteriores, banheiros, salas de aula) para garantir condições ótimas de aprendizagem.

O terreno onde a escola está localizada já está cheio e não podem ser construídas mais salas de aula nele. Por isso, **é necessário construir outra escola de ensino médio que atenda à crescente necessidade de escolarização na região**.

O terreno para a nova escola será localizado na periferia norte de Kafountine, a meio caminho da cidade vizinha de Diannah. A escola será utilizada por 400 alunos de ambas as cidades, já que o terreno fica a 4 km do centro de Kafountine e a 4,5 km da cidade de Diannah.





O DESAFIO

A concepção de infraestruturas educativas sempre foi um grande desafio para um arquiteto, pois além de proporcionar uma variedade de espaços para educação, esportes e atividades recreativas, estes devem ser espaços que fomentem um ambiente de aprendizagem positivo para as crianças. Estamos à procura de projetos para uma escola no Senegal e estes são os principais pontos a considerar:

a. LOCAL

O local onde será construída a nova escola de ensino médio tem uma dimensão de 4.833 m² e uma forma retangular, onde o lado longo tem aproximadamente 80m e o lado curto 60m. É completamente plano, o que significa que não há inclinação a considerar para o projeto.

Seu principal acesso é a partir de uma estrada de terra que percorre o lado norte do terreno.

A ONG quer integrar o conceito de escola verde em seu programa. Isso, entre outras coisas, significa que eles querem preservar o maior número possível de árvores e vegetação. Há algumas árvores no terreno

(principalmente palmeiras e moringa), o plano é não as cortar e até mesmo plantar outras novas.

b. PROGRAMA

A nova escola de ensino médio vai atender 400 alunos. As suas idades variam entre os 12 e os 17 anos. Deve incluir os seguintes espaços:

> **10 salas de aula:** têm de ter 63m², uma vez que esta é uma exigência do Governo do Senegal para as escolas públicas. Cada sala de aula acolherá cerca de 40 alunos.

> **1 espaço polivalente:** é muito útil para uma escola ter um grande espaço onde se podem





organizar várias atividades. Pode ser o refeitório, uma sala de conferências ou um local onde a comunidade possa realizar eventos. Não há tamanho máximo ou mínimo para este espaço, embora recomendamos que seja de cerca de 100m² - 200m².

> **Escritórios:** a área administrativa será dividida em dois espaços: o escritório do diretor e a sala do pessoal. Haverá cerca de 15-20 professores trabalhando na escola uma vez que ela esteja totalmente construída.

> **Banheiros:** a escola precisará de um total de 10 cubículos, quatro para meninos, quatro para

meninas, e dois para adultos. O sistema a ser utilizado como tratamento de águas residuais é uma fossa séptica que será instalada no solo. O banheiro também precisará ter lavatórios.

> **Pátio coberto:** durante a estação das chuvas (Junho a Outubro) chove todos os dias. Por essa razão, é bom ter uma área coberta onde as crianças possam brincar e fazer atividades esportivas mesmo que esteja chovendo. Uma área aproximada de 100m² é recomendada.

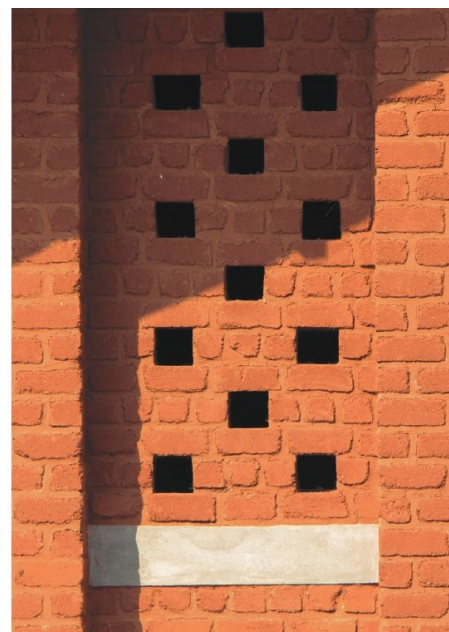
> **Pátio aberto:** ter grandes espaços abertos é essencial para uma escola. As áreas abertas devem incluir áreas para esportes, bem como

espaços verdes onde a vegetação possa crescer.

c. CONSTRUÇÃO EM TERRA E MATERIAIS LOCAIS

Um dos principais objetivos da Kakolum é ser sustentável e consciente com o meio ambiente. Por essa razão, é muito importante utilizar materiais locais e técnicas de construção fáceis de aprender. Esta é uma oportunidade de trazer a esta comunidade um método de construção barato que eles podem usar não só nesta escola, mas também em construções futuras. A escola será construída por trabalhadores locais, e isso significa que, embora possam aprender novos sistemas de construção,





estes têm de ser realistas e em linha com os recursos e competências que possuem. Quanto aos materiais disponíveis na área, tradicionalmente as construções têm sido construídas usando a técnica “banko”, que é uma mistura de terra e água usada para moldar tijolos de 12 a 13 quilos. Com o uso da banco, os custos de construção são minimizados. Infelizmente, a sua qualidade é muito baixa, pois os tijolos não estão estabilizados e as casas têm de ser reconstruídas com muita frequência. Esta nova escola tem a oportunidade de mudar essa visão e provar que, quando tratada

corretamente, a construção de terra pode ser altamente benéfica. É um material à resistente ao fogo, durável, mas biodegradável, não tóxico, e um material que fornece massa térmica suficiente aos edifícios para garantir um excelente desempenho energético. Outros benefícios incluem baixos níveis de transmissão de som através das paredes e uma sensação geral de solidez e segurança.

Os modernos edifícios da Casamansa são construídos com blocos de concreto. Embora também possam ser utilizados neste projeto, a construção em terra deve ter um papel central.

Quanto ao telhado, é recomendado o uso de madeira para a estrutura, já que as vigas metálicas podem ser muito caras. A Chevron é a madeira mais fácil de encontrar na região.

O telhado de palha é uma opção, embora a palha não seja tão comum na área e tem de ser trazida do Sul de Casamansa ou importada de Guiné-Bissau. Por essa razão, os habitantes de Kafountine preferem hoje em dia construir com chapas metálicas, que são mais duráveis e requerem menos manutenção. Os participantes são livres de escolher a opção que considerem mais apropriada e de utilizar outros materiais desde que se encontrem na área.





d. MODULARIDADE

Um dos principais desafios para as ONGs é conseguir os fundos necessários para construir seus projetos. Um projeto modular que pode ser construído em fases pode realmente ajudá a alcançar esse objetivo. Por esse motivo, a escola será construída em 5 fases. Em cada uma delas, duas novas salas de aula serão acrescentadas à escola.

Idealmente, o espaço polivalente e os escritórios serão construídos na primeira fase, embora seria ótimo se o projeto fosse suficientemente flexível para permitir à ONG construir esses espaços em uma fase diferente, se necessário.

Os banheiros serão divididos em duas fases diferentes. Na primeira, a ONG vai construir um banheiro com 4 cubículos para crianças (2 para meninos e 2 para meninas) e 2 para adultos. Na segunda será acrescentado à escola um novo banheiro com mais 4 cubículos para crianças. É preferível separar estes banheiros (um mais próximo das salas de aula e outro servindo o pátio).

e. SOSTENIBILIDAD

Como dito, a Kakolum prevê isto como uma escola verde. Isto significa, entre outras coisas, que queremos ser o mais respeitosos possível com a

vegetação existente e que novas plantas e árvores serão plantadas. A Associação Juvenil de Kafountine criará uma cerca verde ao redor da escola onde plantarão Moringa oleífera, bananeiras, mamoeiros, cajueiros, maracujazeiros e mangueiras. Eles cuidarão deles e 50% dos lucros da colheita irão para a manutenção da escola.

Um poço e uma torre de água serão construídos para garantir o abastecimento de água para a escola. A eletricidade para a bomba d'água virá de painéis solares.

Outras estratégias que melhorem a eficiência da escola serão também positivamente consideradas.



PRÉMIOS

Prêmios num total de 10.000 euros + CONSTRUÇÃO, repartidos da seguinte forma:

1º PRÊMIO

6.000 EUROS + CONSTRUÇÃO DO PROJETO
+ exposições e artigos + certificado

2º PRÊMIO

2.000 EUROS
+ exposições e artigos + certificado

3º PRÊMIO

1.000 EUROS
+ exposições e artigos + certificado

MENÇÃO HONROSA ESPECIAL

500 EUROS
+ exposições e artigos + certificado

MENÇÃO HONROSA ESPECIAL

500 EUROS
+ exposições e artigos + certificado

+10 MENÇÕES HONROSAS

+ exposições e artigos + certificado

Além disso, os projetos vencedores e finalistas serão publicados em revistas, blogs ou páginas web de arquitetura, redes sociais ou no site da Archstorming. Um certificado digital de participação será entregue a todos os concorrentes.

CALENDÁRIO

NOVEMBRO 15, 2021

Início das inscrições antecipadas

DEZEMBRO 15, 2021

Encerramento das inscrições antecipadas

DEZEMBRO 16, 2021

Início das inscrições regulares

JANEIRO 19, 2022

Encerramento das inscrições regulares

JANEIRO 20, 2022

Início do registo avançado

FEVEREIRO 16, 2022

Encerramento do registo avançado

FEVEREIRO 17, 2022

Início das inscrições tardias

MARÇO 16, 2022

Prazo de entrega

17 MARÇO - 6 ABRIL 2022

Decisão do Júri

ABRIL 7, 2022

Vencedores anunciados

*Não serão aceitas submissões após o prazo geral indicado acima: 23:59:59 hora de Los Angeles (UT / GMT-7) ou PDT.

ELEGIBILIDADE

THE EARTH SCHOOL COMPETITION está aberto a qualquer estudante de arquitetura ou arquiteto, independentemente da sua nacionalidade.

Outras disciplinas como engenheiros, sociólogos, fotógrafos etc. são também elegíveis para participar sem a presença de um arquiteto na equipe.

As equipes podem ser compostas por um máximo de quatro (4) membros e um mínimo de um (1) membro.

Todos os membros da equipe devem ter idade legal (18 anos ou mais).

A taxa de inscrição é por equipe, independentemente do número de membros.

No caso de uma equipe ou concorrente desejar participar com mais do que uma proposta, será necessário que se registre duas vezes (ou tantas vezes quantas as propostas que desejar apresentar), pagando o preço correspondente a cada inscrição. Os membros do júri, a organização ou pessoas diretamente relacionadas com o júri não podem, em circunstância alguma, participar neste concurso.



MATERIAIS DE SUBMISSÃO

Os participantes devem apresentar **dois (2) painéis de formato A1 (594x841 mm ou 23,4x33,1 polegadas)** orientados vertical ou horizontalmente com o número de inscrição no canto inferior direito.

O conteúdo do painel é aberto, desde que a ideia de que os participantes querem comunicar seja claramente expressa. No entanto, é importante detalhar a proposta com os materiais e sistemas construtivos pensados. Os painéis devem ser entregues em formato JPEG ou JPG e o nome do arquivo deve ser o número de inscrição fornecido pela equipe da Archstorming (ex: 432465423-1.jpg e 432465423-2.jpg para os dois quadros).

Além disso, deve ser apresentada **uma (1) descrição do projeto** que não exceda 400 palavras. Um orçamento aproximado para o edifício tem de ser incluído neste documento e este não conta nas 400 palavras. Deve ser submetido em formato PDF e o nome do arquivo deve ser o número de registro fornecido pela equipe da Archstorming (ex. 432465423.pdf)

Todos os materiais devem ser submetidos na seção Submit no site da Archstorming.

<http://www.archstorming.com/submit.html>

CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

O Júri avaliará os projetos com base nos objetivos enunciados nas páginas 7, 8, 9 e 10 deste documento. Especificamente, será avaliado se o projeto atende aos requisitos do programa, técnicas de construção, materiais e sustentabilidade. Também, se considera o clima da região, se é modular e pode ser construído em fases e se não excede o orçamento.

O júri é livre de acrescentar outros critérios que considerem importantes para a criação da escola.

Um total de 50 propostas serão escolhidas e passarão à rodada final. Entre estes finalistas, o júri escolherá o vencedor, o segundo e terceiro lugares, as 2 menções honrosas especiais, e as 10 menções honrosas.

PERGUNTA E RESPOSTAS

As perguntas mais comuns podem ser consultadas na seção correspondente do site da Archstorming:

<http://www.archstorming.com/faq.html>

Além disso, durante o concurso, todas as perguntas enviadas por e-mail serão respondidas individualmente e carregadas na seção do site mencionado acima.



INSCRIÇÃO

Para se registrar, preencha o formulário de registro na página correspondente do nosso site:

<http://www.archstorming.com/register.html>

Uma vez concluído, você será redirecionado para a página de pagamento. Preencha os dados e complete o pagamento para finalizar o seu registro. Podem ser utilizados cartões de crédito ou débito Visa, Mastercard, Discover e American Express. A equipe da Archstorming não terá acesso aos detalhes do cartão de crédito. Por favor, forneça as informações no cartão como aparecem nele. Os pagamentos através da plataforma Paypal também são aceitos.

As taxas de inscrição dependerão da data de registro, e serão da seguinte forma:

INSCRIÇÃO ANTECIPADA: 60 EUROS + IVA
INSCRIÇÃO REGULAR: 80 EUROS + IVA
INSCRIÇÃO AVANÇADA: 100 EUROS + IVA
INSCRIÇÃO TARDIA: 120 EUROS + IVA
IVA: 21%

O processo de inscrição deve ser completado no site oficial da Archstorming. Para que o registro seja bem-sucedido, a equipe deve pagar a taxa correspondente à data do registro. Uma vez completado o processo de registro e pagamento, não haverá reembolso.

Imediatamente após o registro e pagamento, a equipe da Archstorming enviará um e-mail de confirmação para o endereço indicado no formulário de pagamento. O mesmo incluirá o material de trabalho (fotos, plantas do local etc.), assim como o número de inscrição. Este número deve ser colocado num lugar visível no painel que o participante enviar, de preferência no canto inferior direito.

No momento da apresentação das propostas, será necessário o número de registro para identificar a equipe.

NOTAS

Todos os projetos que ganharem um prêmio monetário se tornarão propriedade da Archstorming e, portanto, darão à Archstorming todos os direitos sobre os materiais a partir desse momento. A Archstorming pode utilizar qualquer projeto apresentado no concurso para exposições ou publicações, tanto online como em papel.

A Archstorming publicará todos os materiais com as atribuições apropriados aos autores.

A Archstorming reserva-se o direito de modificar as propostas e textos para melhor adaptá-los a qualquer formato de publicação, sem alterar a essência da proposta em si.

O participante é responsável pelo uso de imagens sem direitos autorais. A Archstorming não se responsabiliza pelo uso de imagens protegidas pelos participantes.

A Archstorming reserva-se o direito de fazer quaisquer alterações nas regras do concurso (datas, requisitos etc.). É obrigação dos participantes verificar regularmente o website da Archstorming para ver se foram feitas quaisquer alterações aos Termos e Condições do concurso.

A Kakolum é a responsável pela construção da escola. A Archstorming está colaborando com o projeto, mas não é responsável pela construção do edifício. Se por algum motivo eles não puderem construí-lo, o Archstorming não será responsável pelo fato.

A violação das normas e termos definidos neste documento ou nos Termos e Condições do website da Archstorming resultará na desqualificação imediata da equipe sem qualquer reembolso dos pagamentos efetuados.

A Archstorming reserva-se o direito de cancelar este concurso caso não atinja um número mínimo de participantes, definido nos Termos e Condições. Nesse caso, a Archstorming devolverá o valor total das taxas de inscrição aos participantes inscritos no momento do cancelamento.

<http://www.archstorming.com/terms.html>



Objeto de estudo

O objeto de estudo é o projeto apresentado no concurso público: A Escola Rural Walaa no Senegal. Essa foi desenvolvido por Leonardo Grogg, Michele Amorim e Endi Marley, passando para terceira rodada do processo de avaliação, apenas uma etapa antes da escolha das propostas finalistas. A entrega se deu em dois painéis formato A1, redimensionado ao tamanho A3 para colocação na tese.

WALAA



"It takes an entire village to raise a child". Rural schools usually possess a strong bond with their community, whose efforts and dedication are often the driving force behind them. Consequently, the school has an active role in society, and must be integrated with it. With that view in mind, rather than enclosing the space in a built unity, the Walaa school project is thought of as a village, inserted and connected with the landscape of Kafoutine. A dialogue is established with the surrounding, allowing the interaction and inviting the neighborhood to cooperate in the participative educational process.

The design of educational spaces must aim to establish, through the built environment, a ludic atmosphere that enacts in its experience the school educational principles. Following this line of thought, the Kakolom sustainability and agricultural autonomy mission is not only spatially integrated with the school, but pedagogically as well. The boundaries between the classrooms and the cultivation fields become blurry, fostering the children's interest and knowledge from an early age.

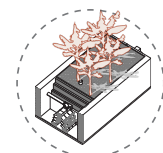
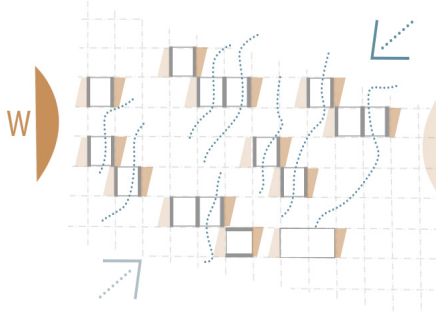
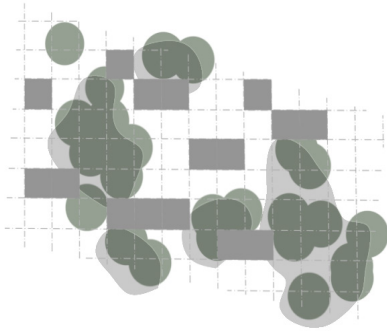
Answering the growing demand of more schools in the city of Kafoutine, and its neighbor Diannah, easy and low cost constructive techniques were prioritized. Adopting a repetitive module was fundamental to ensure the viability of different phases of construction. The traditional Banko technique is emphasized through the Nubien vaults system, which receives a contemporary twist, nurturing a new perception of its worth.

The sustainability is addressed not only in the choice of materials and construction systems, but also in the knowledge shared within the community. The knowhow of passive design solutions, water reuse, bio septic tanks or even the 'harvesting' of building materials (such as bamboo or earth) is passed down. Hoping to spread a affordable and low impact constructive system to be replicated in other contexts, the Walaa school will promote an awareness of the community autonomy strength.

The school's site implantation strategy was guided by the preservation of the existing vegetation and informal routes and paths visibles on the ground. As the school poses as a village, as well as an extension of the local community, it became essential to spread the program modules in a grid, fomenting a dynamic of open and closed spaces. As a result, the connection with nature, harvest and the environment is strengthened. Rather than separate the school and agriculture areas, green clusters with orchards and fruit trees are interleaved in between the classroom, integrating the learning process with the environmental awareness.

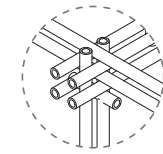
Passive comfort strategies were adopted in the module's design. The robust banko facades facing the east/wes form a thermal mass, holding the heat load. In the meantime, the opposite solution is made in the north/south facades. With large openings, a constant cross ventilation is created due to the direction of the main wind's currents (Harmattan in winter and Monsoon in summer). Some modules were dislocated, creating a barrier that bounces the wind into the classrooms.

The adopted modular system facilitates the construction in phases. Once the making process is learnt, the building autonomy is enhanced, allowing to expand the modules whenever the resources are available. The first stage of construction contemplates 02 classrooms, 01 office, bathrooms, multipurpose space and the covered yard and the following stages consists in expanding 02 classrooms at a time. As the building grows, the main circulation axes are defined, dialoguing with the site accesses and existing paths.



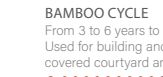
BANANA TREE BIO SEPTIC TANK

The BET system is a sustainable black water treatment through anaerobic digestion. The waste becomes fertilizer, and clean water evaporates from the soil and leaves. The system is easily built, using layers of construction waste material, gravel and sand. The greywater is treated in a different way, using a simpler version of this system, consisting in a banana tree circle covered with dry leaves and branches



COVERED COURTYARD

Area: 200m²
Bamboo main structure, using a double cross section system and covered with metal sheets. Small central section of polycarbonate allowing more sunlight



From 3 to 6 years to harvest
Used for building and maintenance of the covered courtyard and open air pathways

WATER AND ENERGY SUPPLY

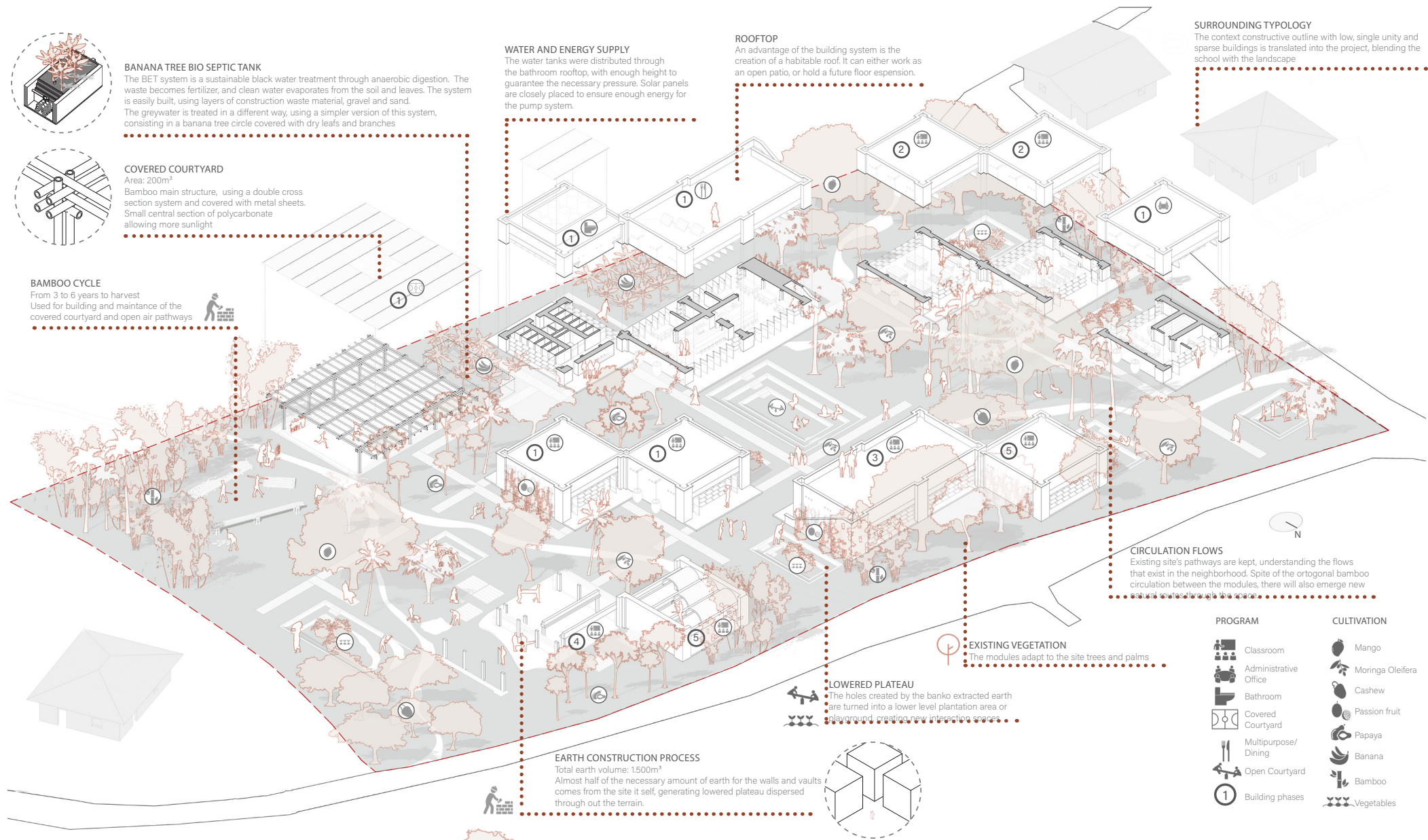
The water tanks were distributed through the bathroom rooftop, with enough height to guarantee the necessary pressure. Solar panels are closely placed to ensure enough energy for the pump system.

ROOFTOP

An advantage of the building system is the creation of a habitable roof. It can either work as an open patio, or hold a future floor espension.

SURROUNDING TYPOLOGY

The context constructive outline with low, single unity and sparse buildings is translated into the project, blending the school with the landscape



CIRCULATION FLOWS

Existing site's pathways are kept, understanding the flows that exist in the neighborhood. Spite of the orthogonal bamboo circulation between the modules, there will also emerge new paths connecting the site.

EXISTING VEGETATION

The modules adapt to the site trees and palms

LOWERED PLATEAU

The holes created by the banko extracted earth are turned into a lower level plantation area or a new courtyard.

EARTH CONSTRUCTION PROCESS

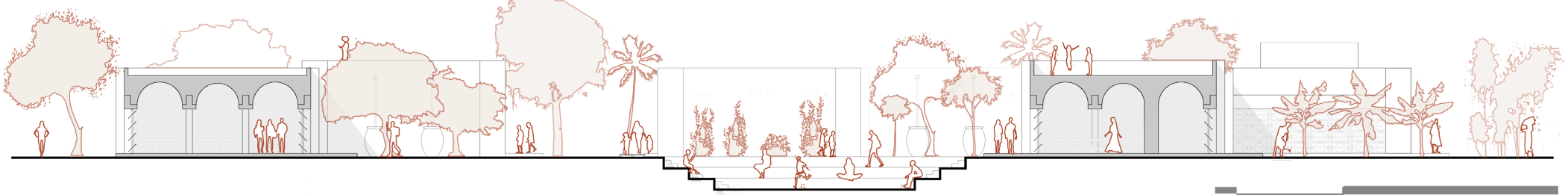
Total earth volume: 1500m³
Almost half of the necessary amount of earth for the walls and vaults comes from the site itself, generating lowered plateau dispersed through out the terrain.

PROGRAM

- Classroom
- Administrative Office
- Bathroom
- Covered Courtyard
- Multipurpose/ Dining
- Open Courtyard
- Building phases

CULTIVATION

- Mango
- Moringa Oleifera
- Cashew
- Passion fruit
- Papaya
- Banana
- Bamboo
- Vegetables

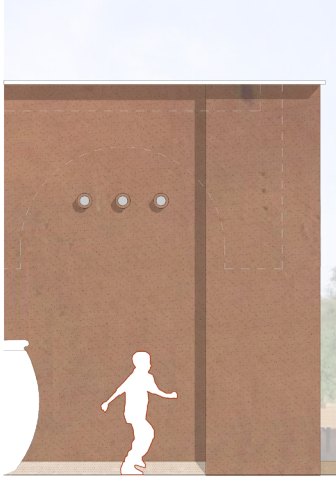
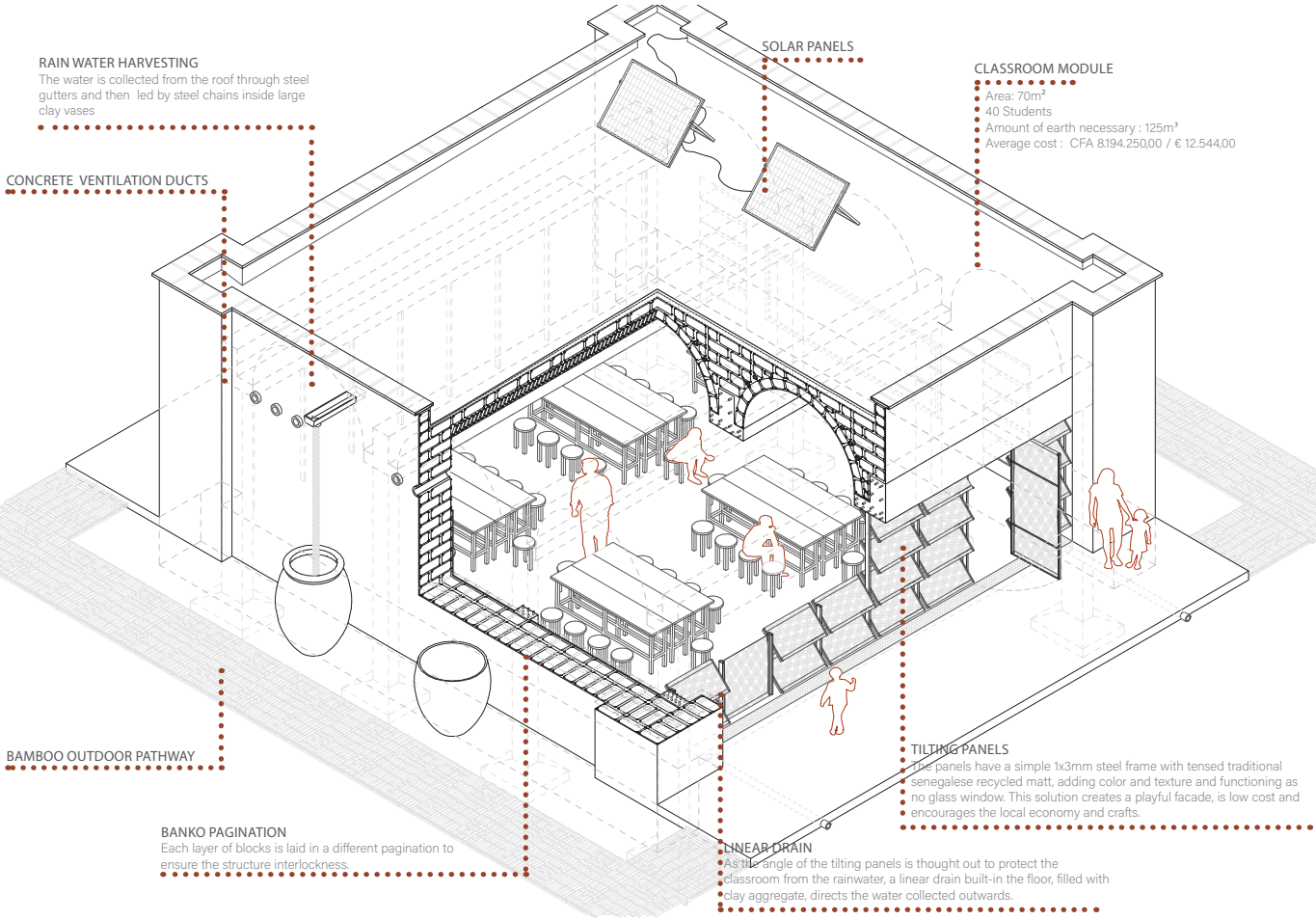
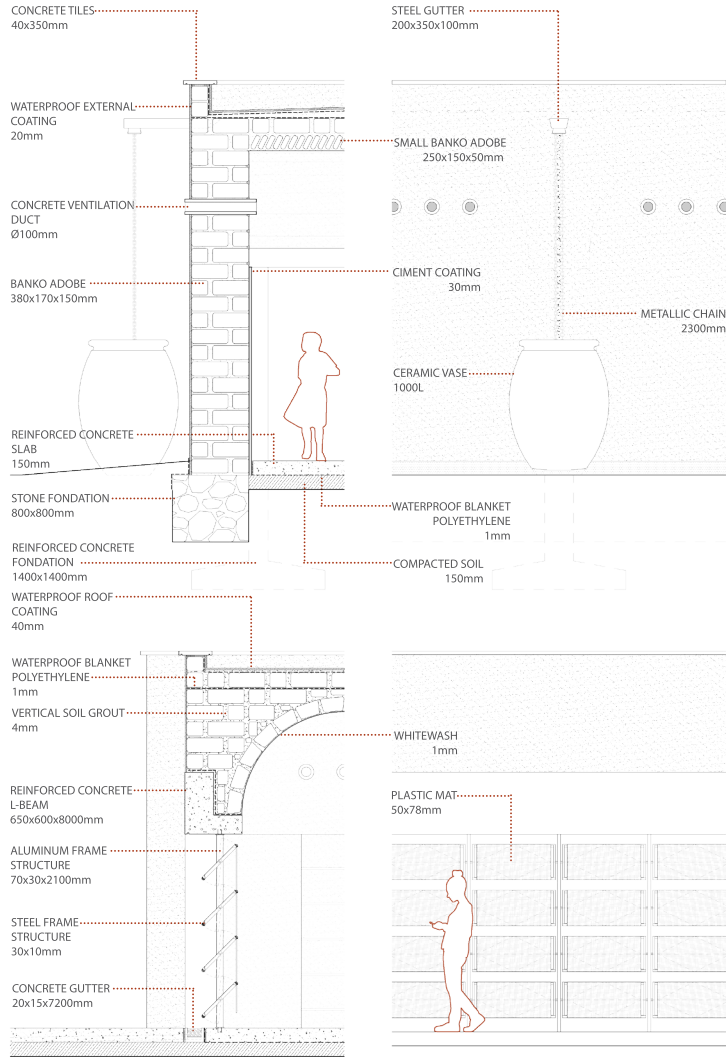
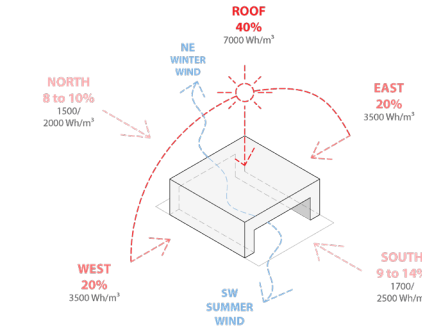
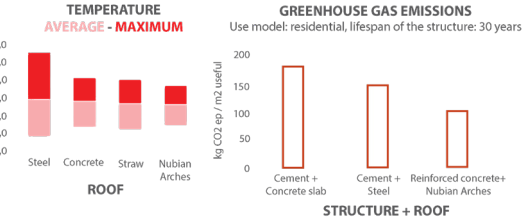




The Nubian Vault technical concept is an ancient architectural technique from Egypt that allows a roofing solution without timber or metal sheets. It utilizes only local materials, basic equipment and is easily executed by local workers. The earth rooftop waterproofing consists in a combination of layers to drain the water and protect the earth structure at the same time. It resists strong winds and downpour, has an excellent thermal and acoustic isolation and also regulates the air humidity.

The robust walls vary from 60cm to 80cm of thickness, and its combination with the vaults creates a free rooftop, adequate for future vertical expansion. The earth walls are oriented to the east/west, working as thermal mass isolation from the sunlight, as well as the robust vaulted roof. The north/south facades have 40% of overture, allowing the cross ventilation of the dominant winds and a generous natural illumination for the classroom.

Since structures made only of raw earth have limited span length, an auxiliary concrete structure was added, allowing a free plan for the educational activities.

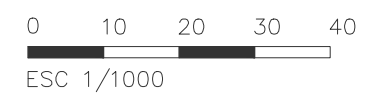


Complemento projetual

A conceção de peças projetais complementares ou revalorizadas da Escola Rural Walaa no Senegal permitem perceber melhor o projeto apresentado no concurso público.

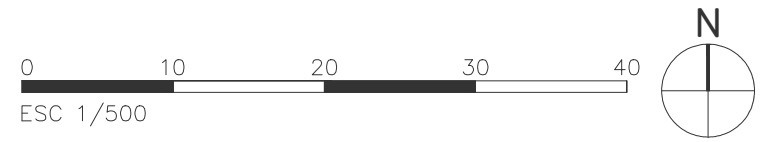


PLANTA BAIXA
IMPLANTAÇÃO
ESCALA: 1/1000

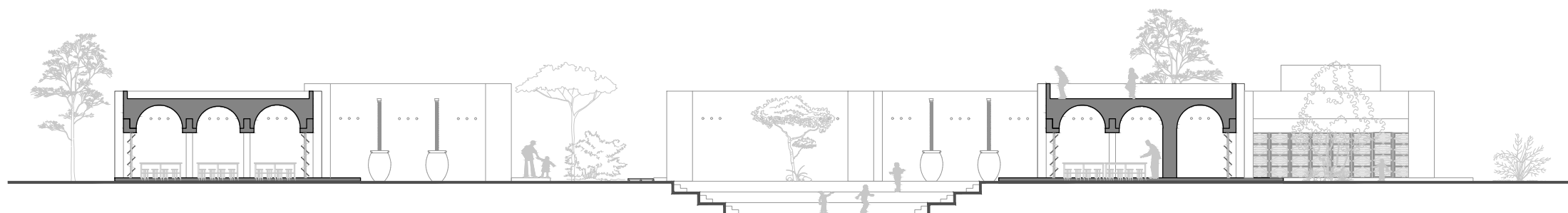




PLANTA BAIXA
COBERTURA
ESCALA: 1/500

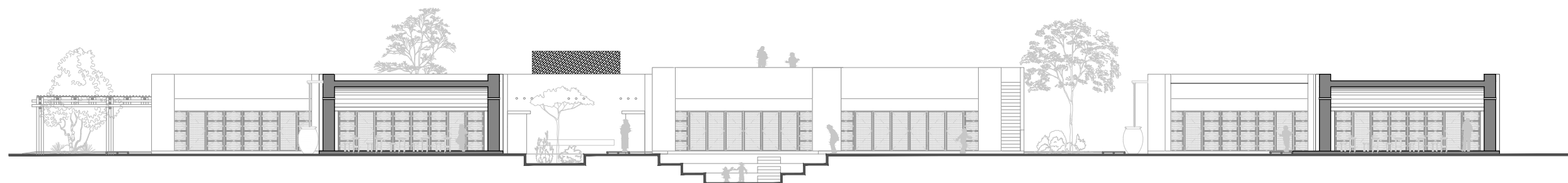






ELEVÇÃO
CORTE AA

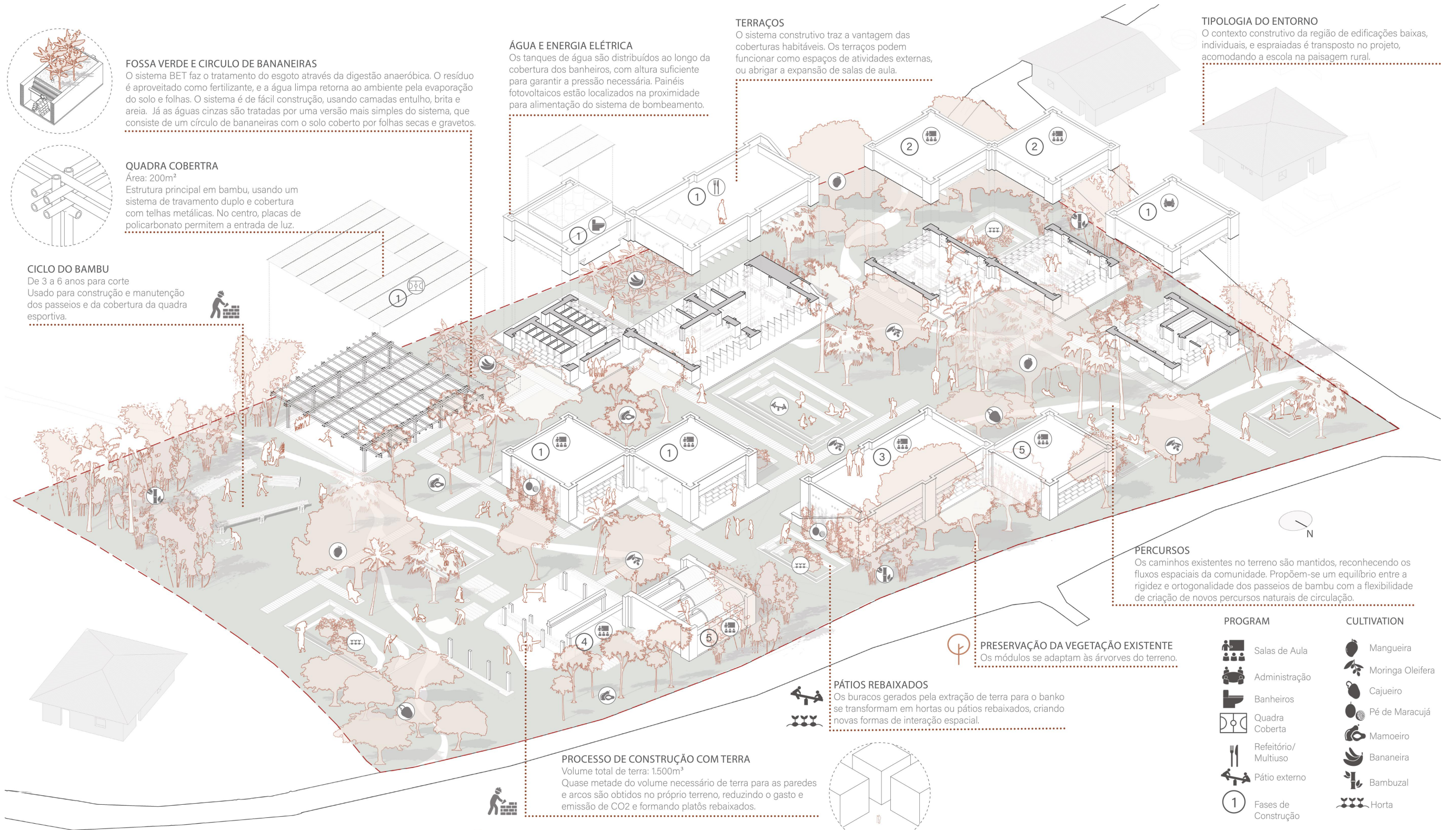
ESCALA: 1/250



ELEVÇÃO
CORTE BB

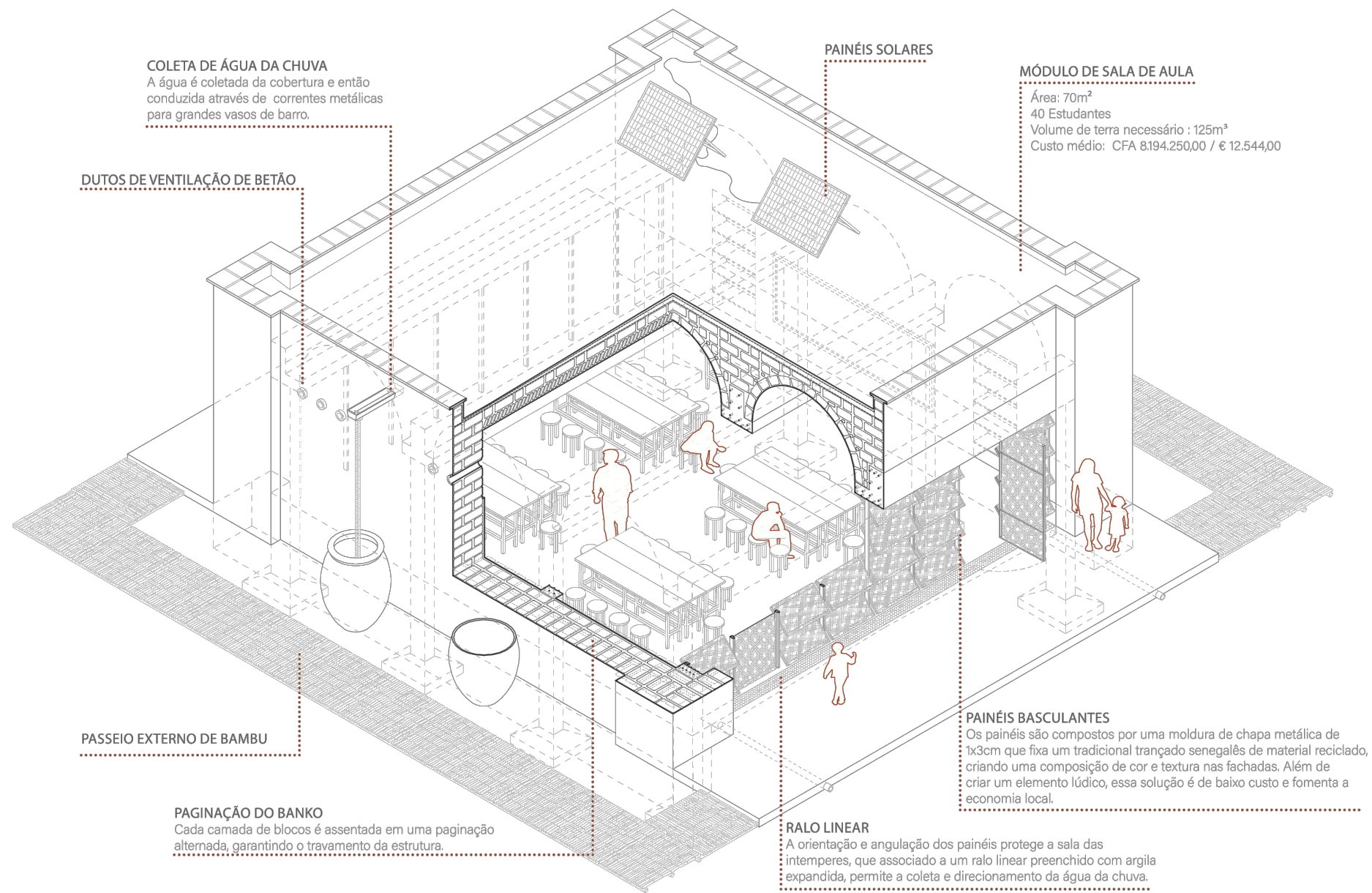
ESCALA: 1/250

0 5 10 20
ESC 1/250



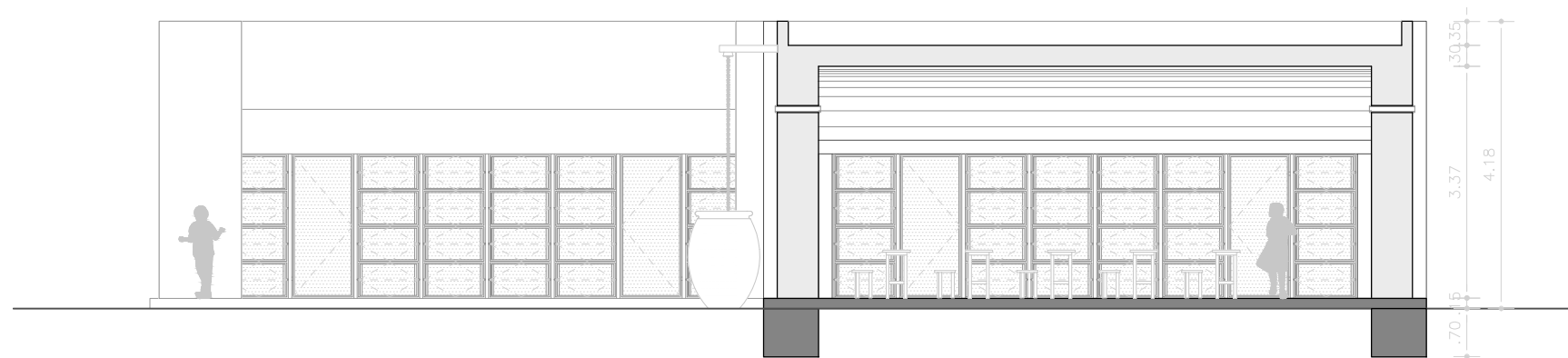
ISOMÉTRICA
IMPLANTAÇÃO
ESCALA: 1/500

0 10 20 30 40
ESC 1/500

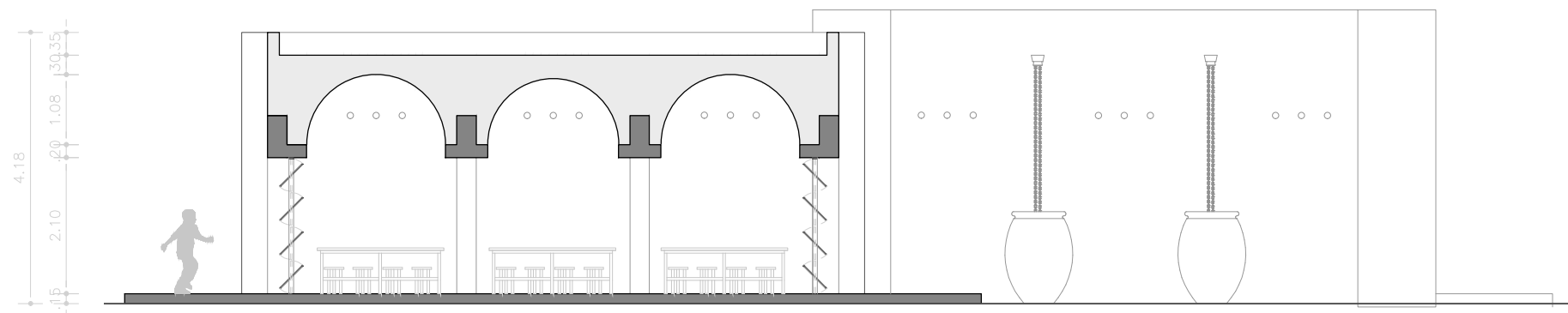


ISOMÉTRICA
MÓDULO
ESCALA: 1/100

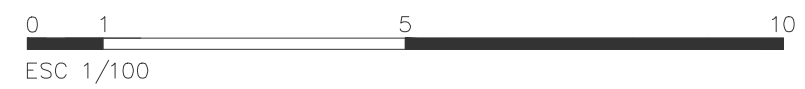


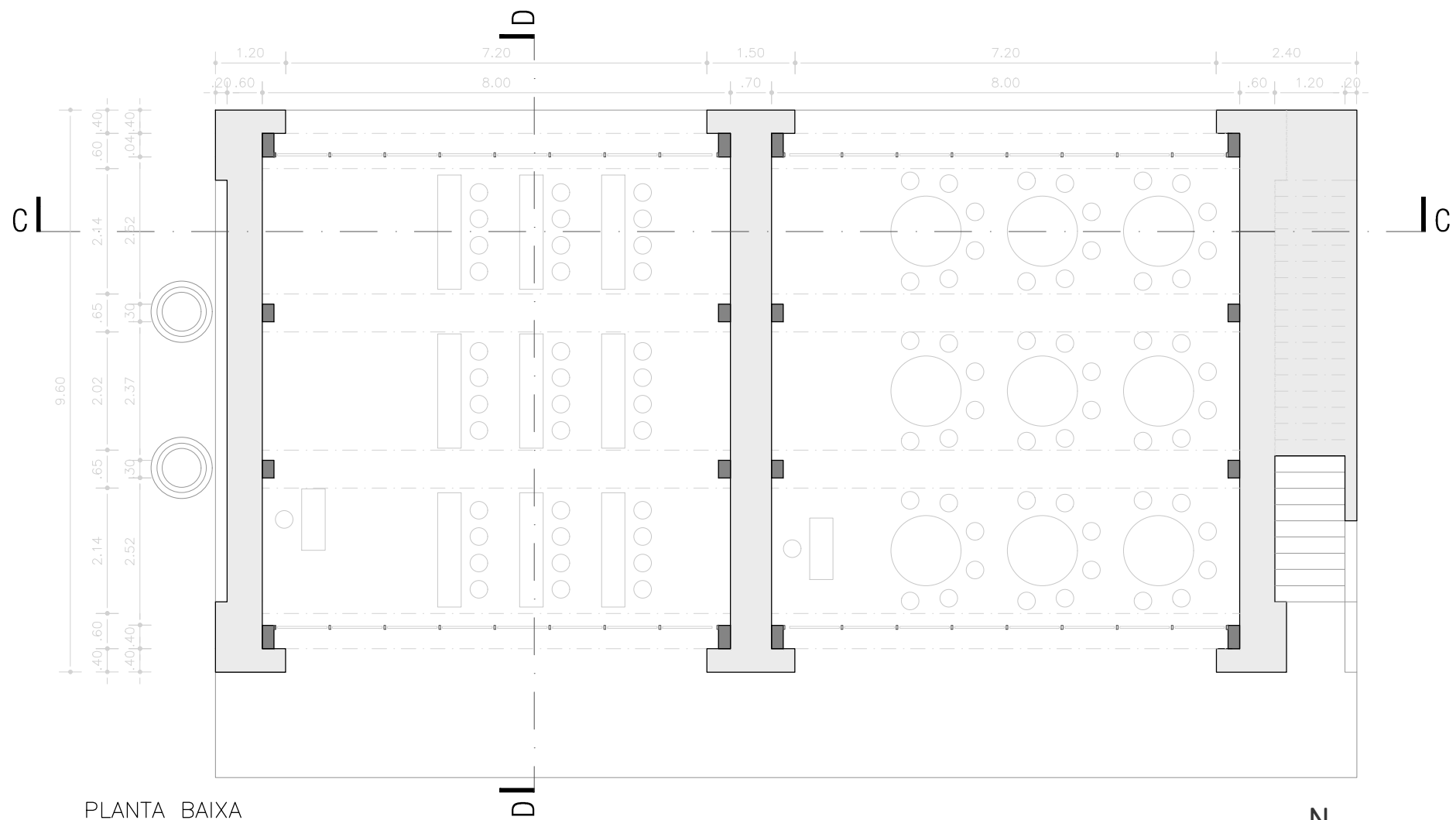


CORTE EE
MÓDULO SALA DIAGONAL
ESCALA: 1/100



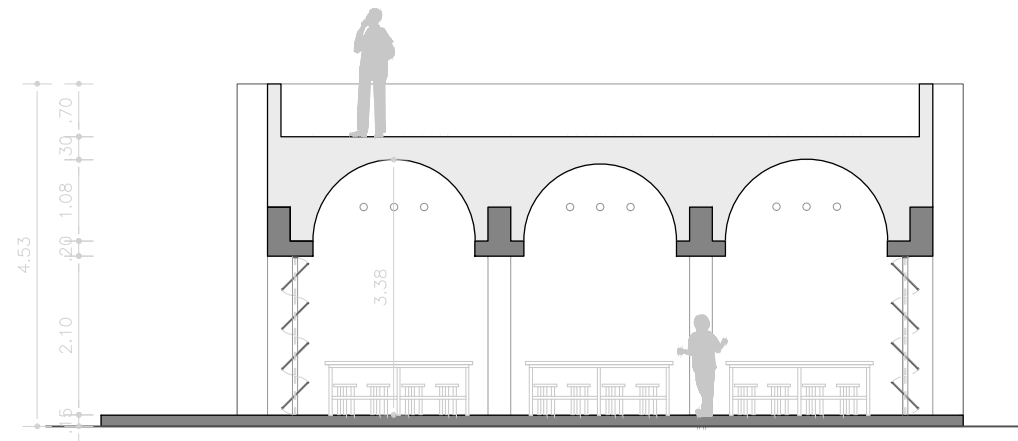
CORTE FF
MÓDULO SALA DIAGONAL
ESCALA: 1/100





PLANTA BAIXA
MÓDULO SALA GEMINADA
ESCALA: 1/100



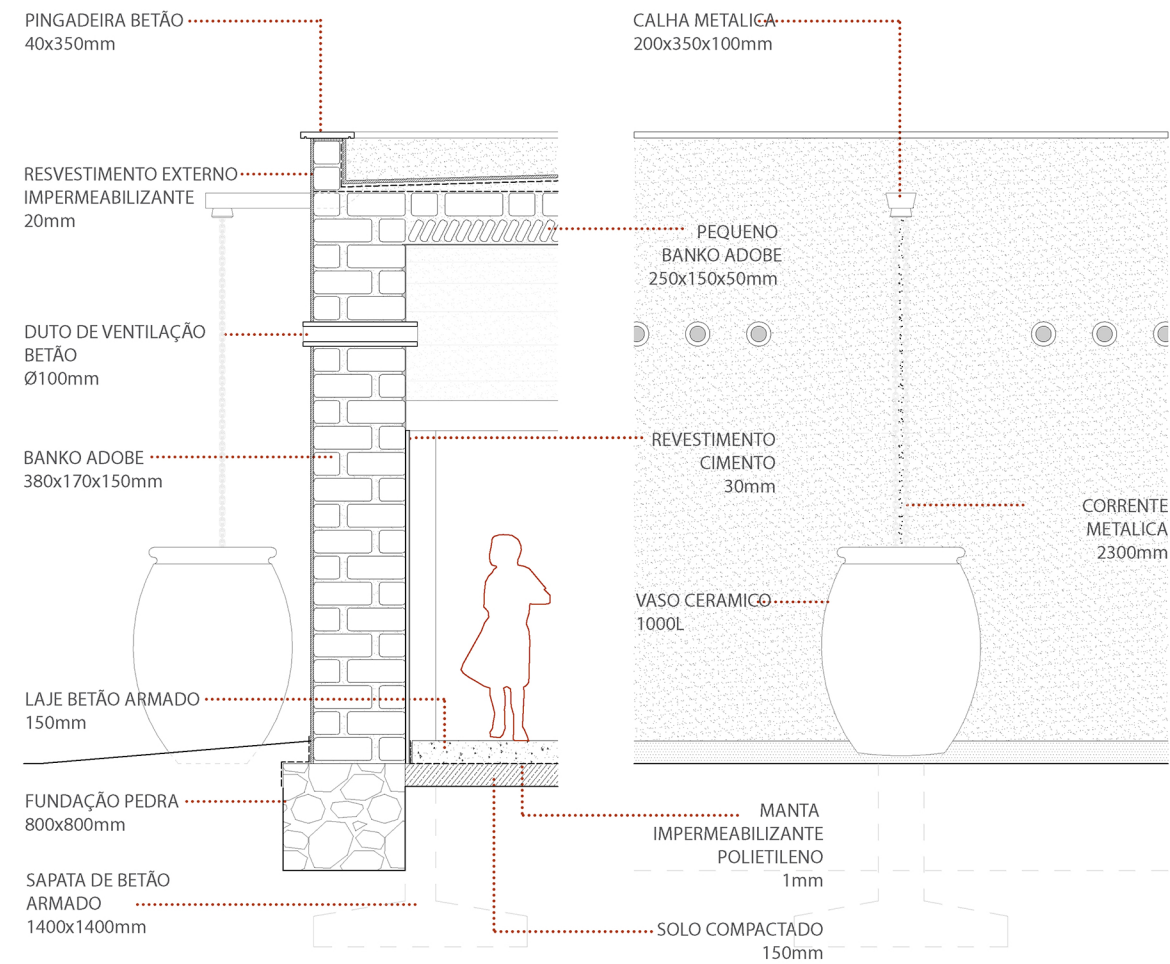


CORTE DD
MÓDULO SALA GEMINADA
ESCALA: 1/100



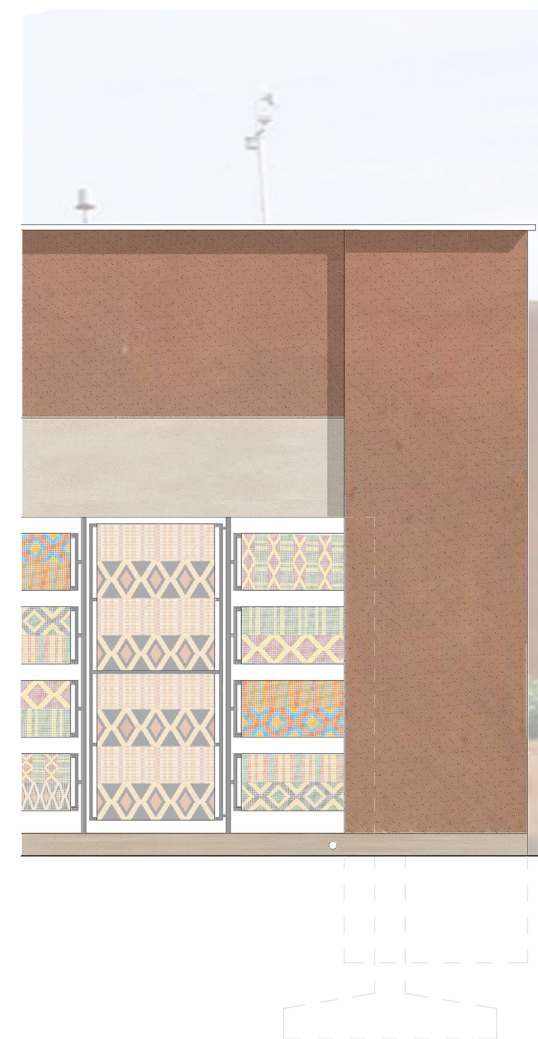
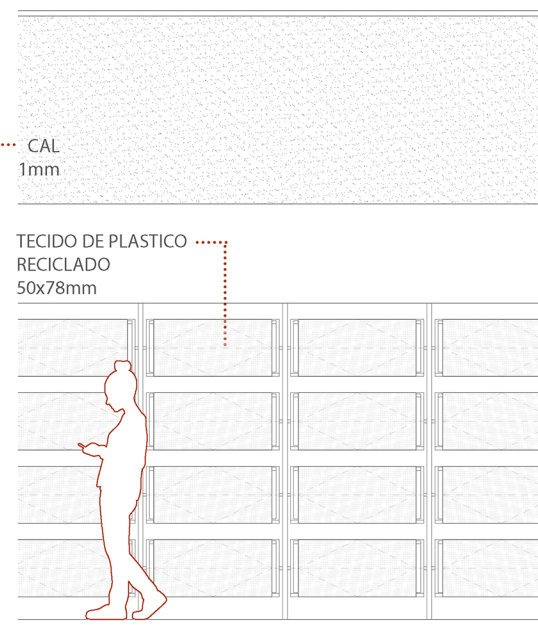
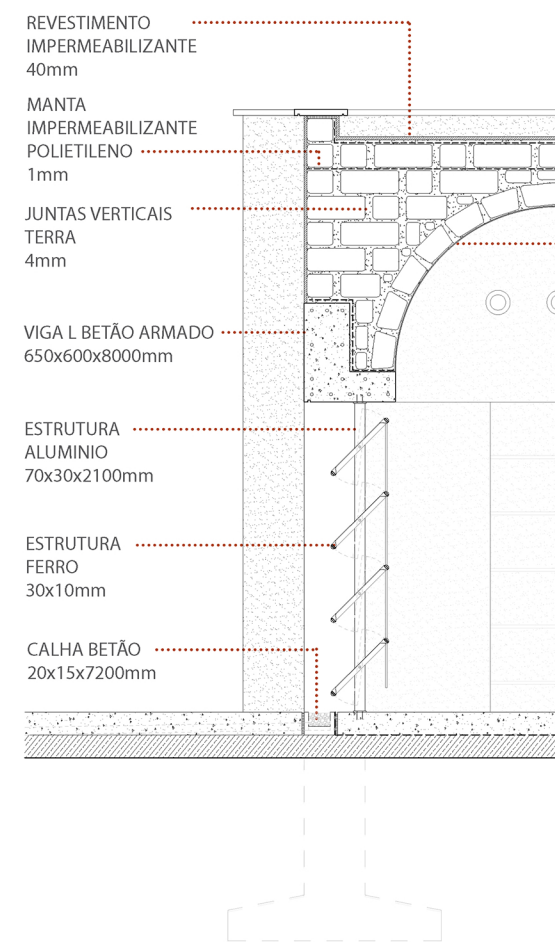
CORTE CC
MÓDULO SALA GEMINADA
ESCALA: 1/100

0 1 5 10
ESC 1/100



DETALHE 01
MÓDULO
ESCALA: 1/50





DETALHE 02
MÓDULO
ESCALA: 1/50



Logística do objeto de estudo

Analise a partir do objeto de estudo: A Escola Rural Walaa no Senegal desenvolveu-se os cálculos da área total construída; orçamento com valor financeiro dos elementos construtivos e o custo da mão de obra; a emissão de gases a efeito estufa da construção e manutenção e o potencial máximo de absorção do gás carbónico pelas plantas.

Área total de construção

Área total de Construção		
	Área construtiva m2	Área útil m2
Primeira fase	775	700
Segunda fase	184	128
Terceira fase	187	279
Quarta fase	176	128
Quinta fase	184	128
Área Final	1506	1363

Primeira fase construtiva		
Fases Construtivas	Área construtiva m2	Área útil m2
Área administrativa	92	58
Duas salas de aula	184	128
Espaço multiuso	187	262
Casas de banho	92	52
Pátio coberto	220	200
Área final da 1ª fase	775	700

Segunda fase construtiva		
Fases Construtivas	Área construtiva m2	Área útil m2
Duas salas de aula	184	128
Área final da 2ª fase	184	128

Terceira fase construtiva		
Fases Construtivas	Área construtiva m2	Área útil m2
Duas salas de aula	187	279
Área final da 3ª fase	187	279

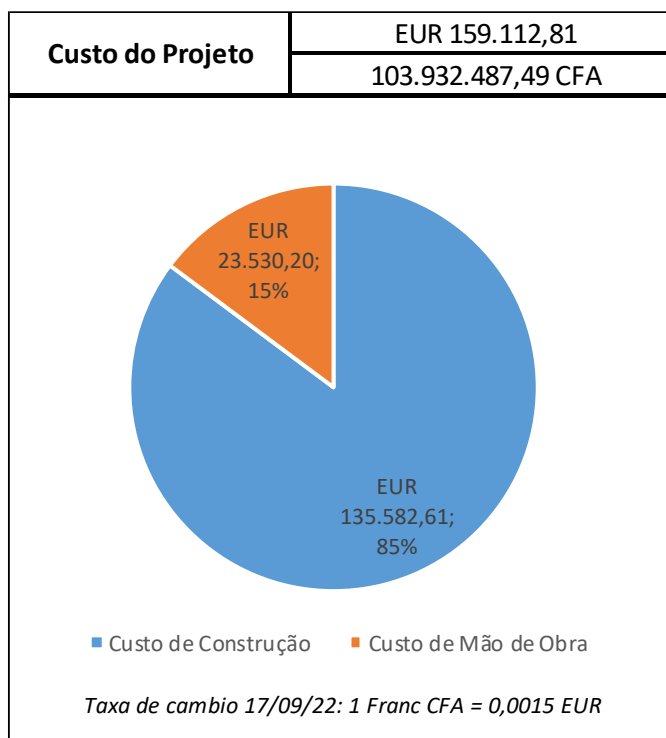
Quarta fase construtiva		
Fases Construtivas	Área construtiva m2	Área útil m2
Duas salas de aula	176	128
Área final da 4ª fase	176	128

Quinta fase construtiva		
Fases Construtivas	Área construtiva m2	Área útil m2
Duas salas de aula	184	128
Área final da 5ª fase	184	128

Ocupação do terreno	
	Área Total m2
Área construída	1506
Área circulação	904
Área extração da terra	668
Área nova cobertura vegetal	2560
Área total intervenida	5638
Área total preservada	1927
Área total do terreno:	7565

Área de circulação	
	Área Total m2
Caminhos informais	285
Passarelas de bambu	316
Varandas de terra	303
Área total de circulação	904

Valor do projeto



O custo da mão de obra representa 15% do valor total. Os salários são condizentes a realidade e contexto local. Tendo os trabalhadores divididos por nível de experiência. Na construção civil do país há várias categorias: O nível C1 (aprendiz iniciante), nível C2 (aprendiz experiente), nível C3 (pedreiro experiente na construção em abóbada núbia) e nível C4 (especialista e gestor de obras em abóbada núbia), além do arquiteto responsável por acompanhar a obra.

Custo total de Mão de Obra		
Primeira fase	7.768.246,32 CFA	EUR 11.892,60
Segunda fase	1.773.438,00 CFA	EUR 2.715,00
Terceira fase	1.773.438,00 CFA	EUR 2.715,00
Quarta fase	1.773.438,00 CFA	EUR 2.715,00
Quinta fase	1.773.438,00 CFA	EUR 2.715,00
Ferramentas e materiais	507.928,32 CFA	EUR 777,60
Custo Final	15.369.926,64 CFA	EUR 23.530,20

1ª fase construtiva - custo da mão de obra					
Função	Pessoal	Salário diário	Dias de trabalho	(CFA)	(EUR)
Arquiteto	1	10.000,00 CFA	60	600.000,00 CFA	EUR 900,00
Nível C4	1	11.000,00 CFA	120	1.320.000,00 CFA	EUR 1.980,00
Nível C3	2	7.500,00 CFA	180	2.700.000,00 CFA	EUR 4.050,00
Nível C2	1	5.000,00 CFA	180	900.000,00 CFA	EUR 1.350,00
Nível C1	3	3.500,00 CFA	180	1.890.000,00 CFA	EUR 2.835,00
		Quantidade	Custo		
Materiais	#	Unid	Custo de unid	(CFA)	(EUR)
Ferramentas	1	conjunto	300.000,00 CFA	300.000,00 CFA	EUR 450,00
EPI	7	U	31.200,00 CFA	218.400,00 CFA	EUR 327,60
Custo da mão de obra e materiais					EUR 11.892,60

2ª/3ª fase construtiva - custo de mão de obra					
Função	Pessoal	Salário diário	Dias de trabalho	(CFA)	(EUR)
Arquiteto	1	10.000,00 CFA	15	150.000,00 CFA	EUR 225,00
Nível C4	1	11.000,00 CFA	40	440.000,00 CFA	EUR 660,00
Nível C3	2	7.500,00 CFA	40	600.000,00 CFA	EUR 900,00
Nível C2	1	5.000,00 CFA	40	200.000,00 CFA	EUR 300,00
Nível C1	3	3.500,00 CFA	40	420.000,00 CFA	EUR 630,00
Custo da mão de obra na 2ª/3ª fases					EUR 2.715,00

4ª/5ª fase construtiva - custo de mão de obra					
Função	Pessoal	Salário diário	Dias de trabalho	(CFA)	(EUR)
Arquiteto	1	10.000,00 CFA	15	150.000,00 CFA	EUR 225,00
Nível C4	1	11.000,00 CFA	40	440.000,00 CFA	EUR 660,00
Nível C3	2	7.500,00 CFA	40	600.000,00 CFA	EUR 900,00
Nível C2	1	5.000,00 CFA	40	200.000,00 CFA	EUR 300,00
Nível C1	3	3.500,00 CFA	40	420.000,00 CFA	EUR 630,00
Custo da mão de obra na 4ª/5ª fases					EUR 2.715,00

O custo da construção representa 85% do valor total.

Custo total de Construção		
Primeira fase	41.168.459,09 CFA	EUR 63.025,81
Segunda fase	12.015.091,44 CFA	EUR 18.394,20
Terceira fase	12.015.091,44 CFA	EUR 18.394,20
Quarta fase	11.681.959,44 CFA	EUR 17.884,20
Quinta fase	11.681.959,44 CFA	EUR 17.884,20
Custo Final	88.562.560,85 CFA	EUR 135.582,61

Primeira fase construtiva		
Fases Construtivas	Custo CFA	Custo EUR
Área administrativa	5.687.967,62 CFA	EUR 8.707,85
Duas salas de aula	11.185.527,44 CFA	EUR 17.124,20
Espaço multiuso	10.902.273,79 CFA	EUR 16.690,56
Casas de banho	7.196.742,04 CFA	EUR 11.017,67
Sistema sanitário	3.787.978,65 CFA	EUR 5.799,11
Pátio coberto	2.407.969,54 CFA	EUR 3.686,42
Custo final da 1ª fase	34.972.510,90 CFA	EUR 63.025,81

Segunda fase construtiva		
Fases Construtivas	Custo CFA	Custo EUR
Duas salas de aula	11.185.527,44 CFA	EUR 17.124,20
Sistema sanitário	829.564,00 CFA	EUR 1.270,00
Custo final da 2ª fase	12.015.091,44 CFA	EUR 18.394,20

Terceira fase construtiva		
Fases Construtivas	Custo CFA	Custo EUR
Duas salas de aula	11.185.527,44 CFA	EUR 17.124,20
Sistema sanitário	829.564,00 CFA	EUR 1.270,00
Custo final da 3ª fase	12.015.091,44 CFA	EUR 18.394,20

Quarta fase construtiva		
Fases Construtivas	Custo CFA	Custo EUR
Duas salas de aula	11.185.527,44 CFA	EUR 17.124,20
Sistema sanitário	496.432,00 CFA	EUR 760,00
Custo final da 4ª fase	11.681.959,44 CFA	EUR 17.884,20

Quinta fase construtiva		
Fases Construtivas	Custo CFA	Custo EUR
Duas salas de aula	11.185.527,44 CFA	EUR 17.124,20
Sistema sanitário	496.432,00 CFA	EUR 760,00
Custo final da 5ª fase	11.681.959,44 CFA	EUR 17.884,20

1ª fase construtiva - áreas administrativas							
Um módulo: Área construtiva 92m2 - Área útil 58m2							
Estruturas	Volume		Elemento		Custo		
	#	Unid	Unid (m3)	Custo de unid	#	Unids	(CFA) (EUR)
Parede	1,1	m3	0,009	35,00 CFA	122	banco	4.277,78 CFA EUR 6,42
Parede - estrutural	60	m3	0,009	35,00 CFA	6667	banco	233.333,33 CFA EUR 350,00
Cobertura - Abóbada núbia	15	m3	0,002	15,00 CFA	7500	banco pequeno	112.500,00 CFA EUR 168,75
Cobertura - Laje	36	m3	0,009	35,00 CFA	4000	banco	140.000,00 CFA EUR 210,00
Cobertura - Beirais	2,6	m3	0,009	35,00 CFA	289	banco	10.111,11 CFA EUR 15,17
Piso - Solo compactado	13	m3	1	0,00 CFA	--	terra	0,00 CFA EUR 0,00
Piso - Laje em betão	6,44	m3	1	4.802,00 CFA	--	cimento, terra, fer	30.924,88 CFA EUR 46,39
Fundação de betão armado	8,8	m3	1,1	102.556,03 CFA	8	cimento, terra, fer	820.448,20 CFA EUR 1.230,67
Fundação em pedra	20	m3	1	370,00 CFA	--	pedra, terra, cascal	7.400,00 CFA EUR 11,10
Pilar interno	0,504	m3	1	163.714,05 CFA	4	betão armado	82.511,88 CFA EUR 123,77
Pilar externo	0,672	m3	1	161.237,63 CFA	4	betão armado	108.351,69 CFA EUR 162,53
Viga em L	3,2	m3	1	174.969,03 CFA	2	betão armado	559.900,90 CFA EUR 839,85
Viga em T	3,36	m3	1	174.969,03 CFA	2	betão armado	587.895,94 CFA EUR 881,84
Cobertura - Pingadeira de betão armado	2	m3	1	93,00 CFA	100	cimento, areia, cas	9.300,00 CFA EUR 13,95
Estruturas	Área		Elemento		Custo		
	#	Unid	Unid (m2)	Custo de unid		(CFA)	(EUR)
Manta impermeabilizante	216	m2		1	9.156,42 CFA	1.977.786,72 CFA	EUR 2.966,68
Revestimento de parede interna	56	m2		1	2.494,21 CFA	139.675,76 CFA	EUR 209,51
Revestimento externo impermeabilizante	64	m2		1	2.248,00 CFA	143.872,00 CFA	EUR 215,81
Revestimento impermeabilizante do telhado	75,5	m2		1	2.568,00 CFA	193.884,00 CFA	EUR 290,83
Calha de zinco	1,6	m		1	13.459,10 CFA	21.534,56 CFA	EUR 32,30
Estrutura de aço	141,2	m		1	2.750,00 CFA	388.300,00 CFA	EUR 582,45
Estrutura em alumínio	18,9	m		1	12.340,00 CFA	233.226,00 CFA	EUR 349,84
Custo total da área administrativa							EUR 8.707,85

1ª fase construtiva - sala de aula (x2)								
Dois módulos em diagonal: Área construtiva 92m2 - Área útil 64m2 (x2)								
Estruturas	Volume			Elemento			Custo	
	#	Unid	Unid (m3)	Custo de unid	#	Unids	(CFA)	(EUR)
Parede - estrutural	48,3	m3	0,009	35,00 CFA	5367	banco	187.833,33 CFA	EUR 281,75
Cobertura - Abóbada núbia	15	m3	0,002	15,00 CFA	7500	banco pequeno	112.500,00 CFA	EUR 168,75
Cobertura - Laje	36	m3	0,009	35,00 CFA	4000	banco	140.000,00 CFA	EUR 210,00
Cobertura - Beirais	2,6	m3	0,009	35,00 CFA	289	banco	10.111,11 CFA	EUR 15,17
Piso - Solo compactado	13	m3	1	0,00 CFA	--	terra	0,00 CFA	EUR 0,00
Piso - Laje em betão	6,44	m3	1	4.802,00 CFA	--	cimento, terra, fer	30.924,88 CFA	EUR 46,39
Fundação de betão armado	8,8	m3	1,1	102.556,03 CFA	8	cimento, terra, fer	820.448,20 CFA	EUR 1.230,67
Fundação em pedra	20	m3	1	370,00 CFA	--	cimento, terra, fer	7.400,00 CFA	EUR 11,10
Pilar interno	0,504	m3	1	163.714,05 CFA	4	concreto reforçadc	82.511,88 CFA	EUR 123,77
Pilar externo	0,672	m3	1	161.237,63 CFA	4	concreto reforçadc	108.351,69 CFA	EUR 162,53
Viga em L	3,2	m3	1	174.969,03 CFA	2	concreto reforçadc	559.900,90 CFA	EUR 839,85
Viga em T	3,36	m3	1	174.969,03 CFA	2	concreto reforçadc	587.895,94 CFA	EUR 881,84
Cobertura - Pingadeira de betão armado	2	m3	1	93,00 CFA	100	cimento, areia, cas	9.300,00 CFA	EUR 13,95
Estruturas	Área			Elemento			Custo	
	#	Unid	Unid (m2)	Custo de unid			(CFA)	(EUR)
Manta impermeabilizante	216	m2		1	9.156,42 CFA		1.977.786,72 CFA	EUR 2.966,68
Revestimento de parede interna	37	m2		1	2.494,21 CFA		92.285,77 CFA	EUR 138,43
Revestimento externo impermeabilizante	64	m2		1	2.248,00 CFA		143.872,00 CFA	EUR 215,81
Revestimento impermeabilizante do telhado	75,5	m2		1	2.568,00 CFA		193.884,00 CFA	EUR 290,83
Calha de zinco	1,6	m		1	13.459,10 CFA		21.534,56 CFA	EUR 32,30
Estrutura de aço	141,2	m		1	2.750,00 CFA		388.300,00 CFA	EUR 582,45
Estrutura em alumínio	18,9	m		1	12.340,00 CFA		233.226,00 CFA	EUR 349,84
Custo total de uma sala de aula							Custo de duas salas de aula	
8.562,10 EUR							EUR 17.124,20	

1ª fase construtiva- espaço multiuso								
Dois módulos geminados: Área construtiva 187m2 - Área útil interna 111,0m2 + 151m2 terraço								
Estruturas	Volume			Elemento			Custo	
	#	Unid	Unid (m3)	Custo de unid	#	Unids	(CFA)	(EUR)
Parede	3	m3	0,009	35,00 CFA	333	banko	11.666,67 CFA	EUR 17,50
Parede - estrutural	107,1	m3	0,009	35,00 CFA	11900	banko	416.500,00 CFA	EUR 624,75
Cobertura - Abóbada nubi	30	m3	0,002	15,00 CFA	15000	banko pequeno	225.000,00 CFA	EUR 337,50
Cobertura - Laje	72	m3	0,009	35,00 CFA	8000	banko	280.000,00 CFA	EUR 420,00
Cobertura - Beirais	5,2	m3	0,009	35,00 CFA	578	banko	20.222,22 CFA	EUR 30,33
Piso - Solo compactado	26	m3	1	0,00 CFA	--	terra	0,00 CFA	EUR 0,00
Piso - Laje em betão	12,6	m3	1	4.802,00 CFA	--	cimento, terra, fer	60.505,20 CFA	EUR 90,76
Fundação de betão armad	17,6	m3	1,1	102.556,03 CFA	16	cimento, terra, fer	1.640.896,40 CFA	EUR 2.461,34
Fundação em pedra	30	m3	1	370,00 CFA	--	cimento, terra, fer	11.100,00 CFA	EUR 16,65
Pilar interno	1,008	m3	1	163.714,05 CFA	16	concreto reforçadc	165.023,76 CFA	EUR 247,54
Pilar externo	1,344	m3	1	161.237,63 CFA	16	concreto reforçadc	216.703,37 CFA	EUR 325,06
Viga em L	6,4	m3	1	174.969,03 CFA	4	concreto reforçadc	1.119.801,79 CFA	EUR 1.679,70
Viga em T	5,2	m3	1	174.969,03 CFA	4	concreto reforçadc	909.838,96 CFA	EUR 1.364,76
Cobertura - Pingadeira de betão armado	4	m3	1	93,00 CFA	200	cimento, areia, cas	18.600,00 CFA	EUR 27,90
Estruturas	Área			Elemento			Custo	
	#	Unid	Unid (m2)	Custo de unid			(CFA)	(EUR)
Manta impermeabilizante	432	m2	1	9.156,42 CFA			3.955.573,44 CFA	EUR 5.933,36
Revestimento de parede interna	80	m2	1	2.494,21 CFA			199.536,80 CFA	EUR 299,31
Revestimento externo impermeabilizante	79	m2	1	2.248,00 CFA			177.592,00 CFA	EUR 266,39
Revestimento impermeabilizante do telhado	168	m2	1	2.568,00 CFA			431.424,00 CFA	EUR 647,14
Calha de zinco	1,6	m	1	13.459,10 CFA			21.534,56 CFA	EUR 32,30
Estrutura de aço	282,4	m	1	2.750,00 CFA			776.600,00 CFA	EUR 1.164,90
Estrutura em alumínio	38	m	1	12.340,00 CFA			468.920,00 CFA	EUR 703,38
Custo total de espaço multiuso								EUR 16.690,56

1ª fase construtiva - sistema sanitário								
Estruturas	Quantidade			Elemento			Custo	
	#	Unid	Unid	Custo de unid			(CFA)	(EUR)
Poço artesiano	1	U	1	50.000,00 CFA			50.000,00 CFA	EUR 75,00
Fossa séptica bio de bananeira	1	U	1	2.629.409,20 CFA			2.629.409,20 CFA	EUR 3.944,11
Painel solar	1	U	1	163.227,00 CFA			163.227,00 CFA	EUR 250,00
Tanque d'água (2000L)	3	U	1	340.000,00 CFA			1.020.000,00 CFA	EUR 1.530,00
Custo total do sistema sanitário								EUR 5.799,11

1ª fase construtiva - pátio coberto - Área construtiva 220m2 - Área útil 200m2								
Área			Elemento			Custo		
Estruturas	#	Unid	Unid (m2)	Custo de unid		(CFA)	(EUR)	
Chapa de zinco	235,2	m2		1	6.827,00 CFA		1.605.710,40 CFA	EUR 2.408,57
Placa de polycarbonato ondulada	16,8	m2		1	15.930,00 CFA		267.624,00 CFA	EUR 401,44
	510	m		1	721,33 CFA		367.878,30 CFA	EUR 551,82
Volume			Elemento			Custo		
Estruturas	#	Unid	Unid (m3)	Custo de unid	#	Unids	(CFA)	(EUR)
Piso - Solo compactado	30	m3	1	0,00 CFA			0,00 CFA	EUR 0,00
Piso - Laje em betão	14	m3	1	4.802,00 CFA			67.228,00 CFA	EUR 100,84
Fundação de betão armado	1,6	m3	0,16	14.917,24 CFA	10	cimento, terra, ferro, cascalho	149.172,40 CFA	EUR 223,76
Custo total do pátio coberto							EUR 3.686,42	

2º/3º fase construtiva - sala de aula (x2)								
2º fase - Dois módulos em diagonal: Área construtiva 92m2 - Área útil 64m2 (x2)								
3º Dois módulos geminados: Área construtiva 187m2 - Área útil interna 128,0m2 + 151m2 terraço								
Volume				Elemento			Custo	
Estruturas	#	Unid	Unid (m3)	Cost of Unit	#	Unids	(CFA)	(EUR)
Parede - estrutural	48,3	m3	0,009	35,00 CFA	5367	banco	187.833,33 CFA	EUR 281,75
Cobertura - Abóbada Núbia	15	m3	0,002	15,00 CFA	7500	banco pequeno	112.500,00 CFA	EUR 168,75
Cobertura - Laje	36	m3	0,009	35,00 CFA	4000	banco	140.000,00 CFA	EUR 210,00
Cobertura - Beirais	2,6	m3	0,009	35,00 CFA	289	banco	10.111,11 CFA	EUR 15,17
Piso - Solo compactado	13	m3	1	0,00 CFA	--	terra	0,00 CFA	EUR 0,00
Piso - Laje em betão	6,44	m3	1	4.802,00 CFA	--	cimento, terra, ferro, cascalho	30.924,88 CFA	EUR 46,39
Fundação de betão armado	8,8	m3	1,1	102.556,03 CFA	8	cimento, terra, ferro, cascalho	820.448,20 CFA	EUR 1.230,67
Fundação em pedra	20	m3	1	370,00 CFA	--	cimento, terra, ferro, cascalho	7.400,00 CFA	EUR 11,10
Pilar interno	0,504	m3	1	163.714,05 CFA	4	concreto reforçado	82.511,88 CFA	EUR 123,77
Pilar externo	0,672	m3	1	161.237,63 CFA	4	concreto reforçado	108.351,69 CFA	EUR 162,53
Viga em L	3,2	m3	1	174.969,03 CFA	2	concreto reforçado	559.900,90 CFA	EUR 839,85
Viga em T	3,36	m3	1	174.969,03 CFA	2	concreto reforçado	587.895,94 CFA	EUR 881,84
Cobertura - Pingadeira de betão armado	2	m3	1	93,00 CFA	100	cimento, areia, cascalho	9.300,00 CFA	EUR 13,95

Estruturas	Área		Elemento		Custo	
	#	Unid	Unid (m2)	Custo de Unid	(CFA)	(EUR)
Manta impermeabilizante	216	m2	1	9.156,42 CFA	1.977.786,72 CFA	EUR 2.966,68
Revestimento de parede interna	37	m2	1	2.494,21 CFA	92.285,77 CFA	EUR 138,43
Revestimento externo impermeabilizante	64	m2	1	2.248,00 CFA	143.872,00 CFA	EUR 215,81
Revestimento impermeabilizante do telhado	75,5	m2	1	2.568,00 CFA	193.884,00 CFA	EUR 290,83
Calha de zinco	1,6	m	1	13.459,10 CFA	21.534,56 CFA	EUR 32,30
Estrutura de aço	141,2	m	1	2.750,00 CFA	388.300,00 CFA	EUR 582,45
Estrutura em alumínio	18,9	m	1	12.340,00 CFA	233.226,00 CFA	EUR 349,84
Custo total de uma sala de aula					Custo total de duas salas de aula	
EUR 8.562,10					EUR 17.124,20	

2º/3º fase construtiva - sistema sanitário						
Estruturas	Quantidade		Elemento		Custo	
	#	Unid	Unid (m2)	Custo de Unid	(CFA)	(EUR)
Painel solar	1	U	1	163.227,00 CFA	163.227,00 CFA	EUR 250,00
Tanque d'água (200	2	U	1	340.000,00 CFA	680.000,00 CFA	EUR 1.020,00
Custo total do Sistema sanitário					EUR 1.270,00	

1ª fase construtiva - casas de banho								
Um módulo: Área construtiva 92m2 - Área útil 52m2								
Estruturas	Volume			Elemento			Custo	
	#	Unid	Unid (m3)	Custo de unid	#	Unids	(CFA)	(EUR)
Parede	6,8	m3	0,009	35,00 CFA	756	banco	26.444,44 CFA	EUR 39,67
Parede - estrutural	71,3	m3	0,009	35,00 CFA	7922	banco	277.277,78 CFA	EUR 415,92
Cobertura - Abóbada Núb	15	m3	0,002	15,00 CFA	7500	banco pequeno	112.500,00 CFA	EUR 168,75
Cobertura - Laje	36	m3	0,009	35,00 CFA	4000	banco	140.000,00 CFA	EUR 210,00
Cobertura - Beirais	2,6	m3	0,009	35,00 CFA	289	banco	10.111,11 CFA	EUR 15,17
Piso - Solo compactado	13	m3	1	0,00 CFA	--	terra	0,00 CFA	EUR 0,00
Piso - Laje em betão	6,44	m3	1	4.802,00 CFA	--	cimento, terra, ferro, cascalho	30.924,88 CFA	EUR 46,39
Fundação de betão armado	6,6	m3	1,1	102.556,03 CFA	6	cimento, terra, ferro, cascalho	615.336,15 CFA	EUR 923,00
Fundação em pedra	20	m3	1	370,00 CFA	--	cimento, terra, ferro, cascalho	7.400,00 CFA	EUR 11,10
Pilar interno	0,252	m3	1	163.714,05 CFA	2	concreto reforçado	41.255,94 CFA	EUR 61,88
Pilar externo	0,672	m3	1	161.237,63 CFA	4	concreto reforçado	108.351,69 CFA	EUR 162,53
Viga em L	4,1	m3	1	174.969,03 CFA	2	concreto reforçado	717.373,02 CFA	EUR 1.076,06
Viga em T	1,2	m3	1	174.969,03 CFA	2	concreto reforçado	209.962,84 CFA	EUR 314,94
Cobertura - Pingadeira de betão armado	2	m3	1	93,00 CFA	100	cimento, areia, cascalho	9.300,00 CFA	EUR 13,95
Estruturas	Área			Elemento			Custo	
	#	Unid	Unid (m2)	Custo de unid			(CFA)	(EUR)
Manta impermeabilizante	216	m2		1	9.156,42 CFA		1.977.786,72 CFA	EUR 2.966,68
Revestimento de parede interna	37	m2		1	2.494,21 CFA		92.285,77 CFA	EUR 138,43
Revestimento externo impermeabilizante	64	m2		1	2.248,00 CFA		143.872,00 CFA	EUR 215,81
Revestimento impermeabilizante do telhado	75,5	m2		1	2.568,00 CFA		193.884,00 CFA	EUR 290,83
Chapa de zinco	32,25	m2		1	6.827,00 CFA		220.170,75 CFA	EUR 330,26
Calha de zinco	1,6	m		1	13.459,10 CFA		21.534,56 CFA	EUR 32,30
Estrutura de aço	141,2	m		1	2.750,00 CFA		388.300,00 CFA	EUR 582,45
Estrutura em alumínio	18,9	m		1	12.340,00 CFA		233.226,00 CFA	EUR 349,84
Items	Quantidade			Elemento			Custo	
	#	Unid	Unid	Custo de unid			(CFA)	(EUR)
Sanitário de porcelana	11	U		1	151.380,90 CFA		1.665.189,90 CFA	EUR 2.497,78
Pia de aço	7,4	m		1	13.459,10 CFA		99.597,34 CFA	EUR 149,40
Torneira em bambu	4,2	m		1	721,33 CFA		3.029,59 CFA	EUR 4,54
Custo total das casas de banho							EUR 11.017,67	

4º/5º fase construtiva - sala de aula (x2)							
4º Dois módulos geminados: Área construtiva 176m2 - Área útil 128m2							
5º fase - Dois módulos: Área construtiva 92m2 - Área útil 64m2 (x2)							
Estruturas	Volume			Elemento		Custo	
	#	Unid	Unid (m3)	Custo de Unid	#	Unids	(CFA) (EUR)
Parede - estrutural	48,3	m3	0,009	35,00 CFA	5367	banco	187.833,33 CFA EUR 281,75
Cobertura - Abóbada Núbia	15	m3	0,002	15,00 CFA	7500	banco pequeno	112.500,00 CFA EUR 168,75
Cobertura - Laje	36	m3	0,009	35,00 CFA	4000	banco	140.000,00 CFA EUR 210,00
Cobertura - Beirais	2,6	m3	0,009	35,00 CFA	289	banco	10.111,11 CFA EUR 15,17
Piso - Solo compactado	13	m3	1	0,00 CFA	--	terra	0,00 CFA EUR 0,00
Piso - Laje em betão	6,44	m3	1	4.802,00 CFA	--	cimento, terra, ferro, cascalho	30.924,88 CFA EUR 46,39
Fundação de betão armado	8,8	m3	1,1	102.556,03 CFA	8	cimento, terra, ferro, cascalho	820.448,20 CFA EUR 1.230,67
Fundação em pedra	20	m3	1	370,00 CFA	--	cimento, terra, ferro, cascalho	7.400,00 CFA EUR 11,10
Pilar interno	0,504	m3	1	163.714,05 CFA	4	concreto reforçado	82.511,88 CFA EUR 123,77
Pilar externo	0,672	m3	1	161.237,63 CFA	4	concreto reforçado	108.351,69 CFA EUR 162,53
Viga em L	3,2	m3	1	174.969,03 CFA	2	concreto reforçado	559.900,90 CFA EUR 839,85
Viga em T	3,36	m3	1	174.969,03 CFA	2	concreto reforçado	587.895,94 CFA EUR 881,84
Cobertura - Pingadeira de betão armado	2	m3	1	93,00 CFA	100	cimento, areia, cascalho	9.300,00 CFA EUR 13,95

Estruturas	Área		Elemento		Custo	
	#	Unid	Unid (m2)	Custo de Unid	(CFA)	(EUR)
Manta impermeabilizante	216	m2	1	9.156,42 CFA	1.977.786,72 CFA	EUR 2.966,68
Revestimento de parede interna	37	m2	1	2.494,21 CFA	92.285,77 CFA	EUR 138,43
Revestimento externo impermeabilizante	64	m2	1	2.248,00 CFA	143.872,00 CFA	EUR 215,81
Revestimento impermeabilizante do telhado	75,5	m2	1	2.568,00 CFA	193.884,00 CFA	EUR 290,83
Calha de zinco	1,6	m	1	13.459,10 CFA	21.534,56 CFA	EUR 32,30
Estrutura de aço	141,2	m	1	2.750,00 CFA	388.300,00 CFA	EUR 582,45
Estrutura em alumínio	18,9	m	1	12.340,00 CFA	233.226,00 CFA	EUR 349,84
Custo total de uma sala de aula					Custo total de duas salas de aula	
EUR 8.562,10					EUR 17.124,20	

4º/5º fase construtiva - sistema sanitário							
Estruturas	Quantidade		Elemento		Custo		
	#	Unid	Unid (m2)	Custo de Unid	(CFA)	(EUR)	
Painel solar	1	U	1	163.227,00 CFA	163.227,00 CFA	EUR 250,00	
Tanque d'água (200l)	1	U	1	340.000,00 CFA	340.000,00 CFA	EUR 510,00	
Custo total do Sistema sanitário							EUR 760,00

Emissões gases de efeito estufa

Emissões GEE da Construção totais		
Primeira fase	47294,55	Kg CO2 eq
Segunda fase	15776,02	Kg CO2 eq
Terceira fase	15503,70	Kg CO2 eq
Quarta fase	15639,86	Kg CO2 eq
Quinta fase	15503,70	Kg CO2 eq
Emissões GEE totais:	109717,83	Kg CO2 eq
	109,72	T CO2 eq

Emissões GEE na manutenção*		
Primeira fase	178,16	Kg CO2eq /ano
Segunda fase	59,06	Kg CO2 eq /ano
Terceira fase	60,03	Kg CO2 eq /ano
Quarta fase	56,50	Kg CO2 eq /ano
Quinta fase	59,06	Kg CO2 eq /ano
Emissões GEE totais	412,81	Kg CO2 eq /ano
	0,41	T CO2 eq /ano

*Emissões de GEE na manutenção dos módulos em terra: 9,63 kgCO_{2eq}. /m².

Emissões GEE da Construção por fase		
Primeira fase construtiva		
Fases Construtivas	Emissões totais	
Área administrativa	7924,07	Kg CO2 eq
Duas salas de aula	15503,70	Kg CO2 eq
Espaço multiuso	14827,19	Kg CO2 eq
Casas de banho	7495,24	Kg CO2 eq
Sistema sanitário	408,48	Kg CO2 eq
Pátio coberto	1135,87	Kg CO2 eq
Emissões da 1ª fase	47294,55	Kg CO2 eq
	47,29	T CO2 eq

Segunda fase construtiva		
Fases Construtivas	Emissões totais	
Duas salas de aula	15503,70	Kg CO2 eq
Sistema sanitário	272,32	Kg CO2 eq
Emissões da 2ª fase	15776,02	Kg CO2 eq
	15,78	T CO2 eq

Terceira fase construtiva		
Fases Construtivas	Emissões totais	
Duas salas de aula	15503,70	Kg CO2 eq
Sistema sanitário	<i>s/info</i>	Kg CO2 eq
Emissões da 3ª fase	15503,70	Kg CO2 eq
	15,50	T CO2 eq

Quarta fase construtiva		
Fases Construtivas	Emissões totais	
Duas salas de aula	15503,70	Kg CO2 eq
Sistema sanitário	136,16	Kg CO2 eq
Emissões da 4ª fase	15639,86	Kg CO2 eq
	15,64	T CO2 eq

Quinta fase construtiva		
Fases Construtivas	Emissões totais	
Duas salas de aula	15503,70	Kg CO2 eq
Sistema sanitário	<i>s/info</i>	Kg CO2 eq
Emissões da 5ª fase	15503,70	Kg CO2 eq
	15,50	T CO2 eq

1ª fase construtiva - áreas administrativas						
Estruturas	Volume		Emissão de GEE		Emissões totais	
	#	Unid	#	Unid	#	Unid
Parede	1,1	m3	9,3	Kg CO2 eq/m3	10,23	Kg CO2 eq
Parede - estrutural	60	m3	9,3	Kg CO2 eq/m3	558	Kg CO2 eq
Cobertura - Abóbada Núbia	15	m3	9,3	Kg CO2 eq/m3	139,5	Kg CO2 eq
Cobertura - Laje	36	m3	9,3	Kg CO2 eq/m3	334,8	Kg CO2 eq
Cobertura - Beirais	2,6	m3	9,3	Kg CO2 eq/m3	24,18	Kg CO2 eq
Piso - Solo compactado	13	m3	0	Kg CO2 eq/m3	0	Kg CO2 eq
Piso - Laje em betão	6,4	m3	202,3	Kg CO2 eq/m3	1302,8	Kg CO2 eq
Fundação de betão armado	8,8	m3	229,0	Kg CO2 eq/m3	2015,2	Kg CO2 eq
Fundação em pedra	20,0	m3	0,0	Kg CO2 eq/m3	0,0	Kg CO2 eq
Pilar interno	0,5	m3	229,0	Kg CO2 eq/m3	115,4	Kg CO2 eq
Pilar externo	0,7	m3	229,0	Kg CO2 eq/m3	153,9	Kg CO2 eq
Viga em L	3,2	m3	229,0	Kg CO2 eq/m3	732,8	Kg CO2 eq
Viga em T	3,4	m3	229,0	Kg CO2 eq/m3	769,4	Kg CO2 eq
Cobertura - Pingadeira de betão armado	2,0	m3	366,1	Kg CO2 eq/m3	732,2	Kg CO2 eq
Manta impermeabilizante	0,216	m3	271,50	Kg CO2 eq/m3	58,64	Kg CO2 eq
Revestimento de parede interna	1,68	m3	93,30	Kg CO2 eq/m3	156,74	Kg CO2 eq
Revestimento externo impermeabilizante	0,064	m3	2851,00	Kg CO2 eq/m3	182,46	Kg CO2 eq
Revestimento impermeabilizante do telhado	0,075	m3	2851,00	Kg CO2 eq/m3	213,83	Kg CO2 eq
Calha de zinco	0,0006	m3	12209,40	Kg CO2 eq/m3	7,33	Kg CO2 eq
Estrutura de aço	0,042	m3	8831,2	Kg CO2 eq/m3	370,9	Kg CO2 eq
Estrutura em alumínio	0,039	m3	1172,7	Kg CO2 eq/m3	45,7	Kg CO2 eq
TOTAL					7924,07	Kg CO2 eq
					7,92	T CO2 eq

1ª fase construtiva - sala de aula (x2)						
Estruturas	Volume		Emissão de GEE		Emissões totais	
	#	Unid	#	Unid	#	Unid
Parede - estrutural	48,3	m3	9,3	Kg CO2 eq/m3	449,19	Kg CO2 eq
Cobertura - Abóbada Núbia	15,0	m3	9,3	Kg CO2 eq/m3	139,5	Kg CO2 eq
Cobertura - Laje	36,0	m3	9,3	Kg CO2 eq/m3	334,8	Kg CO2 eq
Cobertura - Beirais	2,6	m3	9,3	Kg CO2 eq/m3	24,18	Kg CO2 eq
Piso - Solo compactado	13,0	m3	0	Kg CO2 eq/m3	0	Kg CO2 eq
Piso - Laje em betão	6,4	m3	202,3	Kg CO2 eq/m3	1302,8	Kg CO2 eq
Fundação de betão armado	8,8	m3	229,0	Kg CO2 eq/m3	2015,2	Kg CO2 eq
Fundação em pedra	20,0	m3	0,0	Kg CO2 eq/m3	0,0	Kg CO2 eq
Pilar interno	0,5	m3	229,0	Kg CO2 eq/m3	115,4	Kg CO2 eq
Pilar externo	0,7	m3	229,0	Kg CO2 eq/m3	153,9	Kg CO2 eq
Viga em L	3,2	m3	229,0	Kg CO2 eq/m3	732,8	Kg CO2 eq
Viga em T	3,4	m3	229,0	Kg CO2 eq/m3	769,4	Kg CO2 eq
Cobertura - Pingadeira de betão armado	2,0	m3	366,1	Kg CO2 eq/m3	732,2	Kg CO2 eq
Manta impermeabilizante	0,2	m3	271,50	Kg CO2 eq/m3	58,64	Kg CO2 eq
Revestimento de parede interna	1,1	m3	93,30	Kg CO2 eq/m3	103,56	Kg CO2 eq
Revestimento externo impermeabilizante	0,1	m3	2851,00	Kg CO2 eq/m3	182,46	Kg CO2 eq
Revestimento impermeabilizante do telhado	0,1	m3	2851,00	Kg CO2 eq/m3	213,83	Kg CO2 eq
Calha de zinco	0,0	m3	12209,40	Kg CO2 eq/m3	7,33	Kg CO2 eq
Estrutura de aço	0,0	m3	8831,2	Kg CO2 eq/m3	370,9	Kg CO2 eq
Estrutura em alumínio	0,0	m3	1172,7	Kg CO2 eq/m3	45,7	Kg CO2 eq
TOTAL					15503,70	Kg CO2 eq
					15,50	T CO2 eq

1ª fase construtiva - espaço multiuso						
Estruturas	Volume		Emissão de GEE		Emissões totais	
	#	Unid	#	Unid	#	Unid
Parede	3	m3	9,3	Kg CO2 eq/m3	27,9	Kg CO2 eq
Parede - estrutural	107,1	m3	9,3	Kg CO2 eq/m3	996,03	Kg CO2 eq
Cobertura - Abóbada Núbia	30	m3	9,3	Kg CO2 eq/m3	279	Kg CO2 eq
Cobertura - Laje	72	m3	9,3	Kg CO2 eq/m3	669,6	Kg CO2 eq
Cobertura - Beirais	5,2	m3	9,3	Kg CO2 eq/m3	48,36	Kg CO2 eq
Piso - Solo compactado	26	m3	9,3	Kg CO2 eq/m3	241,8	Kg CO2 eq
Piso - Laje em betão	12,6	m3	202,3	Kg CO2 eq/m3	2548,98	Kg CO2 eq
Fundação de betão armado	17,6	m3	229,0	Kg CO2 eq/m3	4030,4	Kg CO2 eq
Fundação em pedra	30	m3	0,0	Kg CO2 eq/m3	0	Kg CO2 eq
Pilar interno	1,008	m3	229,0	Kg CO2 eq/m3	230,832	Kg CO2 eq
Pilar externo	1,344	m3	229,0	Kg CO2 eq/m3	307,776	Kg CO2 eq
Viga em L	6,4	m3	229,0	Kg CO2 eq/m3	1465,6	Kg CO2 eq
Viga em T	5,2	m3	229,0	Kg CO2 eq/m3	1190,8	Kg CO2 eq
Cobertura - Pingadeira de betão armado	4	m3	366,1	Kg CO2 eq/m3	1464,4	Kg CO2 eq
Manta impermeabilizante	0,4	m3	271,50	Kg CO2 eq/m3	108,6	Kg CO2 eq
Revestimento de parede interna	2,37	m3	93,30	Kg CO2 eq/m3	221,121	Kg CO2 eq
Revestimento externo impermeabilizante	0,12	m3	2851,00	Kg CO2 eq/m3	342,12	Kg CO2 eq
Revestimento impermeabilizante do telhado	0,22	m3	2851,00	Kg CO2 eq/m3	627,22	Kg CO2 eq
Calha de zinco	0,0	m3	12209,40	Kg CO2 eq/m3	14,65128	Kg CO2 eq
Estrutura de aço	0,0	m3	8831,2	Kg CO2 eq/m3	10,59744	Kg CO2 eq
Estrutura em alumínio	0,0	m3	1172,7	Kg CO2 eq/m3	1,40724	Kg CO2 eq
TOTAL					14827,19	Kg CO2 eq
					14,83	T CO2 eq

1ª fase construtiva - casas de banho						
Estruturas	Volume		Emissão de GEE		Emissões totais	
	#	Unid	#	Unid	#	Unid
Parede	6,8	m3	9,3	Kg CO2 eq/m3	63,24	Kg CO2 eq
Parede - estrutural	71,3	m3	9,3	Kg CO2 eq/m3	663,09	Kg CO2 eq
Cobertura - Abóbada Núbia	15	m3	9,3	Kg CO2 eq/m3	139,50	Kg CO2 eq
Cobertura - Laje	36	m3	9,3	Kg CO2 eq/m3	334,80	Kg CO2 eq
Cobertura - Beirais	2,6	m3	9,3	Kg CO2 eq/m3	24,18	Kg CO2 eq
Piso - Solo compactado	13	m3	9,3	Kg CO2 eq/m3	120,90	Kg CO2 eq
Piso - Laje em betão	6,44	m3	202,3	Kg CO2 eq/m3	1302,81	Kg CO2 eq
Fundação de betão armado	6,6	m3	229,0	Kg CO2 eq/m3	1511,40	Kg CO2 eq
Fundação em pedra	20	m3	0,0	Kg CO2 eq/m3	0,00	Kg CO2 eq
Pilar interno	0,252	m3	229,0	Kg CO2 eq/m3	57,71	Kg CO2 eq
Pilar externo	0,672	m3	229,0	Kg CO2 eq/m3	153,89	Kg CO2 eq
Viga em L	4,1	m3	229,0	Kg CO2 eq/m3	938,90	Kg CO2 eq
Viga em T	1,2	m3	229,0	Kg CO2 eq/m3	274,80	Kg CO2 eq
Cobertura - Pingadeira de betão armado	2	m3	366,1	Kg CO2 eq/m3	732,20	Kg CO2 eq
Manta impermeabilizante	0,2	m3	271,50	Kg CO2 eq/m3	58,64	Kg CO2 eq
Revestimento de parede interna	1,1	m3	93,30	Kg CO2 eq/m3	103,56	Kg CO2 eq
Revestimento externo impermeabilizante	0,1	m3	2851,00	Kg CO2 eq/m3	182,46	Kg CO2 eq
Revestimento impermeabilizante do telhado	0,1	m3	2851,00	Kg CO2 eq/m3	213,83	Kg CO2 eq
Chapa de zinco	0,02	m3	12209,40	Kg CO2 eq/m3	195,35	Kg CO2 eq
Calha de zinco	0,0	m3	12209,40	Kg CO2 eq/m3	7,33	Kg CO2 eq
Estrutura de aço	0,0	m3	8831,2	Kg CO2 eq/m3	370,91	Kg CO2 eq
Estrutura em alumínio	0,0	m3	1172,7	Kg CO2 eq/m3	45,74	Kg CO2 eq
TOTAL					7495,24	Kg CO2 eq
					7,50	T CO2 eq

1ª fase construtiva - pátio coberto						
Estruturas	Volume		Emissão de GEE		Emissões totais	
	#	Unid	#	Unid	#	Unid
Chapa de zinco	0,117	m3	12209,40	Kg CO2 eq/m3	1428,50	Kg CO2 eq
Placa de polycarbonato ondulada	18,31	kg	5,58	Kg CO2 eq/kg	102,17	Kg CO2 eq
Estrutura de bambu	76,5	m3	-45,83	Kg CO2 eq/m3	-3506,00	Kg CO2 eq
Piso - Solo compactado	30	m3	9,3	Kg CO2 eq/m3	279,00	Kg CO2 eq
Piso - Laje em betão	14	m3	202,3	Kg CO2 eq/m3	2832,20	Kg CO2 eq
Fundação de betão armado	1,6	m3	229,0	Kg CO2 eq/m3	366,40	Kg CO2 eq
TOTAL					1135,87	Kg CO2 eq
					1,14	T CO2 eq

1º fase construtiva - sistema sanitário						
Estruturas	Volume		Emissão de GEE		Emissões totais	
	#	Unid	#	Unid	#	Unid
Poço artesiano		m3	9,3	Kg CO2 eq/m3	0,00	Kg CO2 eq
Fossa séptica bio de bananeira			s/info		s/info	
Painel solar			s/info		s/info	
Tanque d'água (2000L)	276	kg	1,48	Kg CO2 eq/kg	408,48	Kg CO2 eq
TOTAL					408,48	Kg CO2 eq
					0,41	T CO2 eq

2º/3º fase construtiva - sala de aula (x2)						
Estruturas	Volume		Emissão de GEE		Emissões totais	
	#	Unid	#	Unid	#	Unid
Parede - estrutural	48,3	m3	9,3	Kg CO2 eq/m3	449,19	Kg CO2 eq
Cobertura - Abóbada Núbia	15,0	m3	9,3	Kg CO2 eq/m3	139,5	Kg CO2 eq
Cobertura - Laje	36,0	m3	9,3	Kg CO2 eq/m3	334,8	Kg CO2 eq
Cobertura - Beirais	2,6	m3	9,3	Kg CO2 eq/m3	24,18	Kg CO2 eq
Piso - Solo compactado	13,0	m3	0	Kg CO2 eq/m3	0	Kg CO2 eq
Piso - Laje em betão	6,4	m3	202,3	Kg CO2 eq/m3	1302,8	Kg CO2 eq
Fundação de betão armado	8,8	m3	229,0	Kg CO2 eq/m3	2015,2	Kg CO2 eq
Fundação em pedra	20,0	m3	0,0	Kg CO2 eq/m3	0,0	Kg CO2 eq
Pilar interno	0,5	m3	229,0	Kg CO2 eq/m3	115,4	Kg CO2 eq
Pilar externo	0,7	m3	229,0	Kg CO2 eq/m3	153,9	Kg CO2 eq
Viga em L	3,2	m3	229,0	Kg CO2 eq/m3	732,8	Kg CO2 eq
Viga em T	3,4	m3	229,0	Kg CO2 eq/m3	769,4	Kg CO2 eq
Cobertura - Pingadeira de betão armado	2,0	m3	366,1	Kg CO2 eq/m3	732,2	Kg CO2 eq
Manta impermeabilizante	0,2	m3	271,50	Kg CO2 eq/m3	58,64	Kg CO2 eq
Revestimento de parede interna	1,1	m3	93,30	Kg CO2 eq/m3	103,56	Kg CO2 eq
Revestimento externo impermeabilizante	0,1	m3	2851,00	Kg CO2 eq/m3	182,46	Kg CO2 eq
Revestimento impermeabilizante do telhado	0,1	m3	2851,00	Kg CO2 eq/m3	213,83	Kg CO2 eq
Calha de zinco	0,0	m3	12209,40	Kg CO2 eq/m3	7,33	Kg CO2 eq
Estrutura de aço	0,0	m3	8831,2	Kg CO2 eq/m3	370,9	Kg CO2 eq
Estrutura em alumínio	0,0	m3	1172,7	Kg CO2 eq/m3	45,7	Kg CO2 eq
TOTAL					15503,70	Kg CO2 eq
					15,50	T CO2 eq

2º/3º fase construtiva - sistema sanitário						
Estruturas	Volume		Emissão de GEE		Emissões totais	
	#	Unid	#	Unid	#	Unid
Painel solar			s/info		s/info	
Tanque d'água (2000L)	184	kg	1,48	Kg CO2 eq/kg	272,32	Kg CO2 eq
TOTAL					272,32	Kg CO2 eq
					0,27	T CO2 eq

4º/5º fase construtiva - sala de aula (x2)						
Estruturas	Volume		Emissão de GEE		Emissões totais	
	#	Unid	#	Unid	#	Unid
Parede - estrutural	48,3	m3	9,3	Kg CO2 eq/m3	449,19	Kg CO2 eq
Cobertura - Abóbada Núbia	15,0	m3	9,3	Kg CO2 eq/m3	139,5	Kg CO2 eq
Cobertura - Laje	36,0	m3	9,3	Kg CO2 eq/m3	334,8	Kg CO2 eq
Cobertura - Beirais	2,6	m3	9,3	Kg CO2 eq/m3	24,18	Kg CO2 eq
Piso - Solo compactado	13,0	m3	0	Kg CO2 eq/m3	0	Kg CO2 eq
Piso - Laje em betão	6,4	m3	202,3	Kg CO2 eq/m3	1302,8	Kg CO2 eq
Fundação de betão armado	8,8	m3	229,0	Kg CO2 eq/m3	2015,2	Kg CO2 eq
Fundação em pedra	20,0	m3	0,0	Kg CO2 eq/m3	0,0	Kg CO2 eq
Pilar interno	0,5	m3	229,0	Kg CO2 eq/m3	115,4	Kg CO2 eq
Pilar externo	0,7	m3	229,0	Kg CO2 eq/m3	153,9	Kg CO2 eq
Viga em L	3,2	m3	229,0	Kg CO2 eq/m3	732,8	Kg CO2 eq
Viga em T	3,4	m3	229,0	Kg CO2 eq/m3	769,4	Kg CO2 eq
Cobertura - Pingadeira de betão armado	2,0	m3	366,1	Kg CO2 eq/m3	732,2	Kg CO2 eq
Manta impermeabilizante	0,2	m3	271,50	Kg CO2 eq/m3	58,64	Kg CO2 eq
Revestimento de parede interna	1,1	m3	93,30	Kg CO2 eq/m3	103,56	Kg CO2 eq
Revestimento externo impermeabilizante	0,1	m3	2851,00	Kg CO2 eq/m3	182,46	Kg CO2 eq
Revestimento impermeabilizante do telhado	0,1	m3	2851,00	Kg CO2 eq/m3	213,83	Kg CO2 eq
Calha de zinco	0,0	m3	12209,40	Kg CO2 eq/m3	7,33	Kg CO2 eq
Estrutura de aço	0,0	m3	8831,2	Kg CO2 eq/m3	370,9	Kg CO2 eq
Estrutura em alumínio	0,0	m3	1172,7	Kg CO2 eq/m3	45,7	Kg CO2 eq
TOTAL					15503,70	Kg CO2 eq
					15,50	T CO2 eq

4º/5º fase construtiva - sistema sanitário						
Estruturas	Volume		Emissão de GEE		Emissões totais	
	#	Unid	#	Unid	#	Unid
Painel solar			s/info		s/info	
Tanque d'água (2000L)	92	kg	1,48	Kg CO2 eq/kg	136,16	Kg CO2 eq
TOTAL					136,16	Kg CO2 eq
					0,14	T CO2 eq

Sequestro CO₂

Sequestro CO2 Projeto de Escola Rural- Senegal				
Sequestro potencial de Gás Carbónico				
Árvore	Espécie	Sequestro potencial (kg CO2/ano)	Árvores plantadas	Total Kg CO2/ano
Bambu	Dendrocalamus Strictus	40,7	180	7326
Bananeiro	Musa	8,2	21	172,2
Cajueiro	Anacardium Occidentale	1,9	8	15,2
Mangueira	Mangifera Indica	34,6	6	207,6
Moringa	Moringa Oleifera	8,2	5	41
Mamoeiro	Carica Papaya	14,6	108	1576,8
Maracujazeiro	Passiflora Edulis Sims	s/info	28	s/info
Total Kg CO2/ano				9338,8
Total T CO2/ano				9,34

Sequestro potencial de Gás Carbónico				
Árvore	Espécie	Sequestro potencial (kg CO2/ano)	m2 / arvore	Kg CO2/ano/m2
Bambu	Dendrocalamus Strictus	40,7	4	10,18
Bananeiro	Musa	8,2	14	0,59
Cajueiro	Anacardium Occidentale	1,9	53	0,04
Mangueira	Mangifera Indica	34,6	114	0,30
Moringa	Moringa Oleifera	8,2	37	0,22
Mamoeiro	Carica Papaya	14,6	2	7,30
Maracujazeiro	Passiflora Edulis Sims	s/info	s/info	s/info
Total Kg CO2/ano /m2				18,62
Total T CO2/ano /m2				0,02